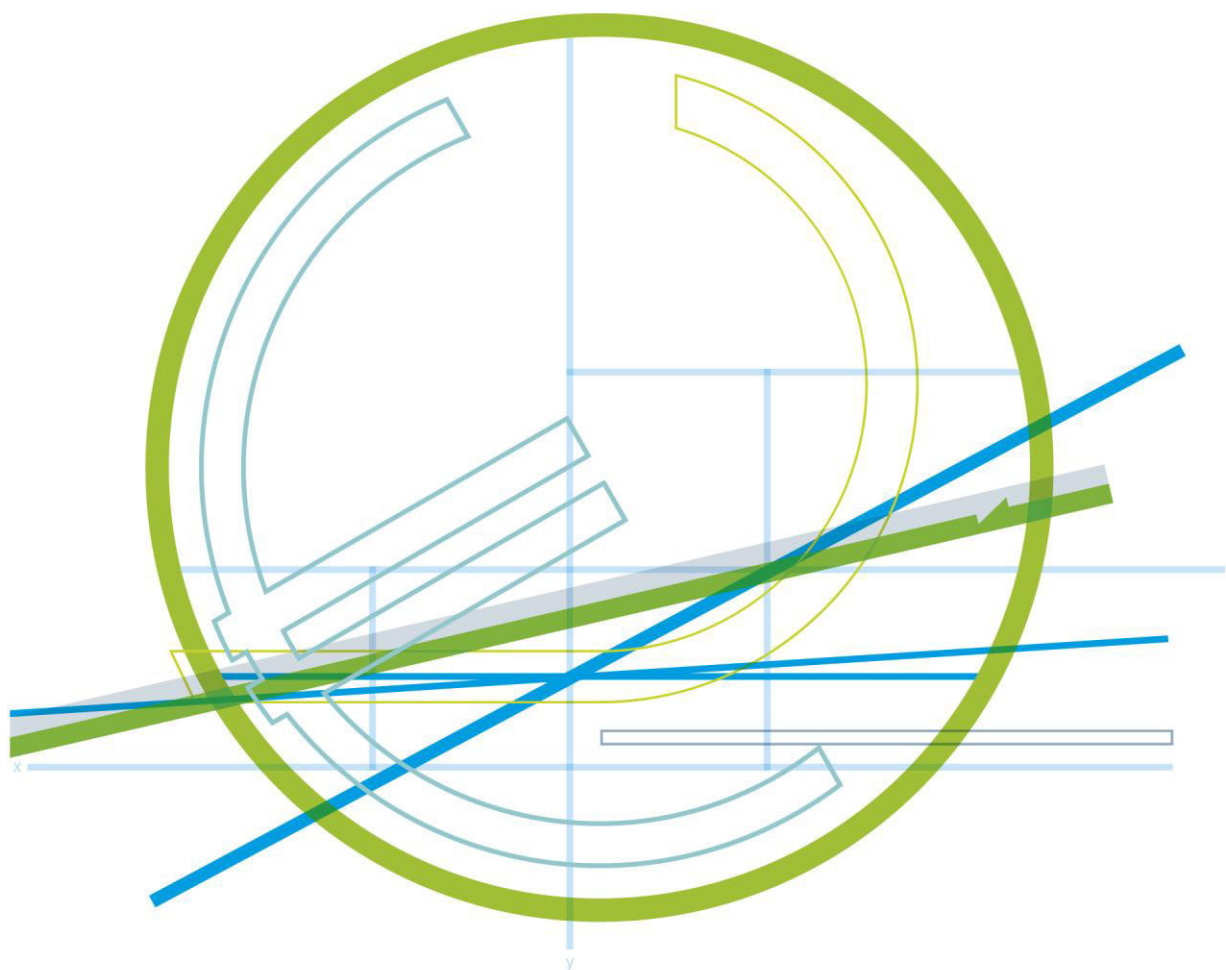


## Mikro-KWK

Langfristige Szenarien der gesamtwirtschaftlich optimalen Integration von Mikro-KWK Anlagen in das österreichische Energiesystem



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

## Kurzfassung

Die kombinierte Bereitstellung von Wärme und elektrischen Strom aus Mikro-KWK Technologien gewinnt unter dem Aspekt der effizienten Nutzung sowohl fossiler, als auch erneuerbarer Energieträger, zunehmend an Bedeutung. Die Ermittlung des Marktpotentials von Mikro-KWK Anlagen im österreichischen Energiesystem ist dabei an die Auslegung der Mikro-KWK Anlagen - je Kundengruppe (Haushaltsektor, ausgewählte Gewerbe) - gebunden. Die Anlagenauslegung für jedes zu versorgende Objekt kann daher vor allem unter wirtschaftlichen (unter Einbeziehung der technischen Rahmenbedingung) oder auch unter energetischen bzw. ökologischen Aspekten erfolgen.

Die Analyse der unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien und der Vergleich dieser unter verschiedenen Aspekten führten zur Darstellung der Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien. Verbrennungsmotoren stellen derzeit wegen ihrer hohen Marktreife und bereits gesammelter Betriebserfahrung die geeignetste Technologie für einen breiten Einsatz als Mikro-KWK Technologie dar. Vor allem die vorhandenen Gasnetze können in diesem Zusammenhang eine hohe Durchdringung von gasbetriebenen Mikro-KWKs, wie zum Beispiel auch der Stirlingmotor erleichtern. Die Stirlingmotoren weisen einen Entwicklungsstand zwischen Demonstrationsstadium und Marktreife auf, wobei noch Erfahrungen hinsichtlich der genaueren Darstellung der betriebsgebundenen Kosten gesammelt werden müssen. Nach den Verbrennungsmotoren haben die Stirlingmotoren ein Marktreifepotential, da diese auch mit biogenen festen Brennstoffen betrieben werden können. Die vorhandenen Betriebserfahrungen für Gasmotoren führten dazu, dass diese auch für genauere Analysen hinsichtlich der Dimensionierung der KWK-Anlagen herangezogen worden sind.

Für die Dimensionierung der Mikro-KWK Technologien bis 2050 ist es erforderlich die Einsatzbereiche, deren Energiebedarf und die Entwicklung des Energiebedarfs bis 2050 zu ermitteln. In den Haushaltskategorien kommt es zu einem Verbrauchsrückgang von 30 % bis 37 % im Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 2010. Trotz dieser Reduktion des Wärmebedarfs der Wohneinheiten ist die Einsetzbarkeit der Mikro-KWK Anlagen in allen untersuchten Bauperioden gegeben. Nur die EFH der Bauperioden ab 2041 sind eine Ausnahme und folgen den erwähnten Festlegungen nicht. Im Bereich Gewerbe und Dienstleistung wird eine hohe Durchdringung der Fern- und Nahwärme inklusive des Rückgangs des Wärmebedarfs angenommen. Diese Annahmen führten zu einer starken Reduktion des vorhandenen Potentials der Mikro-KWK Technologien bis 2050. Die Verringerung des kumulierten Wärmebedarfs im Gewerbe liegt zwischen 50 % (Hallenbäder) und 85 % (Beherbergung, Bürogebäude und Schulen).

Ausgehend von den Daten bezüglich des Mikro-KWK Potentials in Österreich wurde die Auslegung der Mikro-KWK Technologie (am Beispiel der Gasmotoren) für den

Haushaltsektor durchgeführt. Um die Auslegung der Anlagen durchzuführen, wurde der wärmegeführte Betrieb der Anlagen unter Zuhilfenahme eines dafür entwickelten Matlab-Programms simuliert. Die wirtschaftliche Auslegung der Mikro-KWK Technologien ergibt thermische Leistungen in einer Bandbreite von 11 % bis 20 % des maximalen thermischen Bedarfs der jeweiligen Haushaltkategorien. Die wirtschaftliche Auslegung des dualen Systems ist mit hohen Vollastbetriebsstunden mit über 5.500 h/a gekennzeichnet. Die erwähnten Vollastbetriebsstunden können mit optimierter Dimensionierung des Wärmesystems erreicht werden (Temperaturdifferenz zwischen Rück- und Vorlauftemperatur von über 20 C).

Die energetische Auslegung orientiert sich nach dem maximalen thermischen Bedarf der Objekte. Es ist zu erwähnen, dass der Anteil der  $KEA_H$  für Mikro-KWK Anlagen und Wärmespeicher am gesamten jährlichen Energieverbrauch des dualen Systems, nur einen Anteil von weniger als 2 % ausmacht. Mit der energetischen Auslegung und der Erhöhung der installierten thermischen Leistung müssen auch angepasste dimensionierte Wärmespeicher im System integriert werden. Die Erhöhung des Speichervolumens führt aber zu größerem Platzbedarf für den Wärmespeicher. Deshalb wird eine Erhöhung der thermischen Dichte der Wärmespeicher im Vergleich zu Warmwasserspeicher vorgeschlagen.

Die ökologische Auslegung leitet sich aufgrund des Einsatzes von erneuerbaren Energieträger aus der energetischen Auslegung ab. Die Wirtschaftlichkeit einer ökologischen Auslegung stellt aufgrund der hohen Kosten der biogenen Rohstoffe und erneuerbaren Energieträger (z.B. Biogas) eine schlechtere Realisierungschance im Vergleich zur wirtschaftlichen und energetischen Dimensionierung des dualen Systems dar. Im Bereich der Herstellung des aufbereiteten Biogases sollten Kostenreduktionen in der Höhe von 50 % bis ins Jahr 2050 realisiert werden.

## Abstract

The combined supply of heat and electricity from micro-CHP technologies becomes more important in terms of efficient use of fossil and renewable energy sources. The determination of the market potential of micro-CHP plants in the Austrian energy system depends on the dimensioning of micro CHPs for each group of customers (residential sector, selected industry). The dimensioning of the CHP plants could be occurring by economic (including technical conditions), energetic or ecological aspects.

The analysis of the different micro-CHP technologies and the comparison of these, under different aspects led to the presentation of the advantages and disadvantages of each technology. Combustion engines currently make up the most appropriate technology for a widespread use as a micro-CHP technology because of high marketability and their accumulated operational experiences. The existing gas networks particularly can support the high penetration of the gas-powered micro-CHP technologies. Stirling engines are lying at a level of development between demonstration stage and marketability, whereat experiences in terms of more representative operation costs will be needed. Stirling engines have after combustion engines the greatest potential for a successful market penetration. The gas engines have been used for more detailed analysis because of existing operational experience. Hence, the design and dimensioning of CHPs will be based on the gas engines.

The identification of application areas for the micro CHP technologies and their demand of energy, including their development until 2050 will be needed for dimensioning the CHP technologies. In the residential area, the demand of energy will decrease by 30% to 37% in 2050 compared to the values of the year 2010. In despite of the mentioned declining of the heat demand in the residential areas, the applicability of the micro-CHPs is given. Only the single dwelling units of architectural periods from 2041 are an exception and do not follow the above mentioned requirements. A high penetration of district and local heating, including the reduction of heat demand in the area of business and services, are assumed. These assumptions led to a strong reduction of the existing potential of micro-CHP technologies by 2050. The reduction of the accumulated heat in the sector of business is between 50% (indoor swimming pools) and 85% (lodgings, office buildings and schools).

The dimensioning of micro-CHP technologies (using the gas engine example) for the residential areas was calculated in conjunction with the potential data of micro-CHPs in Austria. To carry out the design of the plants, the heat controlled operation of the facilities were simulated with the help of a developed Matlab program. The economic dimensioning of the micro-CHP technologies lead to thermal performance in an interval of 11% to 20% of the maximum thermal demand of the respective household categories. The economic interpretation of the dual system is characterized by high full load hours with over 5,500 hours per year. The above full load operating hours can be achieved with optimized dimensions of the thermal system (temperature difference between supply and return temperature of about 20°C).

The energetic dimensioning is based on the maximum thermal demand of the objects. The proportion of cumulated energy demand for the production of micro-CHPs and heat storages to the total annual energy consumption of the dual system is less than 2 %. Because of energetic dimensioning and increase of installed thermal power, appropriate dimensioned heat storages must be integrated in the system. The increase of storage volume leads to a larger space for the storage tank. Therefore, an increase of the thermal density of the heat storage is proposed in comparison to hot water storage.

The ecological dimensioning is derived from the use of renewable energy, based on the energetic dimensioning. The economics of an ecological dimensioning is due to the high cost of renewable energy sources (eg biogas) worse than the economic and energetic dimensioning. So, an ecological dimensioning has a worse chance of implementation in relation to economic and energy dimensioning of the dual system. Therefore, the production costs of biogas must be reduced in the amount of 50 % until the year 2050.

## Inhalt

Kurzfassung .....	1
Abstract.....	3
1 Einleitung .....	8
1.1 Ausgangslage .....	8
1.2 Zentrale Fragestellung .....	9
1.3 Aufbau des Berichts .....	9
2 Methode .....	10
2.1 Ermittlung des Potentials der Mikro-KWK Technologien in Österreich bis 2050 .....	10
2.1.1 Haushaltsektor .....	10
2.1.2 Gewerbe .....	12
2.2 Bestimmung des kumulierten Energieaufwandes für die Herstellung von Mikro-KWK Anlagen .....	17
2.3 Wirtschaftliche und energetische Auslegung von Mikro-KWK Technologien.....	21
2.3.1 Simulationstool „KWK_Cover“ .....	21
2.3.2 Wirtschaftliche Auslegung .....	23
2.3.3 Energetische bzw. ökologische Auslegung.....	26
3 Datengrundlage.....	28
3.1 Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung Technologien.....	28
3.1.1 Definition Mikro-KWK .....	28
3.1.2 Projektspezifische Abgrenzung .....	30
3.1.3 Mikro-KWK Technologien.....	31
3.1.4 Systemgrenzen .....	32
3.1.5 Vergleich der Mikro-KWK Technologien .....	34
3.2 Technische Rahmenbedingungen für die Integration der Mikro-KWK Anlagen.....	46
3.2.1 Schaltung und Regelung der Anlage .....	46
3.2.2 Energiespeicher (Wärmespeicher) .....	48
3.2.3 Auslegung des Wärmespeichers für Wohngebäude.....	50
3.2.4 Kombination von Mikro-KWK Anlage und thermischer Solaranlage.....	50
3.2.5 Stromgeführte Betriebsweise vs. wärmegeführte Betriebsweise .....	52
3.3 Kumulierter Energieaufwand bei der Herstellung von Mikro-KWK Anlagen und Pufferspeicher.....	56
3.3.1 $KEA_H$ der Mikro-KWK Anlagen .....	56
3.3.2 $KEA_H$ der Mikrogasturbine.....	57
3.3.3 $KEA_H$ des Pufferspeichers.....	58
3.4 Datengrundlage für die Simulation des wärmegeführten Betriebs der Mikro-KWK Anlage .....	59
3.4.1 Wärmelastgänge .....	59
3.4.2 Standardisierte Stromlastgänge .....	62
3.5 „Mikro-KWK“- Szenarien.....	66
3.5.1 Stromnachfrageszenario .....	66

3.5.2	Primärenergiepreisentwicklung .....	67
3.5.3	Strompreisentwicklung .....	68
4	Projektergebnisse.....	70
4.1	Potential der Mikro-KWK in Österreich .....	70
4.2	Potential der Mikro-KWK im Haushaltsektor bis 2050.....	71
4.2.1	Potential im Sektor Einfamilienhäuser .....	73
4.2.2	Potential im Sektor Mehrfamilienhäuser .....	76
4.3	Potential der Mikro-KWK Anlagen im Gewerbe und Dienstleistungssektor bis 2050 79	
4.3.1	Energiebedarf im Gewerbe und Dienstleistungssektor .....	79
4.3.2	Entwicklung des Gebäudebestands in für Mikro-KWK geeigneten Anwendungsgebieten.....	84
4.3.3	Entwicklung des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser in für Mikro-KWK geeigneten Anwendungsgebieten.....	88
4.3.4	Gesamtpotential im Gewerbesektor .....	92
4.4	Bewertung der verschiedenen Auslegungsformen für den Haushaltsektor.....	97
4.4.1	Wirtschaftliche und energetische Auslegung .....	97
4.4.2	Betriebsparameter der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung.....	100
4.4.3	Wärmegestehungskosten der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung- Vergleich der Szenarien .....	103
4.4.4	Energetischer Vergleich der unterschiedlichen Auslegungsformen .....	106
4.4.5	Ökologische Auslegung.....	108
5	Interpretation und Empfehlungen .....	110
	Literatur.....	114



## Abkürzungsverzeichnis

KEA <sub>E</sub>	Kumulierter Energieaufwand für die Entsorgung
KEA <sub>H</sub>	Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung
KEA <sub>N</sub>	Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
WKG	Wärmegestehungskosten
EFH	Einfamilienhäuser
MFH	Mehrfamilienhäuser
4FH	Vierfamilienhäuser
8FH	Achtfamilienhaus
16FH	Sechzehnfamilienhaus
30FH	Dreißigfamilienhaus
SLK	Spitzenlastkessel

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die kombinierte optimale Bereitstellung von Wärme und elektrischem Strom (in Zukunft auch von Kälte) gewinnt unter dem Aspekt einer möglichst effizienten und weitgehend dezentralen Nutzung sowohl fossiler (z.B. Gas) als auch erneuerbarer Energieträger (z.B. Biomasse) zunehmend an Bedeutung. Es ist derzeit deutlich zu erkennen, dass der Anteil der auf Strom basierenden Energiedienstleistungen in Zukunft deutlich ansteigen wird und durch neu zu installierende Kapazitäten und angepasste Infrastrukturen (z.B. Wärme- und Stromnetze) sichergestellt werden muss. Um diese Nachfrage decken zu können - sei es nun im Industrie-, Gewerbe- oder Haushaltssektor -, wird derzeit eine breite Palette an neuen Technologien, wie z.B. die Mikro-KWK Technologie, zur gekoppelten Erzeugung von Wärme (u. a. auch Kälte) als auch Strom erforscht und erprobt. Mögliche Effizienzsteigerungen, die optimale Anlagenauslegung (wirtschaftlich, energetisch, ökologisch) und langfristige Marktpotenziale einzelner Technologien werden dabei aber oft vernachlässigt bzw. nicht erwähnt. Wird jedoch eine strategische Ausrichtung nachhaltiger Energie-Entwicklung und -Forschung untersucht, stellt sich die Frage, welche Technologielinien kurz-, mittel- und vor allem langfristig in einem dynamischen Gesamtkontext wirtschaftlich realisierbar sind.

Verschiedene Publikationen der EU (vgl. z.B. DISPOWER) und auch nationale Projekte wie z.B. DG-DemoNetz halten fest, dass zur Aufrechterhaltung der zukünftigen Versorgungssicherheit der Aufbau von vermehrt dezentralen Strukturen von großer Bedeutung sein wird. Weiters wird argumentiert, dass dezentrale Systeme zu einer gesamtgesellschaftlich optimalen Versorgungsstruktur führen. Dabei bleiben jedoch manche Fragen offen, da in Bezug auf zumindest zwei Aspekte umfassende Begründungen fehlen:

- ➔ Einerseits, warum dieser Weg eine günstigere und innovative Lösung für die Konsumenten darstellt, wobei die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz, die ökologische Sinnhaftigkeit und Finanzierbarkeit eine wichtige Rolle spielen und daher zu klären sind;
- ➔ andererseits, welche Anreize für Investitionen für private und öffentliche Unternehmen bestehen bzw. geschaffen werden können, um einen Durchbruch neuer Mikro-KWK Konzepte zu erreichen.

Dies führt zur Überlegung, dass die klassische historische Argumentation – Strom wird in Großkraftwerken bereitgestellt und durch Übertragungsnetze zum Endkunden geliefert und damit zur gesellschaftlich optimalen Lösung führt – möglicherweise noch immer sehr stark in den Denkstrukturen der Konsumenten verankert ist. Daher haben alternative Technologieansätze (vor allem im dezentralen Bereich) nur dann die Chance nennenswerte Marktanteile zu erreichen, wenn dem Endkunden klare Vorteile aufgezeigt werden können. Eine dieser Technologien können Mikro-KWK Anwendungen darstellen, deren

Einsatzmöglichkeiten, Vorteile und zukünftige Potenziale im Rahmen dieses Projekts untersucht werden.

## **1.2 Zentrale Fragestellung**

Die zentralen Fragestellungen der Arbeit können wie folgt zusammengefasst werden:

1. In welchen Bereichen können die Mikro-KWK Technologien zum Einsatz kommen und wie entwickelt sich deren Potential in Österreich bis 2050?
2. Wie können die Mikro-KWK Technologien in das österreichische Energiesystem integriert werden, um wirtschaftliche, ökologische bzw. energetische Optima bei deren Integration zu erreichen?

Um diese Fragen zu beantworten, wird der wärmegeführte Betrieb der Mikro-KWK Technologien anhand adäquater Strom- und Wärmelastgänge je Kundengruppe simuliert. Mit den gewonnen Simulationsergebnissen kann die Auslegung der Mikro-KWK Technologien aus wirtschaftlicher, energetischer bzw. ökologischer Sicht vorgenommen werden, welche in den folgenden Kapiteln näher beschrieben wird.

## **1.3 Aufbau des Berichts**

Im nachfolgenden Kapitel 2 wird die methodische Vorgangsweise für die Erarbeitung der Ergebnisse beschrieben. Basierend auf dieser Vorgangsweise werden die benötigten Datengrundlagen und deren Ermittlung in Kapitel 3 erläutert, welches unterteilt wird in:

- Mikro-KWK Technologien
- Technische Rahmenbedingungen für die Integration der Mikro-KWK Anlagen
- Kumulierten Energieaufwand für die Herstellung der Technologien und der Wärmespeicher
- Wärme- und Stromlastprofile
- Energiepreisszenarien.

Aufbauend auf den erarbeiteten Methoden und Datengrundlagen werden die entsprechenden Ergebnisse bezüglich der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung der Anlagen, deren Kostenentwicklung bis 2050 und deren Potential in Österreich bis 2050 dargestellt und diskutiert. Kapitel 4 beinhaltet die zentralen Projektergebnisse gefolgt von entsprechenden Empfehlungen bezüglich der Integration der Mikro-KWK Technologien in das österreichische Energiesystem in Kapitel 5

## 2 Methode

Der methodische Ansatz des Mikro-KWK Projekts sieht eine Technologie-, Systemintegrations- und Kostenanalyse mit resultierendem Aufbau einer Mikro-KWK Technologiematrix und -datenbank vor. Weiteres wurde evaluiert, wie die Mikro-KWK Anlagen zu dimensionieren sind, um einer gesamtenergetischen, kostenspezifischen sowie ökologischen Auslegung optimal zu genügen. Dazu werden die im Folgenden beschriebenen Aspekte zur Bewertung der Mikro-KWK Technologielinien herangezogen:

- Bestimmung des kumulierten Energieaufwands für die Herstellung der Mikro KWK Anlagen
- Wirtschaftliche und energetische Auslegung der Mikro-KWK Anlagen je Kundengruppe
- Bestimmung der möglichen Einsatzbereiche für Mikro-KWK Technologien je Marktsegment

### 2.1 Ermittlung des Potentials der Mikro-KWK Technologien in Österreich bis 2050

Die Wärmegestehungskosten für die unterschiedlichen Auslegungsarten können für verschiedenen Wärmeabnehmer die ein geeignetes Wärmeprofil aufweisen, berechnet werden. Deshalb wurde das Potential der Mikro-KWK Anlagen in Österreich und deren Entwicklung bis 2050 basierend auf statistischen Daten, Monitoring der Wärme-Stromverbrauchswerte und ein betriebswirtschaftliches Optimierungstool berechnet und dargestellt. In den Kapiteln 2.1.1 und 2.1.2 wird die methodische Vorgangsweise bei der Ermittlung des Mikro-KWK Potentials in Österreich vorgestellt.

#### 2.1.1 Haushaltsektor

Für die Ermittlung des Mikro-KWK Potentials wurden die Ergebnisse aus dem Projekt „Energieszenarien bis 2020: Wärmebedarf der Kleinverbraucher“ (vgl. [87]) herangezogen, dabei wurde mit dem Modell „ERNSTL“<sup>1</sup> der Energieeinsatz von Gebäuden für Wärmezwecke, mittels Bottom-up Strategie, anhand disaggregierter Gebäudekenngrößen berechnet.

Kalibriert wird das Modell mit disaggregierten Gebäude- und Endenergiedaten aus Mikrozonen bzw. den Energiebilanzen für Österreich der Statistik Austria. Als Stützperiode dient der Zeitraum 2002 bis 2006.

Das Modell „ERNSTL“ ist ein betriebswirtschaftlicher Optimierungsalgorithmus, welcher bei jedem Zeitschritt Maßnahmen betreffend der Änderung der Gebäudehülle oder des Heizungs- bzw. Raumwärmesystems auf deren Wirtschaftlichkeit überprüft und daraus Entscheidungen nach dem Prinzip der Kostenminimierung trifft. Weitere mögliche Zielfunktionen im Modell sind eine Minimierung der sozialen Kosten, des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes

---

<sup>1</sup> ERNSTL steht für Energetisches Raumwärme-Simulations-Tool

sowie des Energiebedarfs. Die verschiedenen Parameter und Ausgangsdaten des Modells werden in [87] beschrieben und dargestellt. Bei Wärmebereitstellungssystemen wird im Modell unterschieden zwischen Warmwasseraufbereitung und Raumwärmebereitstellung.

Für diese Bewertungen werden folgende Ausgangsdaten genutzt:

- Anzahl und Entwicklung der Hauptwohnsitz-Wohnungen bis zum Jahr 2050 für Einfamilienhäuser (**EFH**) und Mehrfamilienhäuser (**MFH**) unterteilt in 12 Bauperioden (vor 1919, 1919-1945, 1945-1960, 1961-1970, ..., 2041 - 2050) und 3 Sanierungsgrade (unsaniert, 1x saniert, 2x saniert).
- Entwicklung der Energiekennzahlen für Wärme (Heizwärmebedarf ohne Warmwasser bzw. Wärmeverluste) in kWh/m<sup>2</sup> für die jeweiligen Wohneinheiten.
- Entwicklung des Endenergiebedarfs (beinhaltet Warmwasseraufbereitung und Verluste) in MWh/WE je Wohneinheit (**WE**) für oben angeführte Wohnungen

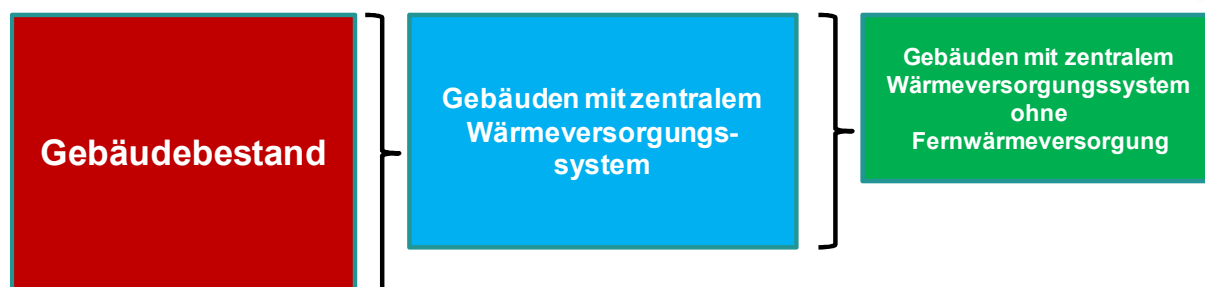
Die Definition der „Neubaurate“ im Modell, also wie viele Gebäude pro Zeitspanne neu gebaut werden, ist aus den Empfehlungen der Österreichischen Raumordnungskonferenz (**ÖROK**) abgeleitet worden (vgl. [88]).

Die „Sanierungsrate“ im Modell bezieht sich auf Maßnahmenbündel, die einer umfassenden Sanierung entsprechen und liegt bei etwa 1 % p.a (siehe [87]) Dies liegt unter den allgemeinen Einschätzungen, weil nur „umfassende Sanierungen“ berücksichtigt wurden.

Unterschieden wird im Haushaltssektor zwischen Einfamilienhäusern (**EFH**) und Mehrfamilienwohnhäuser (**MFH**). Die Einfamilienhäuser beinhalten sogenannte Ein- und Zweifamilienhäuser, also Wohngebäude die in freistehender Bauweise errichtet wurden. Einfamilienhäuser sind, was die Brutto-Gebäudefläche (**BGF**) anlangt, in der Regel größer als Wohnungen in Mehrfamilienwohngebäuden. Zusätzlich ist durch die freistehende Bauweise der Wärmeenergiebedarf größer als jener von Wohnungen in MFH.

Mehrfamilienwohnhäuser wurden unterteilt in Gebäude mit 4, 8, 16 und 30 Wohneinheiten. Diese Kategorien stellen ihrerseits einen Mittelwert über Gebäude mit ähnlich vielen Wohnungen dar.

Nach der Ermittlung des Gebäudebestands und der Wärmeentwicklung kommen dann nur Gebäude für Mikro-KWK Einsätze in Frage, die ein zentrales Wärmeversorgungssystem besitzen. Aus den Gebäuden mit zentralem Wärmeversorgungssystem kommen dann nur Wohnanlagen in Frage, die an keinem Fernwärmeversorgungsnetz angeschlossen worden sind. Die Ergebnisse bezüglich des Potentials der Mikro-KWK Technologien im Haushaltsektor befinden sich in Kapitel 4.2.



**Abbildung 1:** Methodische Vorgangsweise bei der Potentialerhebung im Haushaltsektor

### 2.1.2 Gewerbe

Die Gebäude der einzelnen Kategorien sind in den Wohnungszählungen der Statistik Austria als sogenannte Nichtwohngebäude (**NWG**) ausgewiesen. Ausgehend von der „Gebäude- und Wohnungszählung 2001“ (vgl. [93]) kann festgestellt werden, dass es im Jahr 2001 rund 282.257 Nichtwohngebäude gab, die 105.853 Wohnungen inkludierten (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Statistik Austria Gebäude- und Wohnungszählung 2001 – Hauptergebnisse Österreich mit besonderem Augenmerk auf Nichtwohngebäuden (siehe [93])

Wohnungen insg.	Gebäude insg.	davon Nichtwohngebäude	Whg. in Nichtwohng.
3.315.347	2.046.712	282.257	105.853

Nichtwohngebäude sind abhängig von ihrer überwiegenden Nutzung unterteilt in Kategorien, die sich mit den erwähnten Einsatzgebieten für Mikro-KWK teilweise decken. Die Nichtwohngebäuden werden unterteilt in:

1. Hotel oder ähnliche Gebäude,
2. Bürogebäude,
3. Groß- oder Einzelhandel,
4. Verkehr- oder Nachrichtenwesen,
5. Werkstätte, Industrie oder Lagerhalle,
6. Gebäude für Kultur, Freizeit, Bildung und
7. Sonstige Gebäude.

Die erwähnten statistischen Daten legen die Grundlage im Zusammenhang mit der zukünftigen Entwicklung der Gewerbebetriebe dar, da hier auf historischen Änderungen zurückgegriffen werden kann.

### Entwicklung des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser

Die Nutzenergieanalyse der Statistik Austria für die Jahre 2005-2008 dient als Datenbasis für die Aufteilung der Primärenergieträger auf deren Einsatzgebiete. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass nicht der gesamte energetische Endverbrauch für Raumheizung

aufgewendet wird, sondern nur etwa 30% (inkl. elektrischer Energie) auf diese Kategorie entfallen.

Für die weitere Vorgehensweise wurden 2 Faktoren aus den Mittelwerte der Jahre 2005 bis 2008 für die betrachteten Kategorien „Fernwärme“ sowie für „andere Energieträger“ ohne die Berücksichtigung von Fernwärme gesamt und elektrischer Energie definiert. Elektrische Energie wird deshalb nicht berücksichtigt, weil es de facto keine Elektro-Zentralheizungen gibt und die Warmwasserbereitung mittels Boiler oder Durchlauferhitzer vom Raumwärmebereitstellungssystem entkoppelt zu sehen ist.

**Tabelle 2: Energetischer Endverbrauch 2008 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien für Österreich (in TJ) (siehe [94])**

2008	Raum- heizung und Klima- anlagen	Dampfer- zeugung	Industrie- öfen	Stand- motoren	Traktion	Beleuchtung und EDV	Elektro- chemische Zwecke	Summe
Steinkohle	1.231	3.124	4.392	0	6	0	0	8.754
Braunkohle	729	0	1.886	0	0	0	0	2.615
Koks	2.077	0	7.782	0	0	0	0	9.860
Petrolkoks	0	0	1.245	0	0	0	0	1.245
Heizöl	8.517	2.092	3.382	15	0	0	0	14.006
Gasöl für Heizzwecke	65.796	823	4.528	43	0	0	0	71.190
Diesel	0	5	63	17.708	229.405	0	0	247.181
Benzin	0	2	0	223	75.766	0	0	75.991
Petroleum	2	0	9	187	31.405	0	0	31.602
Flüssiggas	4.548	20	1.037	523	839	0	0	6.968
Naturgas	71.302	47.408	59.131	522	10.413	0	0	188.777
Elektrische Energie	27.632	386	39.522	103.656	11.562	28.327	320	211.405
Fernwärme	54.167	163	7.841	0	0	0	0	62.171



Brennholz	55.328	528	7.612	0	0	0	0	63.468
Biogene Brenn- und Treibstoffe	16.763	24.586	8.166	771	17.023	0	0	67.310
Brennbare Abfälle	808	6.340	6.519	0	0	0	0	13.668
Umgebungswärme etc.	5.381	0	3.883	0	0	0	0	9.264
Gichtgas	0	0	0	0	0	0	0	0
Kokereigas	0	7	3.052	0	0	0	0	3.059
Brenntorf	4	0	0	0	0	0	0	4
Insgesamt	314.286	85.485	160.051	123.649	376.420	28.327	320	1.088.538

Aus der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria wurde ein Faktor von 86,87% definiert, welcher den Teil der eingesetzten Fernwärme zur Raumheizung und Warmwasserbereitung angibt. Ebenso wurde ein zweiter Faktor von 28,87% ermittelt, der festlegt welchen Teil die übrigen Energieträger (elektrische Energie wurde nicht berücksichtigt) an Raumheizung und Warmwasserbereitung einnehmen. Diese Faktoren dienen als Abschlagfaktoren, die den Anteil des jeweiligen Energieträgers an der Raumwärmebereitstellung darstellen sollen.

Dies dient in weiterer Folge dazu einen „Fernwärmeabschlagsfaktor“ für die Gebäude zu definieren, welche mit Fernwärme versorgt werden.

Dieser Faktor gibt aber streng genommen nur den Teil von Fernwärme am Gesamtenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasserbereitung an und nicht, welcher Teil der Gebäude wirklich mit Fernwärme versorgt wird.

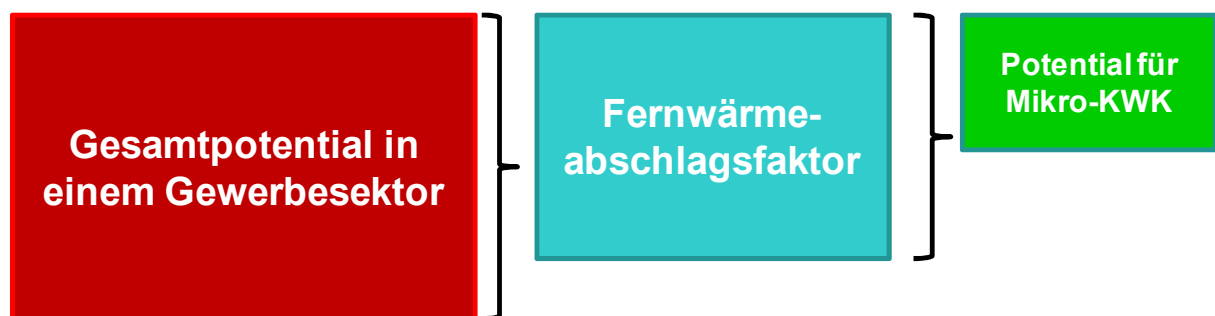
Die Berechnung des Wärmebedarfs der Objekte ist bezogen auf die Energiekennziffern, die aus unterschiedlichen Quellen stammen. Diese Kennzahlen werden mit mittleren Gebäudegrundflächen aus Studie [87] multipliziert (zusammengefasst in Tabelle 3). Daraus erhält man einen mittleren Gebäudewärmeenergiebedarf für ein oder mehr Mustergebäude einer Kategorie.

**Tabelle 3:** Durchschnittliche Grundfläche für unterschiedliche Gewerbesektoren

	Fläche Schnitt [m <sup>2</sup> ]
Schulen	1045
Krankenhäuser	3355
Sportstätten	680
Hotels groß	2413
Hotels klein	837
Büro groß	1992
Büro klein	335

Die Abschätzung der Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs der jeweiligen Sektoren erfolgt durch eine weitere Multiplikation des Gebäudeenergiebedarfs mit der Anzahl der Gebäude oder Betriebe. Die Effizienzverbesserung für die Betriebe, die für den Einsatz von Mikro-KWK Technologien in Frage kämen, wurde dem Verlauf von Mehrfamilienhäusern (Neubau) angepasst.

Die Abbildung 2 gibt eine schamtische Darstellung der Vorgangsweise bei der Ermittlung des Mikro-KWK Potentials im Gewerbesektor wieder.



**Abbildung 2:** Methodische Vorgangsweise bei der Potentialerhebung im Gewerbesektor

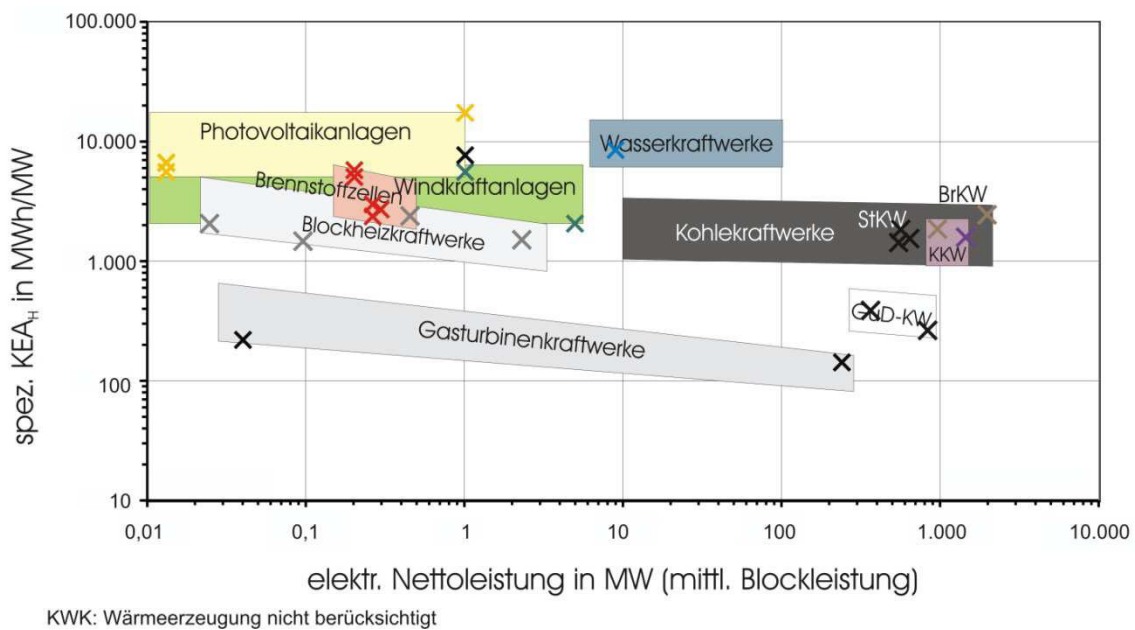
## 2.2 Bestimmung des kumulierten Energieaufwandes für die Herstellung von Mikro- KWK Anlagen

Um die optimale Anlagengröße von KWK-Anlagen bestimmen zu können, ist die Kenntnis über deren Energiebedarf während ihrer gesamten Lebensdauer notwendig. Dazu gehören neben dem Primärenergieverbrauch während der Nutzungsdauer auch der gesamte energetische Herstellungsaufwand der Anlagen, sowie der Energieaufwand für deren Entsorgung (der Energieaufwand für die Entsorgung wurde nicht im Betracht gezogen). Weiteres ist jener Energieaufwand zu berücksichtigen, der für die Bereitstellung der verwendeten Primärenergie aufzubringen ist. Die Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung der energetischen Herstellungsaufwendungen für unterschiedliche Stromerzeugungstechnologien. Dabei wurden die Kraftwerkstypen in konventionelle, regenerative und Mikro-KWK-Anlagen unterteilt. Der leistungsspezifische KEAH kann errechnet werden, indem die Herstellungsaufwendungen auf die daraus abgeleiteten installierten Leistungen bezogen werden.

**Tabelle 4:** Zusammenstellung der Herstellungsaufwendungen verschiedener Stromerzeugungstechniken (siehe [1] und [2]), eigene Berechnungen

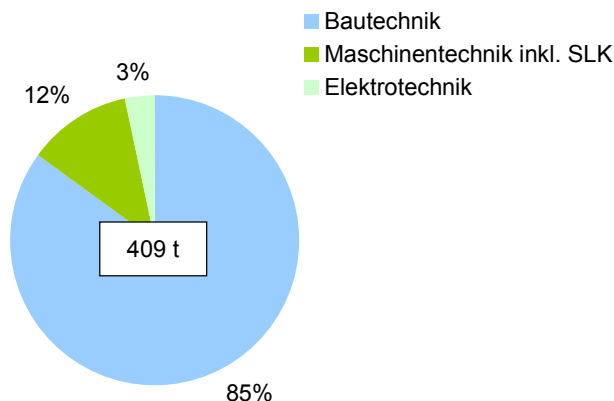
Anlage	Spezifikation	$P_{el,brutto}$ [MW]	KEA <sub>H</sub> [GJ]	Spez. KEA <sub>H</sub> [MWh/MW]
<b>Konventionelle KW</b>				
Kernkraftwerk		1.410	7.732.000	1.523
Braunkohlekraftwerk		978	6.722.000	1.909
Streinkohlekraftwerk		553	2.635.000	1.324
GuD-Kraftwerk		353	438.000	345
BHKW I		2	11.200	1.434
BHKW II		0,48	3.870	2.240
Laufwasserkraftwerk		9	280.000	8.547
ORC		1	266.443	7.734
Fossile KW	Erdgas-GuD	832,5	780.448	261
	Stk-DT	645	3.645.199	1.570
	Stk-DWSF	471	3.096.689	1.826
	Stk-IGCC	480	3.275.258	1.895
	Brk-IGCC	480	3.275.258	1.895
	Brk-DT	1.105	9.225.455	2.319
<b>Regenerative KW</b>				
Wind	Offshore WEA	5	38.479	2.138
PV	sc-Si	0,00312	63	5.609
	pc-Si	0,00312	67	5.989
	a-Si	0,00312	73	6.475
	CIS	0,00312	64	5.709

Der Herstellungsaufwand verschiedener Kraftwerkstypen ist in der Abbildung 3 bezogen auf die installierte Leistung - aufgezeigt. Die Herstellungsaufwendungen der Anlagen sind über deren elektrischer Leistung doppelt algorithmisch eingetragen. Man kann erkennen, dass der spezifische Herstellungsaufwand bei fast allen Anlagen mit zunehmender Leistung abnimmt. Lediglich bei stark modular aufgebauten Einheiten wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen, sowie bei Wasserkraftwerken, bleibt der spezifische KEA konstant. Zu beachten ist, dass bei dieser Berechnung auch die KWK-Anlagen wie reine Kraftwerke behandelt wurden. Der Herstellungsaufwand ist daher nicht auf Strom und Wärme aufgeteilt, sondern allein auf die elektrische Leistung bezogen.



**Abbildung 3:** Energiespezifische Herstellungsaufwendungen für verschiedene Stromerzeugungsanlagen (siehe [3], [4] und [5]), eigene Berechnungen

Das Massengerüst eines konventionellen BHKWs mit 0,48 MW stellt sich beispielsweise wie in der Abbildung 4 dar. Die Gesamtmasse der drei Bereiche der Bautechnik, Maschinenteknik und Elektrotechnik beträgt 409 t.

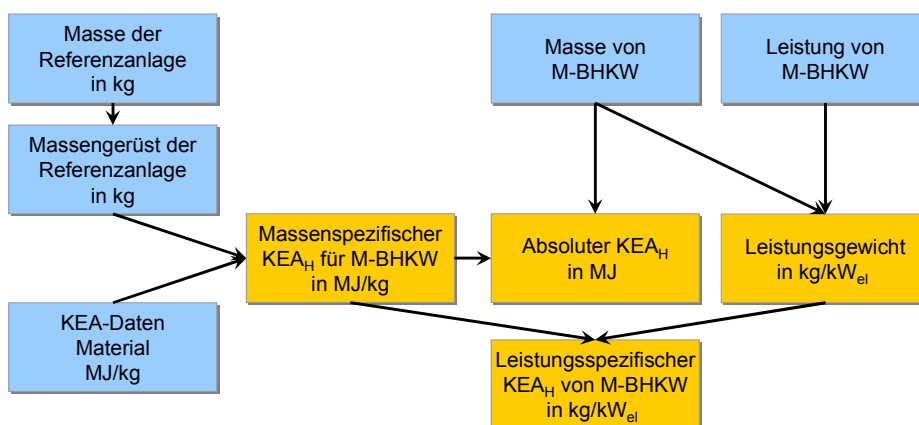


**Abbildung 4:** Massenzusammensetzung BHKW 0,48 MW (vgl. [4])

Mit 85 % der Masse nimmt die Bautechnik, d.h. Gebäude und Fundamente, den größten Anteil ein. Auch in der Zusammensetzung der Maschinen- und Elektrotechnik sind Komponenten berücksichtigt, die für großtechnische Anwendungen notwendig sind. Spitzenlastkessel, Mittelspannungsschaltanlagen und Transformatoren sind beispielsweise in Mikro-KWK-Anlagen nicht verbaut.

Zur Berechnung des  $KEA_H$  des Mikro-BHKWs wird daher nicht das Massengerüst der KWK-Anlagen mit großer Leistung herangezogen, sondern ein Gerät vergleichbarer Leistung als Referenzanlage angesetzt.

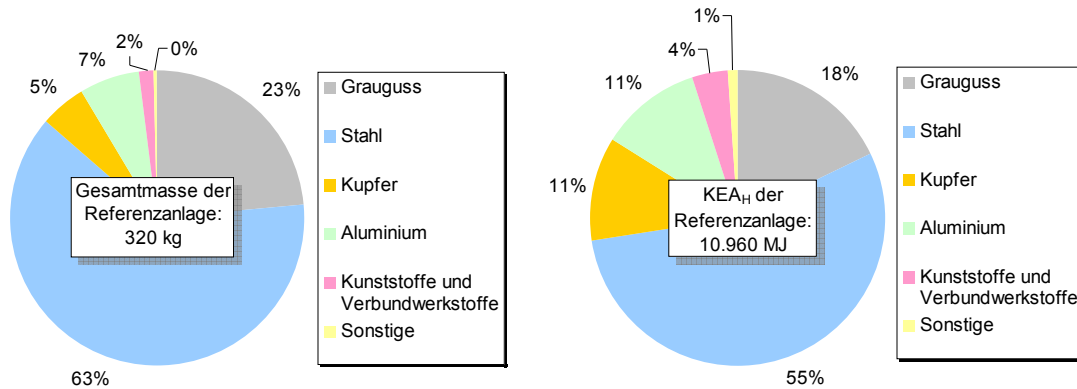
Das methodische Vorgehen zur Ermittlung des leistungsspezifischen  $KEA_H$  eines untersuchten verbrennungsmotorischen BHKWs ist in Abbildung 5 dargestellt. Da die Masse der Anlagen ein sehr guter Indikator für deren Herstellungsaufwand ist, wird zunächst ein massenspezifischer  $KEA_H$  für eine Referenzanlage berechnet. Als Basis zur Ermittlung der Massenanteile unterschiedlicher Materialien dient ein mobiler Stromerzeuger, der an der FfE detailliert untersucht wurde (siehe [6]).



**Abbildung 5:** Methodische Vorgehensweise zur Berechnung von energetischen Herstellungsaufwendungen für motorische Mikro-KWK Anlagen

Aus der Bilanzierung der Massenanteile des mobilen Stromerzeugers mit einer Leistung von 3,45  $kW_{el}$  ergibt sich ein massenspezifischer  $KEA_H$  von 34,25 MJ je Kilogramm eines

verbrennungsmotorischen BHKWs. Dieser Wert kann als charakteristisch für alle Mikro-BHKW angenommen werden, da die eingesetzten Materialanteile auch dort verbaut werden. Abbildung 6 zeigt die Massenzusammensetzung und den kumulierten Herstellungsaufwand der angesetzten Referenzanlage. Der größte Anteil sowohl der Masse als auch des  $KEA_H$  entfällt dabei auf Stahl, gefolgt von Grauguss. Kupfer und Aluminium haben zwar ein relativ geringes Gewicht, der Energieaufwand beträgt allerdings mehr als 20 % des gesamten  $KEA_H$  des Motors aufgrund des hohen massenspezifischen KEA von Kupfer und insbesondere Aluminium.



**Abbildung 6:** Massenzusammensetzung und  $KEA_H$  der Referenzanlage

Basierend auf dieser kurz beschriebenen Methode wird der spezifische, kumulierte Energieaufwand ( $KEA_H$ ) für verschiedene Mikro-BHKW Anlagen und Mikrogasturbinen in den Kapiteln 3.3.1 und 3.3.2 näher dargestellt. (siehe [1], [2], [3], [4], [5] und [6])

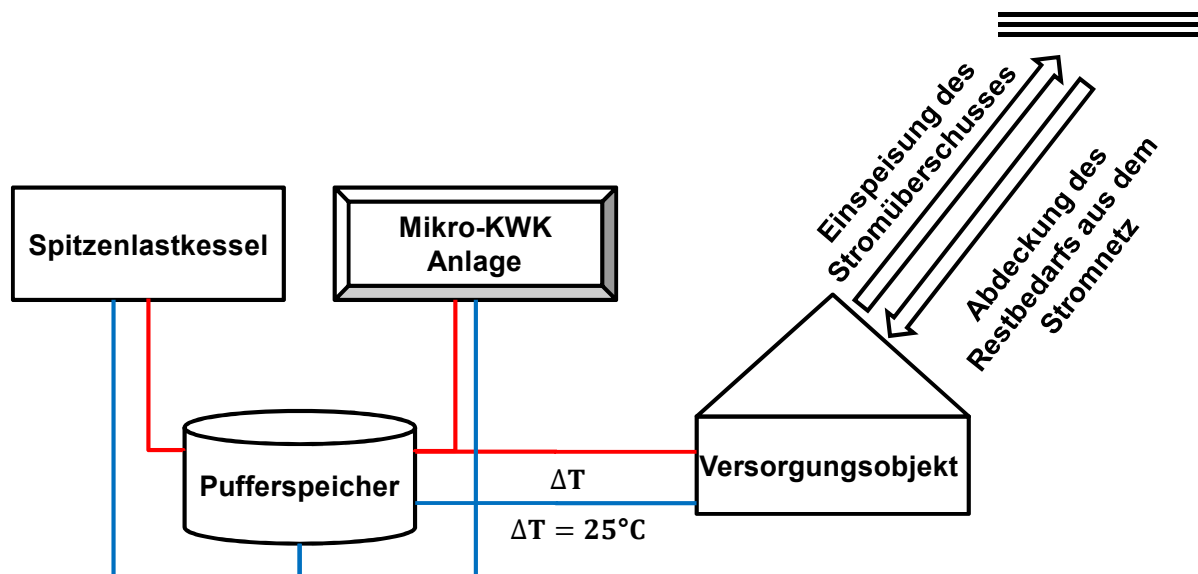
## 2.3 Wirtschaftliche und energetische Auslegung von Mikro-KWK Technologien

Die Auslegung einer Mikro-KWK Anlage für ein bestimmtes Objekt wird basierend auf zwei unterschiedlichen Strategien durchgeführt, welche die sich in die:

1. die wirtschaftliche Auslegung und
2. die energetische Auslegung unterteilen.

Die methodische Vorgangsweise bei der Ermittlung der Dimensionierungen und deren Unterschiede wird in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 näher beschrieben.

Die Grundlage für die erwähnten Auslegungen und die Analyse der Unterschiede hinsichtlich der Wärmegestehungskosten und Emissionseinsparpotentiale ist durch eine Simulation des wärmegeführten Betriebs der Mikro-KWK Anlage gegeben. Im Vergleich zu einem Referenzsystem (Wärmeversorgung mittels Kessels) wird bei der Betriebssimulation, die Wärmeversorgung des Objekts mit einem dualen System sichergestellt. Die Simulation des wärmegeführten Betriebs stellt Basisdaten für die Analyse der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung der Mikro-KWK Anlagen je Kundengruppe dar. Die Darstellung des dualen Systems wird in Abbildung 7 wiedergegeben. Die Wärmeversorgung des Systems wird mit einer Mikro-KWK Anlage und einem Spitzenlastkessel sichergestellt. Der Stromverbrauch des Objekts wird in erster Linie mit dem erzeugten Strom aus der Mikro-KWK Anlage abgedeckt. Der Stromzusatzbedarf des Objekts wird mittels Strombezugs aus dem Stromnetz abgedeckt.



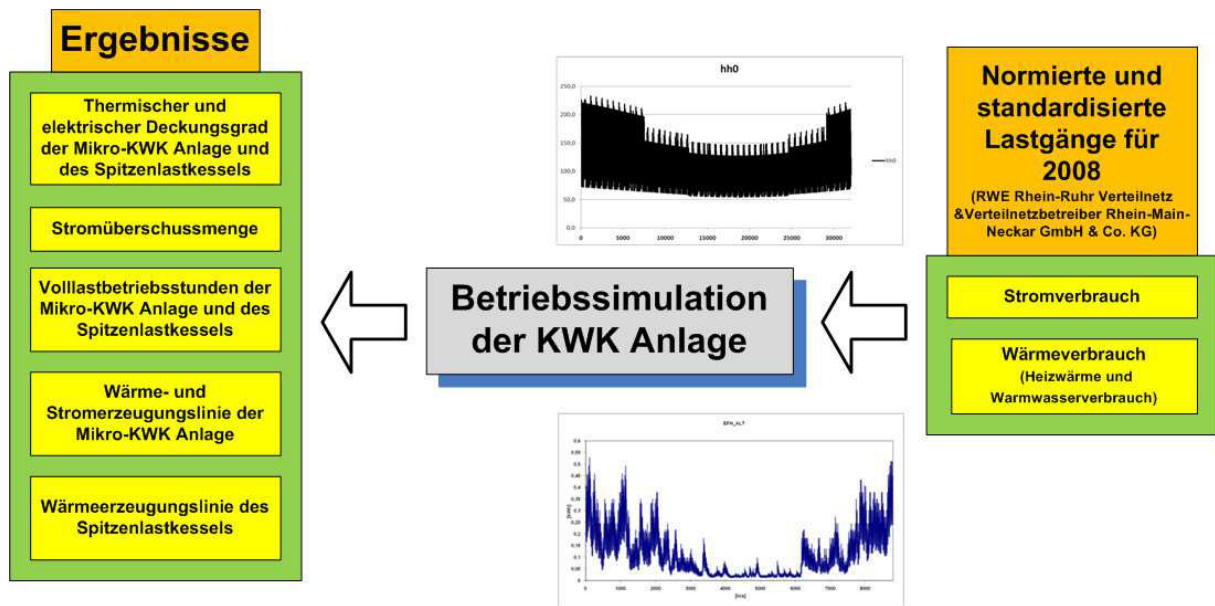
**Abbildung 7:** Schematische Darstellung des dualen Systems

Kapitel 2.3.1 beinhaltet eine detaillierte Beschreibung des Simulationstools und stellt den Betrieb des Systems bei der Wärmeversorgung des Objekts dar.

### 2.3.1 Simulationstool „KWK\_Cover“

Die schematische Darstellung des Simulationstools wird in Abbildung 8 gezeigt. Diese wird in 2 Bereichen unterteilt, die aus Eingangsparameter und einem Ausgabebereich bestehen. Die Beschreibung einer Kundengruppe basiert auf dem Wärmeverbrauchsverhalten des

Wärmeabnehmers. Die unterschiedlichen Verhalten der Kundengruppen werden mit verschiedenen Wärmelastprofilen (siehe Kapitel 3.4.1) hinterlegt. Im Zusammenhang mit der Abdeckung des Eigenstromverbrauchs des Abnehmers, wird zu dem Wärmelastprofil auch ein geeignetes Stromlastprofil (siehe Kapitel 3.4.2) für die Gesamtbeschreibung einer Kundengruppe herangezogen. Daher bilden die Wärme- und Stromlastprofile die Datengrundlage (Eingangsparameter) für die Durchführung der Simulation.



**Abbildung 8:** Schematische Darstellung des Simulationstools

In Anlehnung an die schematische Darstellung des dualen Systems in Abbildung 7, werden die Versorgungsprioritäten der Kunden wie folgt gereiht:

1. Wärme aus dem Pufferspeicher,
2. Betrieb der Mikro-KWK Anlage,
3. Zusatzversorgung mittels Spitzenlastkessels.

Der Pufferspeicher wird thermisch nur durch die Wärme der Mikro-KWK Anlage geladen. Dieser Speichereinsatz führt zur Erhöhung der Betriebsstunden [h/a] und vergrößert auch den Deckungsanteil der Mikro-KWK Anlage bei der Wärmeversorgung des Objekts. Das optimierte Volumen des Pufferspeichers vermindert die Anzahl der Ein- und Ausschaltzeitpunkte der Mikro-KWK Anlage pro Jahr. Daher kann die optimale Auswahl des Speichervolumens die Lebensdauer der Anlage und deren Wirtschaftlichkeit direkt beeinflussen. Die Vorlauftemperatur<sup>2</sup> der Mikro-KWK Anlage sollte hoch sein (65-90°C), um durch hohe Temperaturdifferenzen eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten. Die Rücklauftemperatur hingegen liegt aufgrund des zu versorgenden Objektes zwischen 20 bis 40°C. Der Unterschied zwischen Rücklauf- und Vorlauftemperatur für den Pufferspeicher liegt hier bei einem gemittelten Differenzwert von 25°C.

<sup>2</sup> Die Vorlauftemperatur ist die Wassertemperatur beim Verlassen der Mikro-KWK Anlage.



Mit der Auswahl der Mikro-KWK Anlagen und der Festlegung der Speichereigenschaften wird die Wärmeversorgung des Kunden mit dem vorhandenen dualen System simuliert. Die Simulation des Betriebs erfolgt für unterschiedliche Anlagengröße inklusive Variation des Speichervolumens. Die Simulationsergebnisse können mit folgenden Parametern beschrieben werden:

- Thermischer und elektrischer Deckungsgrad der Mikro-KWK Anlage und des Spitzenlastkessels,
- Stromüberschussmenge,
- Volllastbetriebsstunden der Mikro-KWK Anlage und des Spitzenlastkessels
- Wärme- und Stromerzeugungslinie der Mikro-KWK Anlage und
- Wärmeerzeugungslinie des Spitzenlastkessels.

Die resultierenden Parameter aus der Betriebssimulation bieten eine fundierte Datengrundlage für die wirtschaftliche und energetische Auslegung der Mikro-KWK Anlagen bezüglich der Wärmeversorgung einer Kundengruppe (siehe Kapitel 4.1).

### 2.3.2 Wirtschaftliche Auslegung

Im Rahmen der wirtschaftlichen Auslegung des dualen Systems erfolgt die Berechnung nach der Annuitätenmethode. Bei der Ermittlung der Wärmegestehungskosten des Systems werden folgende Kostendaten herangezogen:

- Investitionskosten für die Mikro-KWK Anlage und den Pufferspeicher,
- Kosten der Inbetriebnahme der Mikro-KWK Anlage,
- Instandhaltungskosten der Anlage,
- Investitions- und laufende Kosten für den Spitzenlastkessel.

#### Kosten für Mikro-KWK Anlage und Pufferspeicher

Die Investitionskosten, die Kosten der Inbetriebnahme und die Instandhaltungskosten der Mikro-KWK Anlagen werden in Gl. 1, Gl. 2 und Gl. 3 in Abhängigkeit zur installierten elektrischen Leistung der Mikro-KWK Anlagen beschrieben.

$$I_{KWK} = P_{el} * f_{INVEST}(P_{el}) \quad \text{Gl. 1}$$

$I_{KWK}$  : Investitionskosten für die KWK Anlage [€]

$P_{el}$ : Elektrische Leistung der KWK Anlage [kW]

$f_{INVEST}$ : Spezifische Investitionskosten [€/kW<sub>el</sub>]

$$I_{KWK,Inbetriebnahme} = P_{el} * f_{Inbetriebnahme}(P_{el}) \quad \text{Gl. 2}$$

$I_{KWK,Inbetriebnahme}$  : Investitionskosten für die Inbetriebnahme der KWK Anlage [€]

$f_{Inbetriebnahme}(P_{el})$  : Spezifische Kosten der Inbetriebnahme [€/kW<sub>el</sub>]

$$K_{Instand} = P_{el} * V_{KWK} * f_{Instand}(P_{el}) \quad \text{Gl. 3}$$

$K_{Instand}$  : Instandhaltungskosten [€/a]  
 $V_{KWK}$  : Vollastbetriebsstunden der Mikro – KWK Anlage [ ]  
 $f_{Instand}(P_{el})$  : Spezifischer Instandhaltungskosten [€/kWh<sub>el</sub>]

Die Gl. 4 beschreibt die Investitionskosten des Pufferspeichers, die sich mit der Angabe des Volumens in Liter ergeben.

$$I_{Speicher} = V_{SP} * (13,24 * e^{-0,005044 \times V_{SP}} + 1,888 * e^{-0,0001702 \times V_{SP}}) \quad \text{Gl. 4}$$

$I_{Speicher}$  : Investitionskosten für den Pufferspeicher [€]  
 $V_{SP}$  : Volumen des Pufferspeichers [l] (vgl. Kapitel 3.2.2)

Die Jahresgesamtzahlungen für den Gasmotor und den Pufferspeicher, die aus erwähnten Kosten und passenden Annuitätsfaktoren berechnet werden, ergeben sich nach Gl. 5.

$$A_{KWK,Speicher} = \alpha_{KWK} * (I_{KWK} + I_{KWK,Inbetriebnahme}) + K_{Instand} + \alpha_{Speicher} * I_{Speicher} \quad \text{Gl. 5}$$

$A_{KWK,Speicher}$  : Annuität für die Kombination aus KWK Anlage und Pufferspeicher [€/a]  
 $\alpha_{KWK}$  : Annuitätenfaktor für die KWK Anlage [1/a]  
 $\alpha_{Speicher}$  : Annuitätenfaktor für den Pufferspeicher [1/a]

Die Berechnung der Wärmegestehungskosten bezieht sich in dieser Arbeit auf den gesamten Wärmeverbrauch des Kunden. Die Gl. 6 stellt den ersten Teil dieser Kosten, die sich aus der Kombination von Mikro-KWK Anlage und Pufferspeicher ergeben, dar.

$$K_{KWK,th} = A_{KWK,Speicher} / Q_{Bedarf} \quad \text{Gl. 6}$$

$K_{KWK,th}$  : Wärmegestehungskosten der KWK Anlage inklusive Pufferspeicher [€/kWh<sub>th</sub>]  
 $Q_g$  : Gesamter Wärmebedarf des Objekts [kWh/a]

### Kosten für den Spitzenlastkessel

Zur Berechnung der Wärmegestehungskosten für den Spitzenlastkessel sind ferner die Investitionskosten, laufende Kosten (siehe [7]) und Brennstoffkosten zu beachten.

$$K_{Kessel,Laufend} = I_{Kessel} * 0,005 \quad \text{Gl. 7}$$

$K_{Kessel,Laufend}$  : Laufende Kosten des Kessels [€/a]  
 $I_{Kessel}$  : Investitionskosten für den Kessel [€]

$$K_{Kessel,Gesamt} = (\alpha_{Kessel} * I_{Kessel} + K_{Kessel,Laufend}) / Q_{Bedarf} + K_{Brennstoff,Kessel} \quad \text{Gl. 8}$$

$K_{Kessel,Gesamt}$  : Wärmegestehungskosten für den Kessel [€/kWh<sub>th</sub>]

$K_{Brennstoff,Kessel}$  : Brennstoffkosten für den Kessel [€/kWh<sub>th</sub>]

### Stromeinnahmen

Im Gegensatz zum dualen System stehen den dargestellten Jahreskosten die vermiedenen Strombezugskosten aus dem Verbundnetz  $R_{EA}$  (Abdeckung des Eigenstromverbrauchs) und die Erlöse aus Stromeinspeisung in das Verbundnetz  $R_{\text{Überschuss}}$  gegenüber. Die Abdeckung des Eigenstrombedarfs wird mit dem Strompreis am Energiemarkt inklusive Steuern und Abgaben und die Überschussmenge mit dem Energiemarktpreis (Großhandelspreise) bewertet.

$$R_{EA} = P_{Eigen} * A_{Eigen,Strom} * W_{Eigenbedarf} \quad \text{Gl. 9}$$

$R_{EA}$ : Stromeinnahmen aus der Abdeckung des Eigenbedarfs [€/a]

$P_{Eigen}$ : Eigenstrompreis [€/kWh]

$0 < A_{Eigen,Strom} < 1$  : Deckungsanteil des Eigenbedarfs bezogen auf den jährlichen Stromverbrauchs des Objekts

$W_{Eigenbedarf}$  : Jährlicher Strombedarf des Objekts [kWh/a]

$$R_{\text{Überschuss}} = P_{\text{Großhandel}} * W_{\text{Überschuss}} \quad \text{Gl. 10}$$

$P_{\text{Großhandel}}$ : Großhandelspreis [€/kWh]

$R_{\text{Überschuss}}$  : Einnahmen durch Einspeisung des Stromüberschusses in das Verbundnetz

Die Berechnung der gesamten Einnahmen bezogen auf den Wärmebedarf des Wohnobjekts werden in Gl. 11 angeführt.

$$R = (R_{EA} + R_{\text{Überschuss}}) / Q_{Bedarf} \quad \text{Gl. 11}$$

$R$  : Gesamte Einnahmen bezogen auf den Wärmebedarf des Objekts [€/kWh<sub>th</sub>]

### Gesamte Wärmegestehungskosten

Die gesamten Wärmegestehungskosten des dualen Systems werden durch die Addition von Gl. 8 (Wärmegestehungskosten für den Spitzenlastkessel) und Gl. 12 (Wärmegestehungskosten für die Kombination von Mikro-KWK Anlagen und Pufferspeicher) berechnet.

$$K_{KWK,Gesamt} = K_{KWK,th} + K_{Brennstoff} - R \quad \text{Gl. 12}$$

$K_{KWK,Gesamt}$  : Wärmegestehungskosten für die Kombination von MikroKWK Anlage und Pufferspeicher [€/kWh<sub>th</sub>]

$$K_{System} = K_{KWK,Gesamt} + K_{Kessel,Gesamt} \quad \text{Gl. 13}$$

$K_{System}$  : Wärmegestehungskosten des dualen Systems [€/kWh<sub>th</sub>]

### 2.3.3 Energetische bzw. ökologische Auslegung

Aus Gl. 14 wird der primäre Energieeinsatz des Referenzsystems in Abhängigkeit vom Wärmebedarf des Kunden und des Wirkungsgrades des Kessels berechnet.

$$E_{Primäre,Ref} = Q_g / \eta_{Kessel} \quad \text{Gl. 14}$$

Die Berechnung des Energieaufwands für das duale System wird unterteilt in

- Den Energieaufwand für die Erzeugung der Wärme aus Mikro-KWK Anlage und Spitzenlastkessel, sowie den kumulierten Energieaufwand für die Herstellung der Mikro-KWK Anlage (siehe Kapitel 3.3) und den Pufferspeicher (vgl. Kapitel 3.3), bezogen auf die Lebensdauer der jeweiligen Anlagen und
- die Bewertung des produzierten Stroms.

Die Gl. 15 gibt die Berechnung für den ersten Teil des Energieeinsatzes beim dualen System an.

$$E_{Primäre,KWK,1} = \frac{Q_{KWK}}{\eta_{KWK}} + \frac{Q_{Kessel}}{\eta_{Kessel}} + \frac{E_{Herstellung,KWK}}{L_{KWK}} + \frac{E_{Herstellung,Speicher}}{L_{Speicher}} \quad \text{Gl. 15}$$

$Q_{KWK}$	: Wärmemenge aus der KWK Anlage
$\eta_{KWK}$	: Gesamter Wirkungsgrad der KWK Anlage
$E_{Herstellung,KWK}$	: Energieaufwand bei der Herstellung der KWK Anlage
$E_{Herstellung,Speicher}$	: Energieaufwand bei der Herstellung des Pufferspeichers
$L_{KWK}$	: Lebensdauer der KWK Anlage
$L_{Speicher}$	: Lebensdauer des Pufferspeichers

### Bewertung des Stroms

Der produzierte Strom ersetzt den vorhandenen Strom aus dem Stromnetz, wobei für die Bewertung die derzeitigen Grenzkraftwerktechnologien (Gaskraftwerke für die Peak Zeiten,

Braun- und Steinkohlekraftwerke für die Off Peak Zeiten) aus dem mitteleuropäischen Markt herangezogen werden.

Aus Gl. **16** wird der primäre Energiebedarf für die Erzeugung des Stroms von Mikro-KWK Anlage in Abhängigkeit vom gesamten Wirkungsgrad der Anlage berechnet. Die ersetzte Strommenge aus dem Verbundnetz wird in Gl. **17** wiedergegeben, wobei auch ein Verlustfaktor von 5 % in Zusammenhang mit der Abdeckung des Eigenstrombedarfs des Objekts berücksichtigt wird.

$$W_{\text{Primär},\text{KWK},\text{Strom}} = \frac{W_{el}}{\eta_{\text{KWK}}} \quad \text{Gl. 16}$$

$W_{el}$  : Produzierte Strommenge [kWh]

$$W_{\text{Primär},\text{Stromnetz}} = (1 + 0,05 * A_{\text{Eigen}}) * W_{el} * \left[ \frac{A_{\text{GasKW}}}{\eta_{\text{CCGT}}} + \frac{A_{\text{BK}}}{\eta_{\text{BK}}} + \frac{A_{\text{SK}}}{\eta_{\text{SK}}} \right] \quad \text{Gl. 17}$$

$0 < A_{\text{Eigen}} < 1$  : Deckungsanteil des Eigenbedarfs bezogen auf gesamte Erzeugung

$0 < A_{\text{GasKW}} < 1$  : Deckungsanteil für den Strom aus Gaskraftwerken (PEAK)

$0 < A_{\text{BK}} < 1$  : Deckungsanteil für den Strom aus Braukohlekraftwerken (OFF PEAK)

$0 < A_{\text{SK}} < 1$  : Deckungsanteil für den Strom aus Steinkohlekraftwerken (OFF PEAK)

Die Differenz zwischen Gl. **16** und Gl. **17** ergibt den Anteil am eingesparten primären Energieeinsatz, der durch die Stromproduktion der Mikro-KWK Anlagen entsteht.

$$\Delta_{\text{Strom}} = W_{\text{Primär},\text{Stromnetz}} - W_{\text{Primär},\text{KWK},\text{Strom}} \quad \text{Gl. 18}$$

Der gesamte primäre Energiebedarf des dualen Systems, dass eine sichere Wärmeversorgung des Kunden über ein Jahr gewährleistet, wird mit Gl. **19** dargestellt.

$$E_{\text{Primär},\text{KWK}} = E_{\text{Primär},\text{KWK},1} - \Delta_{\text{Strom}} \quad \text{Gl. 19}$$

Der Vergleich der Gl. **14** mit Gl. **19** gibt Informationen über die eingesparte Energiemenge mittels Einsatz einer Mikro-KWK Anlage im Vergleich zum Referenzsystem. Dadurch kann die Auslegung der Mikro-KWK Anlage für eine bestimmte Kundengruppe mit dem geringsten Energieeinsatz im Vergleich zum Referenzsystem berechnet werden.

### 3 Datengrundlage

#### 3.1 Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung Technologien

Die Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (Mikro-KWK) stellt eine effiziente Technologie zur Bereitstellung von Wärme und Strom im kleinen Leistungsbereich dar. Sie ermöglicht dezentrale Wärme- und Stromversorgung ohne Fernwärmenetz und vermeidet dadurch thermische Übertragungsverluste.

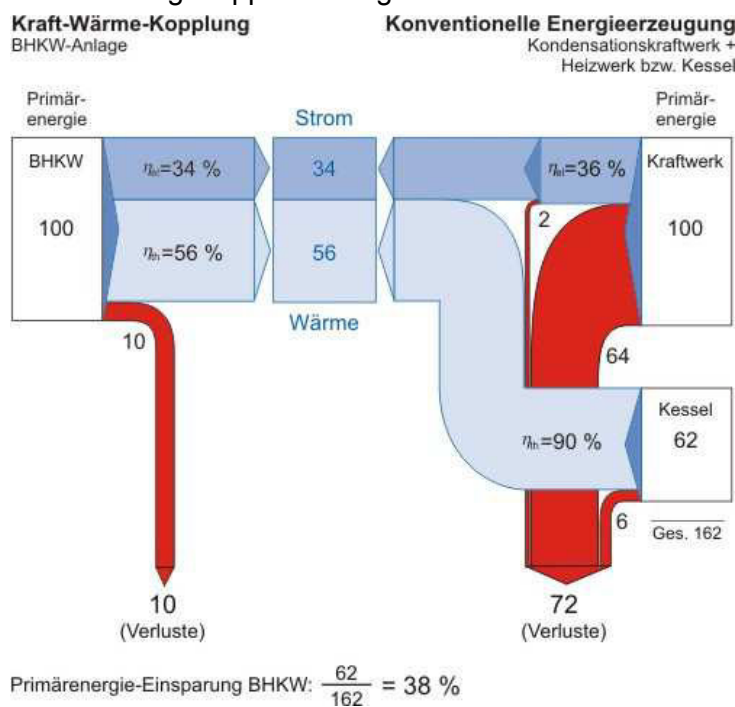
In den folgenden Kapiteln wird die Mikro-KWK Technologie definiert, projektspezifische Abgrenzungen festgelegt und die untersuchten Technologien zur Energieumwandlung (Kraftmaschinen) aufgelistet.

##### 3.1.1 Definition Mikro-KWK

Nach [8] wird Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) folgendermaßen definiert:

*„Kraft-Wärme-Kopplung` die gleichzeitige Erzeugung thermischer Energie und elektrischer und/oder mechanischer Energie in einem Prozess;“*

Die Richtlinie, 2004/8/EG, zitiert in Literaturquelle [8] soll der Förderung einer "am Nutzwärmebedarf orientierten hocheffizienten" KWK dienen. Eine KWK gilt dann als hocheffizient, wenn eine Primärenergieeinsparung zum Beispiel durch Reduzierung von Netzwerkverlusten erreicht wird. Dadurch ergibt sich eine Emissionsreduktion und bei dezentralen KWK- Anlagen eine Erhöhung der Versorgungssicherheit von Wärme und Strom. In der schematischen Darstellung in Abbildung 9 wird der Vorteil, der besseren Brennstoffausnutzung der gekoppelten Erzeugung, ersichtlich. Das Beispiel geht dabei von gleichem Brennstoffeinsatz für gekoppelte und getrennte Strom- und Wärmeerzeugung aus.



**Abbildung 9:** Effizienz der Kraft-Wärmekopplung

Mikro-KWK Anlagen sind kleine, kompakte, anschlussfertige, standardisierte und meist wärmegeführte Technologien zur Bereitstellung von Wärme und Strom. Vereinfacht werden sie auch als Heizanlagen bezeichnet, die als Nebenprodukt Strom erzeugen. Mikro-KWK Anlagen werden anschlussfertig für Brennstoffzufuhr, Vor- und Rücklaufanschluss für Heizungswasser und Strombereitstellung für Netzeinspeisung angeboten und verkauft. Weitere Synonyme sind Mikro-Blockheizkraftwerke, Motor-Heizkraftwerk oder Heizkraft-Anlage. Beispielhaft ist in Abbildung 10 ein Stirlinggenerator dargestellt, der die charakteristischen Merkmale einer Mikro-KWK-Anlage erfüllt.



**Abbildung 10:** Beispielhafte Darstellung einer Mikro-KWK-Anlage [9]

Wie die Bezeichnung „Mikro“ schon andeutet, ist das entscheidende quantitative Bewertungskriterium von Mikro-KWK-Anlagen die elektrische Leistungsgröße. Da eine obere Leistungsgrenze für Mikro-KWK Technologien bis zur Veröffentlichung der Richtlinie 2004/8/EG nicht einheitlich definiert wurde, finden sich in verschiedenen Literaturstellen unterschiedliche Grenzwerte. In Tabelle 5 sind abhängig von der Literatur unterschiedliche Leistungsabgrenzungen für Mikro-KWK-Anlagen definiert.

**Tabelle 5:** Leistungsabgrenzung von Mikro-KWK unterschiedlicher Literaturstellen

Literatur	Leistungsabgrenzung	Begründung
[8]	50 kW <sub>el</sub>	EU- weite Vereinbarung
[10]	15 kW <sub>el</sub>	In Anlehnung an eine dreiphasige Einspeisung ins Niederspannungsnetz.
[11]	15 kW <sub>el</sub> (200 kW <sub>el</sub> )	technologieabhängig (Mikrogasturbinen)
[12]	11 kW <sub>el</sub>	Die 11 kW <sub>el</sub> ergeben sich als kleinster gemeinsamer Nenner im europäischen Binnenmarkt.
[13]	20 kW <sub>el</sub>	durchschnittlicher Leistungsbereich in EU-Länder für Mikro-KWK
[14]	10 kW <sub>el</sub> (100 kW <sub>el</sub> )	technologieabhängig (Mikrogasturbinen)
[15]	10 kW <sub>el</sub> (250 kW <sub>el</sub> )	Vereinbarung, technologieabhängig (Mikrogasturbinen)

Auch in Abhängigkeit verschiedener EU-Länder werden unterschiedliche Leistungsabgrenzungen für Mikro-KWK definiert. Die Grenzwerte richten sich zum einen Teil nach der Definition von Anlagenherstellern und zum anderen Teil an länderspezifischen Einspeisetarifen oder Genehmigungsvoraussetzungen.

**Tabelle 6:** Leistungsabgrenzung von Mikro-KWK in EU-Mitgliedsstaaten [13]

Länder	Leistungsabgrenzung [kW <sub>el</sub> ]	Begründung
England	10	Herstellerdefinition
Frankreich	36	EDF – Tarif (Electricité de France)
Austria	25	Genehmigungsverfahren
Belgien	1 - 5	Herstellerdefinition

### 3.1.2 Projektspezifische Abgrenzung

Folgende projektspezifische Abgrenzungen werden für die im Projekt Mikro-KWK betrachteten Technologien herangezogen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Technologien zur Strom und Wärmezeugung, welche die Kriterien nicht erfüllen, nicht untersucht werden.

1. Nur Technologien, die definitionsgemäß eine gleichzeitige Erzeugung thermischer Energie und elektrischer und/oder mechanischer Energie in einem Prozess ermöglichen, werden betrachtet [8].
2. Die Anlagen müssen als wärmegeführt ausgelegt sein, dass heißt der Wärmebedarf steuert die Betriebsweise der Anlage.
3. Die in den Mikro-KWK Anlagen erzeugte Nutzwärme richtet sich nach dem wirtschaftlich vertretbaren Wärme- und/oder Kühlbedarf. Der „wirtschaftlich vertretbare Bedarf“ ist jener Bedarf, der die benötigte Wärme- oder Kühlleistung nicht überschreitet und der sonst durch andere Energieproduktionsprozesse als KWK zu Marktbedingungen decken würde [8].
4. Für das Projekt „Mikro-KWK“ wird eine obere Leistungsabgrenzung für Mikro-KWK Anlagen von 50 kW<sub>el</sub> in Anlehnung an die RICHTLINIE 2004/8/EG (siehe [8]) festgelegt. Als Begründung dieser Festlegung sind folgende Punkte anzuführen:
  - Die RICHTLINIE 2004/8/EG ist eine EU-weit gültige Vereinbarung.
  - Der festgelegte Leistungsbereich schließt eine Vielzahl von definierten Leistungsabgrenzungen anderer Studien, mit Ausnahme der Leistungsabgrenzungen für Mikrogasturbinen, ein.
  - Die festgelegte Leistungsabgrenzung gilt als Grenzwert für den Zuschlag zur Einspeisevergütung von 5,11 ct/kWh nach [17] bis 31.12.2008 in Deutschland.
  - Mini-KWK Zuschuss durch die BMU-Klimaschutzinitiative für Neuanlagen mit einer Leistung bis maximal 50 kW<sub>el</sub>. Einen Bonus erhalten KWK-Anlagen mit besonders geringen Schadstoffemissionen.



Eine Definition einer sinnvollen unteren Leistungsabgrenzung der Mikro-KWK ist technologieabhängig und wird deshalb nicht allgemeingültig festgelegt.

5. Für die betrachteten Mikro-KWK Technologien gelten die in Kapitel 3.1.3 festgelegten Systemgrenzen und Definitionen der grenzüberschreitenden Energieströme.

### 3.1.3 Mikro-KWK Technologien

Unter dem Begriff Mikro-KWK Technologie ist in erster Linie die Technologie der Energieumwandlung von chemischer Brennstoffenergie über thermische Energie in mechanische bzw. elektrische Energie zu verstehen. Viele Mikro-KWK Technologien unterscheiden sich hauptsächlich durch die Arbeitsweise der verwendeten Kraftmaschine (Konversion von thermischer in mechanische Energie).

Die Kriterien für die Auswahl der Mikro-KWK Technologien sind jene in Kapitel 3.1.2 definierten, projektspezifischen Abgrenzungen. Diese Abgrenzungen schließen Technologien nicht aus, die als KWK-Anlagen über 50 kW<sub>el</sub> Nennleistung ausgereift sind, aber auch in der Nennleistungsgröße (Baugröße) bis 50 kW<sub>el</sub> präsent sind oder Marktpotential haben. Der Umfang der betrachteten Mikro-KWK Anlagen wird durch die maximale elektrische Nennleistung von 50 kW<sub>el</sub> begrenzt.

Weiters wird der verwendete Brennstoff der KWK Technologie nicht als Kriterium für die Technologieauswahl herangezogen.

Zu den im Projekt Mikro-KWK betrachteten Technologien zählen:

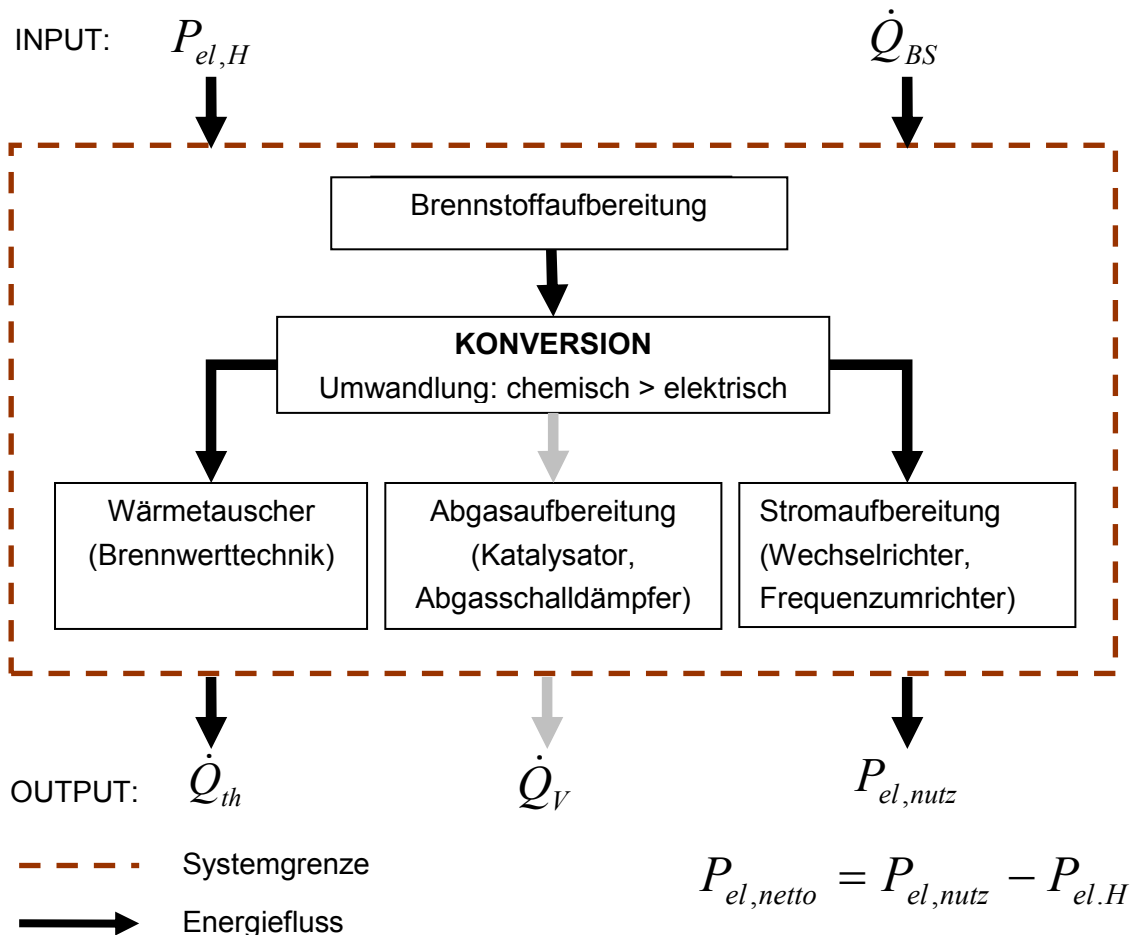
- Verbrennungsmotor
- Mikrogasturbine
- Stirling-Motor
- Brennstoffzelle
- Dampfmotor
- ORC-Prozess

Diese Technologien wurden ausgewählt, da sie sich zum Teil als KWK-Anlagen über 50 kW<sub>el</sub> bewährt haben und zum Teil als Mikro-KWK schon ausgereift am Markt verfügbar sind oder Marktpotential besitzen.

Die betrachteten Technologien sind laut Definition Mikro-KWK Technologien die in die KWK Richtlinie [8] fallen. Unberücksichtigt bleiben bei der KWK Richtlinie Technologien, die noch in den Anfängen der Entwicklung stehen und wo noch unsicher ist ob diese Technologien auch wirtschaftlich als Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden können. Zu den nicht betrachteten Technologien zählen: Thermoelektrik, Thermophotovoltaik und magnetothermische Energiewandlung.

### 3.1.4 Systemgrenzen

Eine Festlegung der Systemgrenzen einer Mikro-Kraft-Wärmekopplung ist entscheidend; einerseits für die Definition der Wirkungsgrade (grenzüberschreitenden Energieströme) und andererseits für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Istkosten). Die Systemgrenzen gelten für alle Technologien, die definitionsgemäß nach Kapitel 3.1.1 als Mikro-KWK bezeichnet werden. Dadurch ist ein Vergleich verschiedener Mikro-KWK Technologien möglich. In Abbildung 11 sind technologieunabhängig die Systemgrenzen einer Mikro-KWK beschrieben. Für die Bilanzierung werden die grenzüberschreitenden Energieströme des betrachteten Systems (INPUT und OUTPUT) herangezogen. Die betrachteten Energieströme treten dabei in chemischer, thermischer und elektrischer Form auf und werden als Leistungsgröße mit der Einheit Kilowatt (kW) definiert. Die Komponenten zur Aufbereitung und zur Umwandlung der Energieströme innerhalb der Systemgrenzen unterscheiden sich abhängig von der Technologie. Je nach Technologie werden Komponenten nicht benötigt und/oder treten in Kombination auf.



**Abbildung 11:** Systemgrenzen für die Bilanzierung von Mikro-KWK Anlagen

#### Brennstoffwärmeleistung $\dot{Q}_{BS}$

Der Brennstoff muss am freien Markt handelsüblich und kommerziell erwerbbar und im jeweiligen Aggregatzustand (fest, flüssig oder gasförmig) transportier- und lagerfähig sein. Die Brennstoffwärmeleistung ergibt sich aus dem Massenstrom  $\dot{m}_{BS}$  in kg/s, der Brennstoffförderung und aus dem unteren Heizwertes des Brennstoffes  $H_u$  in kJ/kg.

$$\dot{Q}_{BS} = \dot{m}_{BS} * H_u \quad \text{Gl. 20}$$

Beim oberen Heizwert wird auch jene Energie berücksichtigt, die im Falle einer Kondensation des im Abgas vorhandenen Wasserdampfes frei wird (Technologieabhängig).

### Elektrische Hilfsenergie $P_{el,H}$

Hilfsenergie wird für die Energieumwandlung und die Aufbereitung des Brennstoffes und der Nutzenergie benötigt. Elektrische Hilfsenergie für die Aufbereitung ist bei Brennstoffen notwendig, die vor der energetischen Nutzung noch chemisch oder physikalisch behandelt werden müssen. Zum Beispiel bei der Reformation von Erdgas in Wasserstoff für die Nutzung in Brennstoffzellen. Bei der Verbrennung ist elektrische Hilfsenergie für die Zuführung des Brennstoffes, den Abtransport der Verbrennungsrückstände, die Bereitstellung des für die Verbrennung notwendigen Sauerstoffes, die Regelung usw. erforderlich. Je nach Technologie ist elektrische Hilfsenergie für die Umwandlung von thermische in mechanische Energie notwendig. Hilfsenergie wird zum Beispiel für den Betrieb von Umwälzpumpen und zum Anfahren der Kraftmaschine verwendet.

### Verluste $\dot{Q}_v$

Als Verluste einer Mikro-KWK Anlage wird jener elektrische oder thermische Energieanteil bezeichnet, der bei der Umwandlung eines Brennstoffes entsteht und nicht genutzt wird. Weiters wird unvollständig verbrannter Brennstoff und ungenutzte Energie bei der Aufbereitung als Verlust definiert. Die Verluste treten in Form von Wärmeabstrahlung, Reibungsverluste (Kraftmaschine, Generator), Verluste durch unvollständige Verbrennung, Umwandlungsverluste durch den Wechsel- oder Frequenzumrichter und Abgasverluste auf. Wird die Wärme im Abgas durch Brennwertechnik genutzt, dann ist dieser Verlustanteil relativ gering. Die Verluste im Abgas entsprechen der Wärme, die in den Schornstein eingebracht wird und somit ungenutzt bleibt. Die Verluste im Abgas werden berechnet durch die Multiplikation des feuchten Verbrennungsgasstrom  $\dot{V}_f$  in  $[m_n^3/s]$ , der zugehörigen mittleren spezifischen Wärmekapazität  $C_{pm,Vf}$  in  $[kJ/(m_n^3 \cdot K)]$  und der Differenz zwischen Abgastemperatur  $T_{AG}$  in  $[K]$  und Raumtemperatur  $T_u$  in  $[K]$ .

Berechnung der Abgasverluste:

$$\dot{Q}_{V,AG} = \dot{V}_f * C_{pm,Vf} * (T_{AG} - T_u) \text{ [kW]} \quad \text{Gl. 21}$$

### Thermische Nutzleistung $\dot{Q}_{th}$

Die Thermische Nutzleistung ist der nutzbare Wärmeoutput einer Mikro-KWK Anlage mit ausreichend hohem Temperaturniveau und geeignetem Wärmeträgermedium (meist

Wasser). Das Temperaturniveau und das Wärmeträgermedium sind dann geeignet, wenn die Bedürfnisse für den Wärmenutzen (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme usw.) erfüllt werden können. Die thermische Nutzleistung wird berechnet aus dem Massenstrom des Heizkreislaufes  $\dot{m}_{WT}$  in [kg/s], der spezifischen Wärmespeicherkapazität des Wärmeträgermediums  $C_{pf}$  in kJ/(kg\*K) in Abhängigkeit der Temperatur und der Temperaturdifferenz zwischen Vorlauftemperatur  $T_{VL}$  in [K] und Rücklauftemperatur des Wärmeträgermedium  $T_{RL}$  [K].

Berechnung der thermischen Nutzleistung:

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m}_{WT} * C_p * (T_{VL} - T_{RL}) \text{ [kW]} \quad \text{Gl. 22}$$

### Elektrische Nutzleistung $P_{el,nutz}$

Die elektrische Leistung  $P_{el,nutz}$  beschreibt, wie viel elektrische Energie pro Zeiteinheit von der Mikro-KWK Anlage generiert wird. Die direkt an den Generatorklemmen anfallende Leistung wird als elektrische Bruttoleistung bezeichnet. Die elektrische Nutzleistung  $P_{el,nutz}$  entspricht jener Leistung, die in das Stromnetz eingespeist wird und/oder für externe Verbraucher zur Verfügung steht. Die elektrische Nutzleistung ist gegenüber der elektrischen Bruttoleistung um die Umwandlungsverluste der Stromaufbereitung reduziert. Die elektrische Nettoleistung ist gegenüber der elektrischen Nutzleistung, um die für den Betrieb der Mikro-KWK erforderliche elektrische Hilfsenergie reduziert.

Je nach KWK-Technologie und Generator (z.B. Asynchron- oder Synchrongenerator) sind verschiedene Komponenten zur Stromaufbereitung erforderlich. Innerhalb der Systemgrenzen für Mikro-KWK fallen alle Komponenten zur Stromaufbereitung, die notwendig sind um die elektrische Nutzleistung in das öffentliche Netz einspeisen zu können, an.

Für die bei Mikro-KWK überwiegend verwendete Leistungseinspeisung auf der 400-V-Drehstromebene mit 3 Phasen, ergibt sich für die Berechnung der Wirkleistung folgende Gleichung (elektrische Wirkleistung bei Drehstrom mit 3 Phasen):

$$P_{el,nutz} = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi) \text{ [W]} \quad \text{Gl. 23}$$

Der Leistungsfaktor  $\cos(\varphi)$  ist eine Apperatenkonstante des Generators und zumeist in den technischen Daten angegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass der Leistungsfaktor nicht konstant ist und beispielsweise bei Asynchrongeneratoren im Teillastbereich abnimmt.

### 3.1.5 Vergleich der Mikro-KWK Technologien

In diesem Kapitel werden die untersuchten Mikro-KWK Technologien unter verschiedenen Gesichtspunkten unter der Erwähnung der technologiespezifischen Fakten und Zahlen miteinander verglichen. Die Gegenüberstellung der Mikro-KWK Technologien wird in Anlehnung an [16] durchgeführt, wobei die erwähnte Quelle als Anhang zu diesem Endbericht bereitgestellt wird.

Die Aspekte, die hier verglichen werden, können wie folgt angegeben werden:

- Brennstoffe: Welche fossilen und regenerativen Brennstoffarten kommen für den wärmegeführten Betrieb der Mikro-KWK Technologien in Frage?
- Wo liegen die Vor- und Nachteile der Mikro-KWK Technologien, wobei Emissionen, Geräuschemissionen, Brennstoffflexibilität, Betriebserfahrungen, Wartungskosten, Zuverlässigkeit, Lebensdauer, elektrischer Wirkungsgrad, Gesamtwirkungsgrad, Teillast und Anfahrtszeit gegenübergestellt werden.
- Entwicklungsstand der Mikro-KWK Technologien, der mit einer Einteilung in Konzeptstadium, Laborstadium, Pilotstadium, Demonstrationsstadium und Marktreife einen Überblick über die technologischen Entwicklungen im Segment Mikro-KWK gewährt.
- Kostenvergleich der unterschiedlichen Technologien, der aus den Kosten des KWK Moduls, Kosten der Inbetriebnahme und betriebsgebundenen Kosten besteht.
- Die Lebensdauer der Anlagen und deren Vollastbetriebsstunden stellen den letzten Vergleichsparameter zwischen den Mikro-KWK Technologien dar.

## Brennstoffe

Die Verbrennungsmotoren können sowohl mit fossilen als auch mit regenerativen Energieträgern, dargestellt in Tabelle 7, betrieben werden. Regenerative Brennstoffe enthalten allerdings häufig Begleitstoffe, die den Motor schädigen, oder zu einer erhöhten Schadstoffemission im Abgas führen können. Beim Überschreiten der Grenzwerte während des Einsatzes dieser Brennstoffe ist gegebenenfalls eine Reinigung des Rohgases bzw. des Verbrennungsgases erforderlich.

Bei dem Einsatz von Biogas haben Mikrogasturbinen gegenüber Verbrennungsmotoren einen Vorteil. Der im Biogas enthaltene Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) führt im Gegensatz zur Mikrogasturbine in Verbrennungsmotoren zu höherem Wartungsaufwand und kürzerer Lebensdauer. Die Reaktion von Schwefelwasserstoff und Wasserdampf führt zu Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ), welche durch den Schmierölkreislauf in Verbrennungsmotoren zu den Lagern der Kurbelwelle gelangt und dort zu erhöhter Korrosion führt. Da bei Mikrogasturbinen Luftlager eingesetzt werden, ist diese Problematik nicht vorhanden.

Die Dampfkolbenmotoren, Stirlingmotoren und Mikro-KWK Anlagen mit ORC-Prozess können als Wärmequelle beliebige Brennstoffe im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand einsetzen, da die Verbrennung des Brennstoffes unabhängig vom Arbeitsprozess erfolgt.

Durch die Reformierung können Niedertemperaturbrennstoffzellen wie die PEMFC und PAFC neben Wasserstoff auch andere Brenngase wie Erdgas oder Methanol nutzen. Die Reformierung von Erdgas erfolgt mittels eines auf  $800^\circ C$  geheizten Reformierungsreaktors durch eine endotherme, katalytische Reaktion mit Wasserdampf. Es wird ein wasserstoffreiches Synthesegas gebildet, das noch Kohlendioxid und Kohlenmonoxid-Verunreinigungen enthält. Eine nachgeschaltete CO-Feinreinigung ist notwendig, um eine Zerstörung insbesondere von den Platinkatalysatoren (in PEMFC) zu verhindern. Ebenso kann Methanol reformiert werden, das unter anderem regenerativ aus Biomasse gewonnen wird. Hochtemperaturbrennstoffzellen wie die MCFC und die SOFC mit Betriebs-

temperaturen im Bereich von 600 bis 1000 °C erlauben eine interne Reformierung des Brennstoffs. Durch entsprechende Entschwefelung und Reformierung kann neben Wasserstoff auch Erdgas, Methanol, Biogas und Kohlegas in Brennstoffzellen eingesetzt werden.

**Tabelle 7:** Einsetzbare Brennstoffarten für unterschiedlichen Mikro-KWK Technologie

	Fossile Energieträger			Regenerative Energieträger		
	Erdgas	Flüssiggas	Heizöl	Bio-, Deponie- oder Klärgas	Biodiesel	Pflanzenöl
<b>Brennstoffzellen</b>	+			+		
<b>Verbrennungsmotoren</b>	+	+	+	+	+	+
<b>Mikrogasturbinen</b>	+	+		+		
<b>Dampfkolbenmotoren</b>	Brennstoffe im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand					
<b>Stirlingmotoren</b>	Brennstoffe im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand					
<b>ORC- Prozess</b>	Brennstoffe im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustand					

### Vorteile und Nachteile

Gegenüber Verbrennungsmotoren weist die Mikrogasturbine folgende Vorteile und Nachteile auf (vgl. [40]):

- + geringere Wartungskosten bei Wartungsintervallen von 6000 bis 8000 Betriebsstunden
- + niedrigere Schadstoffemissionen bei Vollast im Erdgasbetrieb
- + geringere Schall-Emissionen 65-70 dB(A) in 1m Abstand
- + geringes Gewicht und geringe Abmessungen,
- + kein Einsatz von Schmierstoffen
- - höhere spezifische Kosten
- - niedrigerer elektrischer Wirkungsgrad
- - größere Minderung der Leistung ab einer Aufstellungshöhe von rund 400 m über den mittleren Meeresspiegel
- - Da ein hoher Brennkammerdruck des Brennstoffes erforderlich ist (3,5 – 6 bar), ist der Einsatz eines Verdichters notwendig, wodurch der elektrische Wirkungsgrad um rund 1,7 % sinkt.

Der Vorteil von Dampfmaschinen gegenüber Mikrogasturbinen liegt in der geringeren Verdichtungsarbeit des Arbeitsmediums. Im Gegensatz zu Mikrogasturbinen wird bei Dampfmaschinen das Arbeitsmedium im flüssigen Aggregatzustand mit geringerem Energieaufwand verdichtet. Dadurch bleibt eine höhere Nettoenergie bei der Entspannungsarbeit erhalten. Weitere Vorteile des Dampfmaschinenmotors sind die Robustheit und Langlebigkeit, gutes Teillastverhalten und der modulare Aufbau. Gegenüber der Turbine ist der Dampfmaschinenmotor bezüglich der Temperatur und des Volumenstroms des Dampfes unempfindlicher.

**Tabelle 8:** Vor- und Nachteile der Mikro-KWK Technologien (vgl. [11], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [38], [33], [40], [42] und [58])

Kriterium	Bewertung					
	Verbrennungsmotoren	Mikrogasturbinen	Dampfkolbenmotoren	Stirlingmotoren	Brennstoffzellen	ORC-Prozess
Emissionen	(-)	(+)	(++)	(+)	(+++)	(+)
Geräuschemissionen	(-)	k.A.	(--)	(+)	(++)	k.A.
Brennstoffflexibilität	(-)	(--)	(+++)	(+++)	(-)	(+++)
Betriebserfahrungen	(+++)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)
Wartungskosten	(-)	(++)	(--)	k.A.	(~)	k.A.
Zuverlässigkeit	(+)	(+)	(++)	(++)	(-)	(+)
Lebensdauer	(++)	(+)	(+)	(++)	(-)	(++)
Elektrischer Wirkungsgrad	(+)	(-)	k.A.	k.A.	(+++)	(-)
Gesamtwirkungsgrad	(+)	(-)	(+)	(+)	(~)	(+)
Teillast	(+)	(+)	(++)	(+)	(+++)	(+)
Anfahrtszeit	(++)	(+)	k.A.	k.A.	(-)	k.A.
Wirtschaftlichkeit	(++)	(++)	k.A.	(++)	(---)	k.A.
Investitionskosten	(+)	(-)	(--)	(-)	(--)	(+)

Legende: (+) besser als andere Mikro-KWK Technologien; (++) wesentlich besser als andere Mikro-KWK Technologien (noch Optimierungspotential vorhanden); (+++) ausgereiftes Kriterium (kaum Optimierungspotential vorhanden); (-) schlechter als andere Mikro-KWK Technologien; (--) wesentlich schlechter als andere Mikro-KWK Technologien; (---) ungenügende Entwicklung (noch sehr hohes Optimierungspotential vorhanden); k.A. keine Angaben

Schwankungen der Dampfqualität, zum Beispiel bei der Verbrennung von Biomasse mit unterschiedlichem Wassergehalt, können durch Dampfkolbenmotoren besser verarbeitet werden, als durch Dampfturbinen. Ein geringer elektrischer Wirkungsgrad, hohe Wartungskosten und ein hoher Lärmpegel sind als Nachteil des Dampfkolbenmotors zu bezeichnen. Die Brennstoffzellen weisen mit den geringsten Emissionen, dem höchsten Wirkungsgrad und dem besten Teillastverhalten positive Effekte auf, wobei die Wirtschaftlichkeit der Anlagen aufgrund der hohen Kosten derzeit nicht gegeben ist.

## Entwicklungsstand

Tabelle 9 stellt die Entwicklungsstufen für unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien in verschiedenen Leistungsklassen dar. Die Technologie der Verbrennungsmotoren ist durch die jahrzehntelange Entwicklung in der Automobilindustrie ausgereift und auch als stationäre Anlage zur Energieumwandlung weit verbreitet. Verbrennungsmotoren werden preisoptimiert in Großserien mit hohen Qualitätsanforderungen für den KFZ- Bereich hergestellt. Abgestimmt auf den Wärmebedarf werden Verbrennungsmotoren mit geeigneter Abgasaufbereitung und Schallisolation zur Strom und Wärmeerzeugung eingesetzt. Durch die Nähe zur Fahrzeugtechnik liegen bei Verbrennungsmotoren in Mikro-KWK Anlagen auch Erfahrungen im Bereich Wartung und Lebensdauer vor. Der Einsatz von Mikrogasturbinen beginnend mit einer elektrischen Leistung von 28 kW<sub>el</sub> zur dezentralen Kraft-Wärme-Kopplung ist technologisch fortgeschritten. Eine Marktdurchdringung, vergleichbar mit dem Verbrennungsmotor ist allerdings nicht zu erkennen. Die Recherche zeigt, dass insgesamt 3 Hersteller Mikrogasturbinen für Mikro-KWK Anwendungen im Leistungsbereich von 28 bis 50 kW<sub>el</sub> am Markt anbieten. Mikrogasturbinen im Leistungsbereich bis 28 kW<sub>el</sub> befinden sich noch im Pilotstadium.

Durch die Anwendung und Erfahrungen in der Kraftwerkstechnik ist auch der Dampfkolbenmotor eine marktreife Technologie. Als Kraftmaschinen für Mikro-KWK Anlagen ist der Dampfkolbenmotor jedoch im Gegensatz zum Verbrennungsmotor kaum verbreitet. Seit 2006 ist ein Dampfkolbenmotor kombiniert mit einem Lineargenerator auf Basis eines geschlossenen Prozessdampfbetriebs am Markt präsent. Aufgrund seiner Leistungsgröße von 0,2 bis 3 kW<sub>el</sub> kann diese Entwicklung im EFH als stromerzeugende, wärmegeführte Heizung eingesetzt werden.

Neben Demonstrationsanlagen und Feldtestversuchen zahlreicher Entwickler von Stirlingmotoren für Mikro-KWK Anlagen haben bisher zwei Hersteller den Markteintritt in Europa geschafft. Im Jahr 2006 gab es weltweit etwas mehr als 20 Hersteller von Stirlingmotoren (vgl. [26]). Die kommerziell verfügbaren Mikro-KWK Anlagen mit Stirlingmotoren werden derzeit mit Erdgas oder Flüssiggas betrieben. Feste Biomasse als Wärmequelle für Stirlingmotoren wird derzeit in Pilotanlagen untersucht. Der Markteintritt ist in den nächsten Jahren zu erwarten. Der Entwicklungsstand von Stirlingmotoren ist zwischen Demonstrationsstadium und Marktreife, wobei sich die preisoptimierte Serienfertigung noch in der Anfangsphase befindet.

Die recherchierten Mikro-KWK Anlagen mit ORC Prozess sind Prototypen im Pilotstadium. Die Hersteller arbeiten zum Teil an seriennahen Produkten. Die mit der geringen Temperatur der Antriebswärme verbundene Abnahme des Wirkungsgrades erschwert jedoch den möglichen Markteintritt von Mikro-KWK Anlagen mit ORC Prozess. Ein potentieller Anwendungsbereich von ORC-Anlagen liegt in der Abwärmenutzung.

Der Entwicklungsstand von Brennstoffzellenheizgeräte im Leistungsbereich kleiner 50 kW<sub>el</sub> befinden sich zwischen Pilotstadium und Demonstrationsstadium. Außerdem müssen bei der Brennstoffzellenentwicklung noch funktionelle Fragen wie zum Beispiel die Materialauswahl



von Hochtemperaturbrennstoffzellen geklärt werden. Zukünftige Herausforderungen der Entwickler sind die Erhöhung der Lebensdauer, des elektrischen Wirkungsgrads und des Gesamtwirkungsgrads. Entscheidend für den kommerziellen Erfolg ist eine Reduktion der Kosten durch Integration und Systemvereinfachung (Reformer, Wasseraufbereitung, hydraulische Einbindung,...).

**Tabelle 9:** Recherchierte Mikro-KWK Technologien sortiert nach Leistungsklassen und Entwicklungsstufen

	Leistungsklasse kW <sub>el</sub>	<= 1	>1 - 5	>5 - 10	>10- 20	>20- 30	>30- 50	Anlagen pro Entwicklungsstufe
<b>Verbrennungsmotoren</b>	Marktreif	2	7	43	57	43	87	239
<b>Mikrogasturbinen</b>	Marktreif	0	0	0	0	4	5	9
	Demo	0	1	0	0	0	0	1
	Pilot	0	1	2	0	0	1	4
<b>Dampfkolbenmotoren</b>	Marktreif	0	1	0	1	0	0	2
	Demo	0	1	0	0	0	0	1
	Labor	1	2	0	0	0	0	3
<b>Stirlingmotor</b>	Marktreif	1	2	2	0	0	1	6
	Demo	2	7	2	0	0	0	11
	Pilot	5	0	1	0	1	1	8
	Labor	0	0	0	0	0	1	1
<b>Brennstoffzellen</b>	Demo	5	11	0	0	0	1	17
	Pilot	4	7	2	0	0	0	13
	Labor	1	5	0	0	0	0	6
	Konzept	2	2	0	0	1	1	6

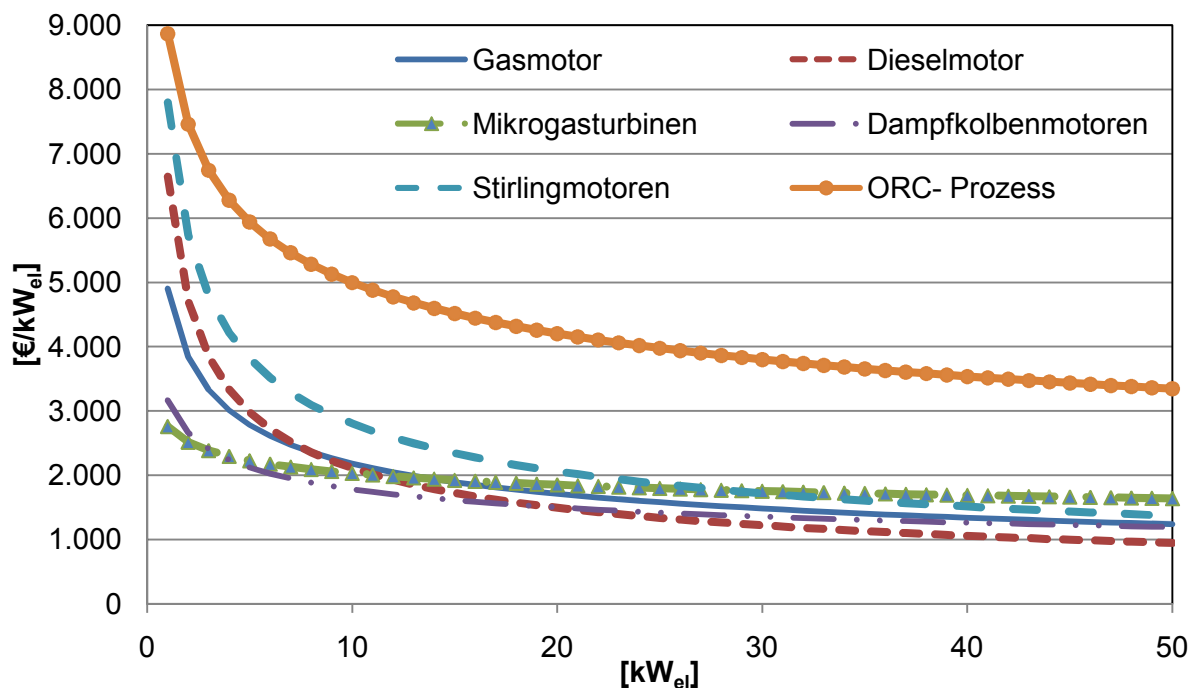
## Kostendaten: KWK-Modul

**Tabelle 10:** Spezifische Investitionskosten eines KWK-Moduls der unterschiedlichen Technologien; Preise exklusive MwSt (vgl. [25], [26], [27], [40], [41], [48], [54], [56], [57], [63] und eigene Berechnungen)

<b>Verbrennungsmotoren</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	2,1	10,5	20,5	39	55,7	83,2	
	Gasmotor	€/kW <sub>el</sub>	4.903	2.784	2.182	1.710	1.483	1.239	$Ko_{INV, spez} = 4902,6 * P_{el}^{-0,3515}$
	Dieselmotor		6.646	2.981	2.111	1.495	1.221	947	$Ko_{INV, spez} = 6645,7 * P_{el}^{-0,4981}$
<b>Mikrogasturbinen</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	3,4	16,2	31	56	75	95,2	
	KWK Anlage	€/kW <sub>el</sub>	7.761	3.728	2.531	1.852	1.755	1.639	$Ko_{INV, spez} = 2760,6 * P_{el}^{-0,1332}$
<b>Dampfkolbenmotoren</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	8,3	23,8	40	50,7	59,4	70,8	
	KWK Anlage	€/kW <sub>el</sub>	3.166	2.121	1.785	1.502	1.358	1.195	$Ko_{INV, spez} = 3166,4 * P_{el}^{-0,249}$
<b>Stirlingmotoren</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	3,6	15,2	25,3	46,6	62,9	81,5	
	KWK Anlage	€/kW <sub>el</sub>	7.799	3.815	2.804	2.061	1.721	1.372	$Ko_{INV, spez} = 7798,7 * P_{el}^{-0,4442}$
<b>Brennstoffzellen</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	1,8	8,7	16,9	31,3	43,3	60	
	KWK Anlage (PEMFC)	€/kW <sub>el</sub>	25.751	14.951	11.830	9.361	8.162	6.869	$Ko_{INV, spez} = 25751 * P_{el}^{-0,3378}$
<b>ORC- Prozess</b>	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50	
	Thermische Leistung	kW <sub>th</sub>	10,7	52,5	102,6	195,3	278,1	414,1	
	Datenermittlung	€/kW <sub>el</sub>	8.866	5.939	4.997	4.205	3.801	3.347	$Ko_{INV, ORC, spez} = 2,8 * Ko_{INV, DM, spez}$

Die Formeln für die spezifischen Investitionskosten der unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien wurden in Tabelle 10 dargestellt. Die Ermittlung jener Kosten der KWK-Module basiert auf den Daten der recherchierten Anlagen mit unterschiedlichen Technologien. In Abbildung 12 wird die graphische Darstellung der spezifischen Investitionskosten wiedergegeben. Der Vergleich zwischen Gasmotoren und Dieselmotoren (Verbrennungsmotoren) zeigt, dass sich die Kurven im größeren Leistungsbereich eindeutiger, zwischen teureren Gasmotoren und billigeren Dieselmotoren unterscheiden. Im Gegensatz dazu schwanken im Leistungsbereich kleiner 10 kW<sub>el</sub> die Kosten unabhängig vom eingesetzten Brennstoff.

Positiv auf die Modulkosten von Mikrogasturbinen für Mikro-KWK Anlagen wirkt sich aus, dass die Abwärme ausschließlich über die Abgase und einen Abgaswärmetauscher ausgekoppelt wird. Ein Wechselrichter und Rekuperator erhöhen die Investitionskosten einer Mikrogasturbine im Gegensatz zu einem Verbrennungsmotor. Dampfmotoren für Mikro-KWK Anlagen werden hauptsächlich für den Leistungsbereich bis 10 kW<sub>el</sub> entwickelt. Die verfügbaren spezifischen Herstellungskosten werden mittels einer Ausgleichfunktion für 50 kW<sub>el</sub> hochgerechnet. Stirlingmotoren sind derzeit überwiegend im Feldtest im Einsatz und werden daher vorerst noch in geringer Stückzahl gefertigt. Die Investitionskosten von Stirlingmotoren sind im Vergleich zu Verbrennungsmotoren vergleichsweise hoch. Ein wirtschaftlich konkurrenzfähiger Betrieb ist wohl erst mit hohen Produktionszahlen möglich. Brennstoffzellen stehen am Beginn der technologischen Entwicklung, weshalb die spezifischen Kosten noch sehr hoch sind. Bei heute veröffentlichten Investitionskosten handelt es sich vorrangig um Kosten für Prototypen bzw. Demonstrationsanlagen.



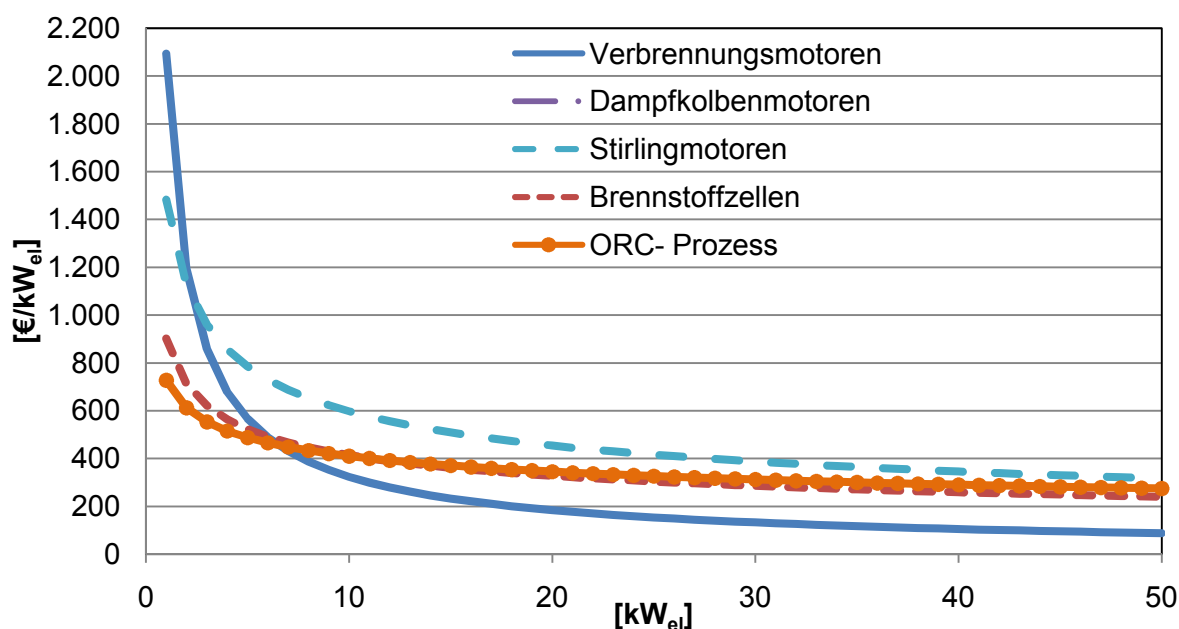
**Abbildung 12:** Graphische Darstellung der spezifische Investitionskosten von unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien

### Kostendaten: Inbetriebnahme

Die Kostendaten der Inbetriebnahme umfassen die Transport- und Montagekosten sowie die Kosten für den Probetrieb der Mikro-KWK Anlage. Die zuvor erwähnten Montagekosten beinhalten dabei die Kosten für die Systemadaption von Strom und Wärme. Da Kosten für Peripheriekomponenten, Planung, Versicherung und das Gebäude in dem die Anlage betrieben werden sollen vom Einsatzgebiet und Anwendungsfall abhängig sind, werden sie beim Kostenvergleich mit dem Fokus der Mikro-KWK Technologien ausgeklammert.

**Tabelle 11:** Spezifische Kosten für die Inbetriebnahme von unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien; Preise exklusiv MwSt. (vgl. [27], [45] und [47])

	Elektrische Leistung	$kW_{el}$	1	5	10	20	30	50
<b>Verbrennungsmotoren</b>	Inbetriebnahme	$€/kW_{el}$	$KO_{INB, spez} = 2093 * P_{el}^{-0,8111}$					
<b>Mikrogasturbinen</b>			20 bis 30 % der Gesamtkosten (KWK-Modul und Inbetriebnahme)					
<b>Dampfkolbenmotoren</b>			$KO_{INB, spez} = KO_{INV, spez} * 0,23$					
<b>Stirlingmotoren</b>			$KO_{INB, spez} = 1483,2 * P_{el}^{-0,3951}$					
<b>Brennstoffzellen</b>			$KO_{INB, spez} = KO_{INV, spez} * 0,035$					
<b>ORC- Prozess</b>			$KO_{INB, spez} = KO_{INV, spez} * 0,082$					



**Abbildung 13:** Graphische Darstellung der spezifische Kosten für die Inbetriebnahme von unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien

## Kostendaten: Betriebsgebundene Kosten

Jährliche betriebsgebundene Kosten sind Instandhaltungs- sowie Personalkosten. Da Mikro-KWK Anlagen vollautomatisch betrieben werden, können Personalkosten vernachlässigt werden. Die Instandhaltung umfasst die Wartung, die Inspektion und die Instandsetzung. Weitere Daten zur Berechnung der Betriebskosten sind die nötigen Wartungsintervalle, Stillstandszeiten und die Art des Brennstoffes. Die geplanten Stillstandszeiten für Wartung und Instandhaltung werden nach [19] mit 10 bis 11%, und die ungeplanten Stillstandszeiten mit 4 % bis 6 % für konventionelle Kraftwerke angegeben. Bei den Verbrennungsmotoren umfassen die sogenannten Vollwartungsverträge den Tausch von Verschleißteilen und Schmieröl nach Wartungsplan (Wartung) sowie Ersatzteile, Reparaturen und Störungsbehebung und eine Generalüberholung bei Vertragsende (Instandhaltung). Für den Betreiber entstehen bei Abschluss eines Vollwartungsvertrags keine weiteren Betriebskosten, mit Ausnahme der Brennstoffkosten. Konstruktionsbedingt benötigt eine Mikrogasturbine weniger Wartungsaufwand als Verbrennungsmotoren. Alle rotierenden Teile einer Mikrogasturbine sind auf einer luftgelagerten Welle angeordnet, wobei kein Schmiermittel für den Betrieb mehr nötig ist. Die Tabelle 12 stellt mit Formeln und Zahlenwerte die spezifischen Kosten eines Vollwartungsvertrags für verschiedenen Mikro-KWK Technologien dar.

**Tabelle 12:** Spez. Kosten eines Vollwartungsvertrags für verschiedenen Mikro-KWK Technologien; Preise exklusiv MwSt (vgl. [7], [25], [29], [38], [41], [45], [47], [56] und eigene Schätzungen bei Dampfkolbenmotoren und ORC- Prozess)

	Elektrische Leistung	kW <sub>el</sub>	1	5	10	20	30	50
<b>Verbrennungsmotoren</b>	Inbetriebnahme	c€/kWh <sub>el</sub>	$KO_{BG, spez} = 5,88 * P_{el}^{-0,27}$					
<b>Mikrogasturbinen</b>			$KO_{BG, spez} = 1,5943 * P_{el}^{-0,1173}$					
<b>Dampfkolbenmotoren</b>			5,0	3,6	3,0	2,5	2,20	2,0
<b>Stirlingmotoren</b>			$KO_{BG, spez} = 2,1182 * P_{el}^{-0,4156}$					
<b>Brennstoffzellen</b>				1,28	1,5			0,53
<b>ORC- Prozess</b>			5	3,6	3	2,5	2,2	2

## Kostentrends bis 2050

Die Prognose bezüglich der Kostenentwicklung für verschiedenen Mikro-KWK Technologien wird in Tabelle 13 wiedergegeben. Nach Abschätzungen von Quelle [35] werden im Jahr 2005, die spezifischen Investitionskosten eines 5,5 kW<sub>el</sub> Verbrennungsmotors bis zum Jahr 2050 um 600 €/kW<sub>el</sub> fallen. Die spezifischen Investitionskosten der Mikro-KWK (Verbrennungsmotor) mit 33 kW<sub>el</sub> liegen deutlich geringer und besitzen deshalb ein niedrigeres Kostenreduktionspotential. Nach Abschätzung der Quelle [35] werden im Jahr 2005 die spezifischen Investitionskosten einer 1,2 kW<sub>el</sub> Stirling-Anlage bis zum Jahr 2050 um 570 €/kW<sub>el</sub> fallen. Die spezifischen Investitionskosten der Stirling-Mikro-KWK mit 9 kW<sub>el</sub> sind geringer. Eine Reduktion von 511 €/kW<sub>el</sub> wird bis 2050 erwartet. Obwohl es mehrere mögliche Anwendungsgebiete für Mikrogasturbinen gibt, kann vom derzeitigen Wissensstand noch keine Aussage über die zukünftige Kostenentwicklung von Mikrogasturbinen getätigt werden. Diese gilt auch für den Bereich der Dampfkolbenmotoren und KWK-Anlagen mit ORC- Prozess.

**Tabelle 13:** Prognosen für die Kosten von Mikro-KWK Anlagen mit unterschiedlichen Technologien für die Jahre 2015, 2020 und 2050 (2005 = 100 %) (vgl. [35], [36] und [36] )

		Kostenprognosen	2005	2015	2020	2050
<b>Verbrennungsmotoren</b>	5,5 kW <sub>el</sub>	%	100	89	85	81
	33,3 kW <sub>el</sub>	%	100	94	93	89
<b>Stirlingmotor</b>	1,2 kW <sub>el</sub>	%	100	89	84	82
	9 kW <sub>el</sub>	%	100	93	86	82
<b>Mikrogasturbinen</b>	keine Aussage über die zukünftige Kostenentwicklung					
<b>Dampfkolbenmotoren</b>	keine Aussage über die zukünftige Kostenentwicklung					

Im Zusammenhang mit Brennstoffzellen werden nach Abschätzung der Quellen [41] und [54] im Jahr 2005 bis zum Jahr 2020 die spezifischen Investitionskosten einer 5 kW<sub>el</sub> Anlage von 18.000 €/kW<sub>el</sub> auf 4000 €/kW<sub>el</sub> reduziert (siehe Tabelle 14). Die größte Kostenreduktion von stationären Brennstoffzellen wird bereits bis zum Jahr 2015 erwartet.

**Tabelle 14:** Abschätzung zukünftiger Kosten einer Mikro-KWK Anlage mit Brennstoffzelle und 5 kW<sub>el</sub> elektrischer Leistung (Siehe [41] und [54])

<b>Mikro-KWK mit Brennstoffzelle</b>		2005	2015	2020	2050	Zielkosten
Referenzwerte 5 kW <sub>el</sub>	€/kW <sub>el</sub>	18.000	6.000	4.000	2.500	900
	%	100	33	22	14	5

### Volllaststunden und Lebensdauer:

Die Volllastbetriebsstunden und die Lebensdauer der unterschiedlichen Mikro-KWK Technologie und die dazugehörigen Quellen werden in Tabelle 15 wiedergegeben. Die Verbrennungsmotoren mit interner Verbrennung sind aus der Fahrzeugtechnik bekannt und ausgereift. Als Antriebsmotoren für diese KWK-Anlagen dienen meist umgebaute, oder für den Dauerbetrieb modifizierte Serienmotoren aus der PKW-, LKW- oder Schiffsmotorenproduktion, sowie Industriemotoren. Die Lebensdauer der Mikro-KWK Technologien liegt in einer Bandbreite von 10 bis 15 Jahren.

**Tabelle 15:** Volllastbetriebsstunden und Lebensdauer der unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien

	Volllaststunden [h]			Lebensdauer		Volllastbetriebsstunden [h/a]	
	von	bis	Quelle	[a]	Quelle	von	bis
<b>Verbrennungsmotoren</b>	40.000	100000	[33], [38]	15	[36]	2.667	5.333
<b>Mikrogasturbinen</b>	40.000	80.000	[15], [21], [33]	10	[26]	4.000	8.000
<b>Dampfkolbenmotoren</b>	40.000	80.000	Schätz- -werte	15	[21]	2.667	5.333
<b>Stirlingmotoren</b>	50.000	100.000	[51]	15	[36]	3.333	6.667
<b>Brennstoffzellen</b>	40.000	80.000	[7], [41]	15	[41]	2.667	5.333
<b>ORC- Prozess</b>	40.000	80.000	[62], [59]	15	Schätz- wert	2.667	5.333

## 3.2 Technische Rahmenbedingungen für die Integration der Mikro-KWK Anlagen

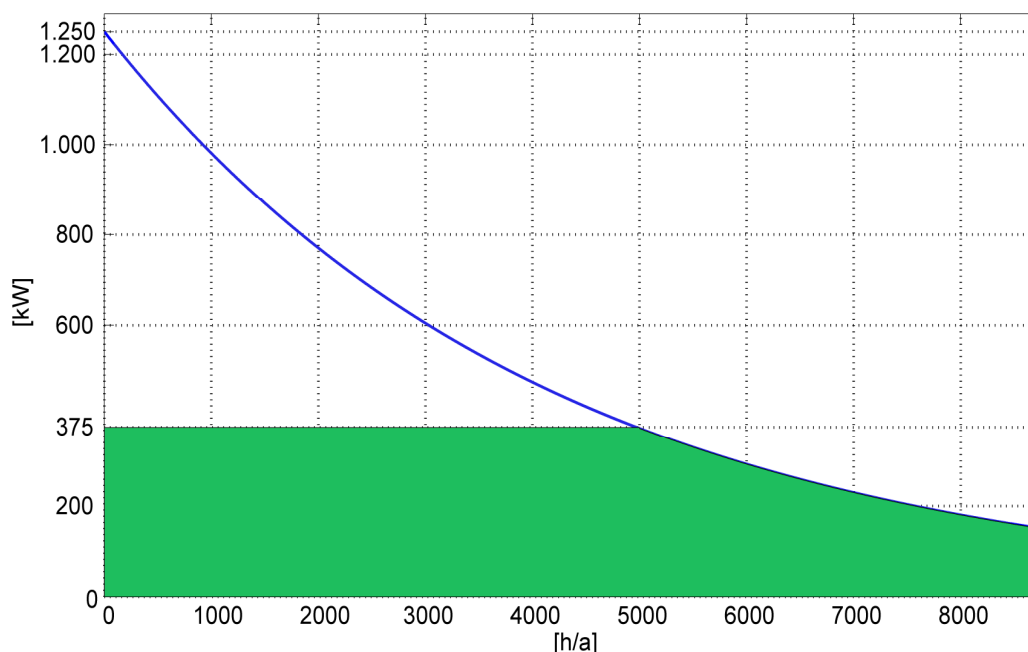
### 3.2.1 Schaltung und Regelung der Anlage

In Allgemeinen wird bei der Deckung des Wärmebedarfs mittels BHKW ein Zusatzkessel in das Wärmesystem für die Abdeckung der Lastspitzen integriert. Ebenso wird der Einsatz eines Wärmespeichers auch bei der Auslegung des Wärmesystems vorgesehen. Dieser Speicher führt zur Regelung der Betriebszeiten des BHKWs in Abhängigkeit der Wärmeauslastung des Speichers. Mit der Folge, dass die Betriebszeiten des BHKWs unabhängig von der Heizlast variiert werden können. Der Taktbetrieb des BHKW wird daher mittels einer, an den Wärmebedarf angepassten Speicherdimensionierung beim Abnehmer verringert. Dadurch kann die Lebensdauer der Anlage erhöht werden, wobei die Wärmeverluste aufgrund guter Isolierung meist vernachlässigt werden können. Bei einer angemessenen Speicherauslegung wird eine Modulierung der Anlagenleistung nicht mehr notwendig sein (vgl. [84]). Die hydraulische Kopplung von Wärmeerzeuger und Pufferspeicher kann in einer seriellen oder parallelen Anbindung erfolgen. Die Standardauslegung der Heizsysteme, basierend auf dem Vorhandensein von Zusatzkessel und BHKW, beruhen auf einer seriellen Anbindung zwischen Speicher und Wärmeerzeuger. Deshalb wird die erzeugte Wärme mittels Wärmeträger nur über den Speicher an den Endkunden geliefert.

### Thermische Auslegung des BHKW

Die Versorgung der Endkunden orientiert sich an deren Wärmebedarf, wobei das Verbrauchsverhalten über die Betriebscharakteristik eines BHKWs entscheidet. Nach [84] erreicht eine optimal dimensionierte Anlage eine Betriebsstundenzahl von 4.000 h/a bis 5.000 h/a. Um diese Bandbreite zu erreichen, orientiert sich die thermische Auslegung eines BHKWs für Wohngebäude nach dem maximalen thermischen Wärmebedarf des Abnehmers. Die thermische Leistung liegt somit in einer Bandbreite von 15 % bis 30 % des maximalen thermischen Wärmebedarfs (vgl. [85]). Bei Endkunden mit höherem Wärmebedarf, wie Hotels und öffentliche Einrichtungen, kann die Dimensionierung auf einem höheren Niveau liegen. Dafür zeigt Abbildung 14 die Dauerlastlinie des Wärmebedarfs eines Hotelunternehmens mit einem maximalen Wärmebedarf von 1.250 kW. Der Einsatz eines KWKs, mit einer thermischen Leistung von 375 kW<sub>th</sub>, kann 61,49 % des gesamten Wärmebedarfs abdecken. Diese Dimensionierung hat eine Volllastbetriebsstundenanzahl von 7.452 h/a zur Folge.





**Abbildung 14:** Thermische Auslegung eines BHKWs für ein Hotel nach maximalem Wärmebedarf

Die Tabelle 16 gibt den maximalen Wärmebedarf von Wohnungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Badewannen und Duschen an.

**Tabelle 16:** Angaben über maximalem Wärmebedarf für Miethäuser mit 3 bis 4 Zimmern, 3 bis 4 Personen und Wannenvollbad je Wohnung nach [86]

Anzahl der Wohnungen	1	2	4	6	8
Max. Wärmebedarf in kW	8	12	18	24	28

Für die Auslegung eines Mikro-KWKs werden die Daten der der Tabelle 16 herangezogen, da die punktuell auftretende Wärmeleistung für Warmwasseraufbereitung ein Vielfaches der Heizleistung eines Gebäudes ausmacht. Es ist zu erwähnen, dass die gesamte verbrauchte Wärme für Warmwasserbereitstellung, 20 % des Verbrauchs an Heizungswärme eines Wohngebäudes ausmacht. Dieser Anteil erhöht sich bei besserer Dämmung des Gebäudes auf bis zu 50 % (vgl. [86]). Eine lineare Interpolation der Daten ergibt einen maximalen Wärmebedarf von rund 64 kW für eine kumulierte Anzahl von 20 Wohnungen. Daher liegt es nahe, dass die installierte thermische Leistung des BHKWs nach [85], für 20 Wohnungen in einer Bandbreite von  $9,6 \text{ kW}_{\text{th}}$  bis  $19,2 \text{ kW}_{\text{th}}$  liegt.

### 3.2.2 Energiespeicher (Wärmespeicher)

#### Funktionsprinzip

Ausgehend von einem geeigneten Speichermedium wird die erzeugte Wärme im Ladevorgang dem Medium zugeführt. Die gespeicherte Energie wird dann durch die Temperaturabnahme (niedrigere Umgebungstemperatur) an das dafür vorgesehene Objekt beim Entladevorgang abgegeben. Die gespeicherte Menge an Energie verhält sich dabei proportional zum Volumen des Speichermediums.

#### Kurzzeitspeicher

Die spezifische Wärmekapazität eines Stoffes beschreibt die benötigte Wärme, um 1 kg Stoff um 1°C zu erwärmen. Im Zusammenhang mit der Beheizung von Gebäuden wird Wasser mit einer spezifischen Wärmekapazität von 4,1 kJ/m<sup>3</sup>K (Temperaturbereich 0 °C bis 100 °C) als Speichermedium verwendet. Dabei stehen die Verluste des Speichers, in direktem Verhältnis zur verfügbaren Oberfläche. In dieser Hinsicht wäre ein kugelförmiger Speicher die beste Bauform für einen Wärmespeicher, doch aufgrund der Verwendung von stabilen thermischen Schichten, werden in der Praxis zylinderförmige Speicher eingesetzt. Die Wärmeverluste im Speicher im Verlauf eines Tages betragen rund 0,5 % der gespeicherten Wärme ([64]).

Die Vorteile, die durch Einsatz eines Wärmespeichers hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Lebensdauer und Nutzungsgrad der KWK-Anlage entstehen, können im Zusammenhang mit der Gewährleistung einer Wärmeversorgungssicherheit erweitert werden. Bei angepasster Dimensionierung (bestimmt durch das Verbrauchsverhalten der Kunden) des Wärmespeichers wird die Wärmeversorgung, trotz technischen Ausfalls der Anlage, garantiert. Die Wärmeentnahme kann in diesem Fall über mehrere Stunden bis zu einigen Tage erfolgen ([65]).

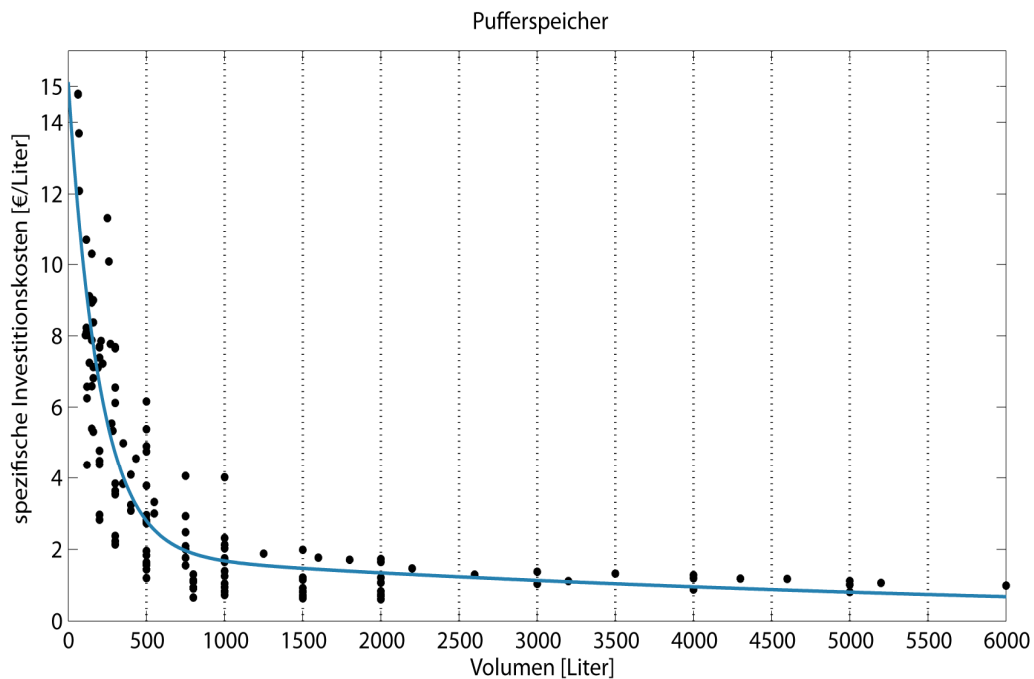
Für die Ermittlung der Investitionskosten der Wärmespeicher wurden die Produktkataloge verschiedener Unternehmen ausgewertet. Die Wärmespeicher in dieser Arbeit wurden dabei in die 2 Kategorien:

1. Pufferspeicher und
2. Kombispeicher

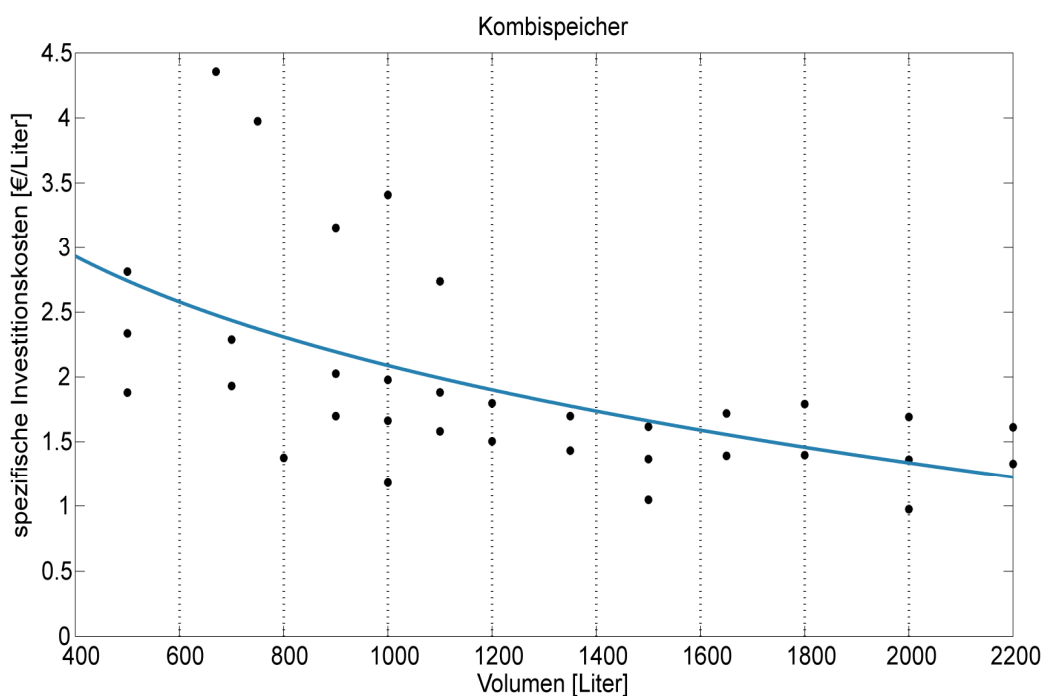
unterteilt.

Die Abbildung 15 stellt die spezifischen Investitionskosten der Pufferspeicher für verschiedene Volumina dar. Wie schon erwähnt, führt die Installation eines Pufferspeichers zur Reduktion des ungewünschten Taktbetriebs. Die Abrufbarkeit der thermischen Leistung der Mikro-KWK-Anlage über den Pufferspeicher in einem Zeitraum von 1 bis 2 Stunden dient als Grundlage für die Dimensionierung des Pufferspeichers (vgl. [85]). Die spezifischen

Kosten der Kombispeicher, dargestellt in Abbildung 16, deuten auf eine Konzentration der Speichervolumina ab 400 Liter hin.



**Abbildung 15:** Spezifische Investitionskosten der Pufferspeicher



**Abbildung 16:** Spezifische Kosten für Kombispeicher

### 3.2.3 Auslegung des Wärmespeichers für Wohngebäude

Für die Auslegung des Pufferspeichers wird von einer Temperaturdifferenz von rund 25 °C ausgegangen. Die Temperaturdifferenz resultiert aus der Differenzbildung zwischen maximaler Zulufttemperatur und minimaler Rücklufttemperatur. Für die Unterdrückung der hohen Taktbetriebe wird angenommen, dass der Speicher die Wärmeproduktion des BHKW bei voller Leistung, rund 2 h lang aufnehmen kann. Die Tabelle 17 stellt die dimensionierten Pufferspeicher für ausgelegte BHKW- Anlagen aus Kapitel 3.2.1, für eine Anzahl von 20 Wohnungen dar.

**Tabelle 17:** Auslegung des Pufferspeichers in Abhängigkeit der zur installierten thermischen Leistung des BHKWs für eine Anzahl an 20 Wohnungen

<b>Thermische Leistung des BHKWs [kW<sub>th</sub>]</b>	9,6	11,2	12,8	14,4	16	17,6	19,2
<b>Volumen des Pufferspeichers [Liter]</b>	700	800	900	1.000	1.100	1.200	1.300

Die Berechnung des Speichervolumens erfolgt nach

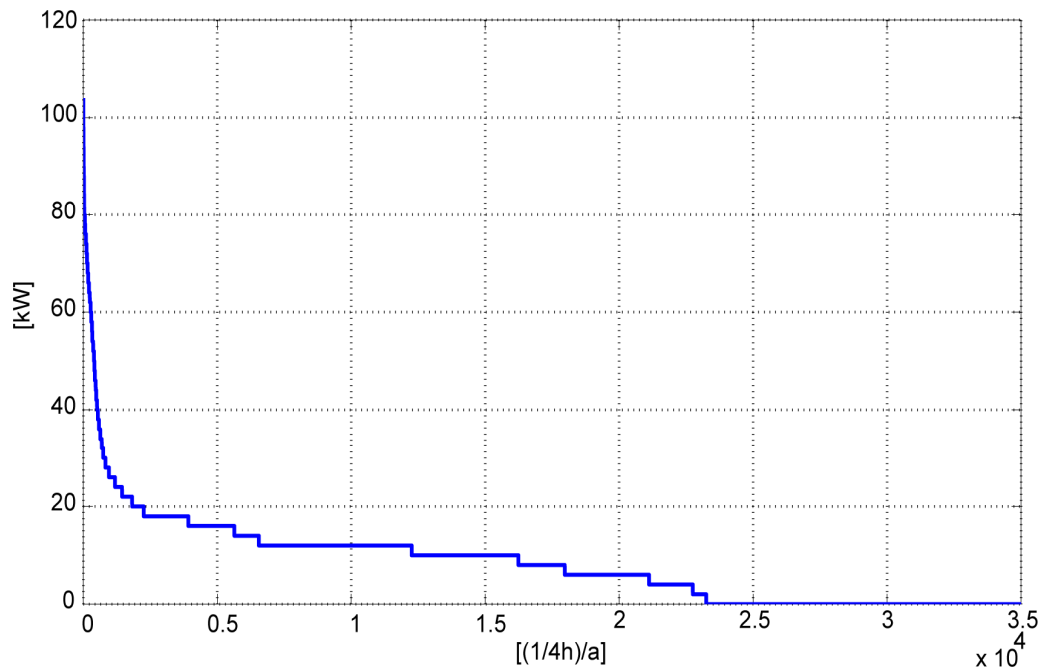
$$V = \frac{Q_{th} * \Delta t}{c * (T_a - T_e)} \quad \text{Gl. 24}$$

Mit  $Q_{th}$  als thermische Leistung des KWKs,  $\Delta t$  als Zeitintervall für die Beladung des Speichers und  $T_a - T_e$  als Differenz zwischen max. Ladetemperatur  $T_a$  und min. Rücklufttemperatur  $T_e$ .

### 3.2.4 Kombination von Mikro-KWK Anlage und thermischer Solaranlage

In diesem Abschnitt werden die Auswirkung und die Zusammenarbeit von einem Mikro-KWK und einer thermischen Solaranlage im Zusammenhang mit der Deckung des Wärmebedarfs einer Verbrauchergruppe untersucht. Die Analyse basiert auf einem bereits installierten BHKW und einer thermischer Solaranlage. Die Daten wurden aus dem Projekt BHKW-Netz, das vom österreichischen Klima- und Energiefonds gefördert worden ist, zur Verfügung gestellt. Die Nennleistungen des Erdgas-BHKWs liegen bei 4,7 kW<sub>el</sub> und 12,5 kW<sub>th</sub>. Die Anlage kann moduliert betrieben werden, dadurch kann die Leistung stufenlos, bei variabler Drehzahl des Verbrennungsmotors, geregelt werden. Es ist auch zu erwähnen, dass die Anlage eine maximale elektrische Leistung von 4 kW<sub>el</sub> erreichen kann. Der Grund liegt in der luftdruckabhängigen Leistung des Motors. Die angegebene Nennleistung gilt bei Inbetriebnahme auf Meeresebene und nimmt bei steigender Höhe ab. Ebenso ist eine thermische Solaranlage (ca. 50 m<sup>2</sup>) mit Pufferspeicher (3x1.700 Liter) installiert. Zusätzlich wurde für die Abdeckung des Spitzenbedarfs der Abnehmer (Wohnsiedlung) ein Gaszusatzheizkessel mit einer thermischen Leistung von 80 kW<sub>th</sub> vorgesehen.

Die Addition der erzeugten Wärmeleistung der drei Anlagen wurde hier nährungsweise als Gesamtverbrauch der Wohnanlage angenommen. Aus Abbildung 17 geht hervor, dass ein Wärmebedarf in ca. 5.812 Stunden des Jahres vorhanden ist. Der minimale Wärmeleistungsbedarf liegt bei etwa 2 kW, der maximale Leistungsbedarf bei etwa 104 kW.



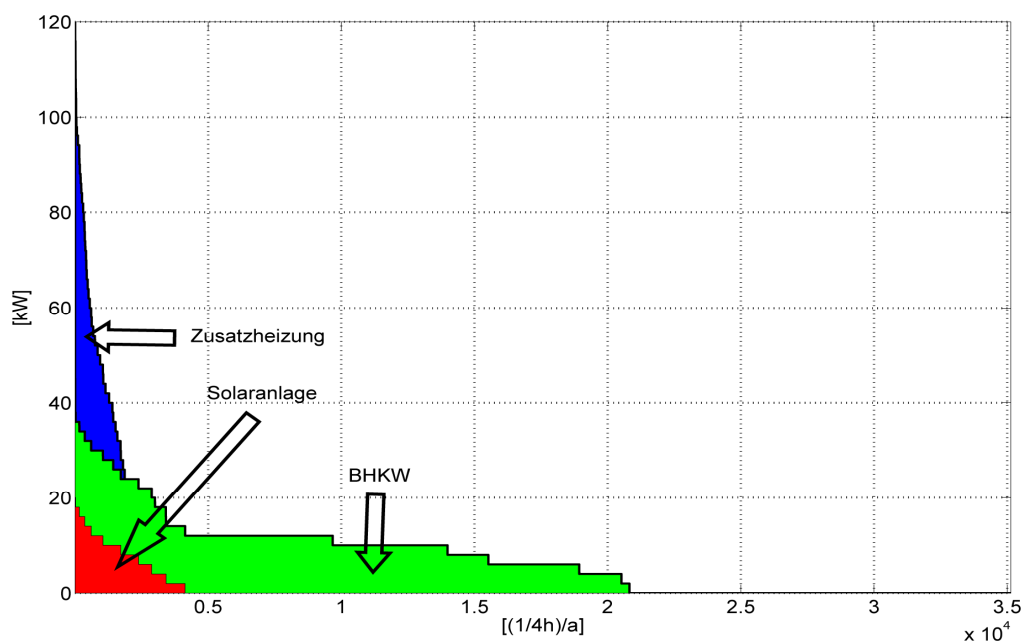
**Abbildung 17:** Dauerlastlinie des Objekts

Der viertelstündige Wärmebedarf der Wohnsiedlung wird nach der festgelegten Priorität mit den Erzeugungswerten der thermischen Solaranlage, BHKW und Zusatzheizkessel verglichen und abgedeckt. Für die Erhöhung des energetischen Deckungsgrades kann der Wärmespeicher die überschüssig produzierte Wärme speichern und bei Bedarf an die Verbraucher weiterleiten.

Der Zusatzheizkessel wird für die Abdeckung der Bedarfsspitzen eingesetzt, wodurch sich sein Einsatzschwerpunkt in den kalten Jahreszeiten einordnet. Die thermische Solaranlage ist im Zeitraum von Juni bis Juli nicht in Betrieb gewesen. Es ist trotzdem zu erwähnen, dass mit der Steigerung der Sonnenscheinstunden, der Wärmeertrag der thermischen Solaranlage auch ansteigt. Der Einsatz des BHKWs beschreibt eine regelmäßige Produktion an Wärme in den kalten Monaten bis teilweise in den Übergangszeiten. Die thermische Solaranlage hat eine hohe Produktionsrate in den Übergangszeiten und Sommermonaten und erste Priorität bei der Wärmeabgabe. Die Festlegung der Priorität bei der Wärmeabgabe hat einen vorwiegend punktuellen und unregelmäßigen Einsatz des BHKWs in den erwähnten Zeiträumen zur Folge.

Die Dauererzeugungslinien der Produktionsanlagen wurde in Abbildung 18 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Leistungsbereich von der Solaranlage auch vom BHKW allein

abgedeckt werden könnte. Die thermische Solaranlage verhindert daher den Einsatz des BHKWs in der Grundlast und führt zu geringeren Jahresvolllaststunden.



**Abbildung 18:** Dauererzeugungslinien der eingesetzten Anlagen

### 3.2.5 Stromgeführte Betriebsweise vs. wärmegeführte Betriebsweise

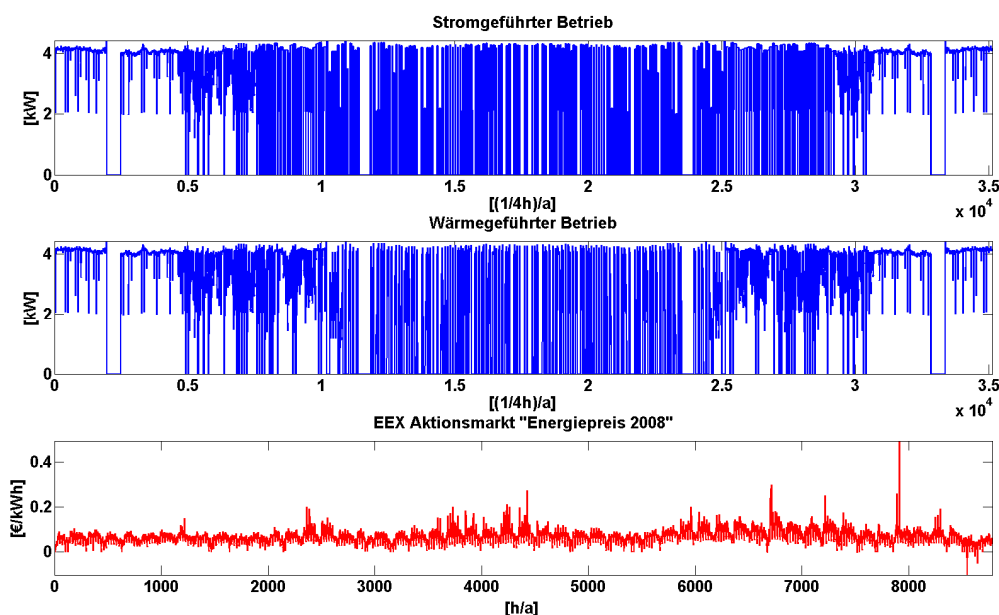
Die Auslegung der Betriebsführung einer KWK-Anlage orientiert sich nach der Priorität der bereitzustellenden Energieform. Im wärmegeführten Betrieb wird primär die Wärmeversorgung der Abnehmer sichergestellt, der erzeugte Zusatzstrom wird bei Bedarf von den Abnehmern genutzt oder in das elektrische Niederspannungsnetz rückgespeist. Diese Art der Betriebsauslegung wird bei Kunden mit hohem Wärmebedarf sowie im öffentlichen Bereich (Badehallen) eingesetzt. Um eine tragbare Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit der Mikro-KWK-Anlage zu sichern, sollte ein Taktbetrieb der Anlage vermieden und dazu die Laufzeit erhöht werden. Der Einsatz von Wärmespeichern führt mit der Verlängerung der Betriebs- und Ruhesegmente zur Erhöhung der Lebensdauer und zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Anlagen (siehe [85]).

Der Betrieb einer Mikro-KWK-Anlage orientiert sich an der Deckung des Strombedarfs. Die erwähnte Betriebsführung ist aus ökonomischer Sicht wegen einer geringen Nutzungsdauer nicht vertretbar. Das Vorhandensein eines Pufferspeichers kann die anfallende Wärme während der Deckung des Strombedarfs für eine spätere Verwertung speichern.

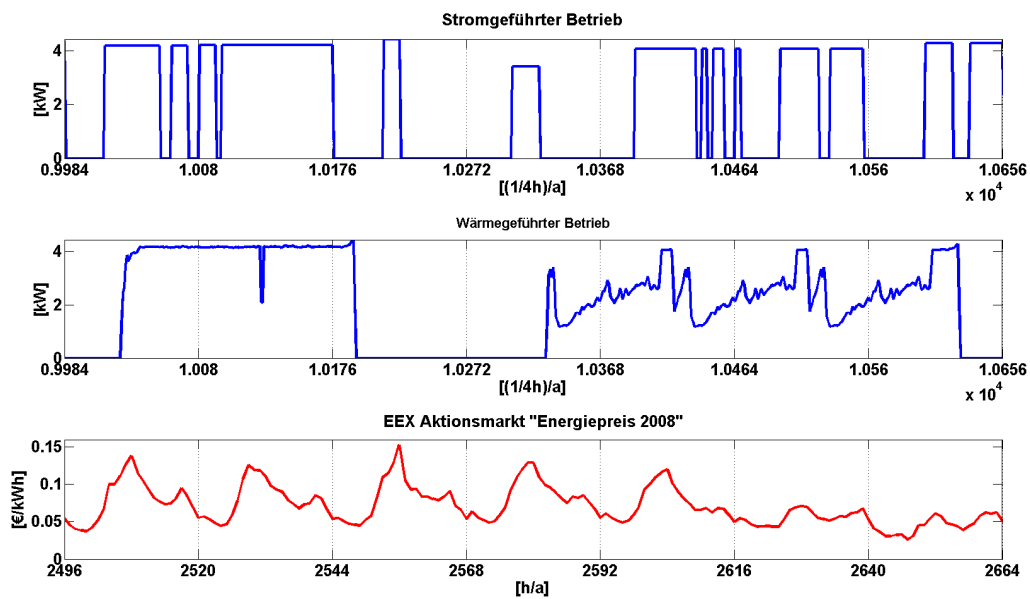
Um den Freiheitsgrad bei der Betriebsführung der KWK-Anlage zu erhöhen, wird ausgehend von einem wärmegeführten Betrieb inklusive Installation eines Wärmespeichers (siehe Kapitel 3.2.2), die Betriebsweise der Anlage von der Wärmebereitstellung entkoppelt

(vgl. [65]). Diese Art der Betriebsweise hat zur Folge, dass der Taktbetrieb geringer und der Ausnutzungsgrad erhöht wird.

Daher wird die beschriebene BHKW Anlage (siehe Kapitel 3.2.4) über ein gesamtes Jahr strom- bzw. wärmegeführt betrieben. Die erwähnte gemischte Betriebsführung der Anlage wird mit der Stromführung in den Übergangszeiten und Sommermonaten und Wärmeführung in den Wintermonaten definiert. Die Zeitpunkte des Betriebs der Anlage in Intervallen mit der Stromführung orientieren sich an der Höhe des Strompreises auf dem EEX Auktionsmarkt (Strombörse). In Abbildung 19 wurde die viertelstündig produzierte Stromleistung vom rein wärmegeführten BHKW und einer gemischten Betriebsführung gegenübergestellt. Eine detaillierte Analyse und Gegenüberstellung der Betriebsführungen über eine Woche (hier 3. Woche des Monats April) wurde in Abbildung 20 dargestellt. Die Stromführung in den vorgesehenen Zeitintervallen orientiert sich nach den täglichen Volllastbetriebsstunden und dem maximal auftretenden täglichen Leistungswert. Es hat zur Folge, dass das BHKW in den meisten Fällen mit der maximalen Leistung von  $4 \text{ kW}_{el}$  betrieben wird. Der Vergleich zwischen der oberen Darstellung (Power Control) und der unteren Abbildung (EEX Aktionsmarkt 2008) zeigt die Verschiebung der Produktionsblöcke -aufgrund der Höhe des Strompreises - auf. Eine geeignete Dimensionierung des Wärmespeichers führt dazu, dass trotz der Stromführung in den warmen Zeiträumen in einem Jahr, auch der Wärmebedarf des Abnehmers abgedeckt werden kann. Im vorhandenen Beispiel wurden zwei konkurrierenden Erzeugungsanlagen (BHKW und thermische Solaranlage) in Betrieb genommen. Der große Wärmespeicher (Dimensionierung nach Auslegung der thermischen Solaranlage) gibt dem BHKW den notwendigen Freiheitsgrad für eine stromgeführte Betriebsweise in den vorgesehenen Jahresintervallen.



**Abbildung 19:** Stromgeführter Betrieb über den Sommer- und Übergangszeit



**Abbildung 20:** Stromgeführter Betrieb im Vergleich zu wärmegeführtem Betrieb in 3. Aprilwoche

Mit der Annahme, dass der produzierte Strom nur ins Netz eingespeist und nicht für die Abdeckung des Eigenverbrauchs verwendet wird, ergeben sich Stromerlöse, die in Abbildung 21 angegeben sind.

Die Betriebsführungen teilen sich in

- wärmegeführter Betrieb,
- wärmegeführter Betrieb in den Wintermonaten und stromgeführter Betrieb in den Übergangszeiten und Sommermonaten,
- stromgeführter Betrieb über das gesamte Jahr.

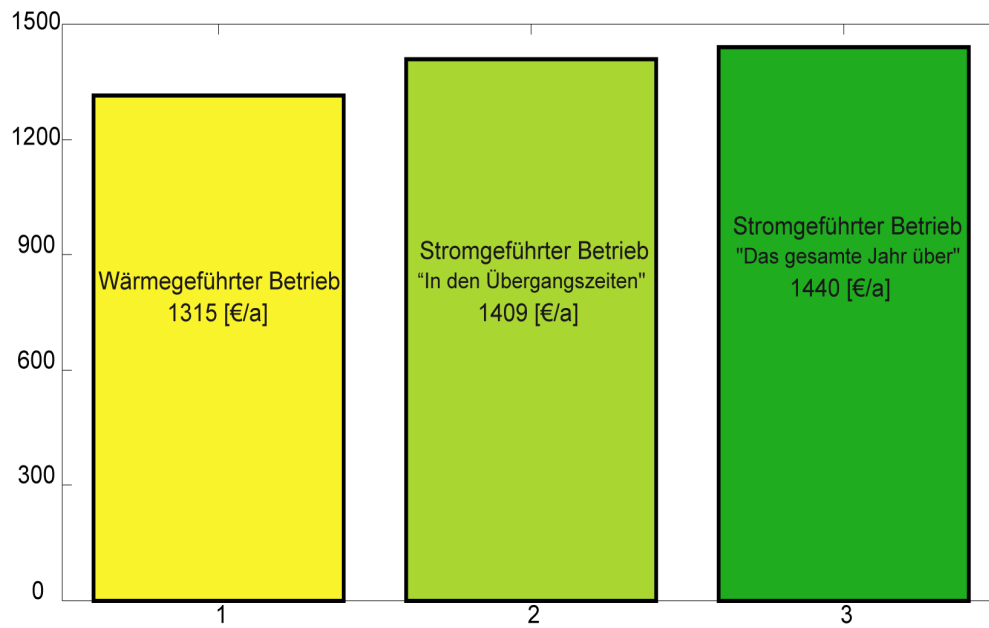
Aus der gemischten Betriebsführung der Anlage erfolgt eine Steigerung der Stromerlöse von rund 7,15 % (um 94 €/a) im Vergleich zu der Referenzvariante (wärmegeführter Betrieb). Eine höhere Steigerung der Stromerlöse, um 9,5 %, im Vergleich zur Referenzvariante wird mittels einer ganzjährigen Stromführung des Erzeugers erreicht.

Die stromgeführte Betriebsweise hat auch eine Erhöhung der Anzahl der Ein- und Ausschaltzeitpunkte der Anlage zur Folge. Die Abbildung 22 zeigt die Anzahl der Ein- und Ausschaltzeitpunkte der Anlage bei verschiedenen Betriebsführungen. Die erwähnte Anzahl liegt bei dem stromgeführten Betrieb in den Übergangs- und Sommerzeiten mit 708-mal pro Jahr um das 2,21 fache höher als die Anzahl beim wärmegeführten Betrieb. Über das gesamte Jahr gesehen, ergibt dies 930 Ein- und Ausschaltvorgänge.

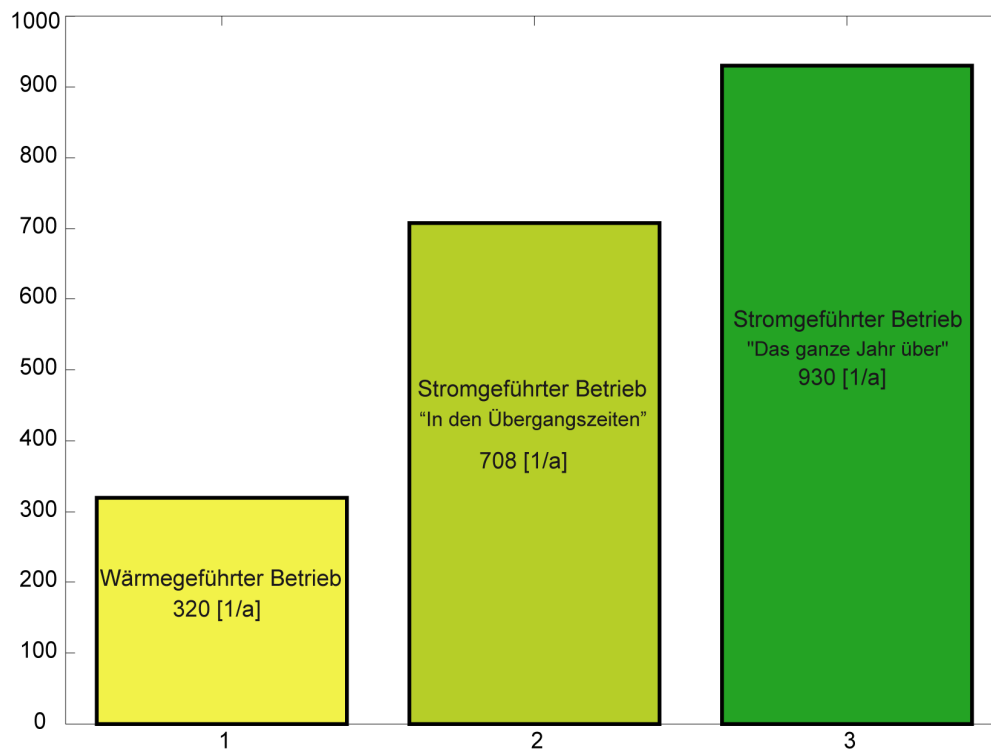
Die Erhöhung der Ein- und Ausschaltvorgänge der Anlage basierend auf stromgeführten Betrieb des BHKWs, wirkt sich negativ auf die Betriebskosten aus und könnte auch die Lebensdauer der Anlage negativ beeinflussen. Daher wird eine genaue Analyse der Lebensdauer der Mikro-KWK Anlagen bei Erhöhung der Taktbetriebe vorgeschlagen. Diese



kann aufgrund der Gegenüberstellung der Kosten und Einnahmen des Wärmeversorgungssystems zur einen genaueren wirtschaftlichen Bewertung des Versorgungssystems führt



**Abbildung 21:** Stromerlöse bei unterschiedlichen Betriebsführungen



**Abbildung 22:** Anzahl der Ein- und Ausschaltpunkte für BHKW bei unterschiedlichen Betriebsarten

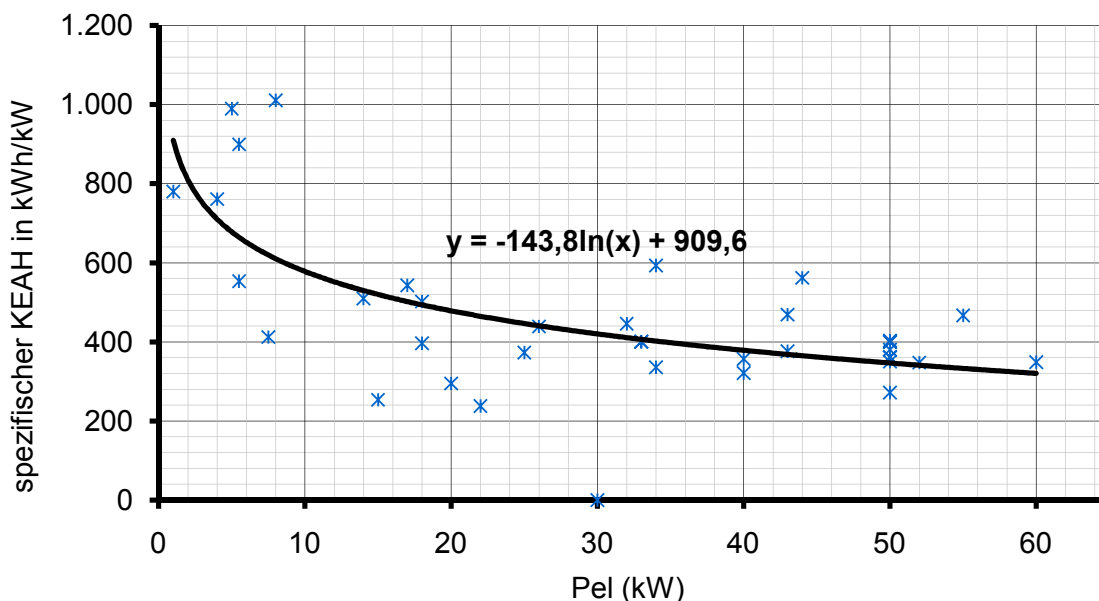
### 3.3 Kumulierter Energieaufwand bei der Herstellung von Mikro-KWK Anlagen und Pufferspeicher

#### 3.3.1 $KEA_H$ der Mikro-KWK Anlagen

In Abbildung 23 wird der kumulierte Energieaufwand für verschiedene Mikro-BHKW wie in [27] über der Leistung dargestellt. An der Trendlinie ist zu erkennen, dass der spezifische Herstellungsaufwand für kleine Leistungen sehr stark ansteigt. Für die Leistungsklasse  $>15 \text{ kW}_{el}$  ergibt sich ein nahezu konstanter Mittelwert von etwa  $1.400 \text{ MJ/kW}_{el}$ .

$$KEA_H = -143,8 * \ln(P_{el}) + 909,6$$

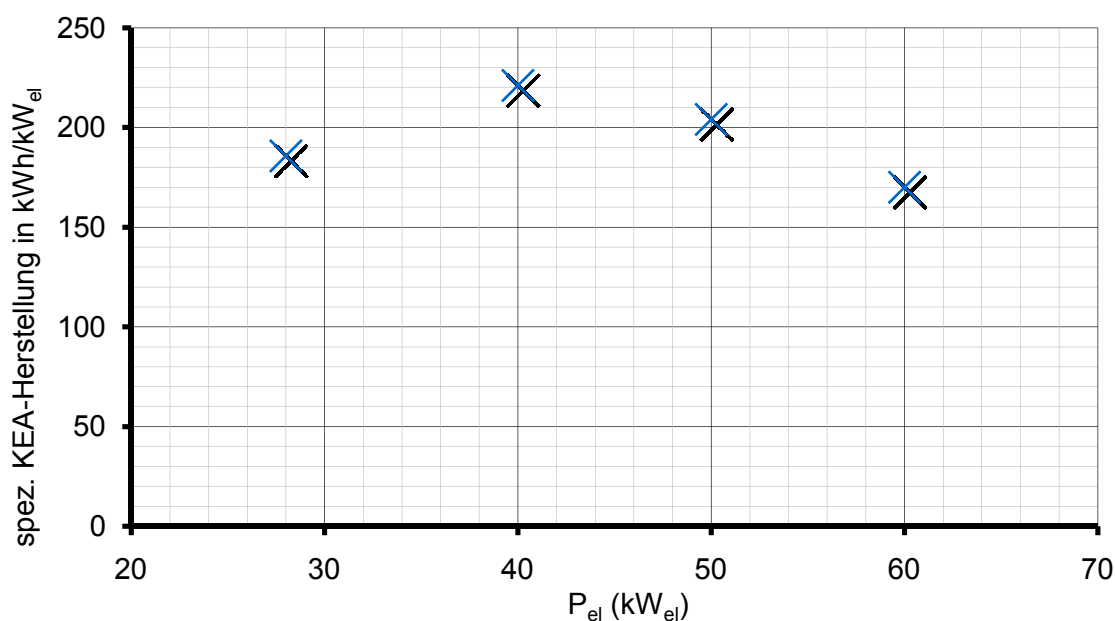
Gl. 25



**Abbildung 23:** KEA-Herstellung der untersuchten BHKW-KWK Anlagen

### 3.3.2 KEA<sub>H</sub> der Mikrogasturbine

Die Abbildung 24 zeigt den spezifischen Herstellungsaufwand verschiedener Mikrogasturbinen nach [27]. Ein degressiver Verlauf der Kurve ist teilweise abgebildet. Mit ansteigender Leistung nimmt der spezifische Herstellungsaufwand ab. Von einer aussagekräftigen Beurteilung der Zahlen wird aufgrund der geringen Datendichte abgesehen.



**Abbildung 24:** KEA-Herstellung der untersuchten Mikrogasturbinen

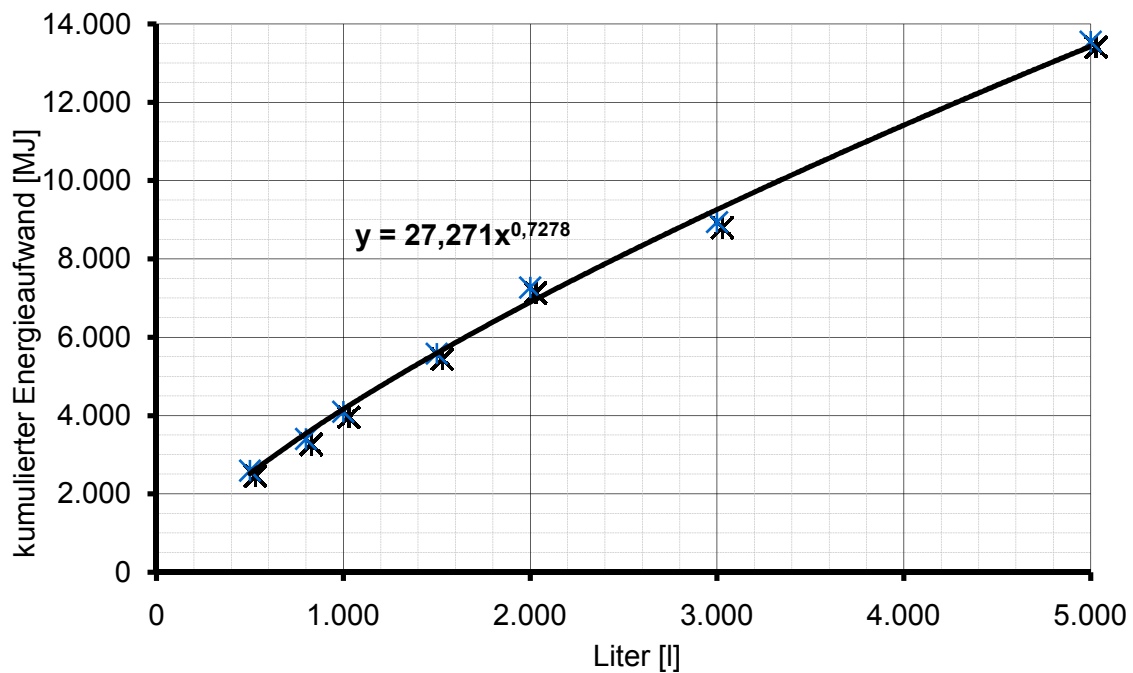
Die Abweichung in kleineren Leistungsbereichen entsteht durch abweichende Massenangabe.

### 3.3.3 KEA<sub>H</sub> des Pufferspeichers

Im Zusammenhang mit der Ermittlung des kumulierten Energieaufwands bei der Herstellung eines Pufferspeichers wurden Schichtenspeicher (mit unterschiedlichen Volumina) in Betracht gezogen. Die durchschnittliche Massenbilanz der erwähnten Speicherart kann folgendermaßen angegeben werden:

- ca. 20 % Dämmmaterial (Polyurethan bzw. Polystyrol)
- ca. 80 % Druckbehälter (Stahl)

Der KEA für die Herstellung von Speichern ist in Abbildung 25 wiedergegeben. Der spezifische Herstellungsaufwand liegt zwischen 2,7 bis 5,2 MJ je Liter Speicherinhalt. Bei der energetischen Bewertung des dualen Systems wird auch der spezifische Herstellungsaufwand des Speichers - bezogen auf die Lebensdauer - berücksichtigt.



**Abbildung 25:** KEA-Herstellung für untersuchten Pufferspeicher (Schichtenspeicher)

### 3.4 Datengrundlage für die Simulation des wärmegeführten Betriebs der Mikro-KWK Anlage

Der Betrieb einer Mikro-KWK Anlage kann unter Erfüllung von unterschiedlichen Zielfunktionen erfolgen.

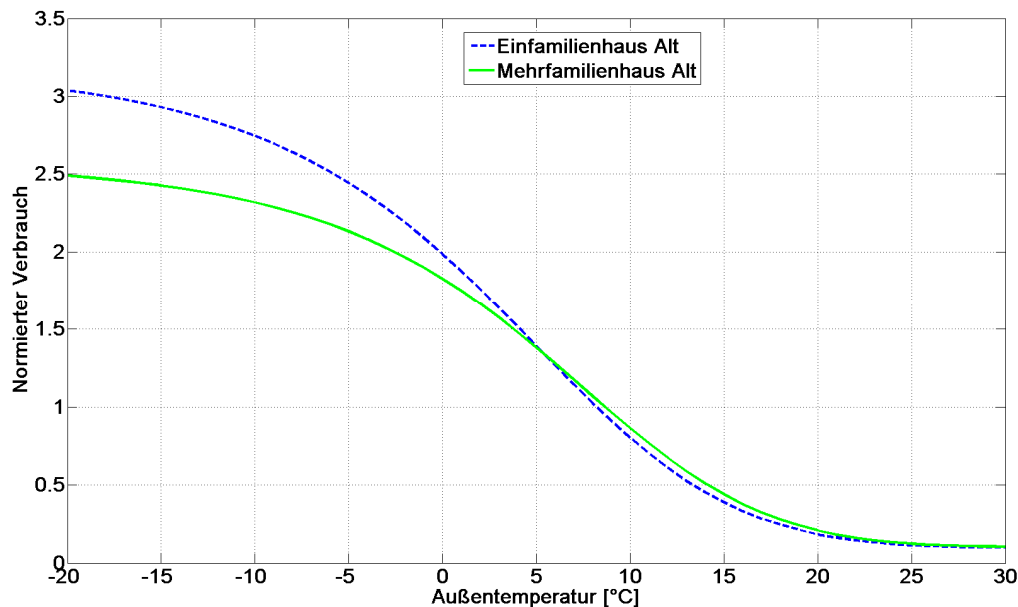
Beispielsweise sieht der wärmegeführte Betrieb die größtmögliche Abdeckung des Wärmebedarfs des Kunden als Zielfunktion vor. Im Kapitel 2.3.1 wurde die wärmegeführte Betriebsführung eines dualen Systems detailliert dargestellt und beschrieben. Die Wärme- und Stromlastgänge der Kundengruppen dienen hier als Eingangsparameter für die Simulation der wärmegeführten Betriebsführung. Die Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 geben eine Darstellung über die Zusammenstellung und Berechnung der Wärme- bzw. Stromlastprofile.

#### 3.4.1 Wärmelastgänge

Die Darstellung des Wärmelastprofils erfolgt mit Hilfe einer Ausgleichsfunktion (Sigmoid Funktion (vgl. [75])). Die Funktion gibt den normierten Tagesverbrauch in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperaturwerte an. Die erwähnte Funktion wurde in Gl. 26 dargestellt, wobei durch die Variation der Koeffizienten A, B, C und D das Verbrauchsverhalten bei unterschiedlichen Randbedingungen (sowie Gebäudealtern) abgebildet werden kann.

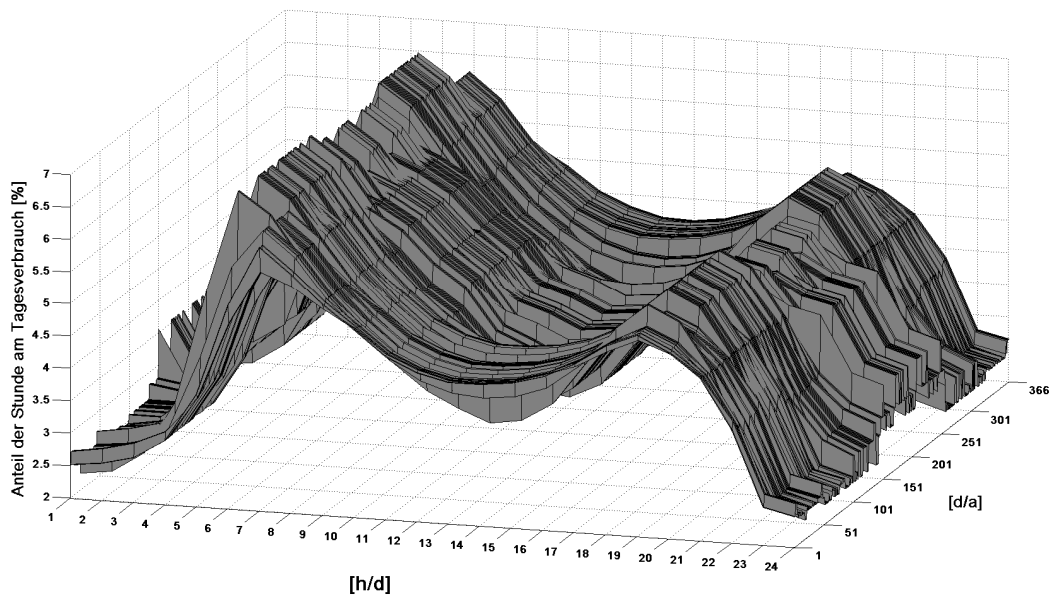
$$h(\vartheta_A) = \frac{A}{1 + \left(\frac{B}{\vartheta_A - \vartheta_{A0}}\right)^C} + D \quad \text{Gl. 26}$$

Abbildung 26 vergleicht den normierten Wärmeverbrauch, abhängig von den Außentemperaturwerten eines Einfamilienhauses, mit einem Mehrfamilienhaus der Bauperiode Alt. Das Einfamilienhaus deckt einen größeren Bereich des normierten Wertes ab, da dessen Wärmeverbrauch mit einem höheren Grundanteil beschrieben werden kann. Es ist zu erwähnen, dass der Anteil der Raumheizung am Gesamtwärmebedarf eines Wohnobjekts mittels Sanierungsmaßnahmen reduziert werden kann. Dieses Verhalten ist auch bei Neubauobjekten zu beobachten.



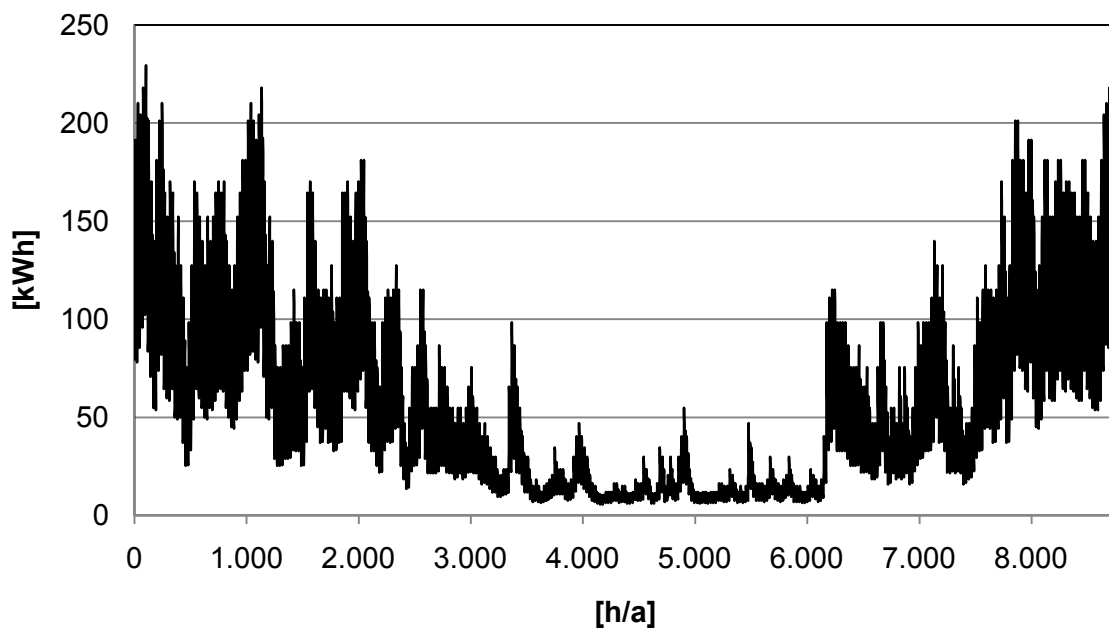
**Abbildung 26:** Normierte Tagesverbrauchswerte für Ein- und Mehrfamilienhaushalt (Bezugswert liegt bei mittlerem Wärmeverbrauch)

Im nächsten Schritt wird der normierte Tagesverbrauch unter Anwendung von prozentuellen Stundenfaktoren, die von der Tageszeit und der Tagesmitteltemperatur abhängig sind, auf die einzelnen Stunden des Tages aufgeteilt (vgl. [75] und [76]). Abbildung 27 stellt den Anteil der Stunden am Tagesverbrauch für ein Altbaugebäude der Stadt Wien, in Abhängigkeit von gemessenen Tagesmitteltemperaturwerten im Jahr 2008, dar (siehe [77]). Die lokalen Extremwerte, die in den Morgen- und Abendstunden auftreten, sind auf die Nutzung von Warmwasser zurückzuführen.



**Abbildung 27:** Anteil der Stunden am Tagesverbrauch für gemessene Temperaturwerte der Stadt Wien im Jahr 2008 (Altbaugebäude)

Die Multiplikation der Werte aus Abbildung 27 mit dem mittleren Tagesverbrauchswert eines betrachteten Objekts und die geordnete Reihung der Werte führt zur Ableitung des dazugehörigen Wärmelastgangs. Die Abbildung 28 stellt beispielhaft den Wärmelastgang eines Wohngebäudes mit 30 Wohneinheiten dar (gebaut vor 1919). Der mittlere Verbrauch des Objekts liegt bei rund 1.392 kWh. ( $509.370/366 = 1.392 \frac{\text{kWh}}{\text{d}}$ )



**Abbildung 28:** Wärmelastgang des Wohngebäudes mit 30 Wohneinheiten der Bauperiode vor 1919 für das Jahr 2008

Basierend auf unterschiedlichen Verbrauchscharakteristika der Alt- und Neubau Wohnungen werden auch die Wärmelastprofile in zwei Gruppen unterteilt:

1. Wärmelastprofil für Altbauten mit hohem Anteil der Raumheizung am gesamten Wärmeverbrauch und
2. Wärmelastprofile für Neubauten mit hohem Anteil der Warmwasseraufbereitung am gesamten Wärmeverbrauch.

Die Wärmelastprofile dienen als Datengrundlage für die Simulation des Betriebs der Mikro-KWK Anlagen, da mit Abdeckung des Profils, der wärmegeführte Betrieb realisiert werden kann.

### **3.4.2 Standardisierte Stromlastgänge**

Dieses Kapitel befasst sich mit den standardisierten Stromlastprofilen. Es wird gezeigt, wie man mit vorgegebenen Grunddaten, die Lastprofile für den Bereich Haushalt zusammenstellen kann (vgl. [78]). Als Basisjahr wurde hier das Jahr 2008 gewählt.

Die Lastprofile für Tarifkunden sollen der behandelten Kundengruppe einfach zuzuordnen sein. Die genaue Widerspiegelung des Verbrauchsverhaltens der Kundengruppe führt dazu, dass die ermittelten Lastprofile von Anbietern, Energieversorgungsunternehmen und Netzbetreibern anerkannt werden können und als Basis für die Transaktionen dienen. Die Notwendigkeit der standardisierten Lastprofile liegt in der kostengünstigen Erfassung von Leistungs- und Arbeitsverrechnung eines Jahres. Dadurch werden die hohen Kosten für Messungen an Tarifkunden eingespart.

#### **Erstellen eines repräsentativen Lastprofils**

Ein Jahresprofil besteht aus 3 Zeitzonen, die aus Winter (von 01.11. bis 20.03.), Sommer (von 15.05. bis 14.09) und Übergangszeit (von 21.03. bis 14.05. bzw. von 15.09. bis 31.10) besteht. Die charakteristischen Tage jeder Zeitzone bestehen aus Werktag, Samstag und Sonntag. Für die erwähnten Tage werden für jede Zeitzone 96 viertelstündige Leistungsmittelwerte angegeben. Diese Werte entsprechen der mittleren Viertelstundenleistung, die erwartet wird, wenn der Kunde im Jahr 1.000 kWh/a verbraucht. Die Erstellung des Jahreslastverlaufs der Kundengruppe Haushalt unterscheidet sich von Jahreslastgängen der Kundengruppen Gewerbe sowie der Kundengruppe Landwirtschaftsbetriebe.

##### **3.4.2.1.1 Erstellung des Jahreslastgangs der Haushalte**

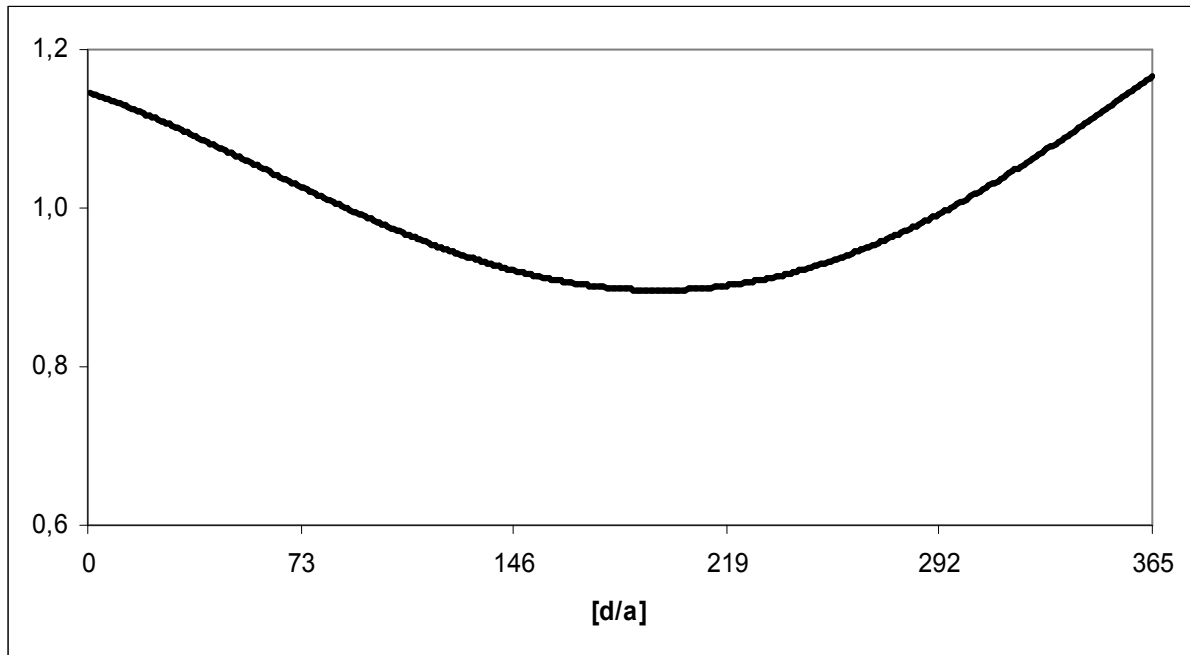
Die Zusammenstellung eines Jahreslastverlaufs der Kundengruppe Haushalte besteht schrittweise aus:



1. Erstellung der Tagesliste mit Spalten für Tagesnummer, Datum, Wochentag und die 96 Zeitabschnitte des Tages für alle Tage des zu betrachtenden Jahres,
2. Die Zuordnung zwischen Datum und Wochentag bzw. Feiertag im Zusammenhang mit dem betrachteten Jahr. Die Feiertage sind wie ein Sonntag zu behandeln. Heiligabend und Silvester sind, sofern sie nicht auf einen Sonntag fallen, als Samstag zu behandeln.
3. Berücksichtigung der Sommer- und Winterzeitumstellung: Die Sommerzeitumstellung (mitteleuropäische Sommerzeit) erfolgt am letzten Wochenende im März in der Nacht von Samstag auf Sonntag. Durch die Vorstellung der Uhren von 02:00 Uhr auf 03:00 Uhr sind die Werte für 02:15, 02:30, 02:45 und 03:00 aus dem Lastgang zu löschen. Dieser Sonntag hat dann dementsprechend nur 92 Tageswerte. Die Winterzeitumstellung (Mittleuropäische Sommerzeit) erfolgt am letzten Wochenende im Oktober in der Nacht von Samstag auf Sonntag. Durch die Zurückstellung der Uhren von 03:00 Uhr auf 02:00 Uhr sind die Werte für 02:15, 02:30, 02:45 und 03:00 im Lastgang zu kopieren und als 02:15A, 02:30A, 02:45A und 03:00A einzufügen. Dieser Sonntag hat dann dementsprechend 100 Tageswerte.

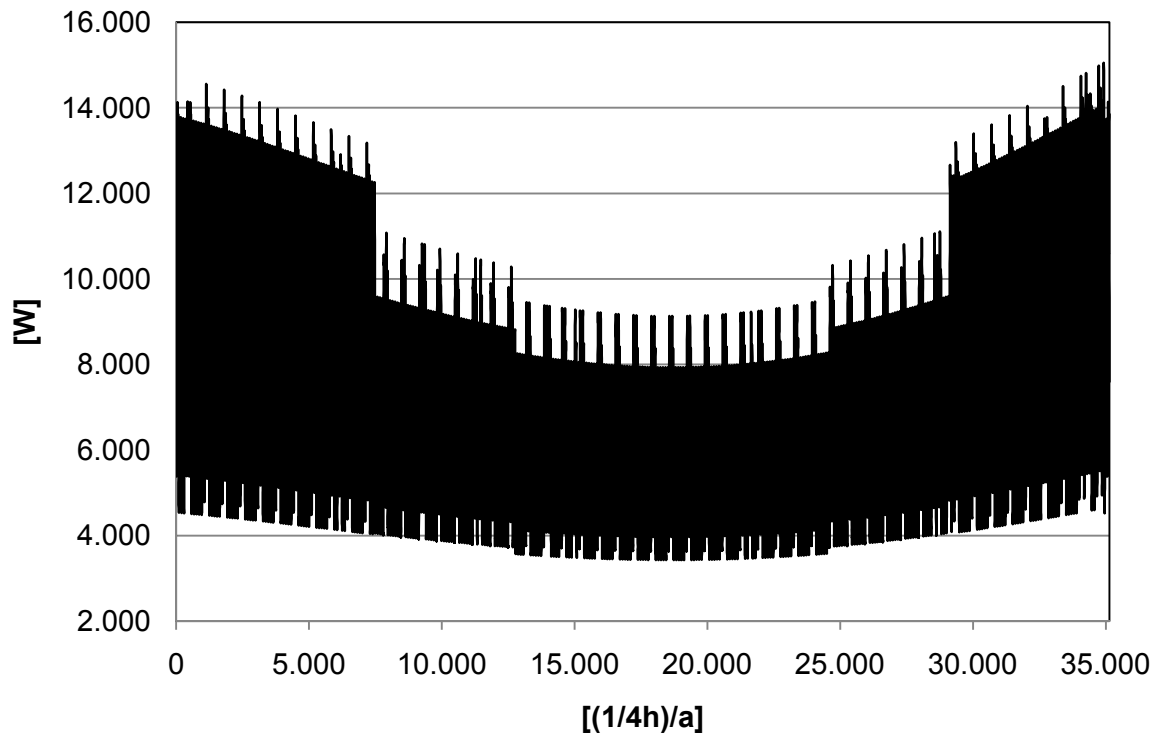
Nach diesen Bearbeitungsschritten liegt eine Hilfsmatrix mit 96 mittleren Verbrauchswerten für jeden Tag des Jahres vor. Diese Hilfsmatrix ist kein statistisches Haushaltprofil. Es folgt eine Modifikation der vorhandenen Werte in der Hilfsmatrix mittels einer Dynamisierungsfunktion. Dies führt zur Ermittlung des repräsentativen, dynamischen Lastganges der Haushaltskunden. Deshalb werden die Viertelstundenwerte eines Tages mit dem entsprechenden Dynamisierungsfaktor, der sich aus der Formel ergibt, multipliziert.

Die Abbildung 29 stellt die Dynamisierungsfaktoren, die mit den Werten der Hilfsmatrix multipliziert werden, dar. Durch die Dynamisierung werden die Rechenwerte der Hilfsmatrix so bewertet, dass der Verbrauch im Sommer geringer ist als im Winter.



**Abbildung 29:** Dynamisierungsfaktor (vgl. [80])

Die Summe der viertelstündigen mittleren Leistungswerte (Viertelstundenverbrauchswerte) eines Jahres (in diesem Fall: das Jahr 2008) ergibt rund 1.000 kWh/a. Der erwähnte Jahresgesamtverbrauch dient als Normierungsbasis für den Gesamtverbrauch der Kundengruppe. Die Analyse und Beschreibung des Verbrauchsverhaltens der Kundengruppen wird in [79] beschrieben und analysiert. Die Abbildung 30 stellt beispielhaft das Stromlastprofil eines Wohnobjekts mit 30 Wohneinheiten dar. Der Jahresverbrauch des Stroms des erwähnten Gebäudes liegt bei rund 62.760 kWh.



**Abbildung 30:** Stromlastprofil eines Wohnobjekts mit 30 Wohneinheiten

### 3.5 „Mikro-KWK“- Szenarien

Die wirtschaftliche Bewertung der Mikro-KWK Anlagen und die Berechnung der WGK bei den energetischen Auslegungen werden mit unterschiedlichen Parametern (Randbedingungen) beeinflusst. Die wesentlichsten exogenen Parameter sind:

1. Verringerung der Investitionskosten aufgrund des technologischen Lernens,
2. Entwicklung des Wärmebedarfs bis 2050 (siehe Kapitel 4.1),
3. Anstieg des Strombedarfs bis 2050
4. Entwicklung des Primärenergiepreises (Gaspreis)
5. Entwicklung des Strompreises, der in Großhandelspreise und Endkundenpreise unterteilt wird.

Es wurden zwei Szenarien im Zusammenhang mit den Änderungen der Primärenergie- und Stromgroßhandelspreise (siehe [81]) definiert und untersucht. Die Szenarien sind ein:

- Referenzszenario: Sieht geringe Strom- und Primärenergiepreise (fossile Brennstoffe) vor. In diesem Szenario kann von zurückhaltenden politischen Richtlinien im Zusammenhang mit neuen Innovationen im Bereich der Energieerzeugung ausgegangen werden.
- Effizienz/RES- Szenario: Dieses Szenario kann mit einer Fokussierung der Energiepolitik auf Förderung und Einführungen der effizienteren Erzeugungstechnologien beschrieben werden.

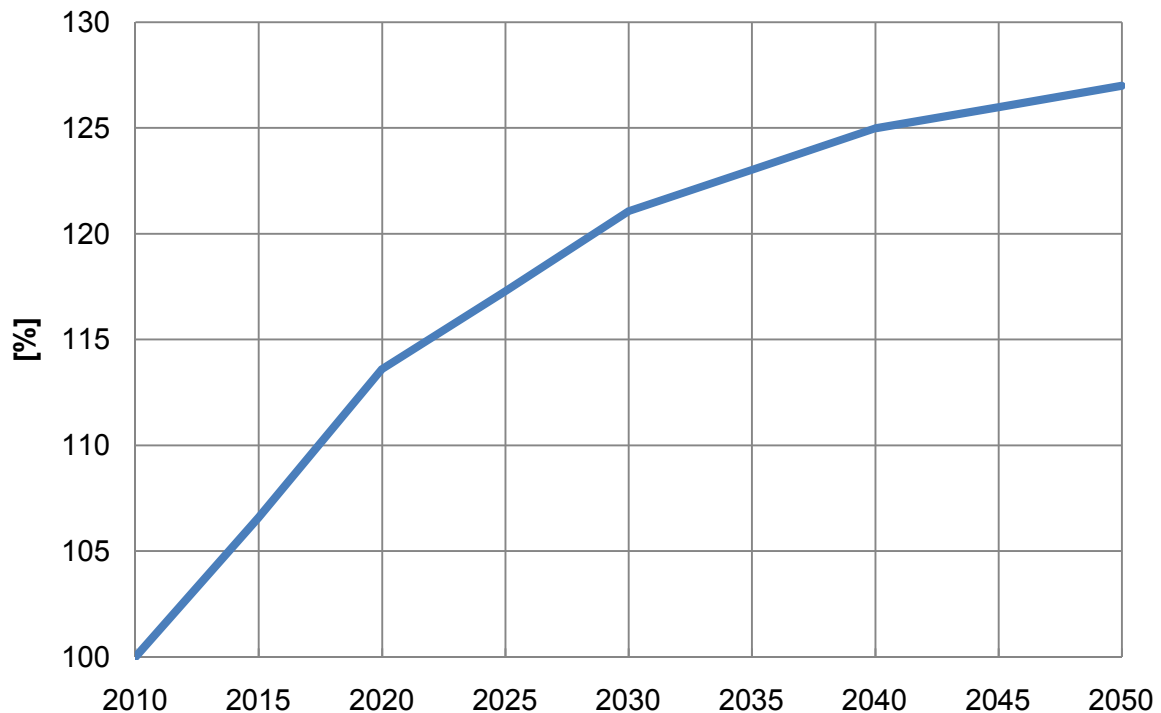
Die Kombination der dynamischen Entwicklung der Verbrauchswerte (Strom und Wärme) mit den vorgestellten Preisszenarien unter der Berücksichtigung der Betriebseigenschaften der Mikro-KWK Anlagen kann, fundierte Aussagen über die Entwicklung der WGK gewährleisten.

Die nachfolgenden Kapitel stellen die angenommenen Szenarien dar, wobei die Entwicklung des Wärmebedarfs ausführlich im Kapitel 4.1 für unterschiedliche Kundengruppe untersucht und dargestellt wird.

#### 3.5.1 Stromnachfrageszenario

Die Entwicklung der Wärmenachfrage und deren Einwirkung auf die wirtschaftliche und energetische Bewertung der Mikro-KWK Anlagen wird mit dem Anstieg des Stromverbrauchs im Haushaltsektor kombiniert. Das Strompreisszenario sieht einen Anstieg des Strombedarfs um 27 % bis zum Jahr 2050 vor. Das Basisjahr wurde hier mit 2010 definiert. Die prozentuelle Entwicklung der Stromnachfrage ist in

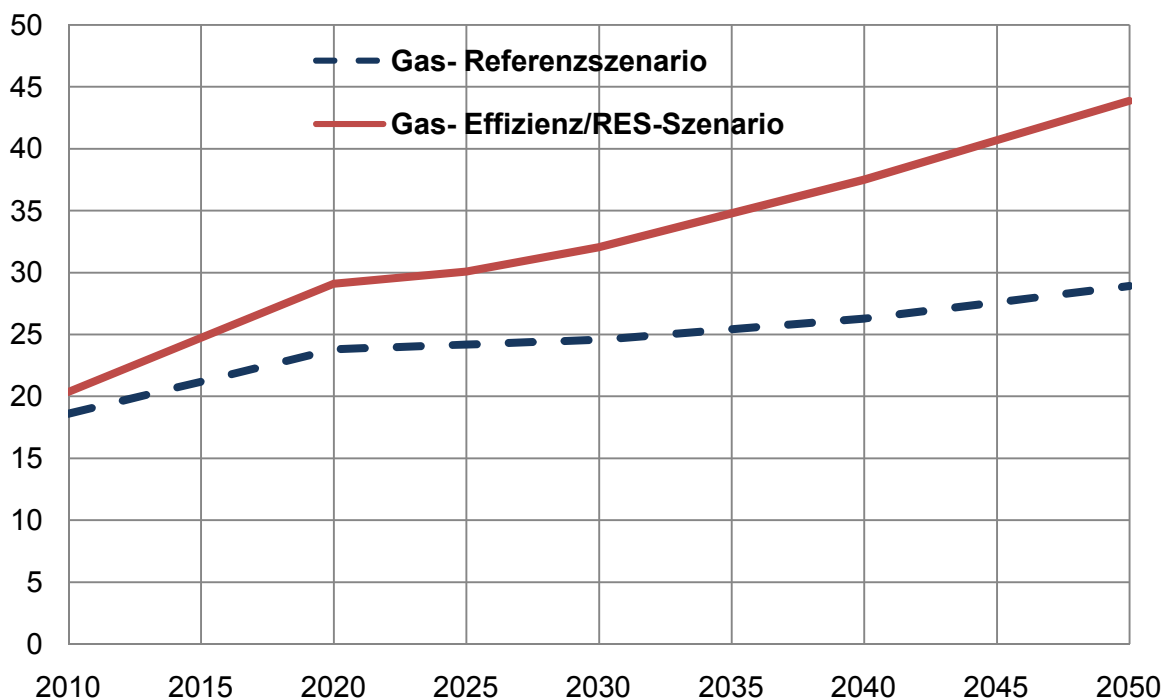
Abbildung 31 wiedergegeben. Der Anstieg des Strombedarfs kann in 4 Zeitabschnitten mit konstantem Steigungsgrad unterteilt werden. Wobei die Periode von 2010 bis 2020 den höchsten Steigungsgrad und das Intervall zwischen 2040 und 2050 den niedrigsten Steigungsgrad aufweist.



**Abbildung 31:** Prozentuelle Änderung der Stromnachfrage im Haushaltsektor bis 2050 (vgl. [81])

### 3.5.2 Primärenergiepreisentwicklung

Die Entwicklung der Brennstoffkosten stellt einen entscheidenden Parameter für die Entwicklung der WGK der Mikro-KWK Anlagen dar. Mit der Annahme der 2 Szenarien (mit hohen und niedrigen Preisen) können die Sensitivitäten der endogenen Variablen bestimmt und dargestellt werden. Abbildung 32 stellt die angenommenen Gaspreisszenarien (Handelspreise) dar (siehe [81]). Die Entwicklung des Gaspreises für den Endkunden ergibt sich aus der dargestellte Preiszusammensetzung, die in Tabelle 18 (vgl. [82]) wiedergegeben worden ist.



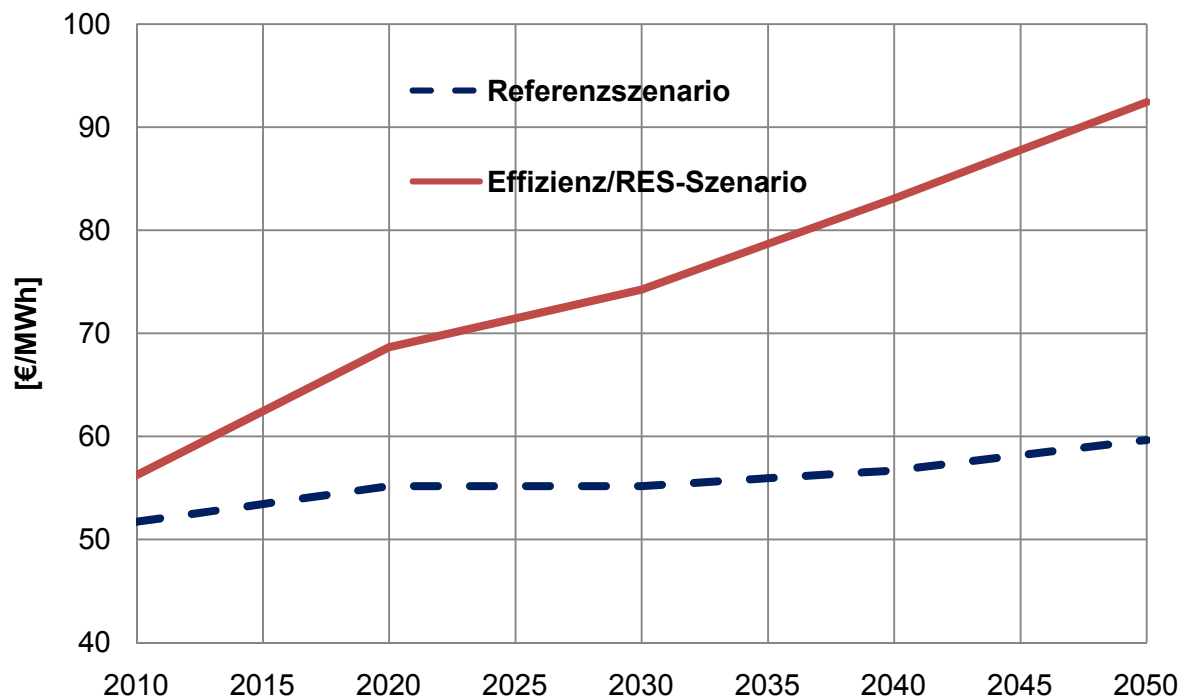
**Abbildung 32:** Entwicklung der Primärenergiepreise für Gas (vgl. [81])

**Tabelle 18:** Zusammensetzung des Gaspreises (vgl. [82])

	<b>Energiepreis</b>	47	[%]
<b>Netztarif</b>	<b>Entgelt für Messleistungen</b>	1	[%]
	<b>Nutzungsentgelt</b>	22	[%]
<b>Steuern und Abgaben</b>	<b>Umsatzsteuer</b>	17	[%]
	<b>Erdgasabgabe</b>	9	[%]
	<b>Gebrauchsabgabe Wien</b>	4	[%]

### 3.5.3 Strompreisentwicklung

Die wirtschaftliche Berechnung der Mikro-KWK Anlagen wird auch stark von der Entwicklung des Strompreises beeinflusst, da die Abdeckung des Stromeigenbedarfs und die Rückspeisung des Zusatzstroms in das öffentliche Netz zur Verringerung der WGK führen. Die Abbildung 33 stellt die analysierten Szenarien für die Veränderung des Stromgroßhandelspreises bis 2050 dar.



**Abbildung 33:** Obere Schranken der Großhandelspreisentwicklung (vgl. [81])

Ausgehend vom Stromgroßhandelspreis und unter Betrachtung der Zusammensetzung des Strompreises für Endkunden, die in Tabelle 19 wiedergegeben ist, kann die Entwicklung des Strompreises für Endkunden angegeben werden. Die eingespeiste Strommenge aus der Mikro-KWK Anlage in das Stromnetz wird mit dem Großhandelspreis berechnet, wobei die Abdeckung des Eigenbedarfs mit Endkundenpreisen bewertet wird.

**Tabelle 19:** Zusammensetzung des Strompreises für Haushaltskunden (vgl. [83])

<b>Netztarif</b>	<b>Energiepreis</b>	36,07	[%]
	<b>Entgelt für Messleistungen</b>	4,95	[%]
	<b>Nutzungsentgelt</b>	23,08	[%]
	<b>Netzverlustentgelt</b>	3,79	[%]
<b>Steuern und Abgaben</b>	<b>Energieabgabe</b>	9,02	[%]
	<b>Gebrauchsabgabe Wien</b>	4	[%]
	<b>Zählpunktpauschale gemäß ÖkostromG</b>	2,58	[%]
	<b>Umsatzsteuer</b>	16,51	[%]

## 4 Projektergebnisse

### 4.1 Potential der Mikro-KWK in Österreich

In Anlehnung an die bereits beschriebene Methode zur Ermittlung des Potentials der Mikro-KWK Technologien in Österreich (siehe Kapitel 2.1) werden nun in den Kapiteln 4.2 und 4.3 die Ergebnisse dazu dargestellt und diskutiert.

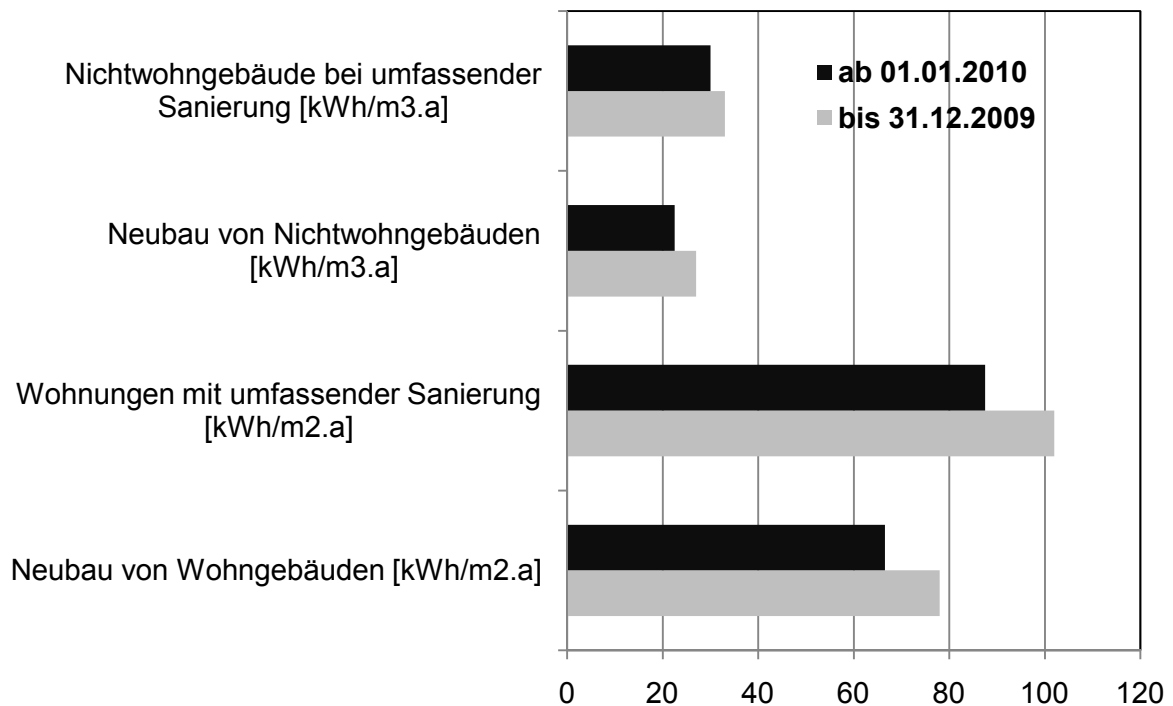
Dafür wurden die potentiellen Kundengruppen für Mikro-KWK Anlagen in 2 Kategorien wie folgt, unterteilt (Aufbauend auf die Analyse des Verbrauchsverhaltens):

1. Haushaltsektor
  - a. Einfamilienhäuser (EFH),
  - b. Mehrfamilienhäuser (MFH)
2. Gewerbe
  - a. Bildungseinrichtungen,
  - b. Schwimmbäder,
  - c. Beherbergungsbetriebe,
  - d. Öffentlichen Gebäude

Entsprechend dieser Kategorisierung wurden die Wärmeverbrauchswerte und die Anzahl der Abnehmer für die jeweilige Kategorie ermittelt. Aufbauend auf statistische Daten, basierend auf der Anzahl der potentielle Kunden und die Entwicklung derer Wärmeverbrauchswerte (Heizbedarf inklusive Warmwasserverbrauch), wurde die Entwicklung des vorhandenen Potentials für Mikro-KWK Anlagen in Österreich bis 2050 ermittelt. Die Abbildung 34 stellt die Richtlinien für den maximal zulässigen Heizwärmebedarf in Österreich dar (siehe [67]). Der maximal zulässige Heizwärmebedarf für Wohnungen (Neubau oder mit umfassender Sanierung) ab 01.01.2010 muss sich im Vergleich zu Wohnungen vor 01.01.2010 um ca. 14 % verringern. Dieser Rückgang wurde bei Neubau von Nichtwohngebäuden mit rund 17 % vorgeschrieben, wobei eine umfassende Sanierung einen Rückgang des maximalen Wertes von ca. 9 % vorsieht.

Diese vorgeschriebene Effizienzsteigerung inklusive Durchdringung der Fern- und Nahwärmenetze führen zu einem Rückgang des Potentials der Mikro-KWK Technologien in Österreich.





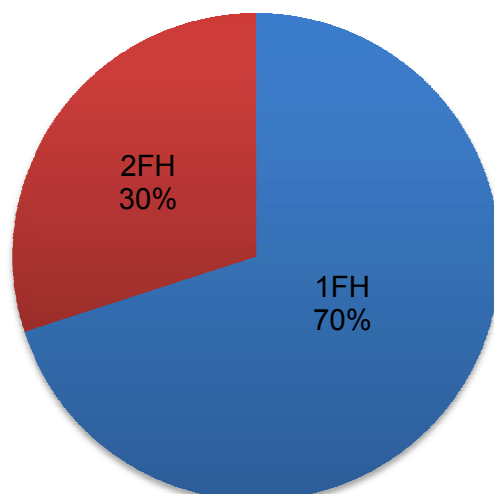
**Abbildung 34:** Maximal zulässiger Heizwärmebedarf pro m<sup>2</sup> oder m<sup>3</sup> bei Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden (vgl. [67])

## 4.2 Potential der Mikro-KWK im Haushaltsektor bis 2050

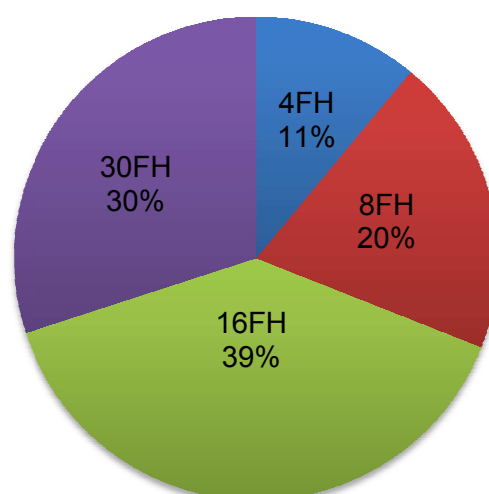
Unterschieden wird im Haushaltssektor zwischen Einfamilienhäusern (**EFH**) und Mehrfamilienhäuser (**MFH**). Die Einfamilienhäuser beinhalten sogenannte Ein- und Zweifamilienhäuser, also Wohngebäude die in freistehender Bauweise errichtet wurden. Einfamilienhäuser sind, betrachtet man die Brutto-Gebäudefläche (**BGF**), in der Regel größer als Wohnungen in Mehrfamilienhäuser. Zusätzlich ist durch die freistehende Bauweise der Wärmeenergiebedarf größer als jener von Wohnungen in MFH.

Mehrfamilienhäuser wurden unterteilt in Gebäude mit 4, 8, 16 und 30 Wohneinheiten. Diese Kategorien stellen ihrerseits einen Mittelwert über Gebäude mit ähnlich vielen Wohnungen dar. Zudem wird ein Überblick der verschiedenen EFH und MFH mit Abkürzungen gegeben und die Aufteilung in die Unterkategorien wird in Abbildung 35 und Abbildung 36 gezeigt.

- Einfamilienhäuser (EFH)
  - Einfamilienhaus (1FH)
  - Zweifamilienhaus (2FH)
- Mehrfamilienwohngebäude (MFH)
  - Vierfamilienhaus (4FH)
  - Achtfamilienhaus (8FH)
  - Sechzehnfamilienhaus (16FH)
  - Dreißigfamilienhaus (30FH)



**Abbildung 35:** Verteilung der Kategorien im Bereich EFH (vgl. [89])



**Abbildung 36:** Verteilung der Kategorien im Bereich MFH (vgl. [89])

Das Potential für Mikro-KWK wird aus dem Anteil der „Zentral- und gleichwertigen Heizungen zusammen“<sup>3</sup> in den gesamten Wohnungen gebildet. In Tabelle 20 sind die Koeffizienten für die Anteile von zentralen Wärmeversorgungssystemen (**ZH**) sowie für Fernwärme (**FW**) angeführt. Durch Multiplikation der Anzahl der Wohnungen mit diesen Koeffizienten erhält man dann die Wohnobjekte mit zentralem Wärmeversorgungssystem bzw. die Wohnobjekte mit Fernwärmeversorgung.

<sup>3</sup> Bezeichnung laut Statistik Austria, „Wohnungs- und Gebäudezählung 2001“ Diese beinhalten Fernwärme, Hauszentralheizung, Etagenheizung, Gaskonvektor und fest angeschlossene Elektroöfen

Bereits drei Viertel aller Wohnungen sind im Jahr 2010 zentral beheizt. Der Anteil der mit Fernwärme versorgten Wohnungen liegt 2010 hingegen nur bei einem Fünftel aller Wohnungen.

**Tabelle 20:** Anteile des zentralen Wärmeversorgungssystems (ZH) inklusive Fernwärme (FW) an Gesamt-Hauptwohnsitzen, Entwicklung bis 2050; Quelle: [89] und eigene Berechnungen basierend auf [89]

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Anteil ZH am Gesamtbestand [%]</b>	76	79	82	84	87	89	91	92	94
<b>Anteil FW am Gesamtbestand [%]</b>	20	21	22	23	23	24	25	25	26

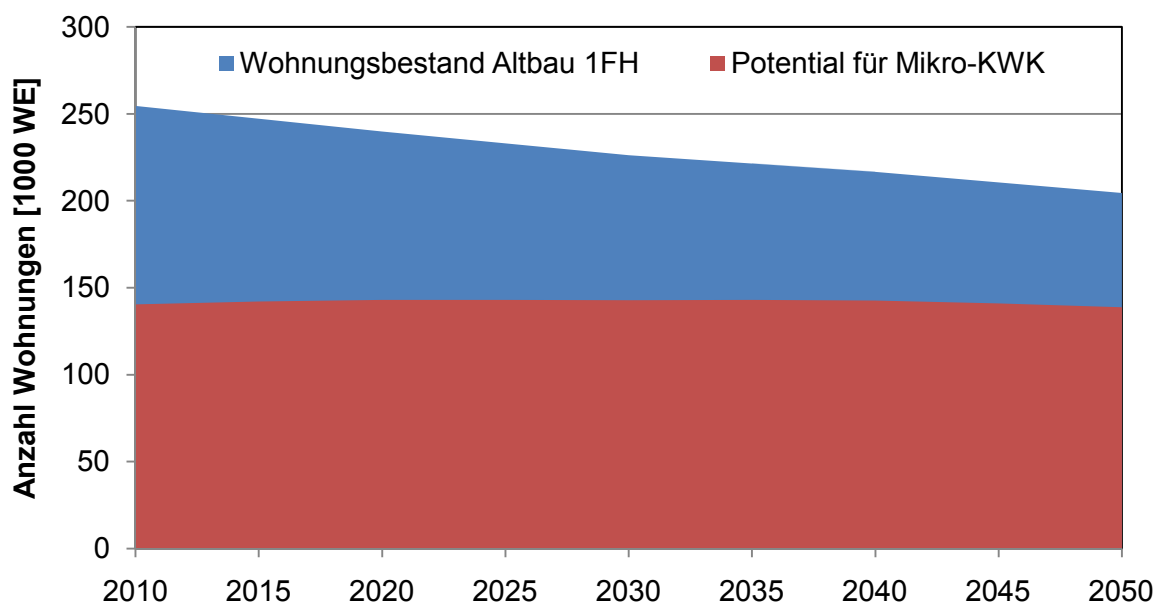
Für den Anteil der Fernwärmekunden am gesamten Wohnungsbestand wurden in den Unterlagen „WohnGebäudebestand bis 2050“ nur Angaben bis 2020 gemacht. Die Werte für die Jahre 2025 bis 2050 wurden anhand der vorhandenen Daten durch eine polynomische Trendlinie 2. Grades bis ins Jahr 2050 erweitert.

Das Potential für Mikro-KWK Anlagen liegt in einem Bereich von ca. 55 – 70 % aller Wohnungen in Österreich. Wenn im weiteren Dokument der Ausdruck „Potential für Mikro-KWK“ oder „Mikro-KWK Potential“ verwendet wird, ist immer der Anteil der zentral beheizten Wohnungen abzüglich Fernwärme am gesamten Wohnungsbestand gemeint.

#### 4.2.1 Potential im Sektor Einfamilienhäuser

##### Anzahl der Wohnungen

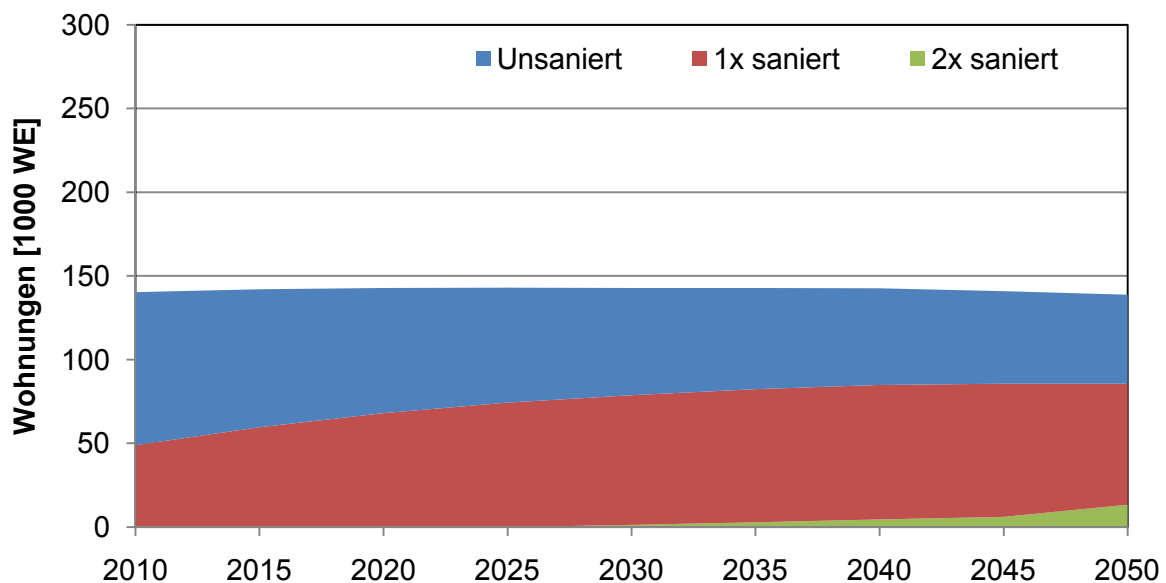
Generell nimmt der Bestand an Altbau-Wohnungen aus den bereits zuvor angeführten Gründen ab. Die absolute Anzahl der Wohnungen, die für den Einsatz der Mikro-KWK Anlagen in Frage kommen bleibt konstant (siehe Abbildung 37).



**Abbildung 37:** Verlauf Wohnungsbestand Altbau 1FH und Potential Mikro-KWK (vgl. [89])

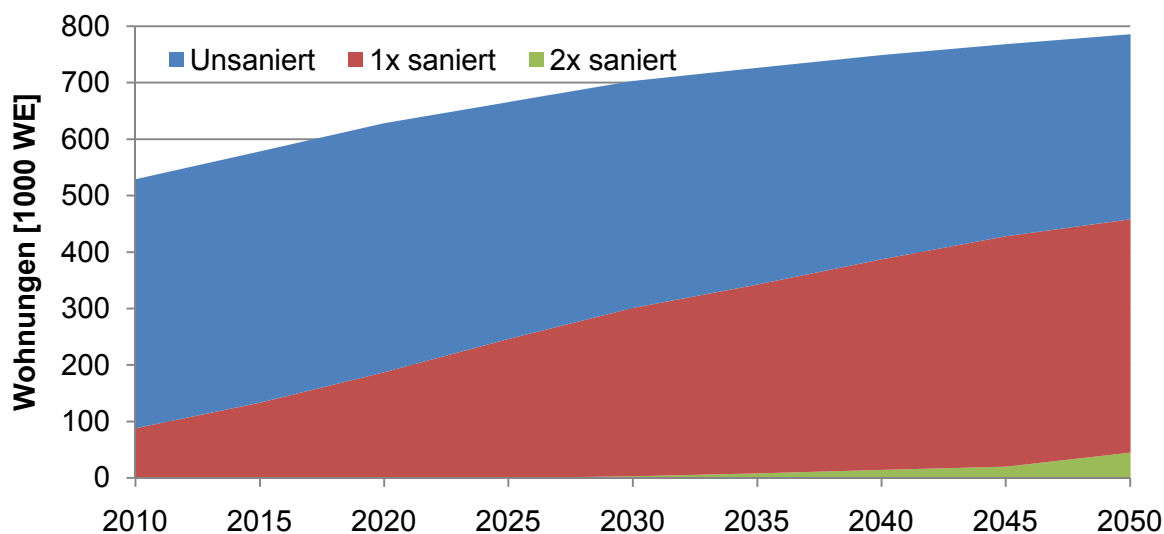
Sieht man sich in Abbildung 38 den Verlauf der Kurven im Detail an, kann man erkennen, dass die Zahl der bis 1945 gebauten Einfamilienhäuser, welche für Mikro-KWK Anlagen in Frage kommen, nahezu konstant bleibt. Die Größenordnung der Änderung die man hier erkennt, umfasst ca. 3.000 - 4.000 Wohnungen, die Abweichung liegt in einem Bereich von ca.  $\pm 3\%$  des Wertes von 2010.

Bereits ein Drittel des Wohnungsbestandes wurde 2010 bereits einmal saniert und dieser Anteil ist weiter steigend. Zwischen 2025 und 2030 wird laut den Auswertung begonnen einen Teil der Wohnungen zum zweiten Mal zu sanieren und damit energetisch auf den aktuellsten Stand zu bringen.



**Abbildung 38:** Mikro-KWK Potential Altbau 1FH unterteilt in unsanierte und 1-2x sanierte Wohnungen (vgl. [89])

Das Potential für Mikro-KWK in Einfamilienhäusern, die nach 1945 gebaut wurden, nimmt stetig zu und erreicht 2050 einen Wert von knapp 800.000 Wohnungen. Dies entspricht einer prozentuellen Steigerung von mehr als 50 % (vgl. Abbildung 39).



**Abbildung 39:** Mikro-KWK Potential Neubau 1FH unterteilt in unsanierte und 1-2x sanierte Wohnungen (vgl. [89])

### Kumulierter Wärmebedarf der Wohnungen

Um von der Anzahl der Wohnungen auf den Energieverbrauch schließen zu können, wurde die Anzahl der Wohnungen die zum Mikro-KWK Potential zählen mit den jeweils zugehörigen Endenergieverbrauchswerten<sup>4</sup> nach Bauperioden multipliziert. In einem nächsten Schritt wurde für die Unterteilung in Alt- bzw. Neubauten die Wärmeendenergiebedarfswerte der Bauperioden „vor 1919“ und „1919-1945“ bzw. die Bauperioden ab 1945 bis 2050 addiert. Die Unterteilung in unsanierte, ein- und zweimal sanierte Wohnungen bleibt bestehen.

Der zu erwartende kumulierte Wärmeverbrauch der Altbauten sinkt von ca. 3,9 TWh im Jahr 2010 auf ca. 3,1 TWh im Jahr 2050. Diese Differenz entspricht einer Energieeinsparung von etwa 18 %. Der Energieverbrauch fällt, obwohl die Anzahl der Wohnungen im Mikro-KWK Potential nahezu gleich bleibt. Erklärbar ist dieser Trend durch die sanierten Wohnungen, da deren Wärmeenergiebedarf signifikant kleiner ist, als jener der unsanierten Wohnungen. Der Wärmeenergiebedarf der zweimal sanierten Einfamilienhäuser fällt wie in der Grafik ersichtlich, kaum noch ins Gewicht, begründet in den stark gesunkenen Energiekennzahlen.

**Tabelle 21:** Jährlicher Wärmebedarf 1FH Altbau und Neubau (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [GWh]	3.916	3.824	3.726	3.633	3.534	3.442	3.350	3.237	3.067
Neubau [GWh]	13.762	13.667	13.319	12.447	11.628	10.879	10.036	8.994	7.970

Bei steigender Anzahl an Neubauten kommt es trotzdem zu einer Abnahme des kumulierten Wärmeverbrauchs für Einfamilienhäuser von ca. 13,8 TWh im Jahr 2010 auf 7,9 TWh im Jahr 2050. Dies entspricht einer Einsparung von mehr als 42 % (siehe Tabelle 21).

<sup>4</sup> Beinhaltet den Energiebedarf für Raumheizung, Warmwasserbereitung sowie Verluste

Der Energieverbrauch der unsanierten Wohnungen ist zwar konstant bis 2050, durch die Abnahme der Anzahl der Wohnungen sinkt aber der Energieverbrauch deutlich. Standards für Sanierung werden ständig angepasst, deshalb fällt auch bei den Neubauten der Energieverbrauch der 2x sanierten Wohnungen kaum ins Gewicht.

### Zweifamilienhaus

Die Zweifamilienhäuser nehmen im Ganzen ca. 30% der Gruppe „Einfamilienhäuser“ ein, d.h. bei qualitativ gleichem Verlauf der Grafiken liegen die Absolutwerte beim Zweifamilienhaus niedriger als jene beim Einfamilienhaus.

Sowohl die Entwicklung der Anzahl der Wohnungen als auch die Entwicklung des Wärmeverbrauchs liegen prozentuell gesehen bei den gleichen Werten.

### 4.2.2 Potential im Sektor Mehrfamilienhäuser

Der Sektor Mehrfamilienhäuser beinhaltet Gebäude mit mehr als 2 Wohneinheiten. Die im Folgenden betrachteten MFH bilden jeweils einen Mittelwert jener Gebäude, z.B.: ein Gebäude mit 4 Wohneinheiten steht für einen Mittelwert aus den Gebäuden mit 3-5 Wohnungen.

#### Entwicklung des Wärmebedarfs im 4-Familienhaus

Das Potential für Mikro-KWK Anlagen für Altbauten (siehe Tabelle 22) nimmt stärker ab, als jenes der EFH. Zurückzuführen ist dies darauf, dass bei den MFH der Bestand der Altbauten stärker zurückgeht (Abriss, Unbewohnbarkeit, ...) als bei EFH, da z.B. beim Abriss eines Gebäudes gleich mehrere Wohneinheiten betroffen sind. Bei Neubauten steigt das Potential für Mikro-KWK von 2010 um ca. 50 % bis 2050 (siehe Tabelle 22). Die unsanierten Wohnungen nehmen 2010 etwa ein Viertel der gesamten 4FH ein. Auch bei MFH werden erneute Sanierungen erst zwischen 2025 und 2030 realisiert.

**Tabelle 22:** Potential Mikro-KWK für Bestand von 4FH Altbau und Neubau (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [in 1.000 Wohneinheiten]	27	27	26	25	24	23	23	22	22
Neubau [in 1.000 Wohneinheiten]	84	93	101	107	113	117	121	124	127

Für einen Wärme Endenergiebedarf der Wohnungen werden in einem ersten Schritt Wohnungen die zum Potential Mikro-KWK für 4FH gehören mit den zugehörigen Endenergieverbrauchswerten multipliziert. Danach werden die Ergebnisse mit Werten der passenden Bauperiode addiert. Dies führt bezüglich der Unterscheidung Altbau/Neubau auf die folgenden Daten für den Energieverbrauch, dargestellt in Tabelle 23.

Der gesamte Energiebedarf bei den 4FH nimmt bei Alt- und Neubauten ab. Dies ist hauptsächlich auf die gestiegene Anzahl sanierter Wohnungen zurückzuführen.

**Tabelle 23:** Wärmeverbrauch 4FH Altbau und Neubau kumuliert (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [GWh]	420	417	406	397	384	382	371	359	338
Neubau [GWh]	1.010	1.010	991	948	917	868	810	733	657

Die Energieverbrauchsreduktion liegt bei den Altbauten bei rund 25 % und Neubauten von 4FH bis 2050 bei rund 35 %.

### Entwicklung des Wärmebedarfs im 8-Familienhaus

Für das 8-Familienhaus welches wiederum einen Mittelwert der Häuser mit 6-10 Wohnungen darstellt, sind die Verläufe in den Grafiken qualitativ gleich wie jene des 4-Familienhauses, unterschiedlich nur in den Absolutwerten. Die 8FH nehmen dabei ungefähr 20% der MFH ein.

Der Energieverbrauch sinkt besonders aufgrund des niedrigen Energiebedarfs der sanierten Gebäude von rund 770 GWh auf ca. 620 GWh im Jahr 2050. Trotz steigender Tendenz bei den Wohnungen sinkt der Energieverbrauch auch bei den Neubauten von rund 1.800 GWh auf rund 1.200 GWh im Jahr 2050. Die Tabelle 24 stellt die Zahlenwerte für den kumulierten Wärmeverbrauch für 8FH in der Kategorie Altbau bzw. Neubau dar.

**Tabelle 24:** Wärmeverbrauch 8FH Altbau und Neubau kumuliert (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [GWh]	771	764	744	728	703	701	681	657	620
Neubau [GWh]	1.851	1.851	1.817	1.738	1.681	1.592	1.485	1.344	1.205

### Entwicklung des Wärmebedarfs im 16-Familienhaus

Das 16-Familienhaus stellt einen Mittelwert der Gebäude mit 11-20 Wohnungen dar, sie nehmen prozentuell gesehen (ca. 40 %) den größten Anteil der Wohnungen ein (jedoch nicht den größten Anteil der Gebäude), deshalb wirken sich hier Effizienzmaßnahmen in absoluten Zahlenwerten am meisten aus.

Der Energieverbrauch sinkt bei Altbauten von ca. 1.500 GWh auf rund 1.200 GWh im Jahr 2050 (vgl. Tabelle 25). Bei Neubauten sinkt der Energieverbrauch von rund 3.600 GWh auf 2.300 GWh im Jahr 2050.

**Tabelle 25:** Wärmeverbrauch 16FH Altbau und Neubau kumuliert (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [GWh]	1.506	1.493	1.454	1.422	1.375	1.370	1.331	1.285	1.212
Neubau [GWh]	3.618	3.619	3.552	3.398	3.285	3.112	2.902	2.628	2.355

### Entwicklung des Wärmebedarfs im 30-Familienhaus

Das 30-Familienhaus stellt mit ca. 30 % der MFH den Mittelwert der Gebäude mit mehr als 20 Wohnungen, also größere Hochhäuser dar.

Der kumulierte Wärmeverbrauch für 30FH in den Kategorien Altbau bzw. Neubau bis 2050 wurde in Tabelle 26 wiedergegeben. Der Energieverbrauch beträgt bei Altbauten im Jahr 2010 ca. 1.100 GWh, im Jahr 2050 beläuft sich der Verbrauch nur mehr auf ca. 900 GWh. Bei Neubauten sinkt der Energieverbrauch um ca. 1.000 GWh auf 1.700 GWh im Jahr 2050.

**Tabelle 26:** Wärmeverbrauch 30FH Altbau und Neubau kumuliert (vgl. [89])

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Altbau [GWh]	1.114	1.104	1.076	1.052	1.017	1.014	985	951	897
Neubau [GWh]	2.676	2.678	2.628	2.514	2.431	2.302	2.147	1.944	1.742



### 4.3 Potential der Mikro-KWK Anlagen im Gewerbe und Dienstleistungssektor bis 2050

Die Ermittlung des Potentials der Mikro-KWK Anlagen wurde in der ersten Linie basierend auf der Analyse des Verbrauchsverhaltens der verschiedenen Gewerbe- und Dienstleistungskategorien aufgebaut. Für die Analyse des Verbrauchsverhaltens wurden geeignete (in Abhängigkeit zur mittleren Außentemperatur) Wärmelastprofile zugrunde gelegt. Dadurch konnten die geeigneten Einsatzgebiete für Mikro-KWK Anlagen im Gewerbesektor identifiziert werden.

Mittels Berechnung der Entwicklung des Gebäudebestands (statistische Daten), Wärmeentwicklung in den verschiedenen Sektoren (Raumheizung und Warmwasserverbrauch) und Definition eines Fernwärmeabschlagsfaktors konnte das Potential für Mikro-KWK Anlagen im Gewerbesektor bis 2050 ermittelt werden.

#### 4.3.1 Energiebedarf im Gewerbe und Dienstleistungssektor

##### Bildungseinrichtungen

In die Kategorie "Erziehung und Unterricht" nach NACE fallen vor allem Schulen, (Pflichtschulen, AHS, BHS) Kindergärten und Universitäten. Auch Gebäude zur Erwachsenenbildung, wie z.B.: Fahrschulen, zählen zu dieser Kategorie.

**Tabelle 27:** Energiebedarf einzelner Gebäude im Bildungssektor (vgl. [98])

Gebäudebezeichnung	Heizenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ]		Stromverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	Richtwert	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert
Kindergarten	65	120	5	6
Kindertagesstätte	80	95	7	16
Schule	55	90	4	7
Grund-/Hauptschule	75	110	3	7

Die Abnahmestruktur von Schulen ist überwiegend durch fest begrenzte Öffnungszeiten bestimmt. Neben hohem Aufwand für die Raumwärme, insbesondere in den Wintermonaten, ist ein Warmwasserbedarf von ca. 10 bis 40 Litern pro Schüler und Tag zu veranschlagen, je nachdem ob die Einrichtung mit Duschanlagen ausgestattet ist oder nicht. Mit einer mittleren Gebäudegrundfläche von 1045 m<sup>2</sup> [87] und den entsprechenden Energiekennzahlen [91] kann für Schulen auf einen durchschnittlichen Stromverbrauch von ca. 35 MWh/a und einem Wärmeverbrauch von ca. 125 MWh/a ausgegangen werden.

**Tabelle 28:** Energiekennzahlen, Bruttogebäudefläche sowie Jahresenergieverbrauch für Schulen [87] und [91]

	Energiekennzahl [kWh/m <sup>2</sup> ]	Bruttogebäudefläche [m <sup>2</sup> ]	Energieverbrauch [MWh/a]
Strom	33	1045	34,485
Wärme	120		125,4

Demnach erscheinen Schulen als potentielle Kundengruppe für Mikro-KWK als realistisch, auch wenn der Anteil an Fernwärme im Bereich „Erziehung und Unterricht“ bei mehr als 50% liegt.

### Schwimmbäder

Schwimmbädern weisen eine nahezu ideale Charakteristik für Blockheizkraftwerke (BHKW) auf, da hier ein hoher Wärmebedarf gekoppelt mit großem Strombedarf aufgrund der großen Fördermengen für Luft und Wasser zusammentrifft. Da die Energiekennzahlen für diese Gebäude sehr hoch sind, muss jedoch untersucht werden, ob sich Schwimmbädern auch für Mikro-KWK Anlagen eignen.

Der Wärmebedarf von Schwimm- insbesondere Hallenbädern ist bei ganzjähriger Öffnung unabhängig von den Jahreszeiten, relativ konstant. Ein hoher Stromverbrauch bedingt durch den permanenten Einsatz von Umwälzpumpen sowie der Wärmeeinsatz um eine konstante Wasser- und Raumtemperatur zu erhalten, sind charakteristisch.

Der Aspekt der Raumheizung wie es für Haushalte, aber auch Beherbergungsbetriebe und ähnliches typisch ist, gekennzeichnet durch hohen Verbrauch in den Wintermonaten und niedrigem Verbrauch in den Sommermonaten, kommt hier nicht zum Tragen. Die Tabelle 29 stellt dazu den Wärme- und Strombedarf von Schwimmbädern bzw. –hallen dar.

**Tabelle 29:** Energiebedarf von Schwimmbädern und Schwimmbädern [90]

Gebäudebezeichnung	Heizenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ]		Stromverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	Richtwert	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert
Hallenbäder (bis 250m <sup>2</sup> Beckenoberfläche)	2045	3820	477	1025
Hallenbäder (von 251 bis 500m <sup>2</sup> )	1965	3075	386	1160
Hallenbäder (>500m <sup>2</sup> Beckenoberfläche)	1480	3460	474	808
Hallenfreibäder	525	1285	142	294
Freibäder	105	280	37	85
Freizeitbäder	950	5310	353	1620

Für Hallenbäder bis 250 m<sup>2</sup> Beckenoberfläche ergibt sich ein Jahreswärmeverbrauch von 955 MWh. Für Hallenbäder bis 500 m<sup>2</sup> Beckenoberfläche ergibt sich ein Jahreswärmeverbrauch von ca. 1,5 GWh. Der maximale Wärmebedarf liegt bei ca. 380 kW<sub>th</sub>. Hallenbäder mit mehr als 500 m<sup>2</sup> Beckenoberfläche können nicht dem Potential der Mikro-KWK zugeordnet werden. Der Gesamtwärmeverbrauch ist hier zu groß. Hallenfreibäder wurden mit einer Beckenoberfläche von 500 m<sup>2</sup> berechnet. Der Spitzenwärmebedarf beträgt hier ca. 160 kW<sub>th</sub>. Freibäder weisen die niedrigsten Energiekennzahlen auf. Die Anlagengröße wurde wieder mit 500 m<sup>2</sup> Beckenoberfläche angenommen, der maximale Wärmebedarf beträgt hier bei 35 kW<sub>th</sub>.

Für sog. Freizeitbäder ist der Wärmebedarf mit über 2 GWh/a zu groß, um mit Mikro-KWK Anlagen einen signifikanten Teil des Spitzenwärmebedarfs abdecken zu können. Bei Freibädern stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer Mikro-KWK Anlage, da der Betrieb nur saisonal stattfindet und damit die Forderung nach Vollastbetriebsstunden nicht beantwortet werden kann.

### Beherbergungsbetriebe

Zu den Beherbergungsbetrieben zählen Hotels sowie Pensionen, Jugendherbergen und gewerbliche Ferienhäuser. Nicht berücksichtigt werden Gaststätten, sofern sie sich nicht in einem Beherbergungsbetrieb befinden.

Von den 50.355 Arbeitsstätten im Jahr 2001 in den „Beherbergungs- und Gaststätten“, nehmen Restaurants, Cafes und Gasthäuser 28.659 Arbeitsstätten ein, weitere 2.194 Arbeitsstätten zählen zur Kategorie „Sonst. Gaststättenwesen“ und 970 zu „Kantinen & Caterer“. Beherbergungsbetriebe weisen ebenso wie Haushalte einen hohen Bedarf an Warmwasser über das gesamte Jahr auf. Deshalb eignen sie sich als Anwendungsgebiet für Mikro-KWK Anlagen. Daten für die österreichische Hotellerie von der Firma MANOVA [92] wurden für ein Benchmarkingsystem erhoben, bei dem Gewerbetreibende ihren Energieverbrauch mit anderen Hotels vergleichen können. Das Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms "NEUE ENERGIEN 2020" durchgeführt.

**Tabelle 30:** Österreichische Hotellerie, Daten über den Wärmeverbrauch (vgl. [92])

	Wärmeverbrauch / Bett			Wärmeverbrauch / Nächtigung			Wärmeverbrauch / BGF		
	Mittelwert [kWh/ Bett]	Median [kWh/ Bett]	Anzahl Hotels	Mittelwert [kWh/ Nächtigung]	Median [kWh/ Nächtigung]	Anzahl Hotels	Mittelwert [kWh/ BGF]	Median [kWh/ BGF]	Anzahl Hotels
1/2-Stern Hotels	3508	3136	70	39,07	28,32	72	97,88	115,66	74
3/ 4-Stern Hotels	4772	4339	227	33,93	29,32	218	133,21	115,74	237
5-Stern Hotels	5100	4980	7	41,82	39,27	7	92,06	88,68	7

**Tabelle 31:** Österreichische Hotellerie, Daten über den Stromverbrauch (vgl. [92])

	Stromverbrauch / Bett			Strom / Nächtigung			Stromverbrauch / BGF		
	Mittelwert [kWh/Bett]	Median [kWh/Bett]	Anzahl Hotels	Mittelwert [kWh/Nächtigung]	Median [kWh/Nächtigung]	Anzahl Hotels	Mittelwert [kWh/BGF]	Median [kWh/BGF]	Anzahl Hotels
1/2-Stern Hotels	1427	873	67	15,86	10,91	67	42,06	32,55	70
3/ 4-Stern Hotels	2775	2500	225	19,65	15,33	214	69,15	65,22	233
5-Stern Hotels	4394	5007	7	35,19	43,16	7	79,01	66,56	7

In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die Energiekennzahlen angeführt, die aus dieser Datenabfrage stammen (Siehe [92]). Sie beschreiben den Wärme-, bzw. Stromverbrauch von Hotels unterschiedlicher Kategorien, aufgeschlüsselt nach drei wesentlichen Kriterien.

- Der Wärme- bzw. Stromverbrauch pro Bett entspricht dem Jahreswärme-/stromverbrauch dividiert durch die Anzahl der Betten im jeweiligen Betrieb. Die Aussagekraft dieser Kennzahl ist aber zu hinterfragen, da die Anzahl der zur Verfügung stehenden Betten keine Aussage über deren Auslastung zulässt.
- Eine aussagekräftigere Kennzahl bildet der Energieverbrauch pro Nächtigung. Hier erfolgt eine gute Abschätzung, wie viel Energie pro Gast und Nächtigung aufgewendet werden muss.
- Der Energieverbrauch pro Bruttogebäudefläche entspricht der Form der üblicherweise verwendeten Energiekennzahlen, auch wenn für ihn ebenfalls gilt, dass er von der Zahl der Gäste und Nächtigungen abhängt.

Eine der gewonnenen Erkenntnisse ist, dass in Tabelle 31 der Wärmeverbrauch pro m<sup>2</sup> Bruttogebäudefläche für 5-Stern Hotels den niedrigsten Wert einnimmt. Da der Wärmeenergiebedarf auf die Gebäudefläche bezogen wird, weisen 5-Stern Hotels somit einen niedrigeren Wärmeenergieverbrauch als 1- und 2-Stern Hotels auf. Bezogen auf die Betten oder Anzahl der Nächtigungen weist das 5-Stern Hotel den höchsten Wert der drei Kategorien auf.

Beim Wärmeverbrauch bezogen auf die Bruttogebäudefläche besteht ein erhebliches Einsparpotential. Dieses Einsparpotential ist auch für den Wärmeverbrauch pro Nächtigung bzw. Bett gegeben. Dieses Einsparpotential kann einerseits durch bauliche Eingriffe wie thermische Gebäudesanierung erzielt werden, andererseits durch Erarbeitung und Umsetzung von Effizienzmaßnahmen im täglichen Betrieb, sowie Bewusstseinsbildung bei den Gästen.

Diese Erkenntnis lässt den Schluss zu, dass im gesamten Sektor Beherbergungsbetriebe ein sehr hohes Einsparpotential vorhanden ist, welches durch geeignete Maßnahmen auch ausgeschöpft werden sollte.

Der Spitzenwärmebedarf von Beherbergungsbetrieben liegt bei etwa 36 kW<sub>th</sub> für ein kleines 1-,2- oder 3-Stern Hotel und bei ca. 105 kW<sub>th</sub> für ein großes Hotel dieser Kategorie. Bei kleinen 4- und 5-Stern Hotels liegt der Spitzenwärmebedarf bei ca. 27 kW<sub>th</sub> und bei großen bei etwa 80 kW<sub>th</sub>. Das zeigt, dass Mikro-KWK Anlagen sehr gut für den Einsatz in Beherbergungsbetrieben geeignet sind, bezogen auf die thermische Leistung. Weiters wurde festgestellt, dass die Verbrauchscharakteristik von Beherbergungsbetrieben, jenen von Haushalten sehr ähnlich ist. Und damit stellen Beherbergungsbetriebe neben den Haushalten im privaten Sektor, die größte und interessanteste Kundengruppe für Mikro-KWK im Gewerbe dar.

### Öffentliche Gebäude

Zum Sektor öffentliche Gebäude und Verwaltung zählen Bürogebäude, sowie Gebäude die der Verwaltung dienen, wie z.B. Bezirkshauptmannschaften, Rathäuser oder ähnliche. Bei der „Gebäude- und Wohnungszählung 2001“ (vgl. [93]) wurden 32.235 Gebäude, die dem Sektor „Bürogebäude“ zugeordnet sind, registriert. Energiekennzahlen für Büros stammen aus eigenen Berechnungen, mit der in [91] veröffentlichten Daten für das Niederösterreichische Landhaus und Regierungsviertel, sowie Daten der Studie über „öffentliche Gebäude“ (vgl. [90]).

Da Mikro-KWK Anlagen meist im Grundlastbereich eingesetzt werden, um möglichst hohe Laufzeiten zu erreichen, eignen sie sich für öffentliche Gebäude. Die Verbrauchscharakteristik von öffentlichen Gebäuden ist bestimmt durch einen permanent hohen Strombedarf. Der Heizwärmebedarf ist in den Sommermonaten zwar zu vernachlässigen, aber die Betriebszeit könnte erweitert werden, in dem die Kühlung im Sommer ebenfalls mittels Mikro-KWK implementiert wird.

**Tabelle 32:** Energiekennzahlen für Gebäude aus dem öffentlichen Bereich [90]

Gebäudebezeichnung	Heizenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ]		Stromverbrauch [kWh/m <sup>2</sup> ]	
	Richtwert	Mittelwert	Richtwert	Mittelwert
Bezirkshauptmannschaften	45	70	25	48
Verwaltungsgebäude	65	110	8	17
Ämtergebäude	20	125	7	9
Rathäuser	50	145	7	31

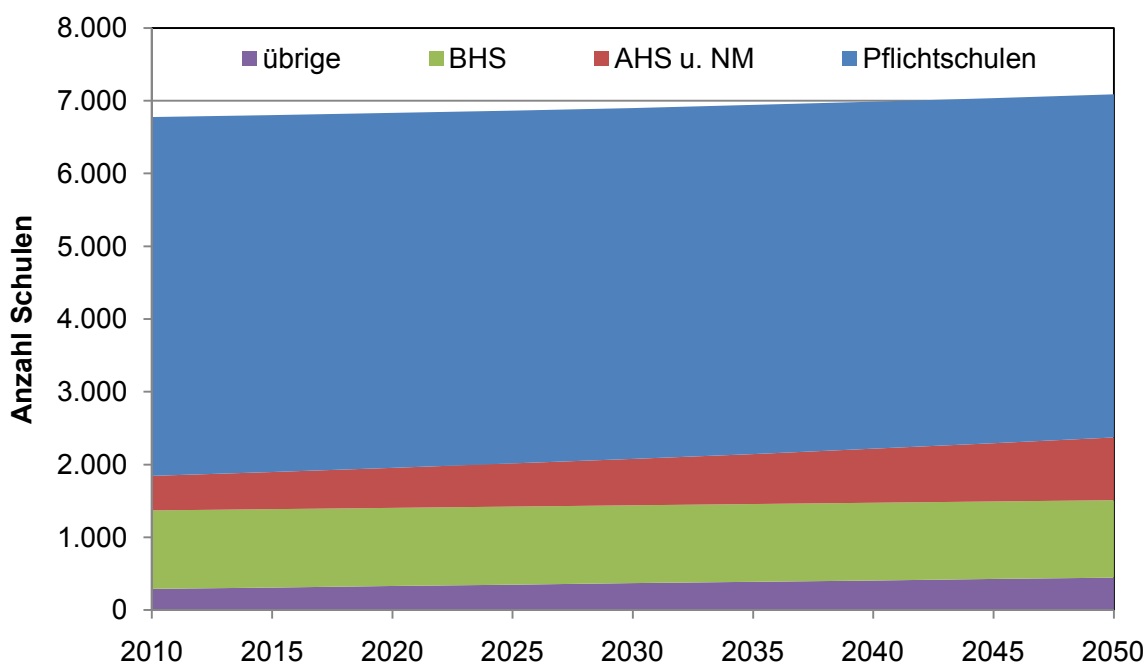
## 4.3.2 Entwicklung des Gebäudebestands in für Mikro-KWK geeigneten Anwendungsgebieten

### Gebäudeentwicklung im Sektor Schulen

Der Schulbestand in Österreich ist anhand von Zeitreihen der Jahrgänge 1923/24 bis 2008/09 von der Statistik Austria dokumentiert. Die Anzahl von Schulen und Klassen dient als Datenbasis für eine Abschätzung der weiteren Entwicklung. Die Schule werde unterteilt in:

- Pflichtschulen,
- Allgemeinbildende höhere Schule und neue Mittelschulen,
- Berufsbildende höhere Schulen und
- Übrige Schultypen (Lehrerbildung & Erzieherbildung, Gesundheitswesen).

Abbildung 40 zeigt die Entwicklung der Schulen bis ins Jahr 2050. Während die Pflichtschulen eine leicht rückläufige Tendenz zeigen, nehmen vor allem AHS und die Neue Mittelschule stark zu. Die Anzahl der Berufsbildende höheren Schulen bleiben konstant. Die Anzahl der Schulen insgesamt steigt leicht von ca. 6.800 Schulen 2010 auf 7.100 Schulen 2050. Dies entspricht einer Steigerung von etwa 4%.



**Abbildung 40:** Entwicklung der Schulen interpoliert nach Daten der Statistik Austria; eig. Berechnungen auf Basis von [95]

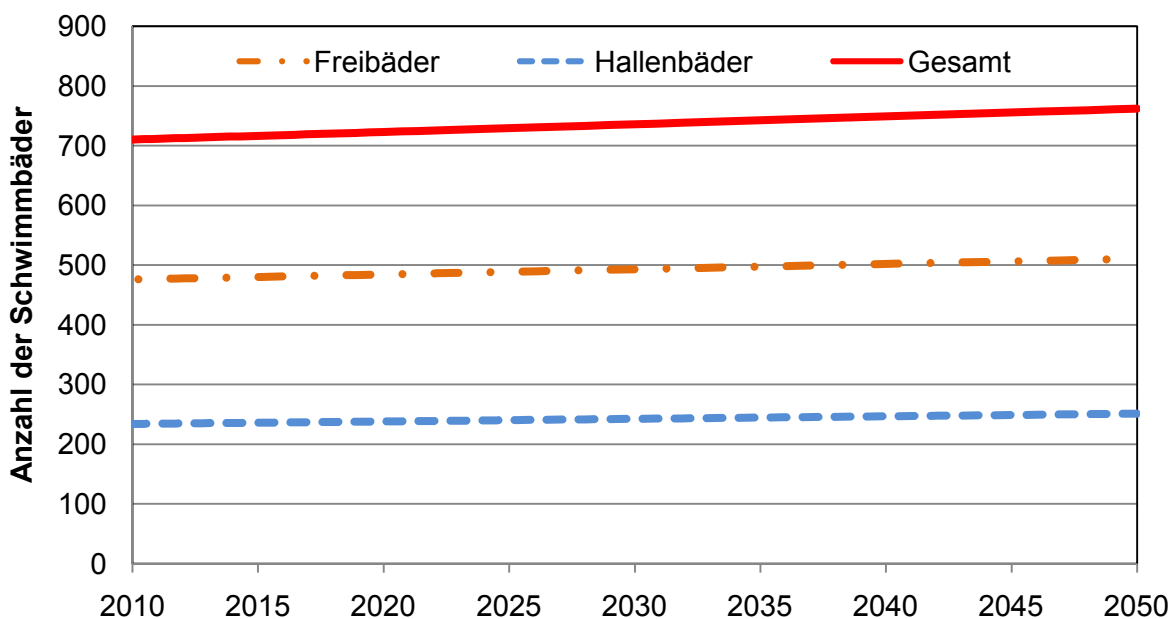
### Gebäudeentwicklung im Sektor Schwimmbäder

Zahlen für Schwimmbäder und Sporthallen kommen aus der Arbeitsstättenzählung 2001 der Statistik Austria (siehe [96]), sowie aus der Publikation "Tourismus in Zahlen" des WKO (vgl. [97]).

**Tabelle 33:** „Bäder nach Bundesländern und Betriebsarten 2008“ aus der Broschüre "Tourismus in Zahlen (TIZ)" der WKO

	Freibäder	Hallenbäder
Burgenland	15	4
Kärnten	41	11
Niederösterreich	144	61
Oberösterreich	35	30
Salzburg	52	30
Steiermark	90	13
Tirol	54	63
Vorarlberg	33	9
Wien	9	14
Insgesamt	473	235

2008 wurden in Österreich 473 Freibäder sowie 235 Hallenbäder gezählt, also insgesamt 708 Schwimmbäder, ein Wert, der sich mit den Angaben in der Arbeitsstättenzählung 2001 (699 Schwimmbäder/-stadien) deckt. Freibäder nehmen rund 67% der Bäder ein. Hohe Wachstumsraten sind hier nicht zuletzt wegen der schwierigen wirtschaftlichen Lage für Schwimmstättenbetreiber nicht zu erwarten. Mit einer Wachstumsrate von 1-2 Schwimmbädern pro Jahr könnte es bis 2050 etwa 760 Schwimmbäder/-stadien geben. Der Faktor Gebäude zu Arbeitsstätte kann hier mit 1:1 angenommen werden. Die in Abbildung 41 dargestellten Freibäder zählen nicht zum Potential Mikro-KWK, da sie durch ihre saisonal bedingte kurze Einsatzdauer kein geeignetes Anwendungsfeld bieten.



**Abbildung 41:** Entwicklung Schwimmbäder bis 2050

### Gebäudeentwicklung im Sektor Beherbergungsbetriebe

Für den Sektor Beherbergungsbetriebe wurden Daten der Statistik Austria (Tourismus, Beherbergung) herangezogen. Ausgehend von Zeitreihen der Jahre 1988-2009 wurde die zukünftige Entwicklung anhand von linearen bzw. exponentiellen Trendlinien abgebildet.

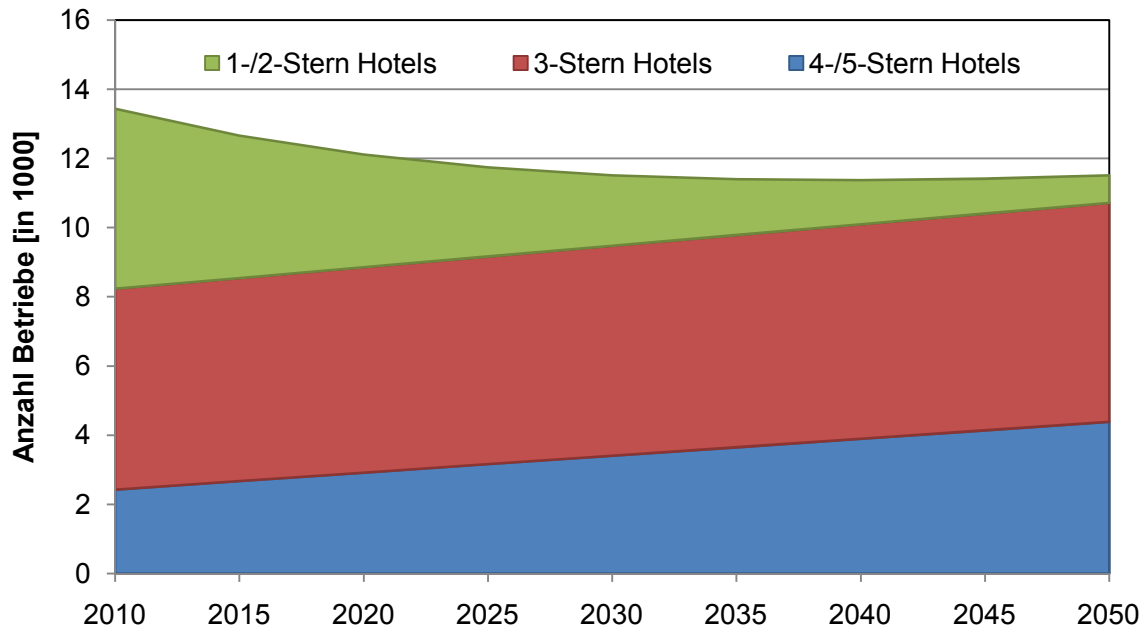
- Entwicklung der 4-/5-Stern Hotelbetriebe
- Entwicklung der 3-Stern Hotelbetriebe
- Entwicklung der 1-/2-Stern Hotelbetriebe

**Tabelle 34:** Anzahl der Hotelbetriebe im Beherbergungswesen, Entwicklung 2010 bis 2050 (eigene Berechnungen basierend auf [98])

in 1000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
4-/5-Stern Hotels	2,426	2,671	2,916	3,161	3,406	3,652	3,897	4,142	4,387
3-Stern Hotels	5,808	5,873	5,938	6,003	6,069	6,134	6,199	6,264	6,329
1-/2-Stern Hotels	5,206	4,118	3,257	2,577	2,038	1,612	1,275	1,009	0,798
Gesamt	13,440	12,662	12,112	11,741	11,513	11,397	11,371	11,414	11,514

Die Anzahl der Hotelbetriebe wird bis 2050 auf 11.500 Betriebe ansteigen. Die Unterteilung in große und kleine Hotels liegt bei ca. 6% große und 94% kleine Hotels (siehe [87]).

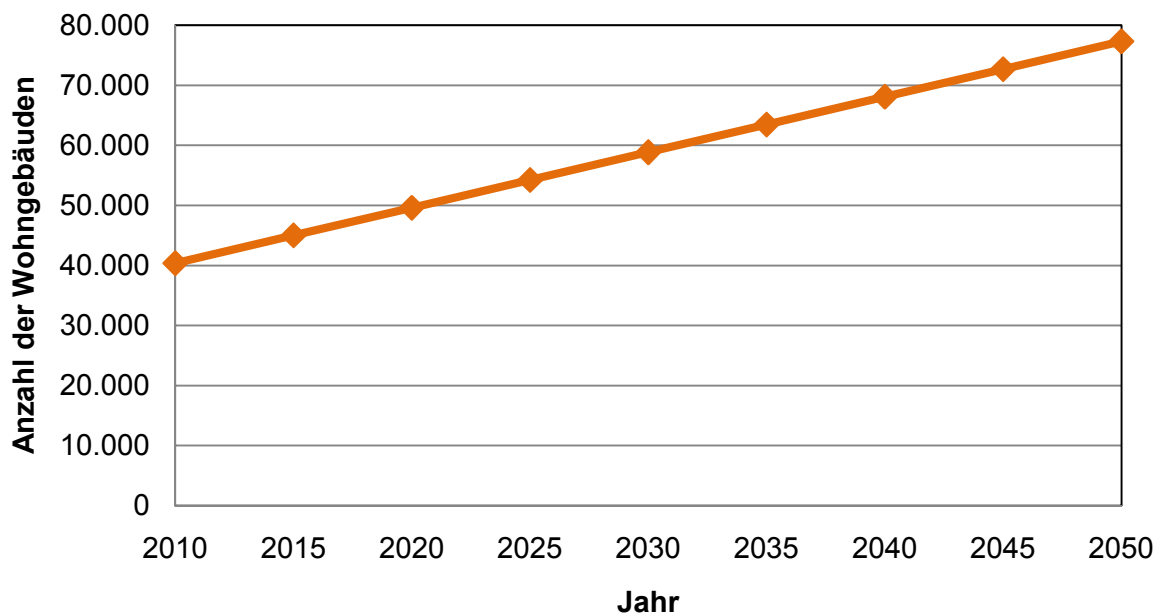




**Abbildung 42:** Entwicklung der Betriebe im Beherbergungssektor nach Approximation der Wachstumsraten (eigene Berechnungen basierend auf [98])

### Gebäudeentwicklung im Sektor Bürogebäude

In der Gebäude- und Wohnungszählung sind die Bürogebäude bei den Nichtwohngebäuden ausgewiesen. Ausgehend von 32.235 Gebäuden im Jahr 2001 kann mit den Angaben aus [87] folgender Verlauf, der in Abbildung 43 dargestellt wird, gewonnen werden. Es kommt zu einer Entwicklung die mit einem polynominalen Trend 2. Grades abgebildet werden kann. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  liegt dabei nahe 1.



**Abbildung 43:** Entwicklung der Anzahl der Bürogebäuden

Große Büros mit einer mittleren Gebäudegrundfläche von ca. 2.000 m<sup>2</sup> nehmen in etwa 24% der gesamten Bürogebäude ein, 76% entfallen auf kleine Büros [87].

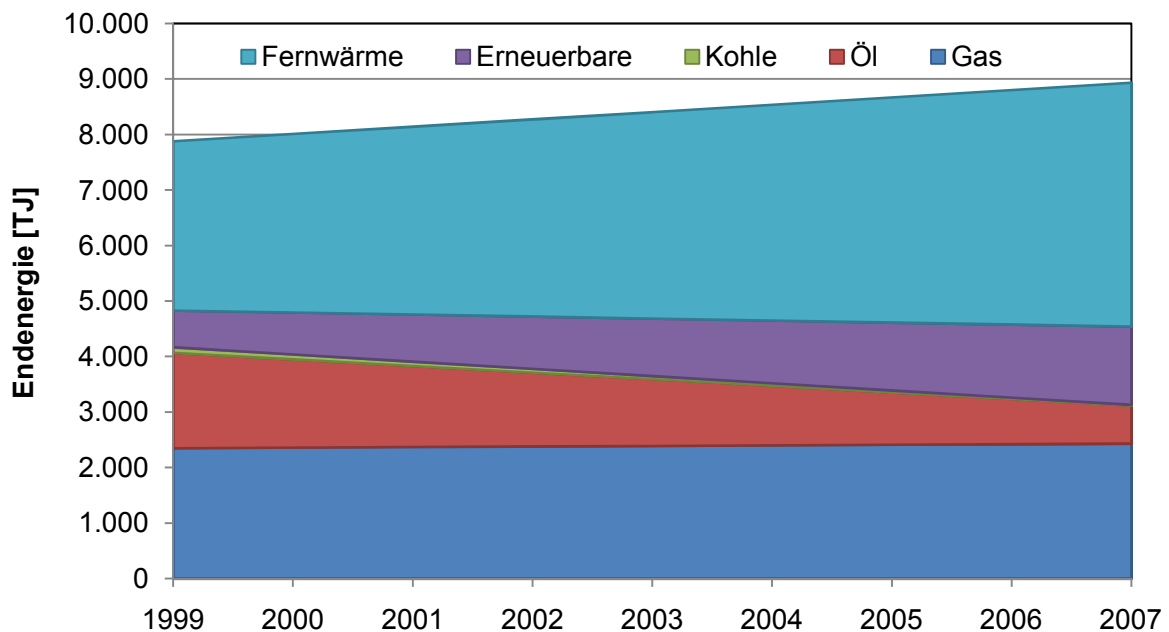
Bis 2050 wird die Zahl der Büros insgesamt die Zahl 80.000 überschreiten. Dies entspricht etwas mehr als einer Verdoppelung des derzeitigen Standes.

### 4.3.3 Entwicklung des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser in für Mikro-KWK geeigneten Anwendungsgebieten

#### Sektor Bildungswesen

Aus der Statistik Austria Energiegesamtrechnung 1999 bis 2007, konnte die Entwicklung des Endenergiebedarfs bis 2050 für den Bereich "Erziehung und Unterricht" abgeschätzt werden, um eine Aussage über den Fernwärmeanteil in diesem Sektor treffen zu können.

Abbildung 44 zeigt die Linearisierung der Entwicklung des Endenergieverbrauches. Öl und Kohle haben fallende Tendenz, während Fernwärme, Erneuerbare und Gas zunehmen.



**Abbildung 44:** Endenergiebedarf im Sektor "Erziehung und Unterricht" Lineare Interpolation, Eigene. Berechnungen basierend auf [94]

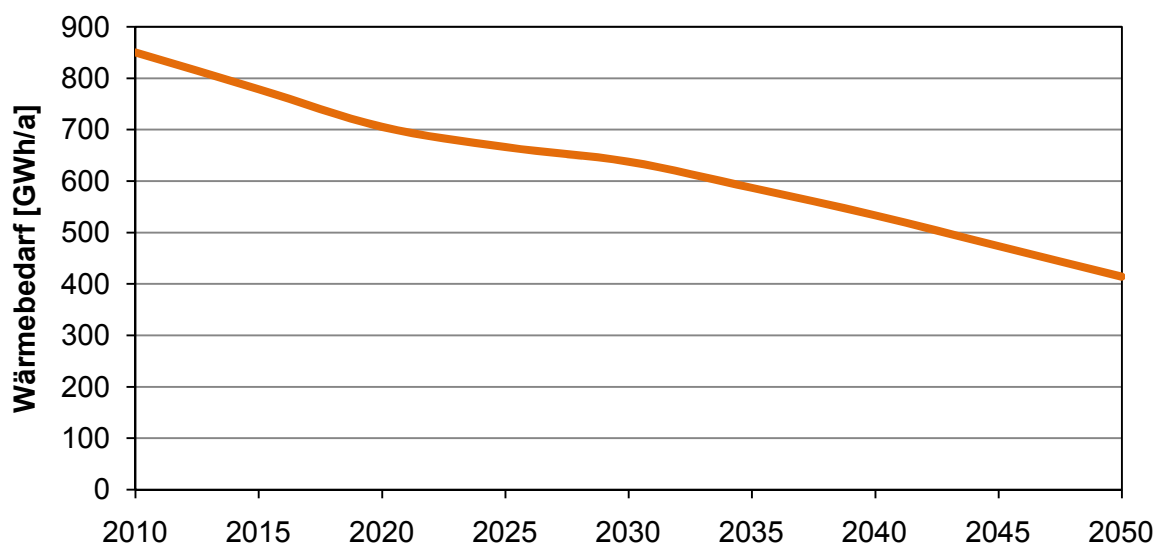
Der Anteil von Fernwärme ist, erwartungsgemäß im Bereich „Erziehung und Unterricht“ sehr groß (> 50% des Gesamtenergiebedarfs, >75% der Raumwärme), da viele Schulen im urbanen Bereich mit Fernwärme versorgt werden.

Unter Berücksichtigung des erwähnten Fernwärme Abschlagsfaktors ergibt sich für den Raumwärmebedarf folgende Entwicklung:

**Tabelle 35:** Fernwärmeanteil am Intermediärverbrauch im Sektor "Erziehung und Bildung", Eigene Berechnungen basierend auf [94]

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Fernwärme [%]	77	79	79	80	80	80	80	81	81

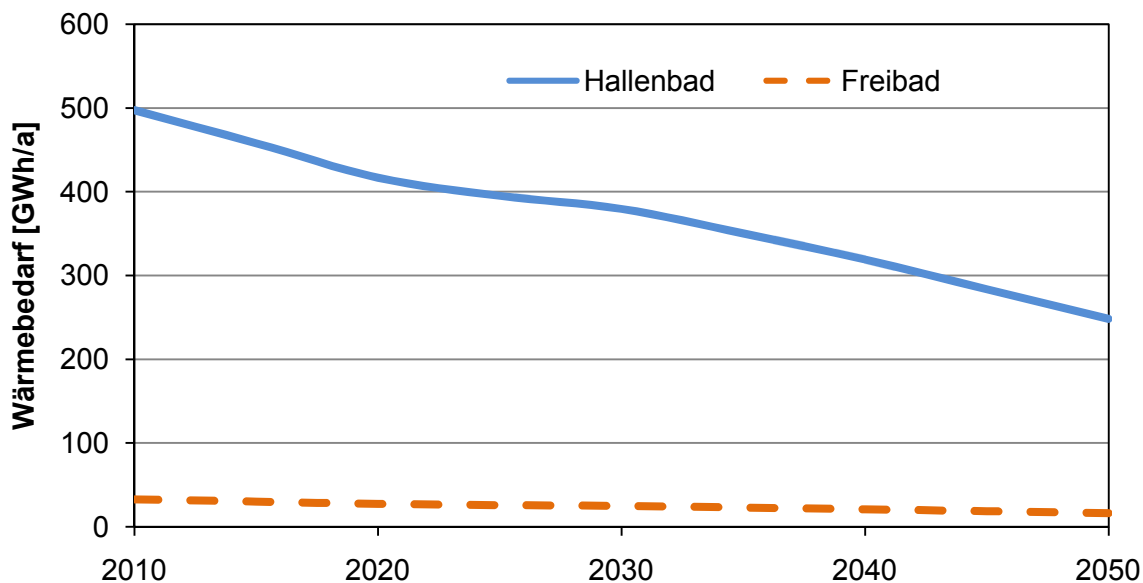
Wenn man von einem durchschnittlichen Jahreswärmeenergieverbrauch von ca. 125 MWh/a einer Schule in Österreich ausgeht, ergibt sich der gesamte Wärmeenergiebedarf für alle Schulen, als Multiplikation dieses Bedarfs mit der gesamten Anzahl der Schulen. Dem wird eine Verbesserung des Wärmeenergiebedarfs aufgrund der Tatsache, dass neue und sanierte Gebäude einen besseren energetischen Standard aufweisen, überlagert (die Endenergiebedarfsverbesserungen entsprechen den Annahmen für MFH Neubau). Daraus ergibt sich der in Abbildung 45 dargestellte Verlauf.



**Abbildung 45:** Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs für Schulen bis 2050

### Schwimmbäder

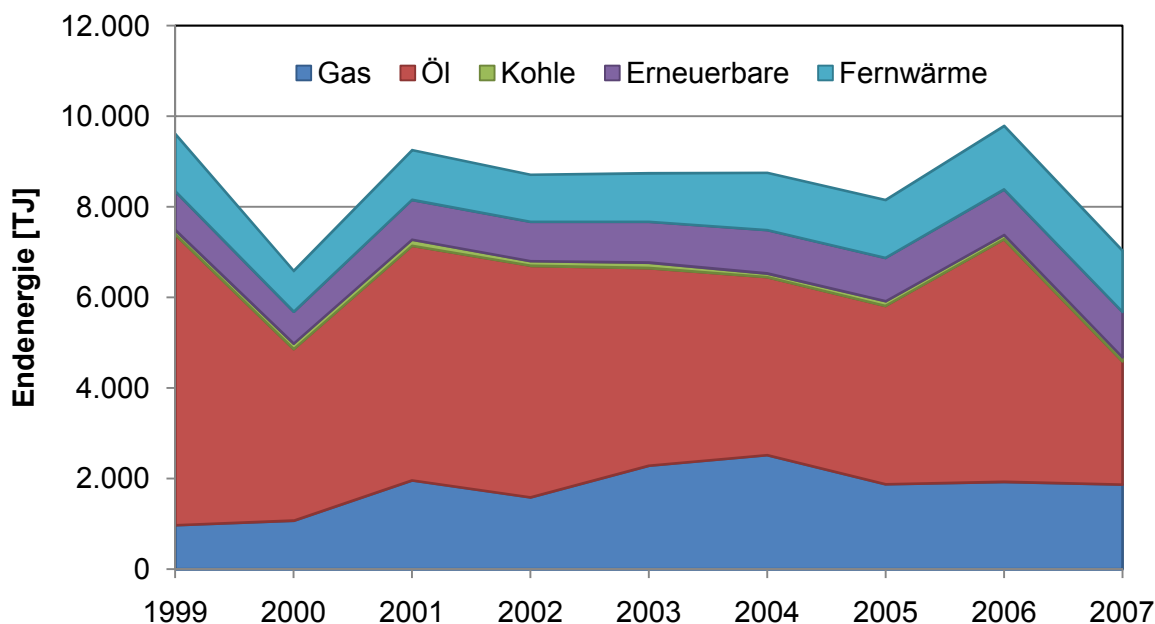
Der Wärmeenergiebedarf bei Schwimmbädern ist sehr unterschiedlich für Hallen- und Freibäder. Während in Hallenbädern der Wärmebedarf sehr hoch ist, da hier auch die Raumtemperatur erzeugt werden muss, ist bei Freibädern der Energiebedarf auf den Betrieb in den Sommermonaten und vor allem auf die Heizung und Förderung der Wassermengen beschränkt. Für Hallenbäder wird die verallgemeinernde Annahme getroffen, dass die Durchdringung mit Fernwärme gleich Null ist.



**Abbildung 46:** Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs bis 2050 für Hallen- und Freibäder in Österreich

### Hotels

Über die Zeit gesehen sinkt der Gesamtenergiebedarf der Hotellerie, zurückzuführen auf die steigende Energieeffizienz, aber auch auf eine leicht rückläufige Entwicklung bei den Hotelbetrieben.



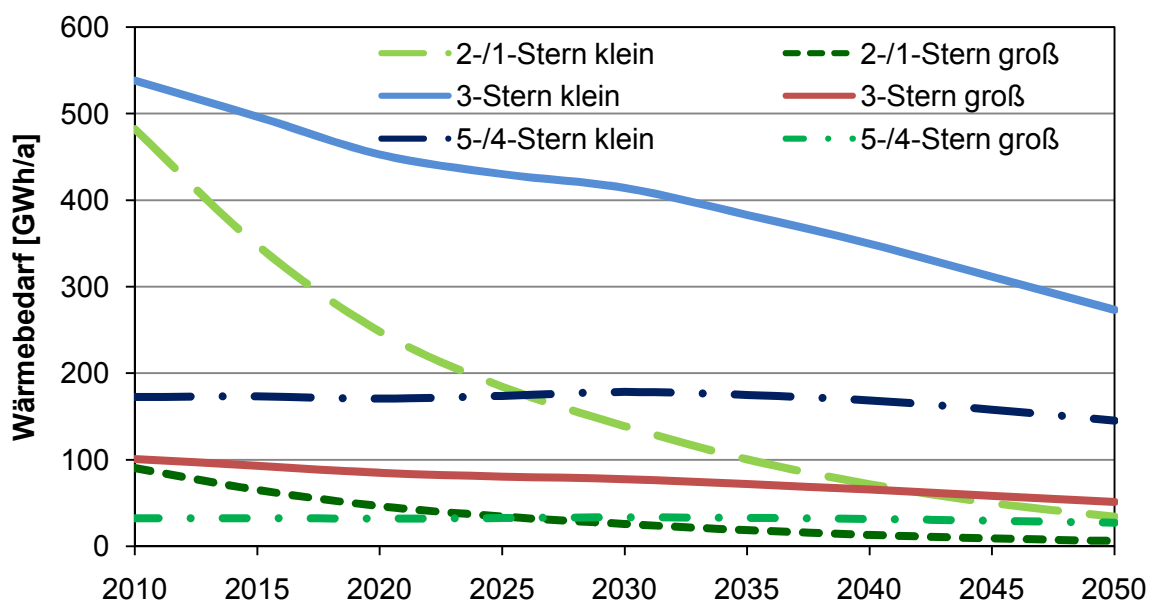
**Abbildung 47:** Entwicklung des Endenergiebedarfs von "Beherbergungs- und Gaststätten" aus der Energiegesamtrechnung der Statistik Austria für die Jahre 1999 bis 2007 ohne Strom (siehe [94])

Der mit den Faktoren gewichtete Anteil von Fernwärme im Sektor Beherbergung weist eine stark steigende Tendenz auf, obwohl der Anteil an Fernwärme am Endenergiebedarf nur rund 10-15% ausmacht. Die Tabelle 36 stellt die Entwicklung des Anteils der Fernwärme an Wärmeversorgung der Beherbergungsbetriebe dar.

**Tabelle 36:** Anteil Fernwärme an Raumwärme und Warmwasser in den Hotels und Beherbergungsbetrieben, Eigene Berechnungen basierend auf [94]

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Fernwärmeanteil [%]	40	45	49	54	58	62	67	71	75

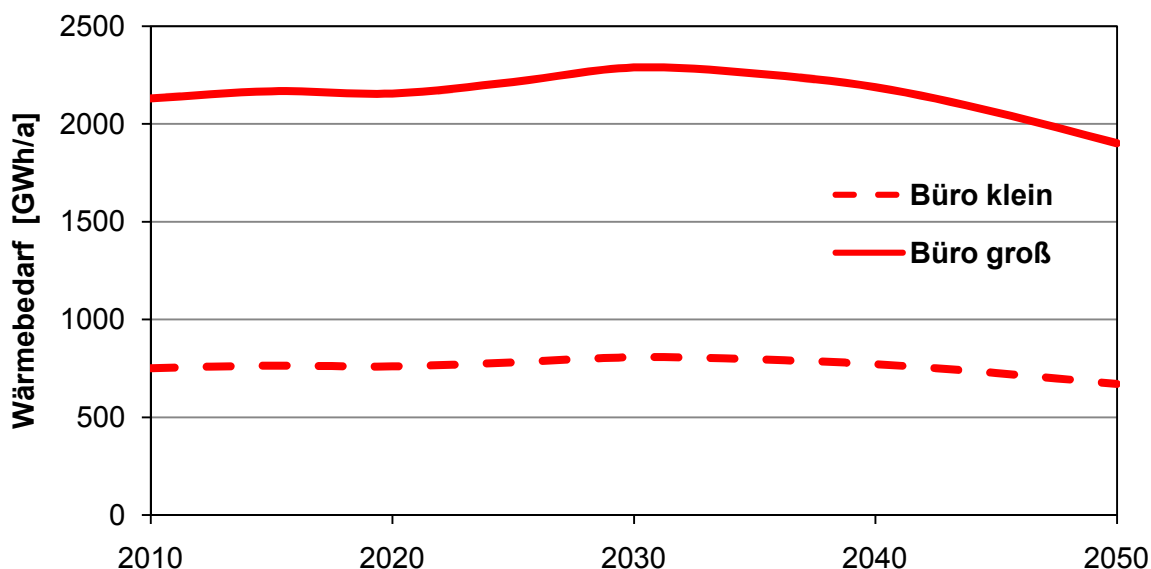
Der kumulierte Wärmebedarf von Beherbergungsbetrieben stellt sich wie in Abbildung 48 gezeigt dar. Die sogenannten "kleinen" Hotels, gemessen an der Zahl der Angestellten, nehmen ca. 94% der gesamten Hotelbetriebe ein.



**Abbildung 48:** Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs für unterschiedliche Klassen von Hotels

### Bürogebäude

Die Aufteilung auf kleine und große Bürogebäude erfolgt nach der Anzahl der Angestellten und führt zur folgenden Aufteilung: 24% Büros „groß“ und 76% Büros „klein“, wobei der Wärmeenergieverbrauch der kleinen Büros unter jenem der Großen liegt.



**Abbildung 49:** Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs bis 2050 für Bürogebäude

Die Durchdringung mit Fernwärme liegt in diesem Sektor bei mehr als drei Viertel der Gebäude. Dies ist durch die meist urbane Lage und die dadurch einfache Möglichkeit der Anbindung an ein Fernwärmenetz begründet.

**Tabelle 37:** Anteil Fernwärme an Raumwärme und Warmwasser in Büros und öffentlichen Verwaltungsgebäuden, Eigene Berechnungen basierend auf [94]

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Fernwärmeanteil [%]	76	80	83	86	88	91	93	95	96

#### 4.3.4 Gesamtpotential im Gewerbesektor

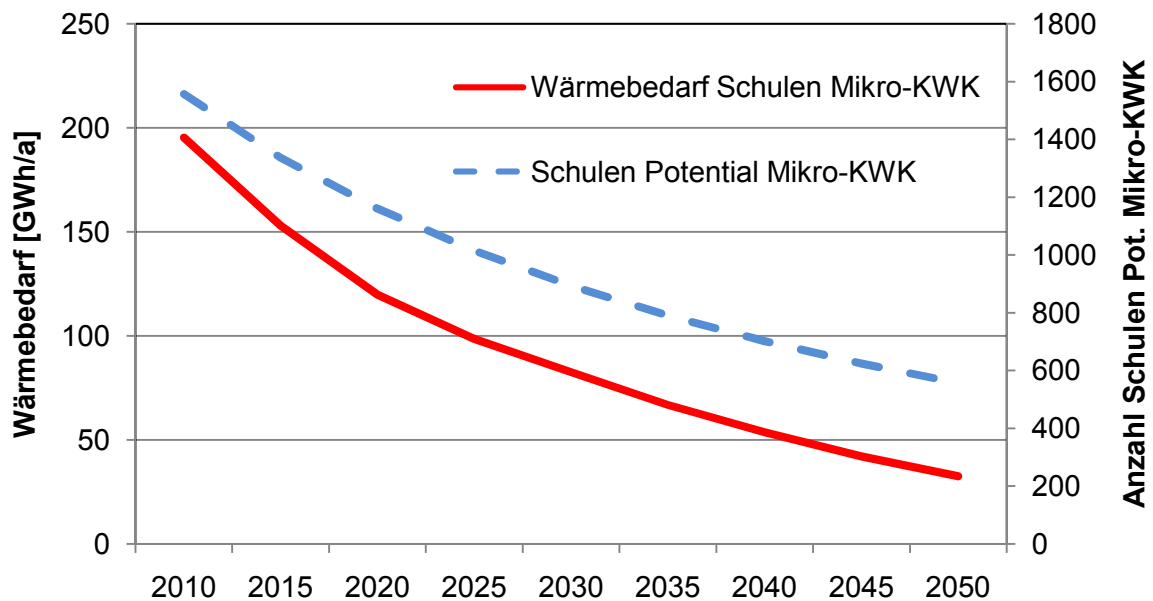
In diesem Kapitel soll der Entwicklung der Gebäude, die das Potential für Mikro-KWK darstellen, dem zu erwartenden Wärmeenergiebedarf bis zum Jahr 2050 gegenübergestellt werden.

Von der Gesamtzahl der Gebäude jeder Kategorie wird jener Teil, der mit Fernwärme versorgt werden kann, abgezogen. Dies entspricht einer Multiplikation mit dem Faktor  $(1 - FW)$ , wobei  $FW$  für den prozentuellen Teil der mit Fernwärme versorgten Gebäude steht.

#### Potential Mikro-KWK in Schulen

Hier liegt der Ausgangspunkt der Betrachtung der Entwicklung der Anzahl der Schulen in Österreich bis 2050, der in Abbildung 40 dargestellt worden ist. Die Abbildung 50 stellt die Anzahl der Schulen, die mit Mikro-KWK versorgt werden können dar. Die erwähnte

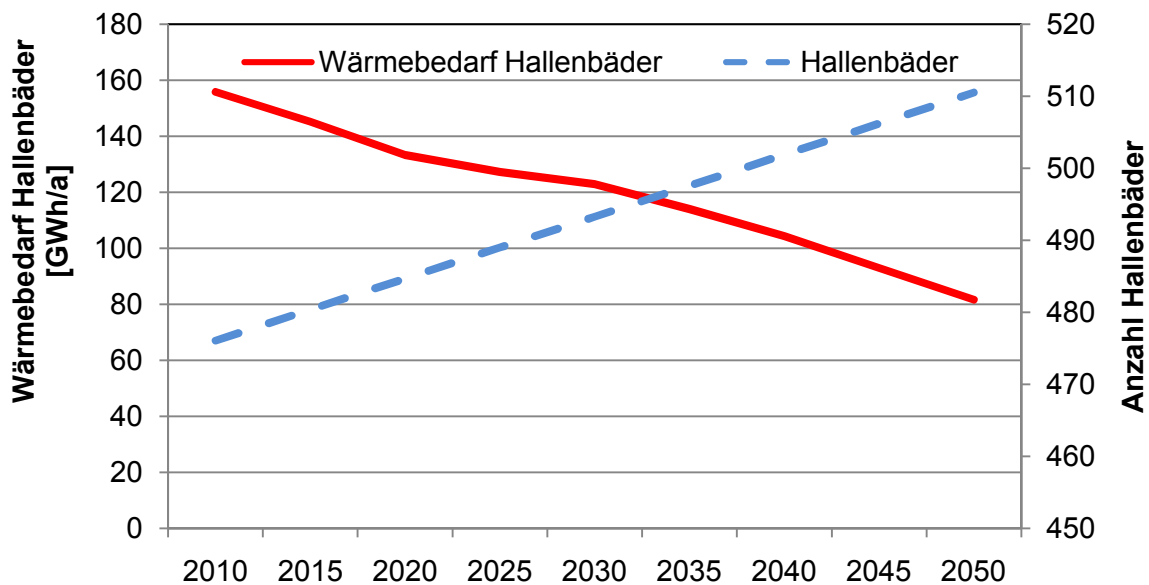
Abbildung beinhaltet auch die Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs der Schule, die für eine Wärmeversorgung mittels Mikro-KWK Anlagen in Frage kämen. Für Schulen wird ein zentrales Heizungssystem vorausgesetzt.



**Abbildung 50:** Potential für Mikro-KWK im Sektor Schulen und Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs

### Potential Mikro-KWK in Schwimmbäder

Das Potential für Mikro-KWK bei den Schwimmhallen ist in Abbildung 51 ersichtlich. Während die Anzahl der Hallenbäder stetig zunimmt, sinkt der Gesamtenergieverbrauch aufgrund der zu erwartenden Effizienzverbesserungen von ca. 160 GWh/a im Jahr 2010 auf 80 GWh/a 2050.



**Abbildung 51:** Potential Mikro-KWK bei Hallenbädern und Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs

### Potential Mikro-KWK in Hotels

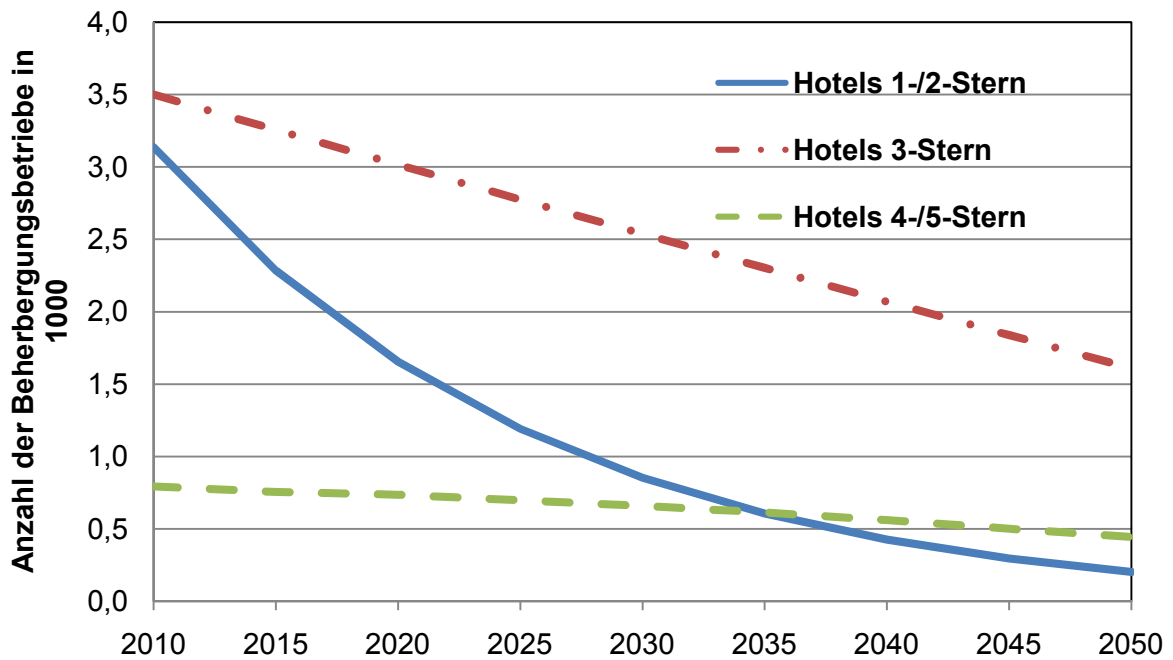
Die Abbildung 52 stellt die Entwicklung der Anzahl der Beherbergungsbetriebe, die für den Einsatz von Mikro-KWK in Frage kämen, dar. Wobei die Abbildung 53 die entsprechende kumulierte Wärmeentwicklung aufzeigt.

Die Anzahl der 1-/2-Stern Betriebe ist generell rückläufig, doch die Zahl der Betriebe die zum Potential Mikro-KWK zählen, nehmen sogar noch stärker ab und auch ihr Energiebedarf sinkt bis 2050. Die Abnahme der Betriebe beim Potential Mikro-KWK ist bedingt durch den Fernwärmeabschlagfaktor, da der Fernwärmeanteil bis 2050 im Beherbergungssektor stark zunehmen wird. Der sinkende Energiebedarf ist auf die angenommene Effizienzverbesserung (die Endenergiebedarfsverbesserungen entsprechen die Zahlenwerte für MFH Neubau) zurückzuführen.

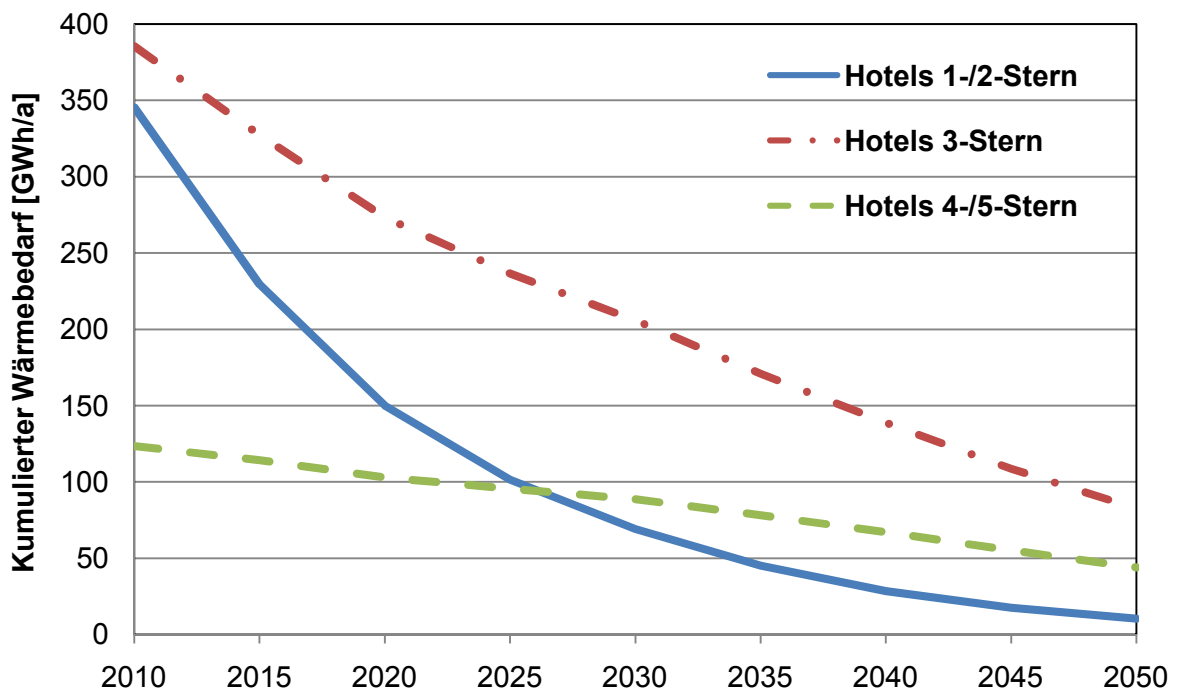
Bei den 3-Stern Betrieben ist die Tendenz der zum Potential Mikro-KWK zählenden Betriebe aufgrund der hohen Durchsetzung mit Fernwärme im Gegensatz zur allgemeinen Entwicklung, die für 3-Stern Hotelbetriebe ein geringes Wachstum prognostiziert, rückläufig. Der Wärmebedarf sinkt ebenfalls von knapp 400 GWh/a im Jahr 2010 auf unter 100 GWh/a im Jahr 2050.

Bei den 4-/5-Stern Betrieben sieht die Entwicklung ähnlich wie bei den 3-Stern Betrieben aus, der einzige Unterschied besteht darin, dass die Anzahl der gesamten Hotels im oberen Segment stärker steigt und so die Reduktion durch Fernwärme beim Potential Mikro-KWK abgefedert wird. Somit geht die Abnahme langsamer von statten. Der Energieverbrauch sinkt von ca. 120 GWh/a im Jahr 2010 auf ca. 40 GWh/a bis ins Jahr 2050. Die Anzahl der Betriebe die zum Potential Mikro-KWK zählen, sinken von etwa 800 auf ca. 450 Betriebe.





**Abbildung 52:** Entwicklung des Potentials der Mikro-KWK Anlagen bei Beherbergungsbetriebe

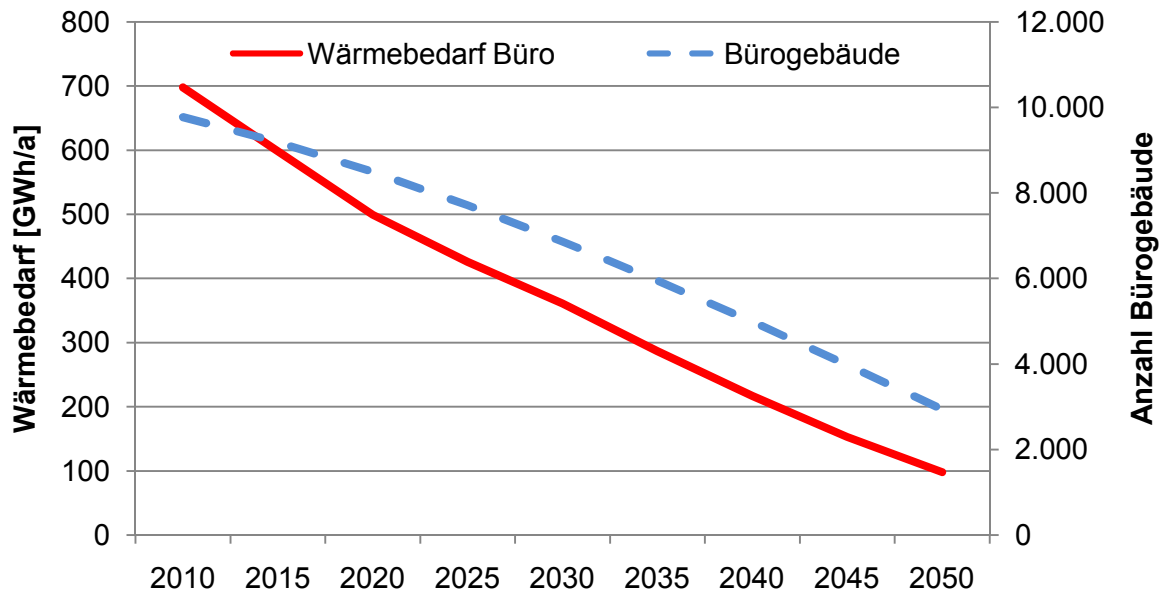


**Abbildung 53:** Entwicklung des kumulierten Wärmebedarfs bei Beherbergungsbetriebe

### Potential Mikro-KWK in Bürogebäuden

Das Potential für Mikro-KWK bei Bürogebäuden ist in Abbildung 54 ersichtlich. Die Anzahl der zum Potential Mikro-KWK zählenden Gebäude sinkt bis ins Jahr 2050. Dies ist auf die

hohe Durchdringung mit Fernwärme zurückzuführen, da die Anzahl der Bürogebäude insgesamt einen steigenden Verlauf hat.



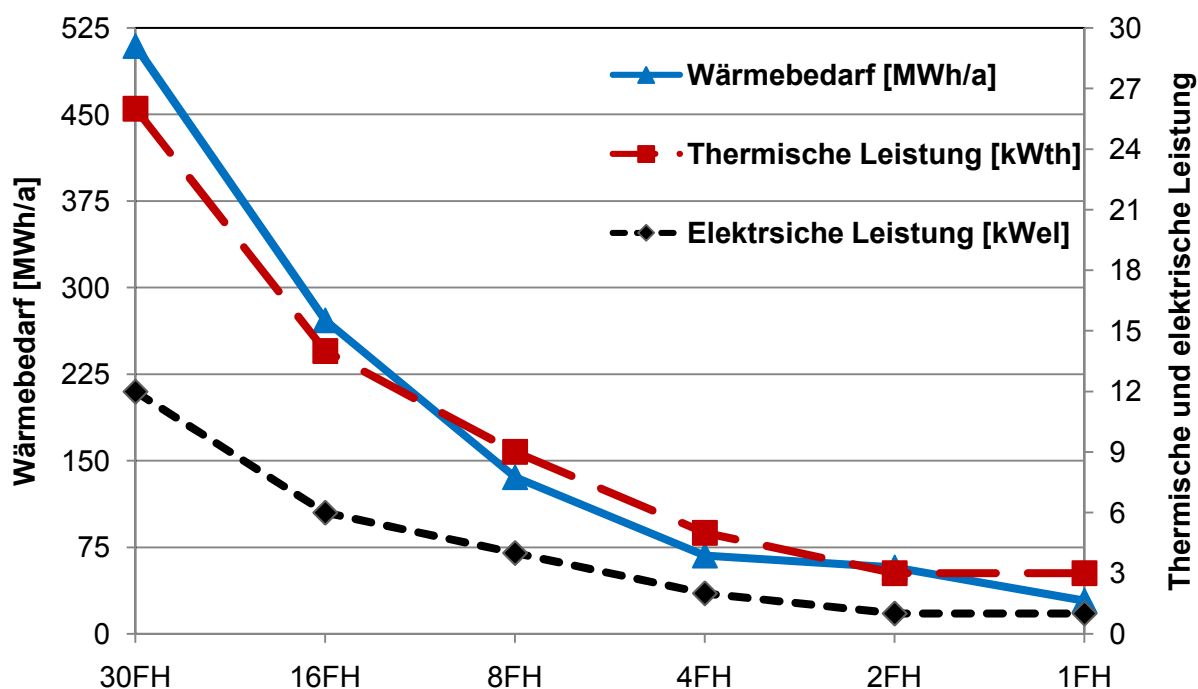
**Abbildung 54:** Entwicklung Potential Mikro-KWK Bürogebäude und Wärmebedarf

## 4.4 Bewertung der verschiedenen Auslegungsformen für den Haushaltsektor

Abschließend werden in diesem Kapitel die Ergebnisse in Zusammenhang mit den unterschiedlichen Auslegungsformen des dualen Systems präsentiert. Basierend auf der beschriebenen Methodik aus Kapitel 2.3, werden die Unterschiede aus wirtschaftlicher, energetischer und betrieblicher Sicht dargestellt und diskutiert. Dabei wird mit jeder Auslegungsvariante die Leistungen der Wärmeversorgungsanlagen, inklusive des Speichervolumens des Pufferspeichers festgelegt.

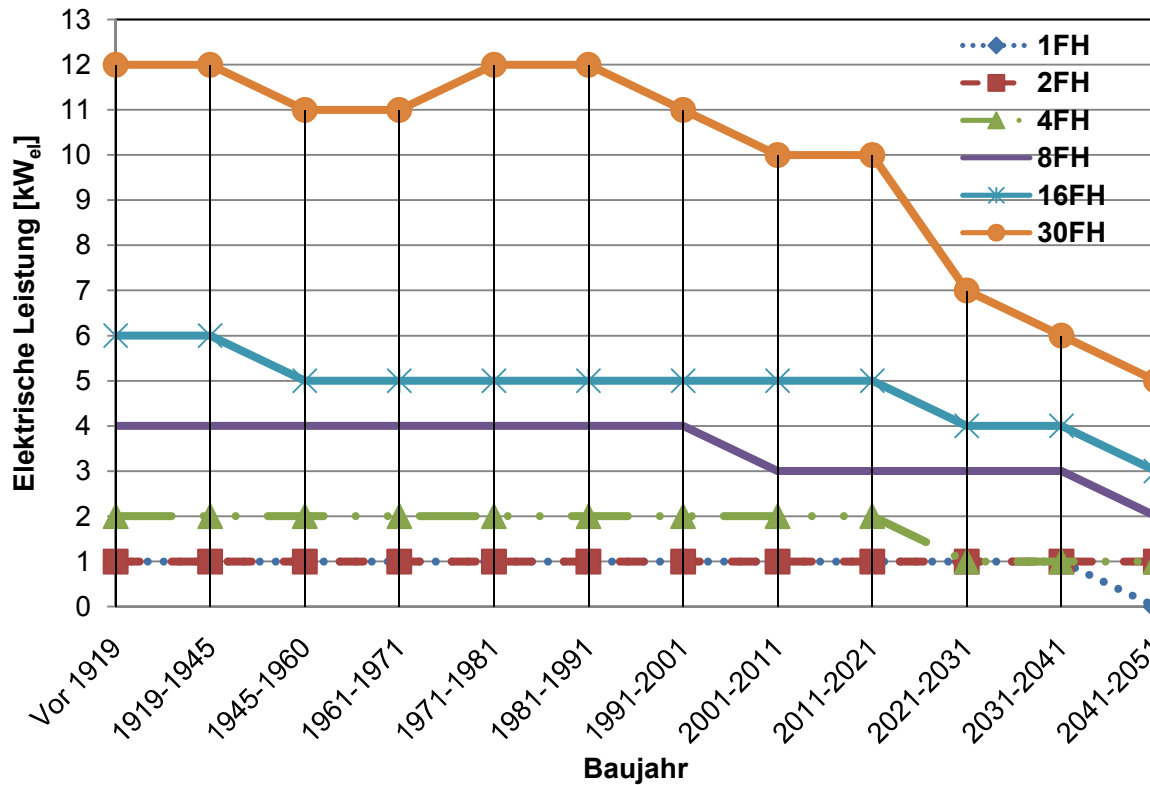
### 4.4.1 Wirtschaftliche und energetische Auslegung

Die Abbildung 55 stellt die thermische und elektrische Leistung der wirtschaftlichen Auslegung einer Mikro-KWK Technologie (Gasmotor) für unterschiedliche Haushaltsektoren der Bauperiode vor 1919 dar. Die thermische Leistung der Mikro-KWK Anlagen liegen im Vergleich zur maximalen Wärmelast der Objekte in einer Bandbreite von 11 % bis 20 %.



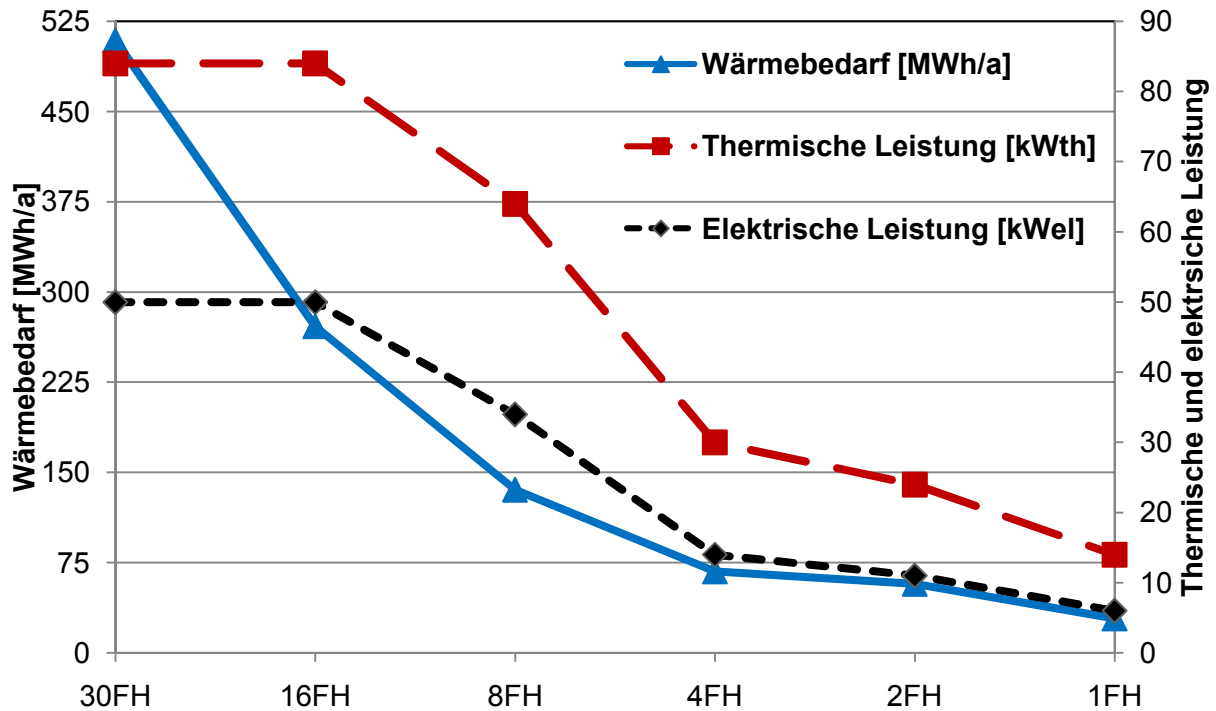
**Abbildung 55:** Wirtschaftliche Auslegung einer Mikro-KWK Technologie (Gasmotor) für die Bauperiode vor 1919

Der Einfluss den eine Veränderung des Wärmebedarfs der dargestellten Objekte bis 2050 auf die Auslegung der Mikro-KWK Anlagen hat, wird in Abbildung 56 wiedergegeben. Der Rückgang des Bedarfs jener Objekte führt zur Vergrößerung des Verhältnisses zwischen der thermischen Leistung der Mikro-KWK Anlagen und des maximalen Wärmebedarfs der verschiedenen Haushaltsektoren. Der erwähnte Anstieg liegt in einem Intervall von 32 % bei 30FH bis 69 % bei 2FH. Der Wärmebedarf der 1FH der Bauperiode 2050 ist so gering, dass der Einsatz eines dualen Systems nicht mehr in Frage kommen wird.



**Abbildung 56:** Modellergebnisse zur wirtschaftlichen Auslegung einer Mikro-KWK Technologie (Gasmotor) für alle Bauperioden

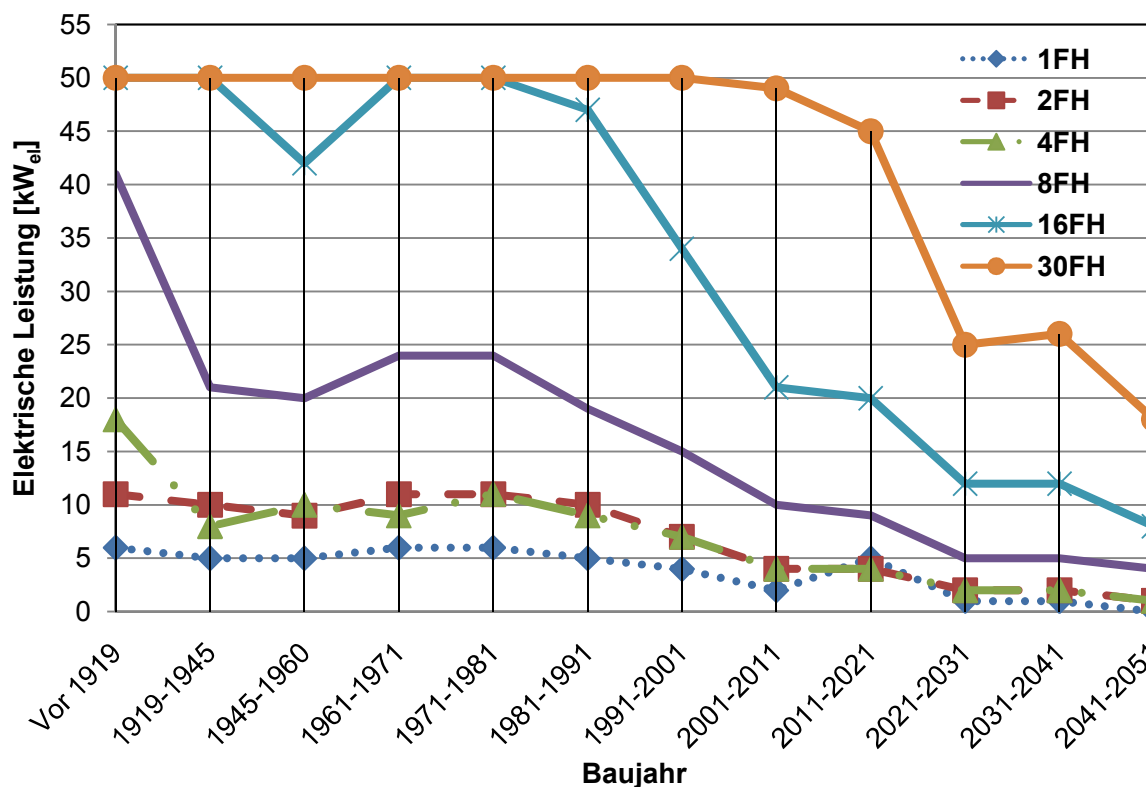
Die energetische Auslegung des dualen Systems ist damit gekennzeichnet, dass der Großteil des Wärmebedarfs der untersuchten Objekte mit dem Betrieb der Mikro-KWK Anlagen abgedeckt werden soll. Deshalb erfolgt die Auslegung des dualen Systems mit der größten einsetzbaren Mikro-KWK Anlage, inklusive eines leistungsschwachen Spitzenlastkessels. Die energetische Auslegung des dualen System führt zu großem Speicherbedarf wie z.B. bei 30 FH. Hier wird mit der Installation einer Mikro-KWK Anlage, die eine elektrische Leistung von 50 kW<sub>eI</sub> aufweist, ein Pufferspeicher mit einem Volumen von über 6400 Liter benötigt. Die Abbildung 57 stellt die energetische Auslegung des dualen Systems für unterschiedliche Haushaltkategorien der Bauperiode vor 1919 dar.



**Abbildung 57:** Energetische Auslegung einer Mikro-KWK Technologie (Gasmotor) für die Bauperiode vor 1919

Die Entwicklung des Wärmebedarfs hat eine direkte Auswirkung auf die maximale Wärmelast der Objekte. Nachdem mit der maximalen Wärmelast die Stellgröße für die energetische Auslegung definiert wird, zeigt der Verlauf dieser Auslegung je Haushaltskategorie der verschiedenen Bauperioden (siehe Abbildung 58) einen fluktuierenden Charakter im Vergleich zu Abbildung 56.

Mit der dargestellten energetisch optimalen Auslegung des dualen Systems (elektrische Leistung der Mikro-KWK Anlagen) in Abbildung 58 können auch Aussagen im Zusammenhang mit der Entwicklung des Wärmebedarfs der Objekte (Qualität der Wohnobjekte der verschiedenen Bauperioden) getroffen werden. Die Verbesserung der Qualität der Gebäude (inklusive Änderung des Verbrauchsverhaltens im Zusammenhang mit Wärmeverbrauch) der 30FH führt von der energetischer Auslegung bei 50 kW<sub>el</sub> für Bauperiode vor 1919 auf 15 kW<sub>el</sub> für Bauperiode 2041-2051.



**Abbildung 58:** Projektergebnisse zur energetischen Auslegung einer Mikro-KWK Technologie (Gasmotor) für alle Bauperioden

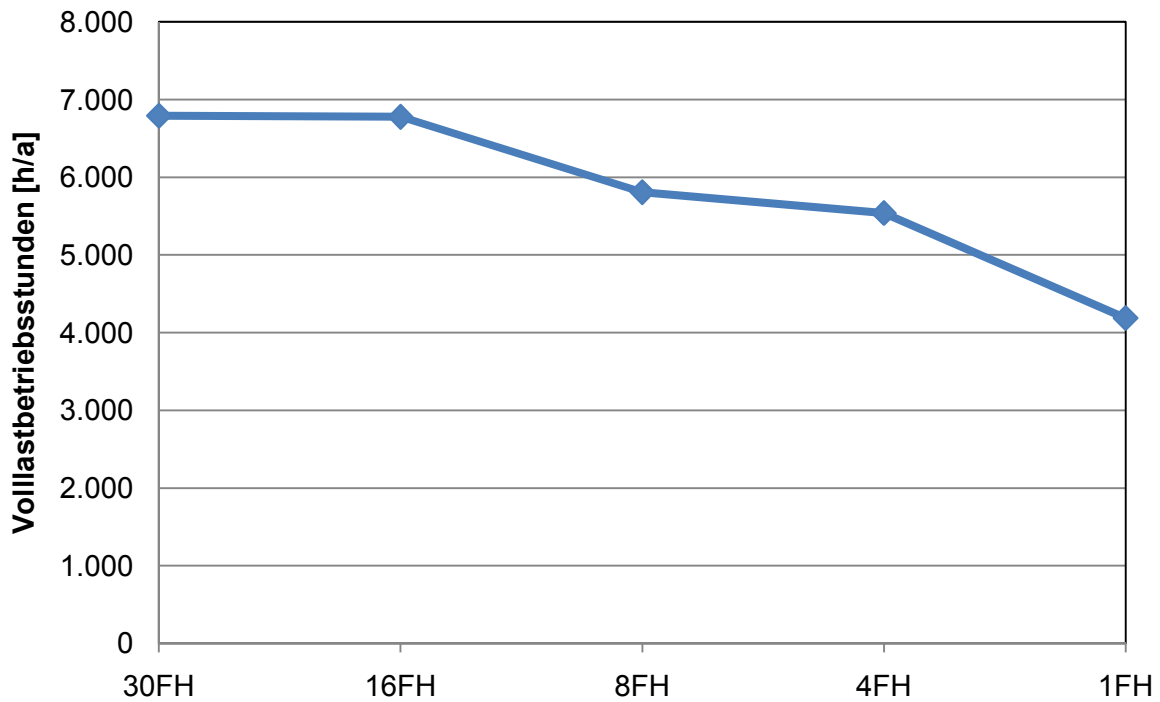
#### 4.4.2 Betriebsparameter der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung

Hier werden die Betriebsparameter bezüglich der unterschiedlichen Auslegungsformen beschrieben und eine Analyse des Anlageverhaltens durchgeführt. Es ist zu erwähnen, dass hier vorwiegend auf gemittelten Werten der Betriebsparameter der wirtschaftlichen Auslegung (alle Haushaltskategorien) eingegangen wird. Die Analyse der Parameter der energetischen Auslegung bezieht sich auf die durchgeführten Analysen für 30FH.

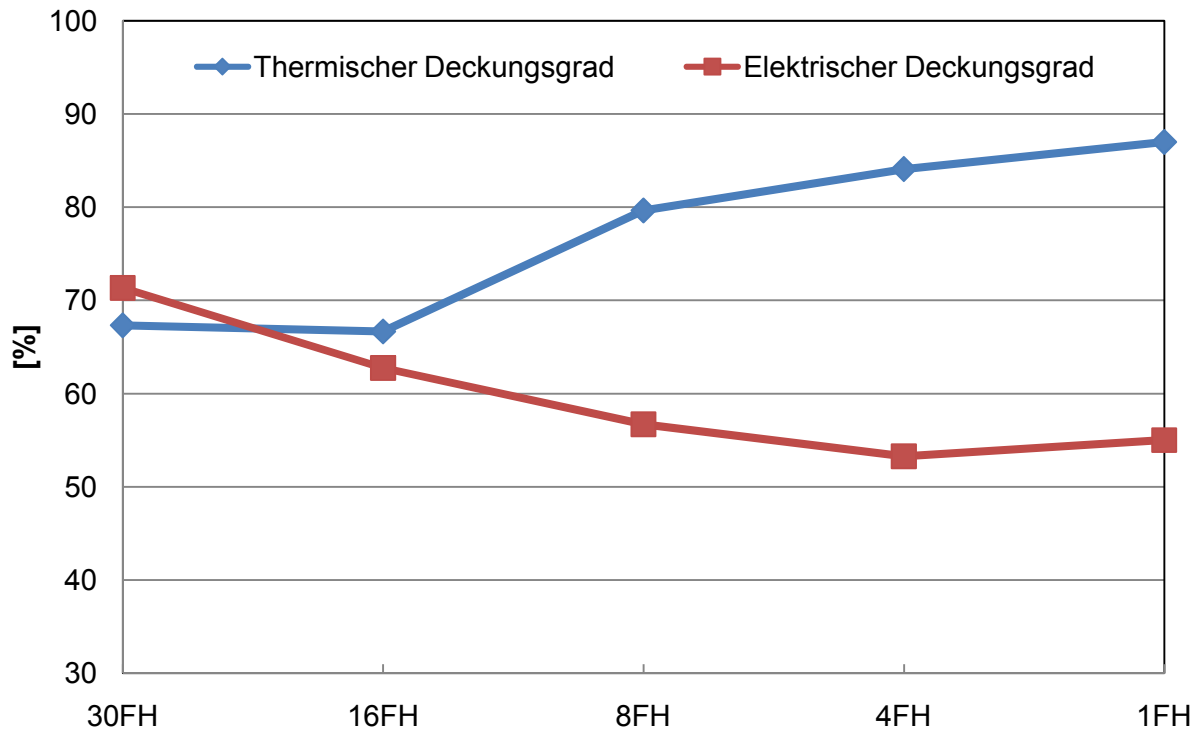
Die Abbildung 59 stellt die mittleren Volllastbetriebsstunden im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Auslegung der Mikro-KWK Anlagen für unterschiedliche Wohngebäude dar. Die Leistung der Mikro-KWK Anlage bei wirtschaftlicher Auslegung für ein 30FH liegt bei 12 kW<sub>el</sub>, diese Dimensionierung führt zu Betriebsstunden, die über 6.500 h/a liegen. Die installierten KWK-Anlagen führen zu Volllastbetriebsstunden, die in einem Intervall von ca. 4.200 bis rund 6.800 h/a liegen.

Die wirtschaftliche Auslegung der Anlagen ist mit einem hohen elektrischen Deckungsgrad des Eigenbedarfs der Objekte gebunden. Dieser liegt bei über 50 % des Eigenbedarfs. Der thermische und elektrische Deckungsgrad wird im Zuge der wirtschaftlichen Auslegung des dualen Systems in Abbildung 60 dargestellt.

Der elektrische Deckungsgrad bei einer energetisch optimalen Auslegung der Mikro-KWK Anlagen für 30FH liegt im Mittel bei 40 % des elektrischen Eigenbedarfs. Im Gegensatz dazu liegt der thermische Deckungsgrad in einer Bandbreite von 75 % bis 100 %.



**Abbildung 59:** Mittlere Vollastbetriebsstunden aller Bauperioden der unterschiedlichen Haushaltskategorien bei wirtschaftlich optimaler Auslegung



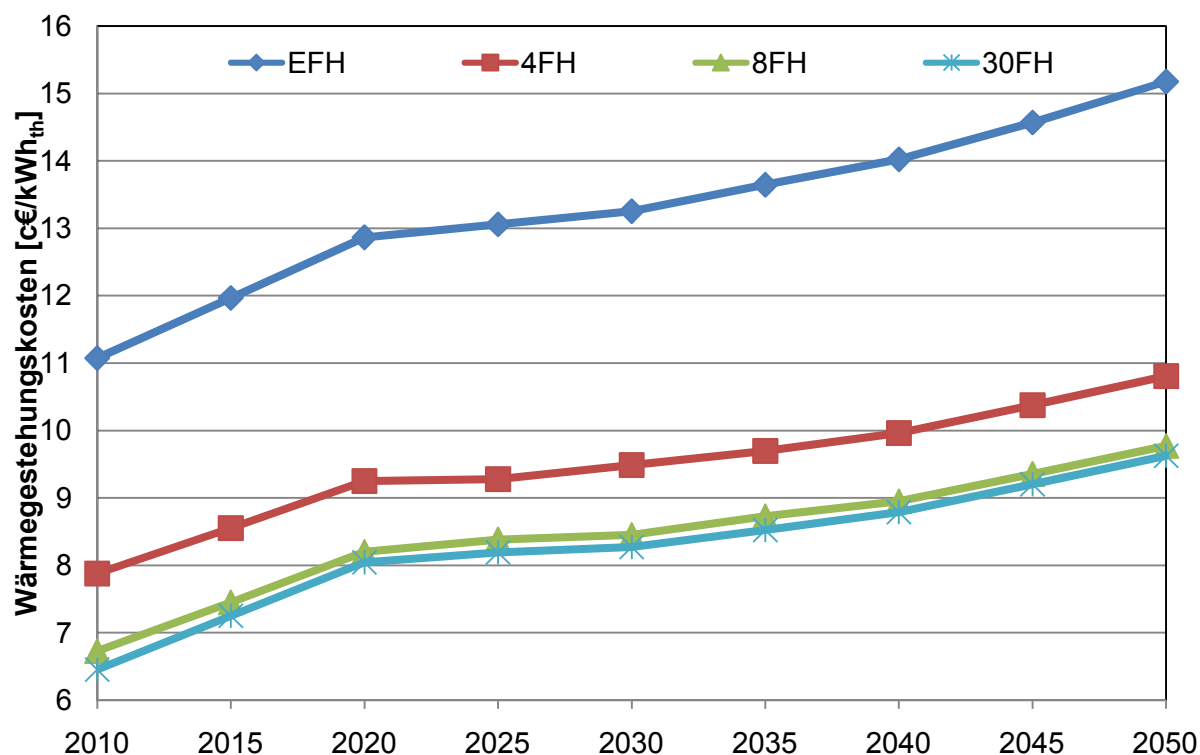
**Abbildung 60:** Mittlerer elektrischer Deckungsgrad aller Bauperioden der unterschiedlichen Haushaltkategorien (wirtschaftliche Auslegung)



### 4.4.3 Wärmegestehungskosten der wirtschaftlichen und energetischen Auslegung- Vergleich der Szenarien

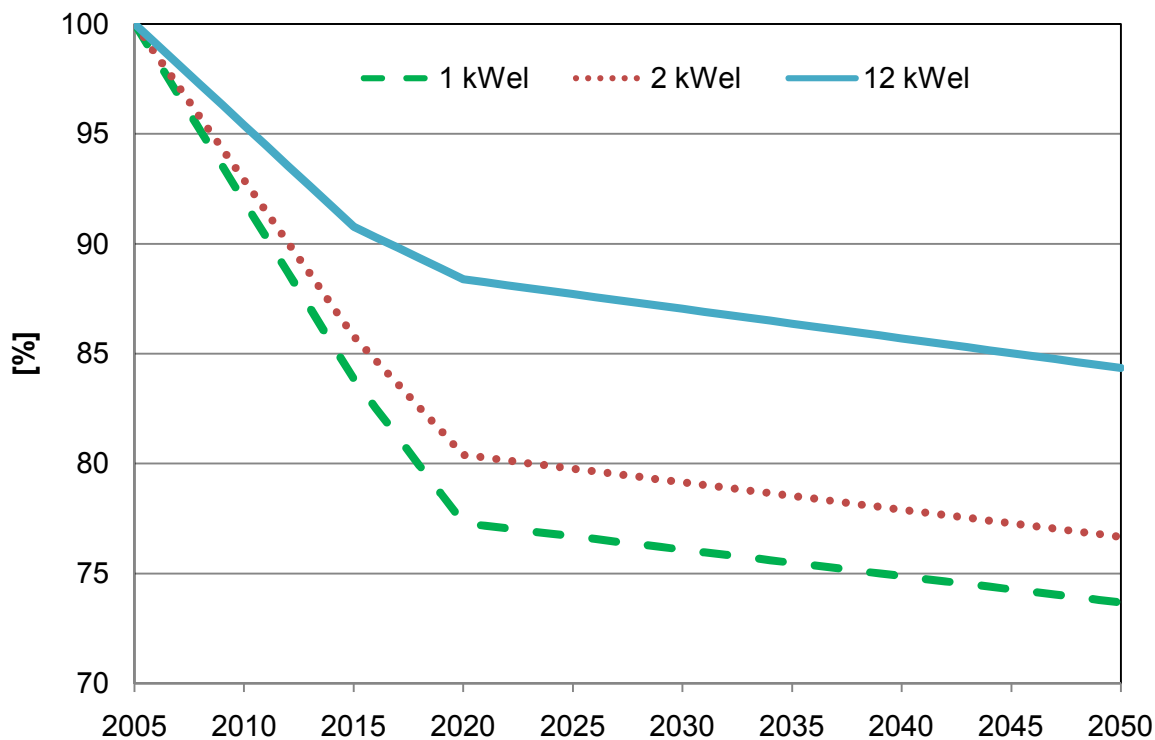
Die Abbildung 61 stellt die WGK des dualen Systems (Mikro-KWK Anlage, Pufferspeicher und Spitzenlastkessel) bei wirtschaftlicher Auslegung, unter den vorgestellten Rahmenbedingungen des Referenzszenarios dar. In diesem Zusammenhang wurden die WGK für die Bauperiode vor 1919 mit der Betrachtung der Entwicklung des Energieverbauchs (Strom und Wärme) dargestellt. Die WGK beziehen sich auf den gesamten Wärmeverbrauch der Objekte. Die WGK der 30FH führen zu den geringsten Gesteungskosten im Vergleich zu anderen analysierten Haushaltskategorien, da diese den höchsten Wärmebedarf aufweisen.

Obwohl bei der Berechnung der WGK von einem Rückgang der Investitionskosten der Mikro-KWK Anlagen (siehe Abbildung 62) ausgegangen wurde, kommt es zu einem Anstieg der WGK bis 2050. Dieser Anstieg blieb bei 30FH bei rund 50 % bis zum Jahr 2050 (Basis Jahr 2010).

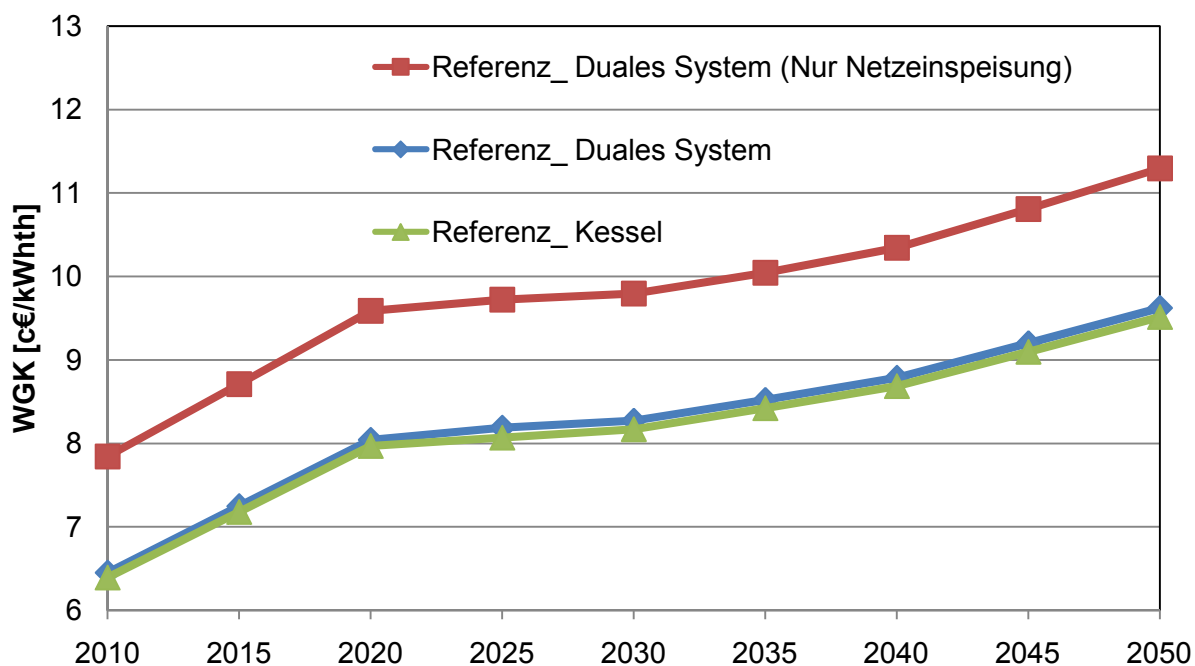


**Abbildung 61:** Wärmegestehungskosten der unterschiedlichen Haushaltskategorien unter Annahmen des Referenzszenarios (Wirtschaftliche Auslegung)\_ Bauperiode vor 1919

Mit der Abbildung 63 wird die bessere wirtschaftlich Situation des dualen Systems bei der Abdeckung des Eigenstrombedarfs im Vergleich zu einer reinen Netzeinspeisung des produzierten Stroms aufgezeigt. Die reine Einspeisung des produzierten Stroms hat eine Erhöhung der WGK bis zu 20 %, im Vergleich zur beschriebenen Variante in Abbildung 7 zur Folge. Es kommt zu einem Schnittpunkt der WGK des dualen Systems mit der Wärmeversorgung des Objekts mittels eines Kessels.



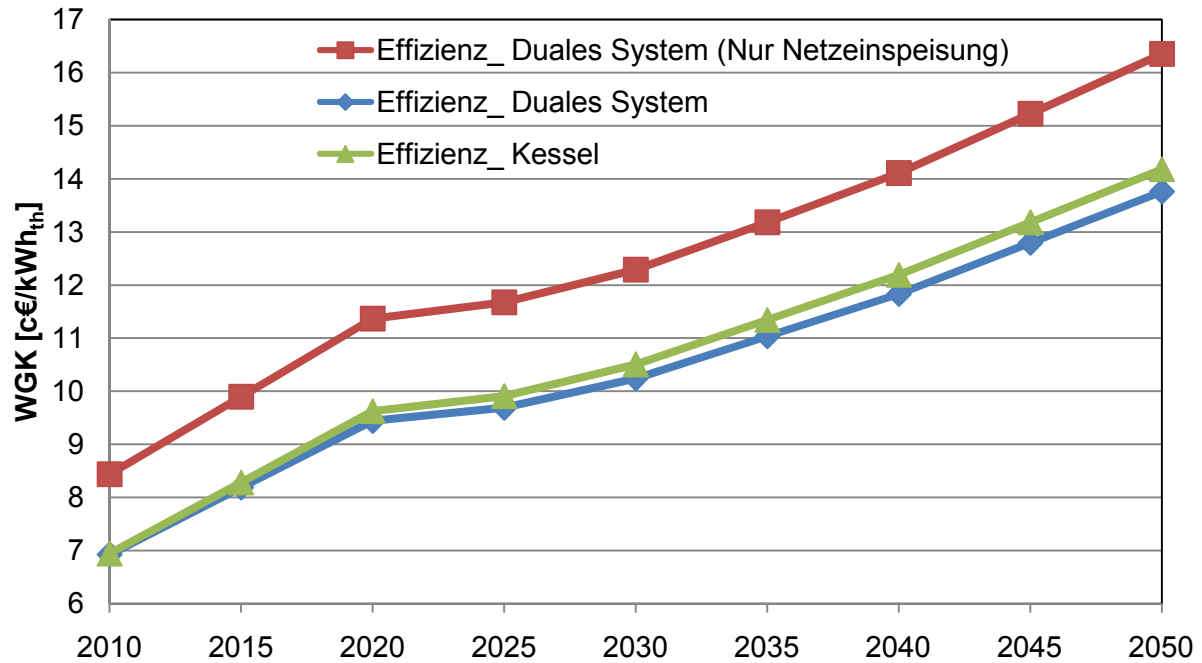
**Abbildung 62:** Kostenentwicklung der Verbrennungsmotoren von 2005 bis 2050



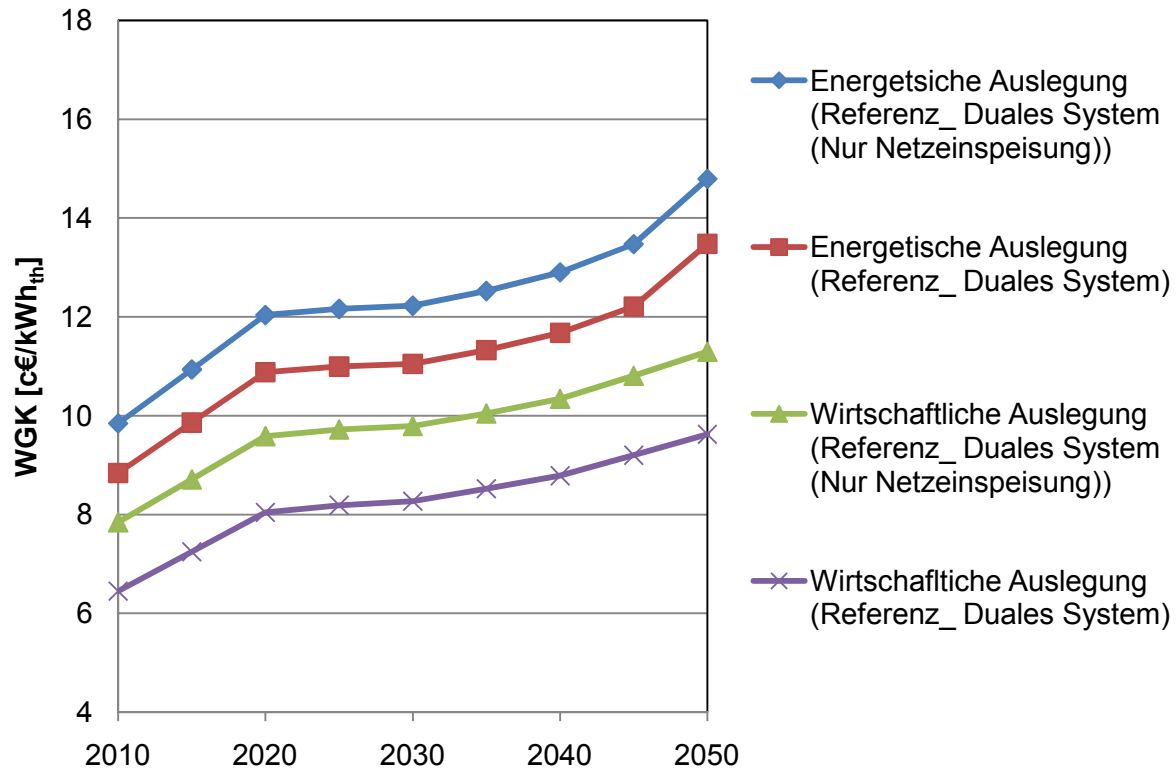
**Abbildung 63:** Wärmegestehungskosten von 30FH (Bauperiode vor 1919) unter der Annahmen des Referenzszenarios (Wirtschaftliche Auslegung)

Bei Berücksichtigung der zuvor vorgestellten Annahmen betreffend das Effizient/RES-Szenario kommt es zur keiner qualitativen Änderung des Verlaufs der WGK der analysierten Systeme, im Vergleich zur Abbildung 63. Die Annahmen von höheren Strompreisen (in Zuge

der Einführung von der CO<sub>2</sub>-Zertifizierung und der Erhöhung der Brennstoffpreise) haben den Anstieg der Einnahmen des dualen Systems zur Folge. Dadurch kommt es wie schon in Abbildung 64 dargestellt, zur geringeren WGK des dualen Systems im Vergleich zur der Sicherstellung der Wärmeversorgung mittels eines Kessels.



**Abbildung 64:** Wärmegestehungskosten von 30FH (Bauperiode vor 1919) unter der Annahmen des Effizienzscenarios (wirtschaftliche Auslegung)



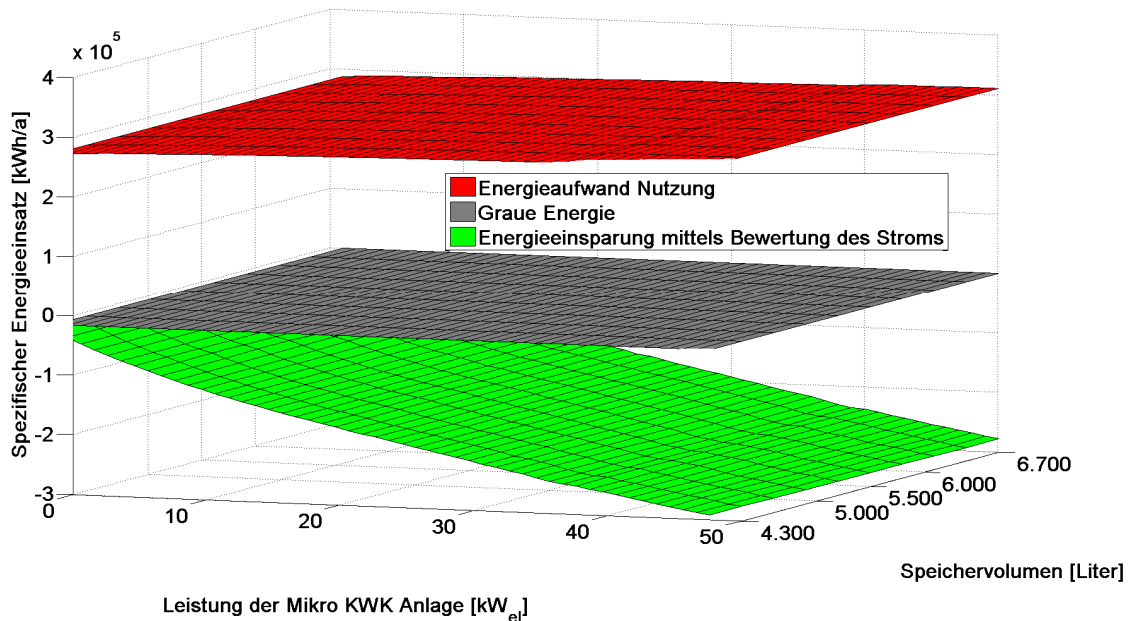
**Abbildung 65:** Vergleich der WGK von energetischer und wirtschaftlicher Auslegung des dualen Systems für 30FH (Bauperiode vor 1919)\_ Referenzszenario

Der Vergleich zwischen den WGK der unterschiedlichen Auslegungsformen unter den Rahmenbedingungen der verschiedenen Szenarien wurde in Abbildung 65 dargestellt. Die WGK der wirtschaftlichen Auslegung liegen schon im Jahr 2010 um rund 46 % über den WGK der energetischen Auslegung. Dieser Anstieg erhöht sich auf rund 97 % im Jahr 2050.

#### 4.4.4 Energetischer Vergleich der unterschiedlichen Auslegungsformen

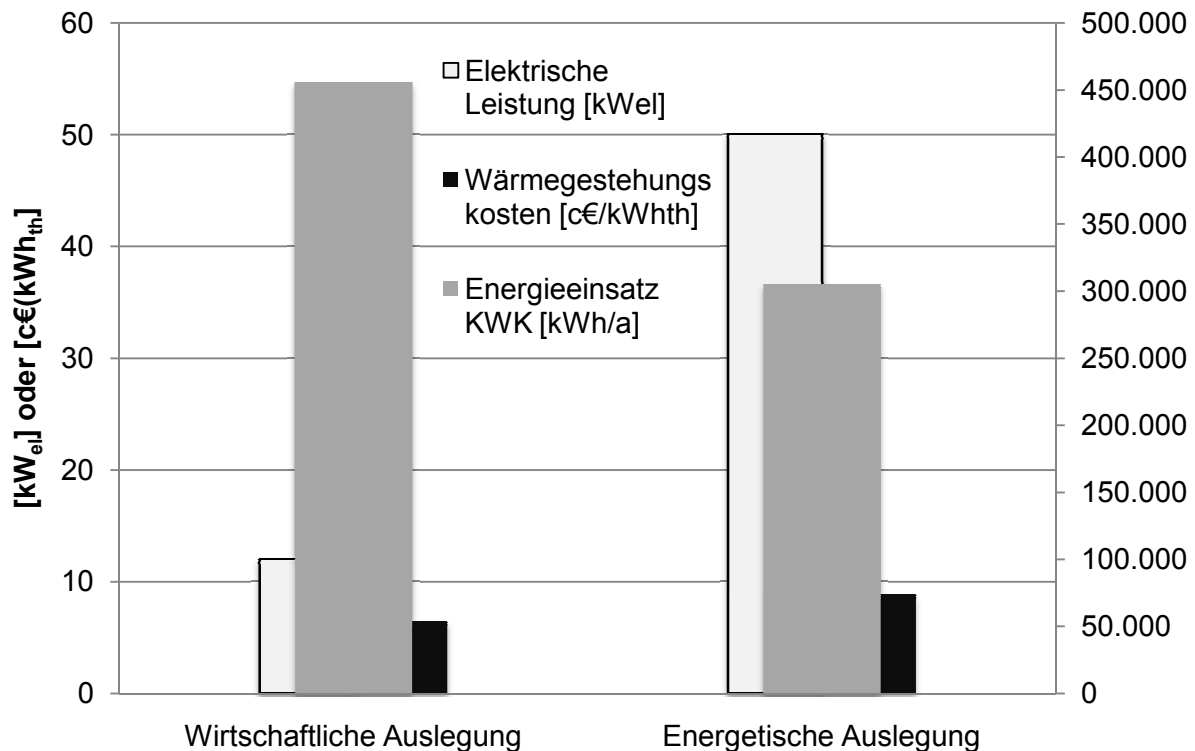
Wie schon im letzten Unterkapitel erwähnt, liegen die WGK bei energetischer Auslegung im besten Fall um rund 46 % über den WGK der wirtschaftlichen Auslegung. Im Gegensatz dazu, kann die energetische Auslegung einen geringeren Energieeinsatz im Vergleich zu der wirtschaftlichen Auslegung aufzeigen. Die energetische Bewertung bezieht sich auf den jährlichen Energieeinsatz für die Wärmeproduktion und den kumulierten Energieaufwand für Herstellung (bezogen auf die Lebensdauer) von Mikro-KWK Anlage und Pufferspeicher. Die Abbildung 66 stellt mittels drei verschiedenen Ebenen den kumulierten Energieaufwand für die Nutzung des dualen Systems (obere Fläche), kumulierte Energiebedarf für die Herstellung der Mikro-KWK Anlagen und Pufferspeicher (mittlere Fläche) und den eingesparten primären Energiebedarf für die Stromerzeugung aus Mikro-KWK Anlage (untere Fläche) dar. Die Addition der Flächen führt zu dem jährlichen Energieaufwand eines dualen Systems, die aus der Kombination Mikro-KWK Anlage, Pufferspeicher und Spitzenlastkessel besteht. Der jährliche Anteil des kumulierten Energieaufwands für die

Herstellung von Mikro-KWK Anlage und Pufferspeicher liegt unter 2 % des gesamtjährlichen Energieeinsatzes.



**Abbildung 66:** Energieeinsatz für die Herstellung und Nutzung der Mikro-KWK Anlagen und des Pufferspeichers inklusive eingesparten Energieeinsatz durch Bewertung des Stroms (30FH, Bauperiode vor 1919)

Der gesamte Energieverbrauch eines dualen Systems bezogen auf die installierte Leistung pro Jahr wird mit der Installation der leistungsstärksten Mikro-KWK Anlage in einem Objekt realisiert. Die obere Grenze der erwähnten Leistung wird mit der maximalen thermischen Last des zu versorgenden Objekts vorgegeben. Die Abbildung 67 vergleicht die installierte elektrische Leistung, WGK und den Energieeinsatz der zwei Auslegungsformen für 30FH der Bauperiode vor 1919.

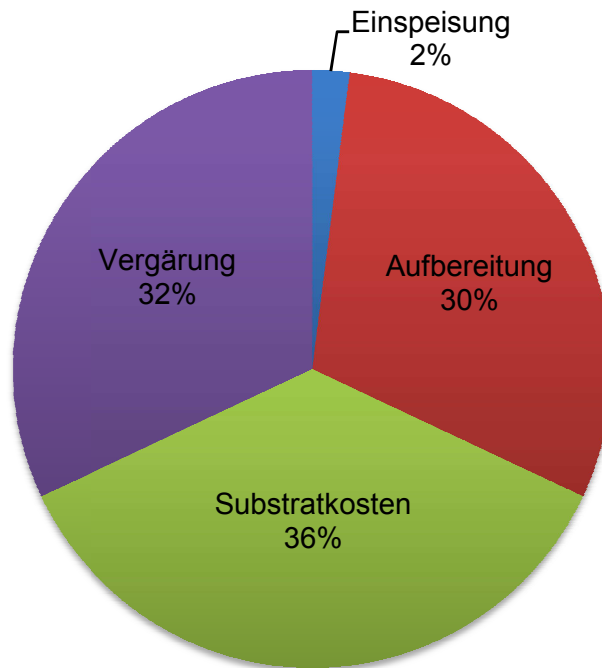


**Abbildung 67:** Gesamtvergleich der verschiedenen Auslegungsformen für 30FH der Bauperiode vor 1919

Der Einsatz des dualen Systems statt eines Kessels führt in den beiden Auslegungsformen zum geringeren Energieeinsatz. Die Einsparung des Energieeinsatzes der wirtschaftlichen Auslegung liegt bei 15 % (Energieeinsatz = 455.630 kWh/a) im Vergleich zum Energieeinsatz eines Kessels. Dieser Wert liegt bei der energetischen Auslegung bei rund 43 % (Energieeinsatz = 305.060 kWh/a). Die Wärmegestehungskosten der energetischen Auslegung liegen aber um rund 37 % der WGK der wirtschaftlichen Auslegung.

#### 4.4.5 Ökologische Auslegung

Ausgehend von der energetischen Auslegung und mit dem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern für den Betrieb der Mikro-KWK Anlagen wird die ökologische Auslegung des dualen Systems definiert. Hier kann der Einsatz des aufbereiteten Biogases statt des Erdgases, als eine ökologische Lösung im Betracht gezogen werden. Die Gestehungskosten des aufbereiteten Biogases orientieren sich sehr stark an der Qualität des Biogases und des verwendeten Substrats, das zur Erzeugung des Biogases eingesetzt wird. Die Größe der Biogas- Anlage beeinflusst auch die Biogasgestehungskosten, wodurch mit Erhöhung der Leistung der Anlage und mit einem Rückgang der Herstellungskosten zu rechnen ist. Die Abbildung 68 stellt den Anteil der verschiedenen Einflussparameter an den spezifischen Gesamtkosten des aufbereiteten Biogases dar.



**Abbildung 68:** Anteil der Kostenblöcke an den spezifischen Gesamtkosten des aufbereiteten Biogases (vgl. [99])

In Anlehnung an die Angaben aus [99] liegen die Gestehungskosten für aufbereitetes Biogas einer Anlage, die eine Produktionskapazität von 750 Nm<sup>3</sup>/h aufweist, bei rund 6,2 c€/kWh. Ausgehend von den Erdgaspreisen in den vorgestellten Szenarien müssen sich die Gestehungskosten für aufbereitetes Biogas um 52 % (Referenzszenario) bzw. 30 % (Effizient/RES- Szenario) verringern, um die Konkurrenzfähigkeit, der biogasbetriebenen zur erdgasbetriebenen Anlagen, zu gewährleisten.

## 5 Interpretation und Empfehlungen

Die Analyse der unterschiedlichen Mikro-KWK Technologien und der Vergleich dieser unter verschiedenen Gesichtspunkten wie Entwicklungsstand, Kostenentwicklung, einsetzbaren Brennstoffen, Volllastbetriebsstunden und Lebensdauer führten zur Darstellung der Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien. Verbrennungsmotoren stellen derzeit wegen ihrer hohen Marktreife und bereits gesammelter Betriebserfahrung die geeignetste Technologie dar. Vor allem die vorhandenen Gasnetze können in diesem Zusammenhang eine hohe Durchdringung von gasbetriebenen Mikro-KWKs, wie zum Beispiel auch der Stirlingmotor erleichtern. Die Stirlingmotoren weisen einen Entwicklungsstand zwischen Demonstrationsstadium und Marktreife auf, wobei noch Erfahrungen hinsichtlich der genaueren Darstellung der betriebsgebundenen Kosten gesammelt werden müssen. Die Stirlingmotoren sind nach den Verbrennungsmotoren, die Technologie mit Potential für Marktreife, da diese auch mit biogenen festen Brennstoffen betrieben werden können. Die vorhandenen Betriebserfahrungen für Gasmotoren führten dazu, dass diese auch für genauere Analysen hinsichtlich der Dimensionierung der KWK-Anlagen herangezogen worden sind.

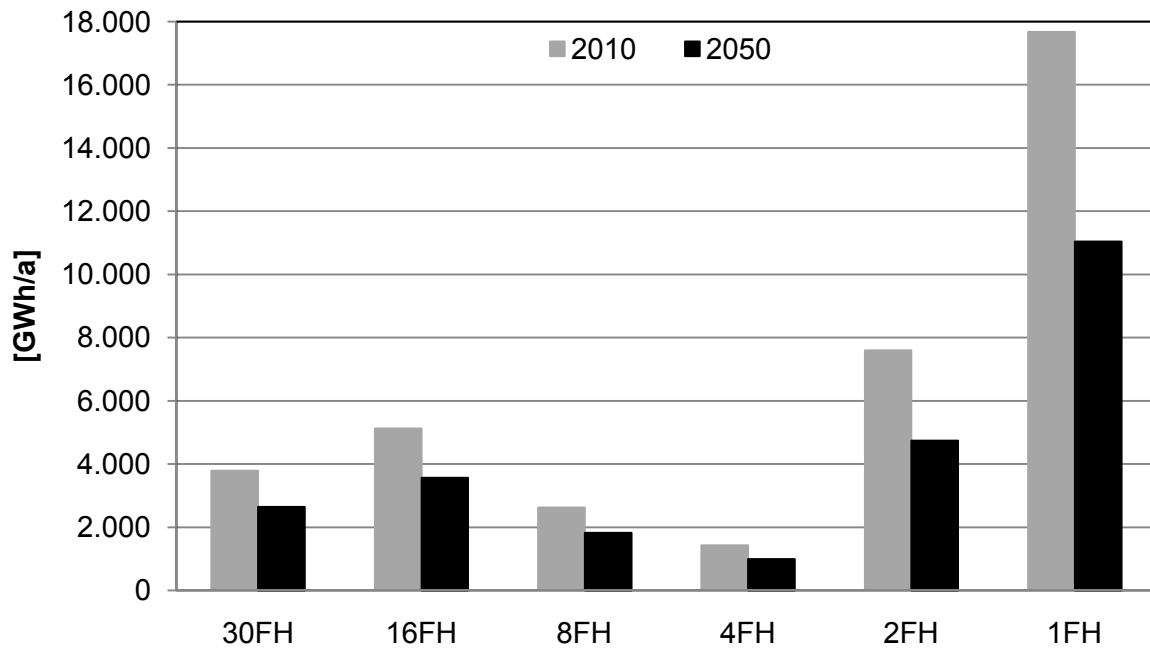
Für die Dimensionierung der Mikro-KWK Technologien bis 2050 ist es erforderlich, die Einsatzbereiche, deren Energiebedarf (Wärme (Heizwärme und Warmwasser) und Strom) und die Entwicklung des Energiebedarfs bis 2050 zu ermitteln. Die potentiellen Abnehmer der Mikro-KWK Technologien wurden in Haushaltskunde und Gewerbe unterteilt. Das Potential der Mikro-KWK Technologien im österreichischen Energiesystem und deren Entwicklung bis 2050 führten aufgrund der Annahme bezüglich des Ausbaus der Fern- und Nahwärmenetze und der Verringerung des Wärmebedarfs zu einem Rückgang des Potentials bis 2050.

In den Haushaltskategorien kommt es zu einem Verbrauchsrückgang von 30 % bis 37 % (siehe Abbildung 69). Trotz dieser Reduktion des Wärmebedarfs der Wohneinheiten ist die Einsetzbarkeit der Mikro-KWK Anlagen in allen untersuchten Bauperioden gegeben. Nur die EFH der Bauperioden ab 2041 sind eine Ausnahme und folgen den erwähnte Festlegungen nicht.

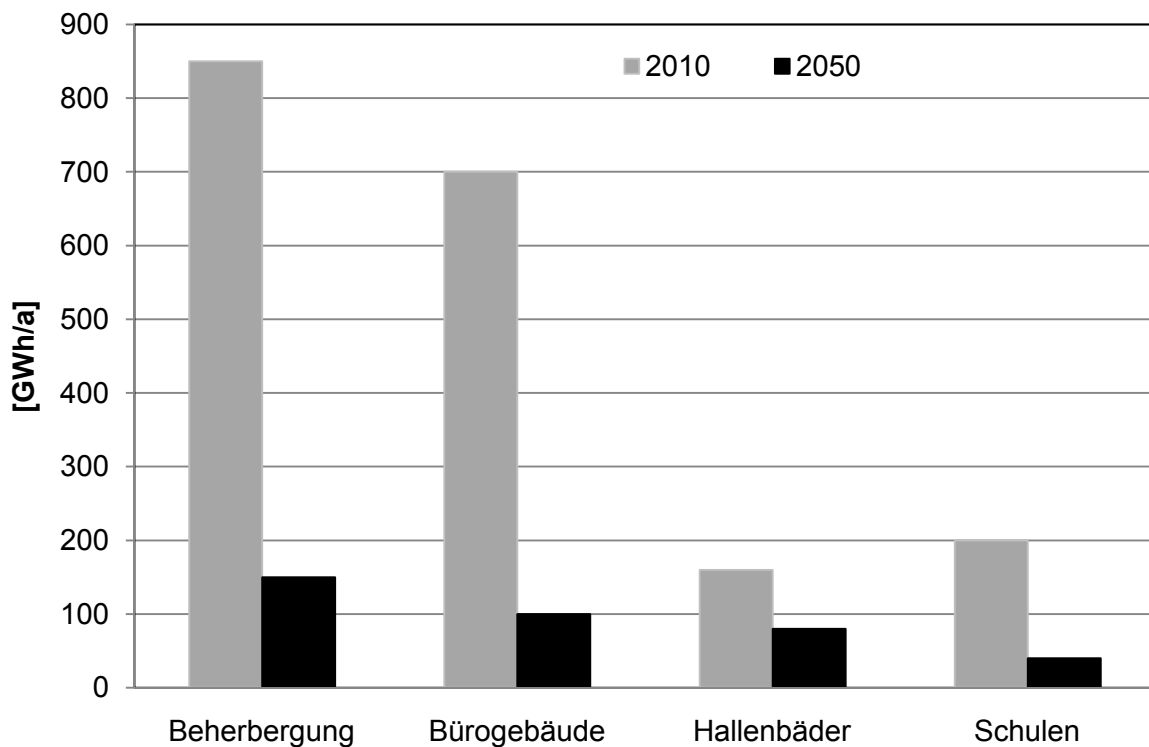
Im Bereich Gewerbe und Dienstleistung wird eine hohe Durchdringung der Fern- und Nahwärme, inklusive Rückgang des Wärmebedarfs angenommen. Diese Annahme führt zu einer starken Reduktion des vorhandenen Potentials der Mikro-KWK-Technologien bis 2050 (vgl. Abbildung 70). Die Verringerung des kumulierten Wärmebedarfs im Gewerbe bis 2050 liegt zwischen 50 % und 85 % (Basis Jahr 2005). Diese Daten wurden im Zusammenhang mit dem energetischen Endverbrauch nach Energieträgern ermittelt. Weiters wurde für den Einsatz der Mikro-KWK Technologien im Gewerbesektor eine Analyse des Wärmeverbrauchsverhaltens und der verbrauchten Menge an Wärme durchgeführt. Dies wird als eine essentielle Maßnahme für die Bewertung eines Technologieeinsatzes evaluiert. Diese Vorgangsweise erlaubt auch eine genaue technische und wirtschaftliche Analyse des



Systems. Daher wird in diesem Zusammenhang die Anwendung vom geeigneten Datenerfassungssystem im Gewerbebereich und geeigneter Industriezweige vorgeschlagen.



**Abbildung 69:** Rückgang des Potentials der Mikro-KWK Analgen von 2010 bis 2050 im österreichischen Energiesystem (Haushaltskategorie, Wärmebedarf)



**Abbildung 70:** Rückgang des Potentials der Mikro-KWK Anlagen von 2010 bis 2050 im österreichischen Energiesystem (Gewerbe und Dienstleistungssektor, Wärmebedarf)

Ausgehend von den Daten bezüglich des Mikro-KWK Potentials in Österreich wurde die Auslegung der Mikro-KWK Technologie (vertreten durch Gasmotoren) für den Haushaltsektor durchgeführt. Um die Dimensionierung der Anlagen durchzuführen, wurde der wärmegeführte Betrieb der Anlagen unter Zuhilfenahme eines eigens entwickelten Matlab-Programms simuliert. Die adäquaten Strom- und Wärmelastprofile der zu versorgende Objekte und die technischen Rahmenbedingung für Mikro-KWK Anlagen und Pufferspeicher bilden die Basis für die Durchführung der Simulation dieser wärmegeführten Betriebsweise.

Die optimalen wirtschaftlichen, energetischen und ökologischen Auslegungen der Mikro-KWK Technologie sind nicht deckungsgleich. Die wirtschaftliche Auslegung der Mikro-KWK Technologien ergibt thermische Leistungen in einer Bandbreite von 11 % bis 20 % des maximalen thermischen Bedarfs der jeweiligen Haushaltkategorien. Die energetische Auslegung auf der anderen Seite orientiert sich nach dem maximalen thermischen Bedarf der Objekte. Die ökologische Auslegung leitet sich aufgrund des Einsatzes von erneuerbaren Energieträger aus der energetischen Auslegung ab.

Wichtig ist die Feststellung, dass der Anteil der  $KEA_{\text{Herstellung}}$  für Mikro-KWK Anlagen und Wärmespeicher am gesamten jährlichen Energieverbrauch des dualen Systems, nur einen Anteil von weniger als 2 % ausmacht. Mit der energetischen Auslegung und Erhöhung der

installierten thermischen Leistung müssen auch angepasste dimensionierte Wärmespeicher im System integriert werden. Die Erhöhung des Speichervolumens führt aber zu größerem Platzbedarf für den Pufferspeicher. Deshalb wird eine Erhöhung der thermischen Dichte der Pufferspeicher im Vergleich zu Warmwasserspeicher vorgeschlagen. In dieselbe Richtung gibt es auch Bestrebungen im Sektor Solarthermie. Denn die Forschungsstrategie der Österreichischen Solarthermie Technologieplattform gibt eine Erhöhung der erwähnten Energiedichte um das 8-fache des heutigen Zustandes, als ein Forschungsziel vor (vgl. [100]).

Die Analyse der Wärmegestehungskosten und des Energieeinsatzes der verschiedenen Auslegungsformen führen zu folgenden Empfehlungen und Erkenntnissen:

- Eine wirtschaftlich optimale Auslegung des dualen Systems ist mit hohen Vollastbetriebsstunden mit über 5.500 h/a gekennzeichnet. Die hohen Vollastbetriebsstunden können mit optimaler Auslegung des dualen Systems aus wärmetechnischer Sicht gewährleistet werden. Deshalb wird eine Temperaturdifferenz zwischen Rück- und Vorlauftemperatur von über 20 °C empfohlen.
- Die wirtschaftlich optimale Auslegung des dualen Systems führte zu einem Deckungsgrad des Stromeigenbedarfsanteils von über 50 %. Daher ist die Vergütung und Förderung des gesamten produzierten Stromes, im Zusammenhang mit der Erreichung eines wirtschaftlichen Optimums, zu empfehlen.
- Die Wirtschaftlichkeit einer ökologischen Auslegung stellt Aufgrund der höheren Kosten der biogenen Rohstoffe und erneuerbaren Energieträger (z.B. Biogas) eine schlechtere Realisierungschance im Vergleich zur wirtschaftlichen und energetischen Dimensionierung des dualen Systems dar. Im Bereich der Herstellung des aufbereiteten Biogases sollten Kostenreduktionen in der Höhe von 50 % bis ins Jahr 2050 realisiert werden.

Für die Schlussfolgerung gilt, dass der Einsatz der Mikro-KWK Technologie in Bereichen mit hohem Wärmebedarf und ausreichender Grundlast sinnvoll erscheint, wobei eine optimale Auslegung des Wärmesystems gewährleistet sein muss. Grundsätzlich gilt, dass die Mikro-KWK Technologien mit ihren Eigenschaften und Einsatzbereichen eine wichtige Rolle bei der Erreichung der österreichischen Klimaziele spielen können.

## Literatur

- [1] HOFFMAYER, M.; KÖHLER, D.; SCHWAIGER, K.: Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung (GABIE) – Teil V Energetische Untersuchung eines GuD-Kraftwerkes, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 1996
- [2] BRIEM et. al.: Lebenszyklusanalysen ausgewählter zukünftiger Stromerzeugungstechnologien, IER, DLR, LEE, FfE, für das BMWA, 2004
- [3] BEER, M.; GOBMAIER, T.; HAUPTMANN, F.; MAUCH, W.; PODHAJSKY, R.; STECK, M.; VON ROON, S.: Ganzheitliche dynamische Bewertung der KWK mit Brennstoffzellentechnologie - Forschungsvorhaben im Forschungsverbund EduaR&D. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2007
- [4] KÖHLER, D. et. al.: Ganzheitliche energetische Bilanzierung der Energiebereitstellung (GABIE), Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München, 1999
- [5] VIEBAHN, P.; KREWITT, W.: Brennstoffzellen, in Lebenszyklusanalysen ausgewählter zukünftiger Stromerzeugungstechnologien, 2004
- [6] VON ROON, S.; RICHTER, S.: Brennstoffzellensysteme für mobile Kleingeräte - Technikbewertung und Umwelteffekte. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2004
- [7] WERNER, C.: „Vergleichende Untersuchungen zu KWK-Systemen im Leistungssegment bis 30 kW elektrischer Leistung“, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik der technischen Universität Bergakademie Freiberg, p 17, Freiburg 2004
- [8] RICHTLINIE 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und Rates; Februar 2004
- [9] SIMADER, G.R.; Mikro- und Mini-KWK-Anlagen in Österreich; OPET Network; Energie Verwertungsagentur; Wien; März 2004
- [10] PEHNT, M., et al; Micro Cogeneration; ISBN 3-540-25582-6; Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2006
- [11] MILLES, U.; Kraft und Wärme Koppeln; ISSN 1438-3802; Herausgeber FIZ Karlsruhe GmbH, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen; Oktober 2006
- [12] GASGERÄTERICHTLINIE 90/396/EWG der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft; 1990
- [13] GIRAUD, D.; Promotion of small scale cogeneration in rural areas; INESTENE; France; Contract n°XVII/4.1031/P/99-115; März 2002
- [14] ASUE, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.; Bismarckstraße 16, 67655 Kaiserslautern; Dezentrale Stromerzeugung mit Erdgas in Einfamilienhäusern; Fachtagung in Essen; November 2005
- [15] SIMADER, G., et al; Micro- and Mini-CHP Plants in Austria; E.V.A., the Austrian Energy Agency; März 2004
- [16] AIEGENBAUER, S., et al: Definition und Evaluierung ausgewählter Mikro-KWK Technologien, Austiran Bio Energy, Projektnummer: 350 TR nK I-1-34, Datum: 24.02.2009

- [17] GESETZ für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz); März 2002
- [18] THOMAS, B.; mini blockheizkraftwerke; ISBN 978-3-8343-3069-7; Vogel Buchverlag; 2007
- [19] WORLD ENERGY COUNCIL, Performance of Generating Plant, London, 2001
- [20] ASUE, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.; Mikro-KWK; 67655 Kaiserslautern; Verlag Rationeller Erdgaseinsatz; Best.-Nr. 05 12 01; 2001
- [21] KRAWINKLER, R.; Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke; Diplomarbeit; TU Wien; August 2006
- [22] FORMANSKI, T.; Blick in die Zukunft Neue Erdgastechniken auf dem Vormarsch; 6. Berliner Energietage; Mai 2005
- [23] GEIßLER, M.; Kraft-Wärme-Kopplung im Focus - erfolgreicher Einsatz von Mikro-KWK; Berliner Energieagentur GmbH; Berliner Energietage; Mai 2005
- [24] EBERT, G.; Dezentrale Versorgungssicherheit für den Wohnbereich: Wirtschaftlichkeit durch KWK und ökologische Kriterien; Fraunhofer ISE; Freiburg; 2006
- [25] HENLE, M., Dezentrale Kraft-Wärmekopplung im Kraftwerksverbund, ISBN 3-18-353206-9; 2003
- [26] DEVALVE, T., OLSOMMER, B.; Micro-CHP Systems for Residential Applications - Final Report; United Technologies Research Center; Juni 2006
- [27] AUSTRIAN BIOENERGY CENTRE GmbH; Technologiematrix
- [28] FAY, P.; BHKW- Kenndaten 2001; Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.; Verlag Rationeller Erdgaseinsatz; Best.-Nr. 05 11 01
- [29] FAY, P.; PROHASKA, G.; BHKW- Kenndaten 2005; Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.; Verlag Rationeller Erdgaseinsatz; Best.-Nr. 05 05 05
- [30] DACHS DATENBLATT; SenerTec GmbH Carl-Zeiss-Str.18 - 97424 Schweinfurt; URL: [http://www.senertec.de/show\\_pdf.php?name=technisches\\_datenblatt](http://www.senertec.de/show_pdf.php?name=technisches_datenblatt); August 2008
- [31] S-Pro Automation GmbH; Zum Heidchen 42, D-57583 Nauroth; Preisliste BHKW Greentherm; URL: [www.greentherm.eu](http://www.greentherm.eu); Oktober 2007
- [32] SOKRATHERM GmbH & Co. KG; D-32120 Hiddenhausen; Milchstraße 12; Lieferprogramm 2008; BHKW-Kompaktmodule zum Betrieb mit Biogas; URL: <http://www.sokratherm.de/deutscheindex.html>; 2008
- [33] ENERGYTECH; Mikrogasturbinen; Österreichische Energieagentur; Otto-Bauer-Gasse 6, 1060 Wien; URL: [http://energytech.at/%28de%29/kwk/portrait\\_kapitel\\_2\\_7.html](http://energytech.at/%28de%29/kwk/portrait_kapitel_2_7.html); 2008
- [34] KRAMER et al., Mini-Blockheizkraftwerke; Seminarkurs; Heinrich-Schickhardt-Schule Freudenstadt; 2006
- [35] ECONNET; Potential for Microgeneration Study and Analysis; November 2005

- [36] LUTSCH, W., et al.; PLURALISTISCHE WÄRMEVERSORGUNG; Band 2 Technikentwicklung und –bewertung; Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie; ISBN 3-8999-005-6; Frankfurt; März 2004
- [37] NEUFFER, H. et al.; PLURALISTISCHE WÄRMEVERSORGUNG; Band 2 Teil 1: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes, Teil 2: Technologieentwicklung und -bewertung; URL: <http://www.isi.fhg.de/e/publikation/waerme/>; Frankfurt; August 2001
- [38] STOCKMAYER et al.; Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich Perspektiven für technologische Innovationen und institutionelle Reformen in Österreich und Europa; Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung WIFO; Juni 2005
- [39] CAPSTONE TURBINE CORPORATION; 21211 Nordhoff Street; Chatsworth CA 91311; Capstone C30 Liquid Fuels; 2008
- [40] HESSENERGIE Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbH; MIKROGASTURBINEN im Markt der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen; Juli 2004
- [41] SANDER, K.; Potenziale und Perspektiven stationärer Brennstoffzellen; Dissertation; Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart; 2003
- [42] BESCH, H. et al.; PLURALISTISCHE WÄRMEVERSORGUNG; Vorstudie; URL: <http://www.isi.fhg.de/e/publikation/waerme/>; Frankfurt; 2000
- [43] PEHNT, M.; Stationäre Brennstoffzellen; IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung; BMU Fachworkshop; März 2007
- [44] SPILLING ENERGIE SYSTEME GmbH; Werftstraße 5; D-20457 Hamburg; Hamburg BVMW Innovationsforum; Oktober 2007
- [45] SUTOR, W.; "Blockheizkraftwerke", Ein Leitfaden für den Anwender, 6. aktualisierte Auflage ISBN 3-8249-0939-1; 2003
- [46] PROECOPOLYNET; Market analysis micro CHP; Network for the Promotion of RTD results in the field of Eco-building technologies, small Polygeneration; URL: [www.proecopolynet.info](http://www.proecopolynet.info); März 2007
- [47] PAETORIUS, B., SCHNEIDER, L.; MICRO COGENERATION: TOWARDS A DECENTRALIZED AND SUSTAINABLE GERMAN ENERGY SYSTEM?; 29. IAAE Internationale Konferenz; Potsdam; Juni 2006
- [48] FROST and SULLIVAN Ltd, 22 Chapter Street, London; European Micro CHP Systems Market; URL: [www.frost.com](http://www.frost.com); 2001
- [49] BHKW-INFOZENTRUM; Konferenz: Innovative Mini-BHKW - Technologien, Entwicklung, Praxiserfahrungen; URL: <http://www.bhkw-infozentrum.de/>; 2007
- [50] AEM GmbH; Siemensstraße 15, 48619 Heek; Händlerhomepage von KWK Anlagen; URL: <http://www.aem-whispergen.de>; 2008
- [51] SUNPOWER Inc., 182 Mill Street, Athens, Ohio 45701-2627, USA; homepage; URL: <http://www.sunpower.com>; 2008
- [52] SACHS, H.M., et al.; Emerging Energy-Saving Technologies and Practices for the Buildings Sector as of 2004; URL: <http://www.aceee.org/store/proddetail.cfm?ItemID=381&CategoryId=7>; American Council for an Energy-Efficient Economy ACEEE; 2004

- [53] PEHNT, M.; TRAUBE, K.; Stand und mittelfristige Perspektiven stationärer Brennstoffzellen; Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (BKWK); Oktober 2004
- [54] ALTGELD, H.; Brennstoffzellen Heizgeräte und Feldtest inhouse5000; iZES GmbH; Institut für ZukunftsEnergieSysteme, HTW Saarbrücken; November 2007
- [55] ERDMANN, G.; Kostenfragen bei der Markteinführung von stationären Brennstoffzellen; TU Berlin; 2002
- [56] AHAMMER, F. et al.; Anwendung der Brennstoffzellentechnologie als Mikro-KWK im Wohnbereich; 5. Internationale Energiewirtschaftstagung IEWT; TU Wien; Februar 2007
- [57] HANSSEN, J.E.; 50 kW PEM Fuel Cell Generator for CHP and UPS applications; Programme: FP5 - Energy, Environment, Sustainable Development; 2001
- [58] SANDER, K., WEBER, C.; Perspektiven stationärer Brennstoffzellen im Energiesystem Baden-Württemberg; Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER); Universität Stuttgart; 2001
- [59] FREEPOWER Ltd.; 56 Reith Way, West Portway Industrial Estate, Andover, Hampshire, England; INTRODUCTION TO FREEPOWER ORC SYSTEMS; Juni 2005
- [60] BUTCHER, T.A.; Technologies for MicroCHP; Brookhaven National Laboratory; National Micro-CHP Technology; Pathways Workshop; Juni 2003
- [61] LTI ADATURB GMBH; Datenblatt; Emil-Figge-Straße 76, 44227 Dortmund; URL: <http://adaturb.lt-i.com>; 2008
- [62] STARES, I.; MicroCHP has its place....; CHPA National Conference; BAXI Group; November 2004
- [63] SCHUSTER, A. et al; Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications; TU München; ELSEVIER; 2008
- [64] KLINGER, J.: „Persönliches Gespräch mit Herrn Ing. Johann Klinger von Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation über die thermische Auslegung von Mikro- KWK Anlagen“, Salzburg, 11.03.2009
- [65] WOLDT, T.: „Beitrag zur Energiesystemintegration dezentraler Energiewandlungsanlagen mit besonderer Berücksichtigung kleiner Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen in kommunalen Versorgungsstrukturen, Kapitel 3.2.4 Betriebsführungskonzepte für KWK-Anlagen“, Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Dissertation, pp 29-31 Dez. 2007
- [66] HORNBACHNER, D., BÄRNTHALER, J., BERGMANN, H., KONRAD, G., TARGYIK-KUMER, L., PINTER, C., WARTHA, C.: „Gasversorgung mittels lokaler Biogas-Mikronetze“ Seite 47, Forschungsprogramm im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Projektnummer 812786, September 2008
- [67] OIB „Information der Homepage der österreichisches Institut für Bautechnik“, OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe: April 2007, pp 2-3, [www.oib.or.at/RL6\\_250407.pdf](http://www.oib.or.at/RL6_250407.pdf) (Stand:16.02.2009 um 10:45)

- [68] KLIMAAKTIVE „Information der Homepage Klimaaktive“, Klima:aktiv Gebäudestandard Kriterienübersicht für Neubau von Wohnbauten Klima:aktiv Haus und Klima:aktiv Passivhaus, Datum: 30.10.2008 <http://www.klimaaktiv.at/article/archive/14309/> (Stand: 17.02.2009 um 11:10)
- [69] STATISTIK AUSTRIA: „Information der Homepage der Statistik Austria“, Gebäude und Wohnungen 2001 nach Eigentümer, Eigentümerin des Gebäudes und Gebäudeart, Erstellt am:13.08.2007, URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/wohnen\\_und\\_gebaeude/bestand\\_an\\_gebaeuden\\_und\\_wohnungen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wohnen_und_gebaeude/bestand_an_gebaeuden_und_wohnungen/index.html) (08.04.2009 um 13:23 Uhr)
- [70] HORNBACHNER, D., BÄRNTHALER, J., BERGMANN, H., KONRAD, G., TARGYIK-KUMER, L., PINTER, C., WARTHA, C.: „Gasversorgung mittels lokaler Biogas-Mikronetze“ Seite 43, Forschungsprogramm im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Projektnummer 812786, September 2008
- [71] SCHAUMANN, G., WIRTZ, J., KRIEBS, K.: „Deckung eines großen Wärmebedarfs durch Holzhackschnitzel zur Reaktivierung einer naturschutzorientierten Niederwals-wirtschaft in Region Cochem“, Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH, Kapitel 1.3 Marienkrankenhaus, pp 6-7, Datum: 12.05.2003
- [72] FAY, P.; PROHASKA, G.; BHKW- Kenndaten 2005; Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.; Verlag Rationeller Erdgaseinsatz; Best.-Nr. 05 05 05, 2005
- [73] HORNBACHNER, D., BÄRNTHALER, J., BERGMANN, H., KONRAD, G., TARGYIK-KUMER, L., PINTER, C., WARTHA, C.: „Gasversorgung mittels lokaler Biogas-Mikronetze“ Seite 386, Forschungsprogramm im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Projektnummer 812786, September 2008
- [74] HORNBACHNER, D., BÄRNTHALER, J., BERGMANN, H., KONRAD, G., TARGYIK-KUMER, L., PINTER, C., WARTHA, C.: „Gasversorgung mittels lokaler Biogas-Mikronetze“ Seite 388, Forschungsprogramm im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Projektnummer 812786, September 2008
- [75] GEIGER, B. et al: „Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft im Auftrag der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Verbandes kommunaler Unternehmen e.V.“, Institut für Energietechnik der technischen Universität München, November 2002
- [76] AGCS, Gas Clearing & Settlement: Information der Homepage AGCS, Downloadcenter Lastprofile [http://www.agcs.at/service/downloadcenter/load\\_profiles.html](http://www.agcs.at/service/downloadcenter/load_profiles.html) (Stand: 13.08.2009 um 16:00 Uhr)
- [77] ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik): „Tagesmittelwerte der Lufttemperatur für drei Messstellen und das Jahr 2008“, Übermittlung der Daten per Email am 19.08.2009 um 11:54 Uhr
- [78] FÜNFELD, C., TIEDEMANN, R.: „Anwendung der Repräsentativen VDEW-Lastprofile Step- by – Step“, Herausgeberin: Brandenburgische Technische



- Universität Cottbus im Auftrag von Verband der Elektrizitätswirtschaft in Frankfurt ,  
Januar 2000
- [79] REZANIA, R.: „Die Auswirkung unterschiedlicher Netzintegrationsvarianten auf die  
Netztarife und Wirtschaftlichkeit dezentraler Stromerzeugungsanlagen“,  
Diplomarbeit an der technischen Universität Wien, Institut für elektrische Anlagen  
und Energiewirtschaft, Leitung: Pro. Reinhard Haas, 19 November 2009
- [80] VBN: „Information der Homepage des Verteilnetzbetreibers Rhein-Main-Neckar  
GmbH & Co. KG“, Lastprofile von den Kundengruppen Haushalt, Gewerbe und  
Landwirtschaftsbetriebe für den Netzzugang; [http://www.vbn-  
rmn.de/index.php?uid=21](http://www.vbn-rmn.de/index.php?uid=21) (Stand: 27.11.2007 um 23:00 Uhr); 2007
- [81] HAAS, R. et al.: „Langfristige Szenarien der gesellschaftlich optimalen  
Stromversorgung der Zukunft“, Auftragnehmer: TU WIEN\_ Energy Economics  
Group, Studie aus der 2. Ausschreibung der Programmlinie Energiesysteme der  
Zukunft, Projektnummer: 812784, pp 54-63, 2009
- [82] E-CONTROL: „Informationen der Webseite von E-Control im Zusammenhang mit  
Preiszusammensetzung des Gases“ URL: [http://www.e-  
control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/preiszusammensetzung](http://www.e-control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/preiszusammensetzung) (05.02.2010  
um 10:17)
- [83] E-CONTROL: „Informationen der Webseite von E-Control im Zusammenhang mit  
Preiszusammensetzung des Stroms für Haushaltkunden“ URL: [http://www.e-  
control.at/de/konsumenten/strom/strompreis/preiszusammensetzung](http://www.e-control.at/de/konsumenten/strom/strompreis/preiszusammensetzung) (06.02.2010  
um 13:28)
- [84] PIELKE, M., KURRAT, M.: „Integrations- und Marktstrategien von Mini-BHKW in  
Wohnobjekten für den Energieversorger“, Herausgeberin: Technische Universität  
Braunschweig, Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlage,  
Paper zur 6. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, pp 2,  
Februar 2009
- [85] BERND, T.: „Miniblockheizkraftwerke Grundlagen, Gerätetechnik, Betriebsdaten,  
Kapitel 3 Aufstellung, Installation und Betriebsweise“, Vogel Buchverlag, pp 93 –  
100, 2007
- [86] TRNKA, G., HOFMANN, M., SIMADER, G.: „Qualitätslinie optimierte Installation von  
Gas-, Öl- und Pellets-Heizungssystemen“, Auftraggeber: Europäische Kommission  
BMWA MA27-Stadt Wien, Herausgeberin: Austrian Energy Agency, pp 9, August  
2008
- [87] MÜLLER, A. et al: „Energieszenarien bis 2020: Wärmebedarf der Kleinverbraucher.“  
Projekt Endbericht, Juni 2009. Ausarbeitung im Auftrag der Umweltbundesamt  
GmbH, Wien.
- [88] WINDISCH, P.: „Prognose für Österreich, Teil II: Haushalte und Wohnbautätigkeit,  
Regionale Trends bis 2031,“ Juli 2005. Österr. Sparkassenverband.
- [89] MÜLLER, A. et al: „WohnGebäudebestand bis 2050.xlsx,“ November 2009. Daten  
per xlsx zur Verfügung gestellt aus Projekt "Energieszenarien bis 2020:  
Wärmebedarf der Kleinverbraucher"; EEG Energy Economics Group, Wien.

- [90] VON REIS, J. et al: "Energieeinsparung in öffentlichen Gebäuden - Vorgehensweise, Maßnahmen, Beispiele," April 2000. Im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Projektdurchführung: Forschungszentrum Jülich GmbH.
- [91] KUNZE, R.: "NÖ Landesgebäude 2008: Bericht über die Energieversorgung in NÖ Landesgebäuden," 2009. Amt der NÖ Landesregierung, St. Pölten.
- [92] WALTER, C.: "Hotel Energiemonitor," Februar 2010. MANOVA GmbH, URL: <http://www.hotel-energie-monitor.at> (Übermittlung der Daten per EMail am 23. Feb 2010).
- [93] MAHIDI, M.: "Gebäude und Wohnungszählung 2001 - Hauptergebnisse Österreich," 2004. STATISTIK AUSTRIA Publikation, Wien
- [94] STATISTIK AUSTRIA, "Informationen der Website der Statistik Austria - Energie und Umwelt," Februar 2010. URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_und\\_umwelt/energie/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/index.html) (Stand 26.02.2010).
- [95] STATISTIK AUSTRIA, "Informationen der Website der Statistik Austria - Formales Bildungswesen," Februar 2010. URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/bildung\\_und\\_kultur/formales\\_bildungswesen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bildung_und_kultur/formales_bildungswesen/index.html) (Stand 12.02.2010)
- [96] BUDER, E.: "Arbeitsstättenzählung 2001 - Hauptergebnisse Österreich," 2004. STATISTIK AUSTRIA Publikation, Wien.
- [97] WKO, "Tourismus in Zahlen 2008," 2009. Broschüre der WKO URL: [http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?angid=1&stid=238252&dstid=316&opennavid=0](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=238252&dstid=316&opennavid=0) (Stand 12.02.2010).
- [98] STATISTIK AUSTRIA, "Informationen der Website der Statistik Austria - Tourismus Beherbergung," Februar 2010. URL: [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/tourismus/beherbergung/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/tourismus/beherbergung/index.html) (Stand 17.02.2010).
- [99] BIOGAS NETZEINSPEISUNG: „Information der Webseite von Biogas- Netzeinspeisung im Zusammenhang mit den Gestehungskosten des aufbereiteten Biogases“, URL: <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/wirtschaftliche-planung/darstellung-der-gesamtkosten.html> (11.06.2010 um 12:00)
- [100] WEISS, W.: Präsentation über Forschungsstrategie Solarthermie der Österreichischen Solarthermie Technologieplattform (ASTTP) im Rahmen der Veranstaltung Innovationsstrategien – Erneuerbare am 07.06.2010 an technischen Universität Wien, URL: <http://www.energiesystemederzukunft.at/results.html/id6067>

## IMPRESSUM

### **Verfasser**

#### Projektleiter

Dr. Reinhard Haas, TU-Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (EEG)

#### Projektmitarbeiter

TU-Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (EEG)

Dipl.-Ing. Rusbeh Rezania

Dr. Wolfgang Prügler

Dip.-Ing. Marion Glatz

Austrian Bioenergy Center GmbH

Dipl.-Ing. Dr. Günther Friedl

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Aigenbauer

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.

Dipl.-Ing. Michael Beer

Dipl.-Phys. Roger Corradini

Dipl.-Ing. Gilbert Vogler

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH