

DIPLOMARBEIT

Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke

Technologiebeschreibung, Standortplanung mittels Planungssoftware *BHKW-Plan* und Ausblick auf die weitere Umsetzung dieser Technologie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

betreut durch

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Werner
E 302

Institut für Thermodynamik und Energiewandlung

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Robert Krawinkler

Matrikelnummer: 9725836

Alberichgasse 4/14

1150 Wien

Wien, im August 2006

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich meinen Eltern für ihre langjährige Unterstützung von ganzem Herzen danken und diese Arbeit meiner Familie widmen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Günter R. Simader von der Österreichischen Energieagentur für die Möglichkeit, diese Diplomarbeit durchzuführen, und für die fachliche Unterstützung.

Weiters möchte ich auch Herrn Georg Trnka von der Österreichischen Energieagentur für die gute Zusammenarbeit im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts und für die Anregungen bei der Erstellung dieser Arbeit herzlich danken.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Werner, der sich während der Durchführung der Diplomarbeit sowohl für die Arbeit als auch für meine Fragen ausführlich Zeit nahm.

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit soll die verschiedenen Aspekte im Bereich von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken beleuchten. Nach einer Einleitung über die Kraft-Wärme-Kopplung und den Begriff des Blockheizkraftwerkes werden die verschiedenen Technologien dargestellt, die bei Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommen. Dabei werden auch einzelne Produkte beschrieben, und die Arbeit beinhaltet darüber hinaus Herstellerverzeichnisse und Referenzlisten von erfolgreich umgesetzten Projekten. Weiters wird ein Überblick über den momentanen Stand der Technik gegeben.

In den darauf folgenden Kapiteln wird auf die Theorie zur Auslegung von Blockheizkraftwerken eingegangen. Dabei werden sowohl die technischen Gesichtspunkte als auch verschiedene Rechenverfahren zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dargestellt.

Anschließend wird eine Planungs- und Simulationssoftware vorgestellt, die zur Auslegung von Blockheizkraftwerken eingesetzt werden kann. In weiterer Folge werden drei Planungen beschrieben, die mit Hilfe dieses Softwareprogramms durchgeführt wurden. Diese Fallstudien wurden im Rahmen eines Projekts durchgeführt, das der Erhöhung der Energieeffizienz und der Forcierung erneuerbarer Energieträger in Beherbergungsbetrieben und Gebäuden mit ähnlicher Nutzung dienen soll. Anhand dieser Beispiele werden die maßgeblichen Parameter für einen technischen und wirtschaftlichen Betrieb von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken dargestellt.

Den Abschluss bildet die Darstellung der Rahmenbedingungen, unter denen Blockheizkraftwerke betrieben werden, und möglicher Barrieren für die weitere Umsetzung dieser Technologie.

Abstract

This thesis intends to illustrate the different aspects concerning small scale and micro combined heat and power systems. After a short introduction about cogeneration and the outline of combined heat and power (CHP) systems, the different technologies used in small scale and micro CHP systems are described. Furthermore, the thesis contains the description of various products, lists of manufacturers and references of successfully implemented projects. Additionally an overview of the state of the art of small scale and micro CHP systems is provided.

The theory of planning and dimensioning a CHP system is described in the following chapters. Thereby technical considerations as well as different methods for evaluating the economics of small scale and micro CHP systems are taken into account.

Afterwards a software programme for planning and dimensioning CHP systems is described. Furthermore three case studies, analysed by the described software, are shown. These case studies were carried out within the scope of a project whose aim is to increase energy efficiency and to promote renewable energy sources in lodging facilities and buildings with similar utilisation. Based on these examples, the critical technical and economic factors when running a small scale or micro CHP system are described.

Finally, the political, financial and regulatory framework for small scale and micro CHP systems and potential barriers for further implementation of this technology are outlined.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung	2
1.2	Blockheizkraftwerk	4
1.2.1	Begriffsbestimmung	4
1.2.2	Anwendungsfelder für Blockheizkraftwerke	5
1.2.3	Brennstoffe	5
1.2.3.1	Fossile Energieträger	6
1.2.3.2	Erneuerbare Energieträger	6
2	Stand der Technik	9
2.1	Verbrennungsmotor	9
2.1.1	Technologiebeschreibung	9
2.1.1.1	Gas-Otto-Motor	10
2.1.1.2	Dieselmotor	11
2.1.1.3	Zündstrahlmotor	11
2.1.1.4	Elektrische Wirkungsgrade von motorischen BHKW	11
2.1.1.5	Stufenlose, drehzahlabhängige Modulierbarkeit	12
2.1.1.6	Verbrennungsregelung, Emissionen und Leistung von Gasmotoren	13
2.1.2	Verwendung von Biodiesel und Pflanzenöl in BHKW	15
2.1.3	Einsatz von Holzgas in Gasmotoren	16
2.1.4	Herstellerübersicht und Märkte	18
2.1.5	Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte	22
2.2	Mikrogasturbine	23
2.2.1	Technologiebeschreibung	23
2.2.2	Brennstoffe	24
2.2.3	Herstellerübersicht und Märkte	25
2.2.4	Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte	27
2.2.5	Vertrieb und Referenzen in Österreich	29
2.3	Stirling-Motor	30
2.3.1	Technologiebeschreibung	30
2.3.2	Brennstoffe	33
2.3.3	Herstellerübersicht und Märkte	33
2.3.4	Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte	37
2.3.4.1	Verzeichnis weiterer Hersteller	39
2.3.5	Stirling-Aktivitäten in Österreich	40
2.4	Dampfkolbenmotor	44
2.4.1	Technologiebeschreibung	44
2.4.2	Brennstoffe	45
2.4.3	Herstellerübersicht und Märkte	45
2.4.4	Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte	49
2.5	Zusammenfassung Stand der Technik	49

3	Planung und Auslegung von Blockheizkraftwerken.....	52
3.1	Analyse des elektrischen und thermischen Energiebedarfs	52
3.1.1	Wärmebedarf und Wärmeleistungsbedarf des Objektes	52
3.1.2	Strombedarf	54
3.2	Betriebsweise.....	55
3.2.1	Wärmegeführte Betriebsweise.....	56
3.2.2	Stromgeführte Betriebsweise.....	56
3.2.3	Auswahl eines BHKW.....	57
3.3	Versorgungskonzepte	59
3.3.1	Netzparallelbetrieb.....	59
3.3.2	Netzersatzbetrieb.....	59
3.3.3	Inselbetrieb	59
4	Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	60
4.1	Allgemeine Einführung.....	60
4.2	Annuitätenmethode	61
4.2.1	Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7	61
4.2.1.1	Berechnung der Kosten	62
4.2.1.2	Bewertung der Eigenstromerzeugung	65
4.2.1.3	Wärmeerzeugungskosten und Vergleich mit Heizzentrale	66
4.3	Dynamische Amortisationsrechnung	67
4.4	Sensitivitätsanalyse.....	68
5	Planungssoftware <i>BHKW-Plan</i>	69
5.1	Wärmebedarf.....	70
5.1.1	Grundlagen der Wärmebedarfsberechnung für ein Gebäude	70
5.1.2	Wärmebedarfsberechnung	72
5.2	Strombedarf	73
5.3	Wärme- und Stromerzeugung.....	74
5.4	Erlöse aus der Stromproduktion	76
5.5	Wirtschaftlichkeitsberechnung	76
5.6	Emissionsberechnung	77
5.7	Berichtswesen	77
5.8	Beurteilung des Programms.....	78
6	Planungen im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts	80
6.1	Allgemeine Beschreibung.....	80
6.2	Ermittlung der Inputdaten	80
6.3	Annahmen bei der Planung	81
6.4	Planungen	82
6.4.1	<i>Schneider-Gössl, Österreich (AEA)</i>	83
6.4.2	<i>Albergue El Florian, Spanien (ENERNALON)</i>	88
6.4.3	<i>El Cercadillo, Spanien (AGENER)</i>	92
6.4.4	Zusammenfassung der Planungen.....	96

7	Rahmenbedingungen und Barrieren für Blockheizkraftwerke	100
7.1	Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen und Barrieren	100
7.1.1	Europäische Gesetzgebung	100
7.1.1.1	Richtlinie 2004/8/EG	101
7.1.2	Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen in Österreich	101
7.1.2.1	Ökostromgesetz	101
7.1.2.2	Investitionsförderung	104
7.1.2.3	Besteuerung der Energieträger	105
7.2	Technische Rahmenbedingungen und Barrieren	106
7.3	Informations- und Wissensbarrieren und weitere Hemmnisse	110
7.4	Blockheizkraftwerke in Österreich	111
8	Zusammenfassung	114
9	Literaturverzeichnis	116
A	Anhang	126
A.1	BHKW mit Verbrennungsmotoren	126
A.1.1	Herstellerverzeichnis	126
A.1.2	Herstellerverzeichnis – Pflanzenöl-BHKW	132
A.1.3	Holzvergasung	134
A.1.3.1	Forschungseinrichtungen in Österreich	134
A.1.3.2	Hersteller	134
A.1.4	Referenzlisten	136
A.1.4.1	Referenzliste Lackner Energietechnik GmbH	136
A.1.4.2	Referenzliste Oberdorfer Kraft-Wärme-Kopplung GmbH	140
A.2	VDI 3985 – Arbeitsablaufdiagramm	144
A.3	VDI 2067, Blatt 7 – Formblatt Wirtschaftlichkeitsrechnung	145
A.4	Fragebogen zur Ermittlung der Inputdaten	146
A.5	Wirtschaftlichkeitsrechnung nach VDI 2067, Blatt 7	151

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Vergleich – getrennte und gekoppelte Erzeugung [13], eigene Darstellung	3
Bild 2: Gasarten nach Heizwert [69], eigene Darstellung	7
Bild 3: BHKW mit Verbrennungsmotor [2]	10
Bild 4: Elektrische Wirkungsgrade motorischer BHKW [13]	12
Bild 5: Elektrisches Blockschaltbild, Leistungsmodulation [76]	13
Bild 6: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit von der Luftzahl λ [40]	14
Bild 7: Innenansicht – <i>Dachs HKA</i> [3]	20
Bild 8: Innenansicht – <i>ecopower</i> [33]	21
Bild 9: <i>Honda Ecowill</i> [96]	22
Bild 10: Schema einer Mikrogasturbine mit Rekuperator [12]	23
Bild 11: Innenansicht – <i>Capstone C30</i> Mikrogasturbine [88]	25
Bild 12: <i>Capstone C30</i> Mikrogasturbine [84]	26
Bild 13: <i>Turbec T 100</i> [102]	27
Bild 14: Aufbau einer KWK-Anlage mit Stirlingmotor [2]	31
Bild 15: Aufbau eines Stirling-Motors, α -Typ [119], eigene Darstellung	32
Bild 16: <i>Solo Stirling 161 microKWK-Modul</i> [92]	34
Bild 17: Aufbau des Stirling-Motors im <i>Solo Stirling 161 mikroKWK-Modul</i> [35]	34
Bild 18: <i>Whispergen AC</i>	36
Bild 19: Stirling-Motor – <i>Whispergen</i> [93]	36
Bild 20: <i>sunmachine</i> [107]	37
Bild 21: Aufbau der <i>sunmachine</i> [107]	38
Bild 22: <i>Solo Stirling 161 microKWK-Modul</i> im Stuckitzbad in Graz	40
Bild 23: Stirling-KWK – 35 [kW _{el}] [91]	41
Bild 24: Stirling-KWK – 75 [kW _{el}] [91]	41
Bild 25: KWK auf Basis eines Stirlingmotors in Oberlech [90]	42
Bild 26: <i>Stirling Power Module</i> [109]	43
Bild 27: Schema einer KWK-Anlage mit Dampfkolbenmotor [2]	44
Bild 28: Prinzipschaubild eines Dampfkolbenmotors [2]	45
Bild 29: Energiefluss bei Biomasse-KWK mit <i>Spilling</i> Dampfkolbenmotor [30]	46
Bild 30: Anlagenbeispiel eines <i>Spilling</i> Dampfkolbenmotors [30]	46
Bild 31: <i>lion Powerblock</i>	47
Bild 32: Vereinfachtes Funktionsschema – <i>lion Powerblock</i> [100]	48
Bild 33: Forschungs- und Technologieentwicklungskette [1], eigene Darstellung	51
Bild 34: Beispiel für den Verlauf des Wärmebedarfs während eines Jahres	53
Bild 35: Beispielhafte Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs	54
Bild 36: Wärmegeführte Betriebsweise [43]	56
Bild 37: Stromgeführte Betriebsweise [43]	57
Bild 38: Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs [13], eigene Darstellung	57
Bild 39: Richtpreise BHKW [14], eigene Darstellung	63
Bild 40: Instandhaltungskosten [14], eigene Darstellung	65
Bild 41: Benutzeroberfläche <i>BHKW-Plan</i>	69
Bild 42: Wärmeströme über die Gebäudehülle [43]	70

VIII

Bild 43: Dialogfeld Wärmebedarfsberechnung	73
Bild 44: Stromlastganglinie über eine Woche	74
Bild 45: Eingabefeld zur Wärme- und Stromproduktion	74
Bild 46: Wärme- und Stromganglinien, eigene Darstellung.....	75
Bild 47: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung	77
Bild 48: Hotel/Restaurant <i>Schneider-Gössl</i> , Quelle: <i>Österreichische Energieagentur</i>	83
Bild 49: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, <i>Schneider-Gössl</i>	84
Bild 50: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, <i>Schneider-Gössl</i>	86
Bild 51: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, <i>Schneider-Gössl</i>	86
Bild 52: Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer, <i>Schneider-Gössl</i>	87
Bild 53: Sensitivitätsanalyse, <i>Schneider-Gössl</i>	87
Bild 54: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, <i>Albergue El Florian</i> ..	89
Bild 55: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, <i>Albergue El Florian</i>	90
Bild 56: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, <i>Albergue El Florian</i>	90
Bild 57: Sensitivitätsanalyse, <i>Albergue El Florian</i>	91
Bild 58: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, <i>El Cercadillo</i>	93
Bild 59: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, <i>El Cercadillo</i>	95
Bild 60: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, <i>El Cercadillo</i>	95
Bild 61: Übersichtskarte – Planungen	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektpartner – "Green Lodges"-Projekt	2
Tabelle 2: Definition von Blockheizkraftwerken bezüglich ihrer Leistungsgröße.....	4
Tabelle 3: KWK-Anlagen in Österreich nach elektrischer Leistung [56], eigene Darstellung ...	5
Tabelle 4: Eigenschaften von Rapsöl, Rapsölmethylester (Biodiesel), Diesel [8]	8
Tabelle 5: Leistung und Wirkungsgrade in Abhängigkeit von der Drehzahl, <i>PowerTherm</i> BHKW [32].....	13
Tabelle 6: Technische Daten – <i>Dachs HKA</i> [31], eigene Darstellung	20
Tabelle 7: Technische Daten – <i>ecopower</i> BHKW [33], eigene Darstellung	21
Tabelle 8: Technische Daten – <i>Honda Ecowill</i> , eigene Darstellung	22
Tabelle 9: Technische Daten – <i>Capstone</i> Mikrogasturbinen, eigene Darstellung.....	26
Tabelle 10: Technische Daten – <i>Turbec T 100</i> , eigene Darstellung	27
Tabelle 11: Weitere Hersteller – Mikrogasturbinen	27
Tabelle 12: Technische Daten – <i>Solo Stirling 161 microKWK-Modul</i> [34], [35]	35
Tabelle 13: Technische Daten – <i>WhisperGen AC</i> , eigene Darstellung.....	36
Tabelle 14: Technische Daten – <i>sunmachine</i> [108], eigene Darstellung.	38
Tabelle 15: Weitere Hersteller – Stirling-BHKW	39
Tabelle 16: Technische Daten – <i>Spilling</i> Dampfmotoren [30]	47
Tabelle 17: Technische Daten – <i>lion Powerblock</i> [100], eigene Darstellung	48
Tabelle 18: Anteil des BHKW am maximalen Wärmeleistungsbedarf bei verschiedenen Gebäudetypen [13].....	59
Tabelle 19: Pauschale Jahreskosten für Instandhaltung in Prozent der Investitionen [52]	64
Tabelle 20: Technische Daten – BHKW und Spitzenkessel, <i>Schneider-Gössl</i>	83
Tabelle 21: Inputdaten, <i>Schneider-Gössl</i>	84
Tabelle 22: Ergebnisse der Berechnung, <i>Schneider-Gössl</i>	84
Tabelle 23: Wirtschaftlichkeitsberechnung, <i>Schneider-Gössl</i>	85
Tabelle 24: Inputdaten, <i>Albergue El Florian</i>	88
Tabelle 25: Ergebnisse der Berechnung, <i>Albergue El Florian</i>	89
Tabelle 26: Bilanzierung für die dynamische Amortisationsdauer, <i>Albergue El Florian</i>	91
Tabelle 27: Inputdaten, <i>El Cercadillo</i>	92
Tabelle 28: Ergebnisse der Berechnung, <i>El Cercadillo</i>	94
Tabelle 29: Bilanzierung für die dynamische Amortisationsdauer, <i>El Cercadillo</i>	96
Tabelle 30: Genehmigungsverfahren für Stationärmotoren [59]	108
Tabelle 31: Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren, Angaben in [mg/Nm ³] [1]	109
Tabelle 32: Anzahl Ökostromanlagen (Biogas, Biomasse fest, Biomasse flüssig, Deponie- und Klärgas) [16].....	111
Tabelle 33: Entwicklung der Engpassleistung von Ökostromanlagen [16].....	112
Tabelle 34: KWK-Potenziale in Österreich [56], eigene Darstellung	112

Abkürzungsverzeichnis

Index	Bedeutung
ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk
CH ₄	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
EVU	Energieversorgungsunternehmen
HC	Kohlenwasserstoffe
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NO _x	Stickoxide

Symbol	Maßeinheit	Größe
H _u	kJ/kg, kJ/m ³	Heizwert
P _{el}	kW	Elektrische Leistung
P _{th}	kW	Thermische Leistung
P _{Brennstoff}	kW	Brennstoffwärmeleistung
η _{el}	%	Elektrischer Wirkungsgrad
η _{th}	%	Thermischer Wirkungsgrad
η _{ges}	%	Gesamtwirkungsgrad
λ	1	Luftzahl

1 Einleitung

Die derzeitige Lage am Energiesektor ist gekennzeichnet durch ständig steigenden Energieverbrauch und damit verbundener Umweltauswirkungen auf der einen und knapper werdender Ressourcen fossiler Energieträger auf der anderen Seite. Darüber hinaus haben die geopolitischen Entwicklungen der vergangenen Jahre die starke Abhängigkeit von bestimmten Erzeugerländern gezeigt, und drastische Preissteigerungen für fossile Brennstoffe mussten in Kauf genommen werden.

Um diesen Entwicklungen entgegen zu wirken, wird immer wieder auf ein Bündel an verschiedenen Maßnahmen hingewiesen, das im Wesentlichen aus zwei Kernpunkten besteht. Einerseits sind es Maßnahmen zur Energieeinsparung durch bewussten Umgang mit vorhandenen Ressourcen und durch effiziente Techniken bei der Energiewandlung, sowohl bei der Erzeugung als auch bei der Anwendung. Andererseits muss auch eine Forcierung des Einsatzes von erneuerbaren Energieträgern erfolgen, um eine nachhaltige Energieversorgung zu erreichen.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) stellt eine Möglichkeit für effizienten Energieeinsatz dar. Durch die Nutzung der Wärme, die bei der Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken anfällt, werden hohe Brennstoffnutzungsgrade erreicht. Die notwendige Bedingung dafür ist, dass insbesondere ein entsprechender Wärmebedarf vorhanden sein muss und die anfallende Wärme auch abgenommen und genutzt wird. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern in Kraft-Wärme-Kopplungen eine Kombination der Maßnahmen aus Energieeffizienz und Erneuerbarkeit der eingesetzten Brennstoffe.

Blockheizkraftwerke (BHKW) stellen eine Form der KWK im unteren Leistungsbereich dar. Sie sind kleine, kompakte Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und werden vor allem zur dezentralen Energieversorgung eingesetzt. Das bedeutet, dass der Strom und die Wärme zumeist am Ort ihrer Erzeugung abgenommen werden. Mittlerweile drängen Technologien auf den Markt, die es ermöglichen sollen, Kraft-Wärme-Kopplungen auch im Einfamilienhausbereich einzusetzen. Blockheizkraftwerke können daher bei passenden Anwendungsgebieten einen wichtigen Beitrag zur Primärenergieeinsparung und Umweltentlastung liefern. Einsatzmöglichkeiten bestehen insbesondere dort, wo ein möglichst gleichzeitiger Bedarf an Wärme und Strom und eine thermische Grundlast über das ganze Jahr gegeben ist.

Die vorliegende Arbeit hatte folgende Zielsetzungen: Die Analyse des derzeitigen Standes der Technik von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken soll die Verbreitung und den Entwicklungsstand verschiedener Technologien aufzeigen und Hersteller von BHKW identifizieren. Dabei wurden je nach eingesetzter Technologie verschiedene Märkte betrachtet, Hersteller kontaktiert und Referenzanlagen angeführt. Weiters wurden technische und ökonomische Planungen solcher Kleinstanlagen anhand konkreter Praxisbeispiele aus verschiedenen europäischen Ländern durchgeführt. Dabei wurden die maßgeblichen Parameter für den Betrieb und die Wirtschaftlichkeit von BHKW im unteren Leistungsbereich und der Einfluss unterschiedlicher Rahmenbedingungen herausgearbeitet.

Diese Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der *Österreichischen Energieagentur* im Rahmen des Projekts „Renewable Energy Systems and Micro Combined Heat and Power in Rural Lodges“ durchgeführt. An diesem Projekt, das auch als „Green Lodges“-Projekt bezeichnet wird, nehmen neun Organisationen (Energieagenturen) teil, siehe Tabelle 1. Es wird

durch das „Intelligent Energy – Europe“-Programm der *Europäischen Union* unterstützt und im Zeitraum von Jänner 2005 bis Jänner 2007 durchgeführt. Das Projekt soll der Erhöhung der Energieeffizienz und Forcierung von erneuerbaren Energieträgern in so genannten „Green Lodges“ dienen. Diese sind insbesondere kleinere Hotels, Herbergen, Schutzhütten, Gasthäuser (mit Nächtigungsmöglichkeiten) und ähnliche Unterkünfte im ländlichen Raum. Im Rahmen des Projekts wurden noch weitere Gebäudetypen wie beispielsweise kleinere Altersheime, Kliniken und Sanatorien berücksichtigt. Eine Hauptaufgabe des Projekts ist es, in Anbetracht der internationalen Beteiligung die Einsatzmöglichkeiten und das Potenzial für Mini- und Mikro-BHKW aufzuzeigen, insbesondere in jenen Ländern, in denen diese Technologie noch nicht so sehr verbreitet ist. Auf Grund der Erfahrungen mit Kraft-Wärme-Kopplungen im kleinen Leistungsbereich übernahm die *Österreichische Energieagentur* die Koordination für diesen Teil des Projekts.

Tabelle 1: Projektpartner – "Green Lodges"-Projekt

AEA	Österreichische Energieagentur	Österreich	www.energyagency.at
AGENER	Agencia de Gestion Energetica de la Provincia de Jaen	Spanien	www.agener.org
ASTER	Aster S. Cons. p.a.	Italien	www.aster.it
BESEL	Besel, S.A. (Gesamtleitung des Projekts)	Spanien	www.besel.es
CRES	Centre for Renewable Energy Sources	Griechenland	www.cres.gr
EDV ENERGIA	Associação De Energia de Entre o Douro Vouga	Portugal	www.edvenergia.pt
EE 74	Energies Environnement 74	Frankreich	www.ee74.info
ENERNALON	Agencia Local de la Energía del Nalón	Spanien	www.ernalon.org
ICEDD	Institut de Conseil et d'Etudes en Developpement Durable asbl	Belgien	www.icedd.be

1.1 Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung

„Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ist die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer und thermischer Nutzenergie aus anderen Energieformen mittels eines thermodynamischen Prozesses in einer technischen Anlage.“ [42].

In einer Kraft-Wärme-Kopplung wird die Abwärme, die bei der Erzeugung von mechanischer Energie respektive elektrischer Energie mittels eines Verbrennungsprozesses entsteht und sonst zumeist ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird, nutzbar gemacht. Zur Bereitstellung dieser Wärmemenge ist keine zusätzliche Primärenergie mehr notwendig. Die Kraft-Wärme-Kopplung, die mit unterschiedlichen Prozessen realisiert werden kann, bedingt hohe Brennstoffnutzungsgrade, und der Einsatz an Primärenergie kann im Vergleich zu einer getrennten Bereitstellung von Strom und Wärme verringert werden. Folglich kommt es bei Einsatz gleichartiger Brennstoffe auch zu einer Reduktion der treibhausrelevanten Emissionen.

Dabei muss selbstverständlich beachtet werden, dass der Vorteil der Energieerzeugung mittels KWK gegenüber der getrennten Erzeugung von Strom und Wärme von den Kraftwer-

ken und Wärmeerzeugungstechniken und deren Wirkungsgraden abhängt, die als Referenzsysteme herangezogen werden. Für beide Systeme muss zusätzlich der jeweilige technische Fortschritt in Betracht gezogen werden [42]. Bild 1 soll diesen Unterschied zwischen getrennter und gekoppelter Erzeugung verdeutlichen.¹

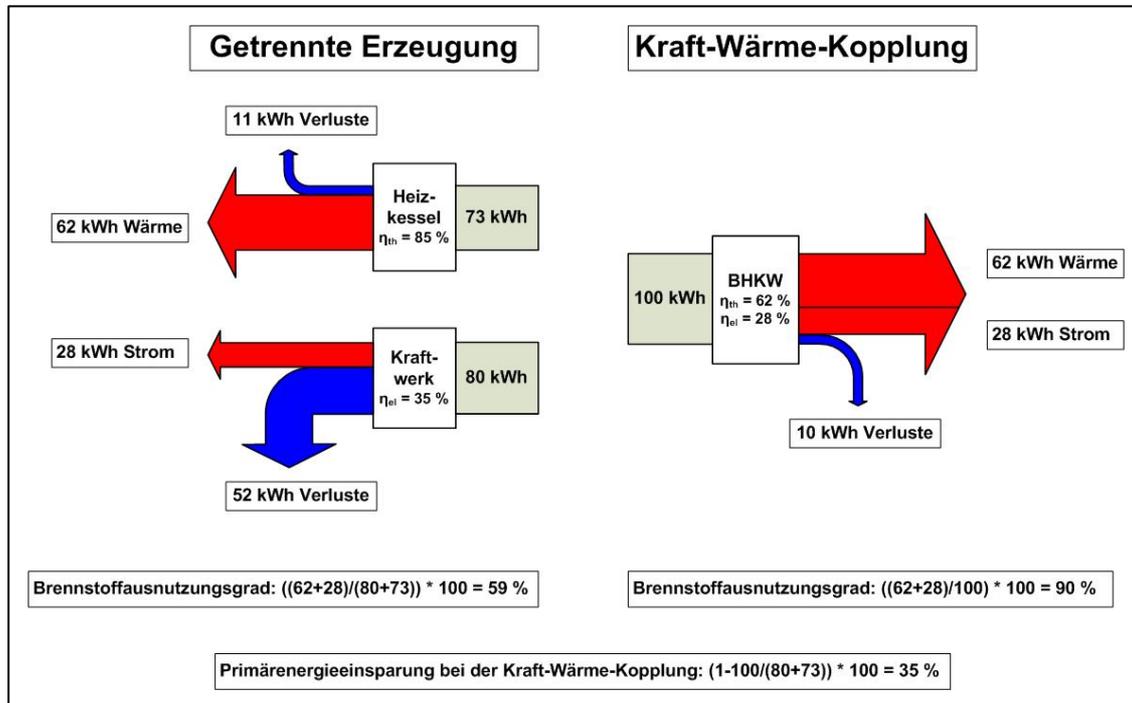


Bild 1: Vergleich – getrennte und gekoppelte Erzeugung [13], eigene Darstellung

Die Grafik zeigt, dass selbst bei einem BHKW der kleineren Leistungsklasse mit einem vergleichsweise geringen elektrischen Wirkungsgrad von 28 % eine Energieeinsparung von 35 % im Vergleich zur Bereitstellung der gleichen Strom- und Wärmemenge aus einem normalen Heizkessel und aus Kondensationskraftwerken erzielt werden kann. Größere BHKW erreichen höhere elektrische Wirkungsgrade und können dadurch noch größere Energieeinsparungen im Vergleich zur ungekoppelten Erzeugung in Kraftwerken und Heizkessel erzielen. Der Brennstoffausnutzungsgrad bei der gekoppelten Erzeugung liegt im betrachteten Fall um 31 % höher als bei der ungekoppelten [13].

Bei Kraft-Wärme-Kopplungen unterscheidet man zwischen Anlagen mit einem und mit zwei Freiheitsgraden. Im ersten Fall werden Strom und Wärme immer in einem von der Anlage her bestimmten, festen Verhältnis erzeugt. Dazu zählen Anlagen ohne Möglichkeit einer ungekoppelten Stromerzeugung. Anlagen mit zwei Freiheitsgraden können mit einem unterschiedlichen Verhältnis der Strom- und Wärmeproduktion betrieben werden. Dazu gehören unter anderem Kraft-Wärme-Kopplungen mit der Möglichkeit geringfügiger oder gelegentlicher ungekoppelter Stromerzeugung [42].

¹ Im Gegensatz zur thermodynamischen Notation wird bei Blockheizkraftwerken das Verhältnis von Nutzwärme zu zugeführter Wärme als thermischer Wirkungsgrad bezeichnet: $\eta_{th} = Q_{Nutz}/Q_{Zu}$.

1.2 Blockheizkraftwerk

1.2.1 Begriffsbestimmung

Hinsichtlich des Begriffs Blockheizkraftwerk liegen in der Literatur verschiedene Definitionen vor. Die häufigste Verwendung tritt in Zusammenhang mit KWK-Anlagen auf Basis von Verbrennungsmotoren auf, woher der Begriff auch seinen Ursprung hat. Solche Anlagen werden auch häufig als Motor-Heizkraftwerk oder Heizkraftanlage bezeichnet.

Blockheizkraftwerke im Sinne der VDI-Richtlinie 3985 „Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen“ sind Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen, die gleichzeitig Strom und nutzbare Wärme erzeugen [45]. In den letzten Jahren wurde der Begriff des BHKW jedoch noch weiter gefasst.

„Als BHKW wird eine Anlage für Kraft-Wärme-Kopplung bezeichnet, die als Block fertig montiert, geliefert und betrieben wird.“ [2].

Dazu werden neben Anlagen mit Verbrennungsmotoren auch solche mit Mikrogasturbinen, Stirling-Motoren, Dampfkraftmaschinen und Brennstoffzellen gezählt, siehe [1], [2], [3], [12], [13] und [75]. Die Anlagen sind meist in einem Schallschutzgehäuse integriert und werden als anschlussfertige Einheit geliefert. Für sehr kleine Anlagen wird auch der Begriff der Strom erzeugenden Heizung verwendet, siehe [6], [44], [113]. Diese Bezeichnung bringt die Orientierung des BHKW am Wärmebedarf mit dem Nebenprodukt Strom sehr gut zum Ausdruck.

Bezüglich der Abgrenzung von Leistungsklassen für Blockheizkraftwerke gibt es ebenfalls keine einheitliche Regelung. Daher sollen hier zwei mögliche Einteilungen angeführt werden, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Definition von Blockheizkraftwerken bezüglich ihrer Leistungsgröße

	OPET CHP²		KWK-Richtlinie [65]
Mikro-BHKW	< 10 [kW _{el}]	KWK-Kleinstanlage	≤ 50 [kW _{el}]
Mini-BHKW	< 500 [kW _{el}]	KWK-Kleinanlage	≤ 1.000 [kW _{el}]
Klein-BHKW	< 2.000 [kW _{el}]		

Die Einteilung nach *OPET CHP (Organisations for the Promotion of Energy Technologies – Combined Heat and Power)* geht auf ein von der EU-Kommission initiiertes Netzwerk zur Verbreitung von energieeffizienten, innovativen und auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Energietechnologien zurück. Eine vergleichbare Abgrenzung für Kraft-Wärme-Kopplungen enthält die EU-Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt, siehe [65]. Im Gegensatz dazu gelten kleine Gasturbinen mit einer elektrischen Leistung bis zu 250 [kW_{el}] als Mikrogasturbinen [1].

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Begriff des Blockheizkraftwerkes nach der Definition von [2] verwendet. Für die Einteilung in Leistungsbereiche wird die KWK-Richtlinie herangezogen, wobei allerdings die Begriffe Mikro- und Mini-BHKW verwendet werden. Der in der Arbeit verwendete Ausdruck BHKW-Modul ist gleichwertig mit jenem des BHKW zu sehen und bezeichnet ebenfalls die Einheit aus Antriebsaggregat, Generator für die Stromgewinnung, den Wärmetauschersystemen und den hydraulischen Einrichtungen zur Wärmeverteilung.

² *Organisations for the Promotion of Energy Technologies: Combined Heat and Power.*
http://cordis.europa.eu/opet/co_generation.htm (Mai 2006).

lung. In der Regel werden BHKW mit einem Spitzenkessel und einem Wärmespeicher ergänzt, deren Funktion in Kapitel 3.2 erklärt wird. Der Zusammenschluss von BHKW, Kessel und Wärmespeicher wird im Folgenden als BHKW-Anlage beziehungsweise BHKW-System bezeichnet.

1.2.2 Anwendungsfelder für Blockheizkraftwerke

Der überwiegende Teil der installierten KWK-Leistung wird in Österreich durch Heizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung ab einem Megawatt abgedeckt, siehe Tabelle 3. Die Abnahme der Wärme erfolgt dabei seitens der Industrie für die Bereitstellung von Prozesswärme oder in städtischen Ballungszentren zur Fernwärmeerzeugung.

Tabelle 3: KWK-Anlagen in Österreich nach elektrischer Leistung [56], eigene Darstellung

Bestand (2002) KWK-Anlagen	Kleinst-KWK ($< 50 \text{ kW}_{\text{el}}$)	Klein-KWK ($< 1 \text{ MW}_{\text{el}}$)	KWK ($> 1 \text{ MW}_{\text{el}}$)	Summe
	MW_{el}	MW_{el}	MW_{el}	MW_{el}
Bestehende dezentrale KWK	1,6	44	1.102	1.147
Bestehende öffentliche KWK	-	-	3.104	3.104
Gesamt	1,6	44	4.206	4.251

Durch die Entwicklung der verschiedenen KWK-Technologien hin zu kleineren Leistungsgrößen und den verstärkten Einsatz für die verbrauchernahe Erzeugung von Strom und Wärme haben sich neue Einsatzmöglichkeiten ergeben. Die Bedingung für eine mögliche technische Eignung ist, dass Strom und Wärme möglichst zeitgleich anfallen und eine thermische Grundlast über das ganze Jahr gegeben ist.

Mini- und Mikro-BHKW können in folgenden typischen Anwendungsfeldern, die natürlich durch die gegebenen Rahmenbedingungen bestimmt sind, eingesetzt werden: [1], [44].

- Hotels, Pensionen, Herbergen: gute Voraussetzungen durch ganzjährigen Strom und Wärmebedarf.
- Bäder, Freizeit- und Sporteinrichtungen: erhöhter Warmwasserbedarf.
- Krankenhäuser und Gesundheitseinrichtungen: sehr gute Bedingungen durch ganzjährige thermische Grundlasten und hohen Strombedarf.
- Mehrfamilien- beziehungsweise Reihenhäuser: Erhöhung der Wärmegrundlast durch die Bereitstellung von Warmwasser.
- Nahwärmenetze in Wohnsiedlungen mit/ohne zusätzliche Gewerbebetriebe.
- Industrie/Gewerbe: Differenzierung zwischen Heiz- und Prozesswärme, die für Produktionsprozesse benötigt wird.
- Öffentliche Gebäude, Schulen, Universitäten.

1.2.3 Brennstoffe

Für den Einsatz in BHKW sind je nach Technologie und Entwicklungsstand die unterschiedlichsten Brennstoffe geeignet. Diese Einleitung soll einen kurzen Überblick über die möglichen einsetzbaren Energieträger geben, die Eignung für eine bestimmte Technologie wird in Kapitel 2 angeführt. Allgemein kann vorausgeschickt werden, dass die meisten Erfahrungen beim Einsatz fossiler Energieträger vorliegen, und hier insbesondere bei Erdgas. Das gilt auch für innovative Technologien wie beispielsweise beim Stirling-BHKW. Erneuerbare

Energieträger finden bereits vielfach bei Motor-BHKW in Form flüssiger und gasförmiger Brennstoffe Verwendung. Darüber hinaus gibt es viel versprechende Entwicklungen für den Einsatz – auch fester – biogener Brennstoffe bei Stirlingmotoren und bei Dampfkraftmaschinen.

1.2.3.1 Fossile Energieträger

Erdgas

Ein gut ausgebautes Erdgasnetz ist für die Verbreitung von dezentralen, verbrauchernahen Anlagen zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme förderlich [13].

Erdgas weist gegenüber anderen fossilen Brennstoffen auch ökologische Vorteile auf. Die bei der Verbrennung von Erdgas entstehenden Abgase sind nahezu ruß- und geruchlos. Darüber hinaus sind sie beinahe frei von Schwefeldioxid, Schwermetallen und Halogenverbindungen. Durch seinen geringen Anteil an Kohlenstoff und den hohen Wasserstoffgehalt besitzt Erdgas im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern die günstigste Kohlendioxid-Bilanz. Bezogen auf den gleichen Energieinhalt erzeugt die Verbrennung von Erdgas etwa 40 – 50 % weniger Kohlendioxid (CO₂) als die Verbrennung von Kohle und 25 % weniger Kohlendioxid als die Verbrennung von Heizöl und trägt somit zur Umweltentlastung bei [2], [105].

Flüssiggas

Ist kein Erdgasanschluss vorhanden, so kann je nach Technologie und Hersteller gegebenenfalls auf Flüssiggas (Propan, Butan oder ein Gemisch aus beiden) zurückgegriffen werden. Es weist im Vergleich zu anderen fossilen Brennstoffen ebenfalls ausgezeichnete Emissionseigenschaften auf.

Flüssiggas wird bei der Rohödestillation gewonnen. Es wird durch geringen Überdruck verflüssigt und kann somit in Flaschen oder Tanks als Lagerbrennstoff gespeichert werden. Bei der Entnahme aus dem Druckbehälter geht es wiederum in den gasförmigen Zustand über und gelangt zum Verbrauchsgerät [114].

Diesel, Heizöl

Diesel beziehungsweise Heizöl extra leicht wird vor allem bei motorischen BHKW eingesetzt. Heizöl eignet sich insbesondere dort, wo bereits eine Infrastruktur zur Lagerung vorhanden ist, allerdings weist es schlechtere Emissionswerte als Erdgas auf.

1.2.3.2 Erneuerbare Energieträger

Biogas, Klärgas, Deponiegas

„Biogas ist ein Gasmisch aus Methan (CH₄), Kohlendioxid und Spurengasen, das aus gezielter Umwandlung von organischem Material, unter Luft- und Lichtausschluss und bei ausreichenden Temperaturen, mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen werden kann (Prozess der Biomethanisierung). Unter die Bezeichnung Biogas fallen demnach landwirtschaftlich und gewerblich erzeugtes Biogas, Klär- und Deponiegas.“ [68].

Sehr häufig wird mit Biogas jenes Gas bezeichnet, das aus Erzeugnissen, Abfällen und Rückständen landwirtschaftlicher Produktion (sowohl pflanzlicher als auch tierischer Herkunft) stammt. Bei diesen Gasen steht allerdings zumeist die Verstromung im Vordergrund,

da eine Wärmenutzung aufgrund der Entfernung zu geeigneten Wärmeabnehmern oft nicht möglich ist. Um dieses Potenzial zur Verstromung aber trotzdem zu nutzen, liefert die Gesetzgebung in Österreich Anreize durch die Ökostromförderung. Siehe dazu auch Kapitel 7.1.2.1.

Holzgas

Obwohl Holzgas ebenfalls biogenen Ursprungs ist, wird es nicht als Biogas bezeichnet. Holzgas wird in einem Vergasungsprozess aus Holzhackschnitzel gewonnen und kann in BHKW mit Gasmotoren oder Gasturbinen genutzt werden. Im Leistungssegment von 10 [kW_{th}] bis 10 [MW_{th}] Brennstoffleistung wird vorwiegend die luftbetriebene Festbettvergasung eingesetzt.

Bei den autothermen Vergasungsverfahren, die bevorzugt bei der Festbettvergasung eingesetzt werden, führt man der Biomasse eine unterstöchiometrische Menge an Oxidationsmittel (meistens Luft, in selteneren Fällen Sauerstoff) zu. Jener Teil der Biomasse, der dabei verbrennt, erzeugt Wärme für die thermische Zersetzung der restlichen Biomasse. Im Vergaser bilden sich verschiedene Reaktionszonen (Trocknung, Pyrolyse, Oxidation und Reduktion). Es entsteht ein Schwachgas aus den Komponenten Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff, Methan und Stickstoff sowie Teerverbindungen und Flugaschepartikel als unerwünschte Bestandteile. Feste Vergasungsrückstände sind Asche und Restkohlenstoff [5].

Bild 2 zeigt den Heizwert H_u der verschiedenen fossilen und erneuerbaren Gase. Dabei ist ganz deutlich der geringere Heizwert der Gase aus erneuerbaren Energieträgern ersichtlich.

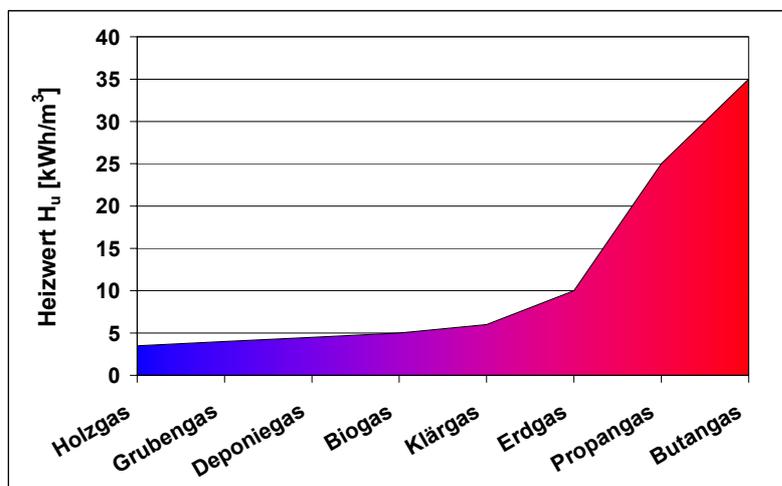


Bild 2: Gasarten nach Heizwert [69], eigene Darstellung

Pflanzenöl

Pflanzenöl wird aus den Früchten von Ölsaaten gewonnen und zurzeit vorwiegend in Verbrennungsmotoren eingesetzt. Grundsätzlich kann bei entsprechender Anpassung der Motoren eine Vielzahl pflanzlicher Öle für eine motorische Nutzung verwendet werden. Die mit Abstand meisten Erfahrungen liegen aber bei der Verwendung von Rapsöl vor. Darüber hinaus weist Rapsöl im Vergleich zu anderen einheimischen Ölen wie Sonnenblumenöl einen geringen Anteil an ungesättigten Fettsäuren auf und ist daher relativ stabil gegenüber Oxidations- und Alterungsprozessen [9].

Der verstärkte Einsatz von Rapsöl – ausgehend vor allem vom Mobilitätsbereich – erforderte eine gesicherte Kraftstoffqualität, um einen störungsfreien und umweltverträglichen Betrieb von Motoren zu gewährleisten. Die Qualitätsanforderungen sind im „Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) 05/2000“ zusammengefasst. Dieser Standard, der auch unter dem Namen "Weihenstephaner Qualitätsstandard für Rapsöl" bekannt ist, wurde in einer Arbeitsgruppe unter der Leitung der *Landtechnik Weihenstephan* erarbeitet und im Jahr 2000 veröffentlicht. In Österreich wurden diese Werte mit einer Novellierung der Kraftstoffverordnung (November 2004) verbindlich für Pflanzenöle vorgeschrieben. Darüber hinaus gibt es bereits eine DIN-Vornorm, DIN V 51605 „Kraftstoffe für pflanzenöлтаugliche Motoren – Rapsölkraftstoff – Anforderungen und Prüfverfahren“.

Pflanzenöl eignet sich durch die schnelle biologische Abbaubarkeit und die geringe Ökotoxizität zum Einsatz in ökologisch besonders sensiblen Regionen. Dies ist zum Beispiel bei der Wärme- und Stromversorgung von Wander- oder Schutzhütten in den Alpenregionen oder anderen Gebäuden in Natur- oder Wasserschutzgebieten gegeben, wo beim Austritt von Dieselmotoren oder Heizöl bei der Lagerung beziehungsweise bei Transportunfällen erhebliche Umweltschäden entstehen würden [9].

Biodiesel

Als Ausgangsstoff für Biodiesel dient Pflanzenöl. Durch den Prozess der Umesterung wird daraus unter Zugabe von Alkohol (Methanol) und eines Katalysators Methylester (= Biodiesel) gewonnen. Als Nebenprodukt entsteht Glycerin, das als Industrierohstoff genutzt werden kann. Biodiesel, zu dessen Produktion großteils Rapsöl verwendet wird, weist weitgehend die Eigenschaften von Dieselmotoren auf. Er besitzt ebenfalls eine hohe Umweltverträglichkeit auf Grund von schneller biologischer Abbaubarkeit und geringer Ökotoxizität. Die Qualitätsanforderungen für Biodiesel sind in der ÖNORM C1191 beziehungsweise in der DIN E 51606 festgelegt [70].

Tabelle 4 zeigt einen Vergleich der kraftstofftechnischen Eigenschaften von Rapsöl, Rapsölmethylester (= Biodiesel) und fossilem Diesel. Die größten Unterschiede von Diesel und Biodiesel zum Rapsöl liegen in der Viskosität und im Flammpunkt, der angibt, ab welcher Temperatur sich ein entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet. Auf die Besonderheiten beim Einsatz von Biodiesel und Pflanzenöl in Motoren wird im Kapitel 2.1.2 eingegangen.

Tabelle 4: Eigenschaften von Rapsöl, Rapsölmethylester (Biodiesel), Diesel [8]

Parameter	Einheit	Rapsöl	Rapsölmethylester	Diesel
Heizwert	MJ/kg	37,6	37,2	42,4
Dichte bei 20 °C	kg/dm ³	0,92	0,88	0,83
Viskosität bei 20 °C	mm ² /s	70	7,2	5
Flammpunkt	°C	>220	>100	>55
Cetanzahl	-	-	>49	>49

Feste Biomasse

Feste Biomasse kann als Hackschnitzel, Sägespäne oder Pellets in Blockheizkraftwerken mit Stirlingmotoren oder mit Dampfkraftmaschinen eingesetzt werden. Der Entwicklungsstand ist dabei je nach Technologie unterschiedlich weit fortgeschritten. Für den Einsatz von Pellets gibt es beim Stirling-Motor und bei einer Form der Dampfkraftmaschine zwei innovative Entwicklungen.

2 Stand der Technik

In dieser Arbeit werden jene KWK-Technologien im elektrischen Leistungsbereich bis 1.000 [kW] beschrieben, die auch beim Einsatz in Hausenergiesystemen maßgeblich sind. Das sind Blockheizkraftwerke auf Basis von Verbrennungsmotoren, Mikrogasturbinen, Stirlingmotoren und Dampfkraftmaschinen. Neben einer Beschreibung der jeweiligen Technologie wurde auch eine Herstellerrecherche durchgeführt. Dazu wurden bereits vorhandene Verzeichnisse bearbeitet, auf den Internetseiten der Hersteller recherchiert, Anbieter gegebenenfalls telefonisch oder per E-Mail kontaktiert und zur Aktualität ihres Produktprogramms und zu Entwicklungen befragt. Diese Marktübersicht soll einerseits die Beurteilung des Standes der Technik unterstützen und andererseits potenzielle Hersteller im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts auflisten. Je nach Verbreitung der Technologie wurden dabei unterschiedliche Märkte betrachtet. Aus den Herstellerlisten wurden wiederum einzelne, entweder am Markt befindliche oder in der Entwicklung sehr weit fortgeschrittene Produkte herausgegriffen und ausführlicher beschrieben. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf Kleinanlagen bis zu einer elektrischen Leistung von 50 [kW] gelegt.

2.1 Verbrennungsmotor

2.1.1 Technologiebeschreibung

Die am weitesten verbreitete Technologie, die bei Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommt, ist die der Verbrennungsmotoren. Sie decken ein sehr großes Leistungsspektrum bis zu mehreren Megawatt elektrischer Leistung ab, und die kleinsten verfügbaren Leistungen beginnen bereits bei 1 [kW_e]. Dieses kleinste motorische BHKW von *Honda* ist derzeit aber nur in Japan auf dem Markt erhältlich und dort auch bereits vielfach im Einsatz. Mit dieser Leistungsgröße eröffnen sich auch Einsatzmöglichkeiten für die KWK-Technologie im Einfamilienhausbereich.

Komponenten eines BHKW mit Verbrennungsmotor

Ein Blockheizkraftwerk auf Basis eines Verbrennungsmotors setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen: [1].

- Verbrennungsmotor (Gas-, Diesel- oder Zündstrahlmotor).
- Generator zur Stromerzeugung.
- Wärmetauschersysteme zur Rückgewinnung der Wärme aus Motorabwärme, Ölkreislauf und Abgas.
- Schalt- und Steuereinrichtungen zur Stromerzeugung und Regelung des Motors.
- Hydraulische Einrichtungen zur Verteilung der Wärme.

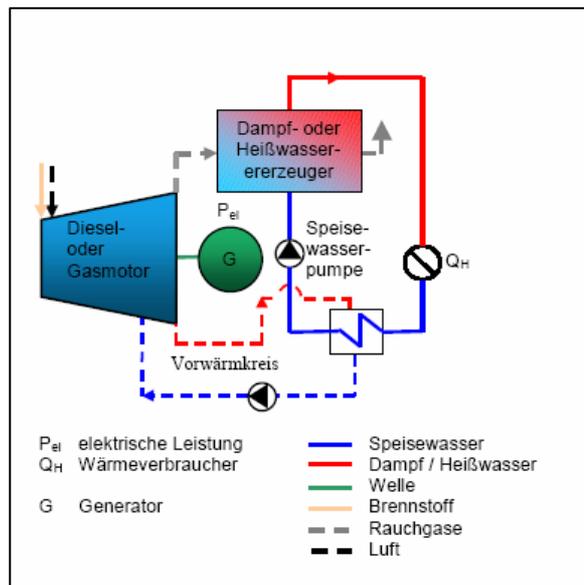


Bild 3: BHKW mit Verbrennungsmotor [2]

Der Generator wandelt die an der Motorwelle erzeugte mechanische Arbeit in elektrische Energie um. Die beim Verbrennungsprozess entstehende Wärme wird über Wärmetauschersysteme zunächst aus dem Motorkühlwasser und dem Schmieröl und anschließend aus den Abgasen zurück gewonnen, wobei die thermische Energie des Kühlwassers aufgrund der tieferen Temperaturen nicht immer genutzt werden kann. Die auf diese Weise gewonnene Wärme kann anschließend zu Heizzwecken und zur Bereitstellung von Warmwasser oder als Prozesswärme genutzt werden [2], [42].

Als Antriebsmotoren für BHKW dienen meistens umgebaute oder für den Dauerbetrieb modifizierte Serienmotoren aus der PKW-, LKW- oder Schiffsmotorenproduktion [13], sowie Industriemotoren von namhaften Herstellern wie zum Beispiel *Deutz*, *John Deere*, *MAN*, *Scania*, *VW*, *Kubota*, *Perkins* oder *Caterpillar*. Im untersten Leistungsbereich hingegen kommen sehr häufig speziell für den Einsatz in Blockheizkraftwerken entwickelte Kleinmotoren zum Einsatz. Eine prinzipielle Unterscheidung erfolgt bei dieser Technologie nach dem Arbeitsprinzip der Motoren.

2.1.1.1 Gas-Otto-Motor

Da bei Mini- und Mikro-BHKW mit Verbrennungsmotoren am häufigsten Erdgas als Brennstoff eingesetzt wird, sind überwiegend Gas-Otto-Motoren verbreitet. Das Konzept des Gasmotors unterscheidet sich nicht wesentlich von herkömmlichen PKW-Otto-Motoren (außer Otto-Direkteinspritz-Motoren). Das zündfähige Gemisch wird vor dem Zylinder im Gasgemisch hergestellt und dann im Brennraum mittels der Zündkerze gezündet (daher spricht man hier von Fremdzündung, im Gegensatz zum Dieselmotor). Die Lastregelung erfolgt über eine Drosselklappe [12].

Für den Mikro-KWK Bereich dienen zum Teil speziell für lange Betriebszeiten entwickelte 1-Zylinder Gas-Otto-Kleinmotoren, die eine Lebensdauer von bis zu 80.000 Stunden erreichen und Wartungsintervalle von bis zu 4.000 Stunden aufweisen. Diese Entwicklung im Bereich der Kleinmotoren war eine ganz wesentliche Voraussetzung, um akzeptable Wartungs- und Instandhaltungskosten erreichen zu können [3].

Neben Erdgas kann in Gas-Otto-Motoren auch Flüssiggas zum Einsatz kommen. Weiters werden Otto-Motoren auch beim Einsatz von Biogas, Deponie- und Klärgas verwendet. Diese Gase enthalten allerdings häufig Begleitstoffe, die den Motor schädigen oder zu einer erhöhten Schadstoffemission im Abgas führen können. Daher müssen beim Einsatz dieser Brennstoffe die Grenzwerte der Hersteller hinsichtlich der Begleitstoffkonzentrationen beachtet werden, und gegebenenfalls ist eine Reinigung des Rohgases erforderlich [13].

2.1.1.2 Dieselmotor

Dieselmotoren arbeiten nach dem Prinzip der Selbstzündung, bei der sich die zum Zündzeitpunkt in die Luftladung eingeblasene Brennstoffmenge selbst entzündet. Vorteile des Dieselmotors sind der etwas bessere elektrische Wirkungsgrad gegenüber Gasmotoren aufgrund des thermodynamisch günstigeren Dieselprozesses und ein sehr gutes Teillastverhalten. Problematisch bei Dieselmotoren ist aber oft die Nutzung der Abgaswärme, und im Bereich der Emissionen sind sie den Gasmotoren unterlegen [1].

Bei BHKW mit Dieselmotoren kann einerseits Diesel oder Heizöl als Brennstoff eingesetzt werden. Dieser Aspekt wird hier allerdings nicht näher beleuchtet. Andererseits eignen sich Dieselmotoren auch für den Einsatz von Biodiesel und Pflanzenöl. Die Besonderheiten, die dabei zu beachten sind, werden in Kapitel 2.1.2 näher beleuchtet.

2.1.1.3 Zündstrahlmotor

Der Zündstrahlmotor, auch Diesel-Gas-Motor genannt, benötigt für den Betrieb ständig zwei Brennstoffe, nämlich Gas als Energieträger und eine kleine Menge Zündöl (Diesel oder Heizöl). Die Zündung des hoch verdichteten Gas-Luft-Gemisches erfolgt durch Einspritzung einer geringen Menge an Dieselkraftstoff (4 – 10 %). Beim Zündstrahlmotor kann auch unterbrechungsfrei auf reinen Dieselbetrieb umgeschaltet werden. Dies bietet den Vorteil, dass auf Diesel bzw. Heizöl als Zweit- oder Notbrennstoff zurückgegriffen werden kann [13], [42].

„Diese Motoren eignen sich für spezielle Anwendungen (u. a. Biogasanlagen), spielen aber bei den häufigsten BHKW-Anwendungen nur eine untergeordnete Rolle.“ [13].

2.1.1.4 Elektrische Wirkungsgrade von motorischen BHKW

Bild 2 gibt einen Überblick über die elektrischen Wirkungsgrade von motorischen BHKW. Im betrachteten Leistungsbereich für Mikro- und Mini-KWK-Anlagen bis 1.000 [kW_{el}] liegen die elektrischen Wirkungsgrade je nach Leistungsgröße, Motortyp und eingesetztem Brennstoff zwischen 25 und etwas mehr als 40 Prozent.

Beim Betrieb unter Nennlast kommt es bei Otto-Gasmotoren zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades. Dieselmotoren sind bei Teillastbetrieb gegenüber Otto-Motoren aufgrund des höheren Kompressionsverhältnisses im Vorteil, sie erreichen im Durchschnitt höhere elektrische Wirkungsgrade als Gasmotoren. Der Zündstrahlmotor kann ähnlich hohe elektrische Wirkungsgrade erzielen wie der Dieselmotor, und der elektrische Wirkungsgrad von Biogasmotoren ist mit jenem von Erdgasmotoren vergleichbar [1].

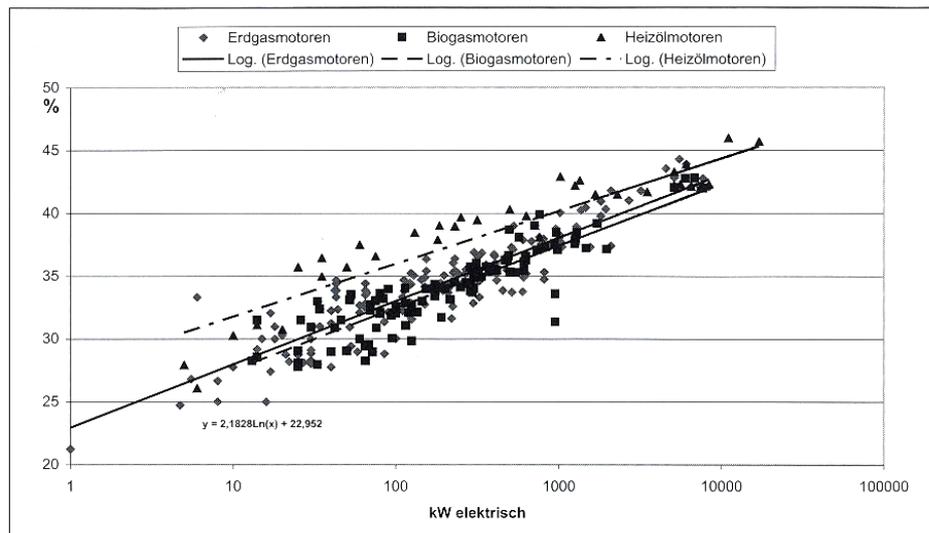


Bild 4: Elektrische Wirkungsgrade motorischer BHKW [13]

2.1.1.5 Stufenlose, drehzahlabhängige Modulierbarkeit

Eine Innovation im Bereich der motorischen Blockheizkraftwerke stellt die stufenlose, drehzahlabhängige Leistungsmodulation dar. Mit dieser Technik richtet das BHKW seine Leistung unabhängig von jahres- und sogar tageszeitlichen Schwankungen vollkommen nach dem aktuellen thermischen bzw. elektrischen Bedarf und erzeugt genau so viel Energie, wie auch benötigt wird. Durch die stufenlose Variation der Motordrehzahl arbeitet das Blockheizkraftwerk immer mit dem optimalen Wirkungsgrad [99].

Bei konventionellen Blockheizkraftwerken treibt der Motor den Generator unabhängig von der erzeugten elektrischen Leistung mit einer konstanten Drehzahl von zumeist 1.500 [U/min] an. Die Regelung der Leistung erfolgt dabei über die Drosselklappe, über die dem Motor eine unterschiedliche Menge des Kraftstoff-Luft-Gemisches zugeführt wird. Allerdings ist der mechanische bzw. elektrische Wirkungsgrad abhängig von der abgegebenen Leistung. Der optimale Wirkungsgrad ist nur bei Betrieb mit Nennleistung möglich. Bei Betrieb im Teillastbereich kommt es zu Wirkungsgradeinbußen, und ab 50 % Nennleistung sinkt der elektrische Wirkungsgrad stark ab. Die thermische Leistung und der Brennstoffverbrauch steigen im Verhältnis an. Es kommt auch zu erhöhtem Motorverschleiß durch Ölkohleablagerungen an den Ventilen [32], [40].

Bei den Modellen zweier Hersteller (*PowerPlus* – Modell *ecopower*, *Spilling* – Modell *PowerTherm*) wird zur Regelung der Leistung die Drehzahl verändert. Bild 5 soll das Prinzip der Leistungsmodulation verdeutlichen.

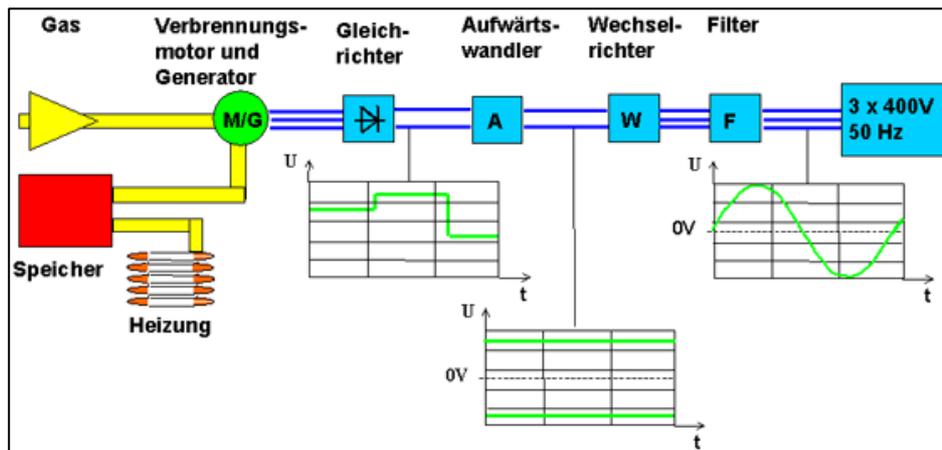


Bild 5: Elektrisches Blockschaltbild, Leistungsmodulation [76]

Aufgrund der verlangten Heizleistung wird die Drehzahl des Motors verändert. Die Drosselklappe ist dabei über den gesamten Drehzahlbereich voll offen, wodurch der Brennraum immer vollständig befüllt wird. Die Drehzahländerung wird durch unterschiedliche Belastung des Generators erreicht, der dadurch eine trapezförmige Dreiphasen-Wechselspannung von unterschiedlicher Höhe erzeugt. Diese wird anschließend im Brückengleichrichter in eine variable Gleichspannung umgewandelt. Mit einem Aufwärtswandler wird anschließend eine stabile Gleichspannung von ± 345 [V] erreicht, die dann mittels eines Dreiphasen-Wechselrichters, der nach dem Prinzip der Pulsweitenmodulation arbeitet, in eine dreiphasige sinusförmige Wechselspannung von 3×400 [V] und 50 [Hz] umgewandelt wird. Drosselspulen glätten die Spannung und ein Ausgangsfilter entfernt die letzten unerwünschten Frequenzanteile [76].

Die Vorteile dabei sind, dass im Teillastbereich die thermische Leistung und der Gasverbrauch im Verhältnis ebenfalls absinken, was zu einer deutlichen Kostenreduktion führt. Weiters sind die Wirkungsgrade im gesamten Leistungsbereich konstant (siehe auch Tabelle 5) und die Lebensdauer des Motors wird verlängert [32].

Tabelle 5: Leistung und Wirkungsgrade in Abhängigkeit von der Drehzahl, *PowerTherm* BHKW [32]

Drehzahl [U/min]	Elektrische Leistung [kW]	Thermische Leistung [kW]	Brennstoffleistung [kW] (Erdgas)	Elektrischer Wirkungsgrad [%]	Thermischer Wirkungsgrad [%]
1000	7,5	14,0	24,5	30,6	57,1
1900	16,0	30,5	53,0	30,2	57,5
2300	20,0	38,0	66,0	30,3	57,6

2.1.1.6 Verbrennungsregelung, Emissionen und Leistung von Gasmotoren

Bei Gas-Otto-Motoren wird das zündfähige Gemisch vor dem Zylinder gebildet und anschließend im Brennraum mittels Zündkerze gezündet. Hinsichtlich des eingesetzten Kraftstoff-Luft-Verhältnisses, das mit der so genannten Luftzahl λ bezeichnet wird, können zwei Verbrennungsregelungen des Motors unterschieden werden. Dieses Verhältnis von Kraftstoff zu Luft hat einerseits Einfluss auf die Leistung des Motors als auch auf die Emissionen, siehe Bild 6. Diese beinhalten die Schadstoffe wie Stickoxide (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) und verschiedene Kohlenwasserstoffe aus unvollständiger Verbrennung, so genannte

Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC). Zur Erreichung geforderter Emissionsgrenzwerte für diese Schadstoffe (siehe Kapitel 7.2) gibt es je nach Motorenkonzept, Motoreinstellung und eingesetztem Brennstoff unterschiedliche Verfahren.

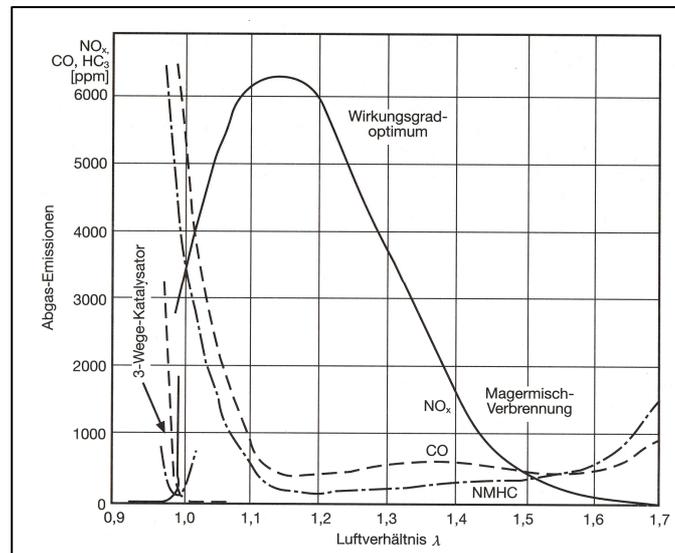


Bild 6: Schadstoffemissionen in Abhängigkeit von der Luftzahl λ [40]

Bei Verbrennungsmotoren gibt es zum einen den stöchiometrischen Betrieb mit der Luftzahl $\lambda=1$. Dabei wird dem Motor genau so viel Luft zugeführt wie für die vollständige Verbrennung notwendig ist. Zum anderen kommt auch der Magerbetrieb zur Anwendung. Die Motoren werden bei dieser Betriebsweise mit Luftüberschuss betrieben (Luftzahlen $\lambda > 1,6$) und benötigen keine aufwändige Gemischregelung. Diese beiden unterschiedlichen Verfahren werden auch bei Blockheizkraftwerken mit Gasmotoren eingesetzt.

Stöchiometrische Betriebsweise ($\lambda=1$)

Zur Schadstoffminderung werden bei Motoren mit stöchiometrischem Verbrennungsluftverhältnis am häufigsten 3-Wege-Katalysatoren eingesetzt. Mit diesem werden NO_x -, CO- und NMHC-Emissionen durch Reduktions- und Oxidationsprozesse verringert. Dabei ist ein Gas-Luft-Gemisch sehr nahe bei $\lambda=1$ notwendig, und die Abgastemperaturen müssen noch ausreichend hoch sein (zwischen 500 - 600 [°C]) [40].

Von einer Aufladung des Brennstoff-Luft-Gemisches, die für eine Leistungssteigerung des Motors notwendig ist, wird im Allgemeinen bei stöchiometrischem Betrieb abgesehen. Durch die Aufladung steigen Druck und Temperatur im Brennraum, was wiederum die Selbstzündung unverbrannter Treibstoffteile, das so genannte Klopfen, fördert. Außerdem würden bei einer Aufladung des $\lambda=1$ -Motors die Abgastemperaturen für die Laderturbine zu hoch werden. Die $\lambda=1$ -Betriebsweise ohne Aufladung kombiniert mit einem 3-Wege-Katalysator bedingt ein sehr gutes Emissionsverhalten, aber die Effizienz und die Leistungsdichte sind ungenügend [36], [40]. Motoren ohne Aufladung werden auch als Saugmotoren bezeichnet.

Magermotoren

Magermotoren sind Otto-Motoren, die mit hohem Luftüberschuss betrieben werden. In Verbindung mit anderen Maßnahmen wie beispielsweise der Brennraumgestaltung führt der hohe Luftüberschuss zu verringerten NO_x -Emissionen. Die Magermotorentechnik lässt sich über einen großen Leistungsbereich (bis etwa 1.500 [kW]) einsetzen und ist insbesondere für

regenerative Gase wie Bio-, Klär- und Deponiegas, die in ihrer Anwendung als Brennstoff problematischer als Erdgas sind, geeignet. Im Magerbetrieb werden nicht ganz so niedrige Emissionswerte wie beim λ -1-Betrieb erreicht, die geforderten Grenzwerte können aber in der Regel ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung eingehalten werden. Die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen, die mit steigender Luftzahl zunehmen, können durch den Einsatz eines Oxidationskatalysators zusätzlich reduziert werden [13], [40].

Durch den Magerbetrieb wird allerdings die Motorleistung herabgesetzt. Daher kommen hier zumeist Abgas-Turbolader zum Einsatz, die im Allgemeinen mit Ladeluftkühlung ausgeführt werden. Der aufgeladene Magermotor weist dabei einen höheren Wirkungsgrad als der Saugmotor mit λ -1-Verbrennung und vergleichbarer Größe auf [38]. Als untere, technisch und wirtschaftlich sinnvolle Leistungsgrenze für den Einsatz der Turboladertechnik kann bei Blockheizkraftwerken eine elektrische Leistung von ca. 60 [kW_{el}] angesehen werden.^{3, 4}

„In vielen Anlagen mit Gas-Otto-Motoren kommt die so genannte Gemischaufladung zum Einsatz, bei der im Turbolader Luft und Gas als Gemisch auf einen höheren Druck gebracht werden. Man steigert dadurch in den Zylindern die spezifische Energiedichte und damit die Leistung gegenüber Saugmotoren mit vergleichbarer Baugröße. In Verbindung mit dem Magermotorprinzip sind niedrigste NO_x-Emissionen ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung erreichbar.“ [104].

2.1.2 Verwendung von Biodiesel und Pflanzenöl in BHKW

Dieselmotoren eignen sich auch für den Einsatz von Biodiesel und Pflanzenöl. Dies ist vor allem aus ökologischen Aspekten eine interessante Anwendung. Neben dem effizienten Einsatz des Brennstoffs in Kraft-Wärme-Kopplungen und dem dadurch verminderten CO₂-Ausstoß sind Biodiesel und Pflanzenöl regenerative Energieträger. Sie schonen damit fossile Ressourcen und tragen zur nachhaltigen Energieversorgung bei. Allerdings müssen bei der Verwendung von Biodiesel und Pflanzenöl in Dieselmotoren einige Besonderheiten beachtet werden. Die wesentlichsten Aspekte sollen hier aufgezeigt werden.

Verwendung von Biodiesel in Blockheizkraftwerken

Beim Einsatz von Biodiesel ist darauf zu achten, dass Gummiteile und Dichtungsmaterialien Biodiesel tauglich sind, da sie gegenüber Biodiesel manchmal nicht ausreichend beständig sind. Biodiesel und fossiler Diesel können problemlos vermischt werden, eine vollkommene Umstellung ist wechselseitig ebenso möglich. Die Emissionen von Ruß, Kohlenwasserstoffen (HC), Kohlenmonoxid und Partikeln sind bei der Verwendung von Biodiesel niedriger als bei fossilem Diesel. Durch Oxidationskatalysatoren können die Emissionen noch verringert werden. Biodiesel muss mit der gleichen Sorgfalt gelagert werden wie fossiler Diesel. Da Biodiesel hygroskopisch, das heißt Wasser anziehend, ist, muss insbesondere ein Wassereintritt zum Kraftstoff verhindert werden [70].

Verwendung von Pflanzenöl in Blockheizkraftwerken

Die spezifischen Eigenschaften von Pflanzenöl im Vergleich zu Diesel bzw. Heizöl (siehe Tabelle 4) erfordern für ein BHKW angepasste Anlagenkomponenten. Daher sollen hier die

³ Telefonat: Hr. DI Seebacher, *Lackner Energietechnik GmbH*, 06.02.2006.

⁴ Telefonat: Hr. Dr. Herdin, *GE Jenbacher AG*, 10.02.2006.

wesentlichen Besonderheiten beim Einsatz von Pflanzenöl in Blockheizkraftwerken behandelt werden. Als Quellen dienten [8], [9], [10] und [15].

Pflanzenöl sollte möglichst kühl (5 – 10 [°C]) und dunkel gelagert werden, um eine vorzeitige Alterung (oxidativer Verderb, Bildung freier Fettsäuren) zu vermeiden. Weiters muss auf möglichst geringen Sauerstoffeintrag in das Pflanzenöl geachtet werden, und auf die für die Oxidation katalytisch wirkenden Metalle (zum Beispiel Eisen und Kupfer) soll bei der Kraftstofflagerung und bei Kraftstoff führenden Teilen verzichtet werden. Oxidativ geschädigtes Pflanzenöl führt zu Ablagerungen und Rückständen im Kraftstoff- und Einspritzsystem. Wegen der größeren Zähflüssigkeit von Pflanzenöl ist auf einen größeren Leitungsquerschnitt der Kraftstoff führenden Komponenten zu achten.

Für eine gute Gemischbildung ist eine feine Zerstäubung des Kraftstoffs und starke Verwirbelung mit der Luft im Brennraum wichtig. Eine verbesserte Zerstäubung des Pflanzenöls kann durch eine Vorwärmung, die zu einer Verringerung der Viskosität führt, unmittelbar vor der Einspritzung an den Einspritzdüsen erreicht werden. Für Pflanzenöl werden sowohl direkt einspritzende als auch indirekt einspritzende Dieselmotoren mit Vor- oder Wirbelkammerverfahren verwendet. Diese sind aufgrund der starken Verwirbelung des Kraftstoff/Luft-Gemisches und der verwendeten Zapfdüsen besser für den Einsatz von Pflanzenöl geeignet als herkömmliche direkt einspritzende Motoren. Nachteilig bei den Kammermotoren sind ein schlechterer Wirkungsgrad und damit ein erhöhter spezifischer Kraftstoffverbrauch. Bei direkt einspritzenden Motoren kann eine Änderung der Brennraumgeometrie, zum Beispiel durch Brennmulden im Kolben, eine verbesserte Brennstoff/Luft-Verteilung gewährleisten. Bei Blockheizkraftwerken werden entweder speziell für Pflanzenöl entwickelte oder weiterentwickelte Motoren oder Diesel-Serienmotoren, die mit Umrüstsätzen entsprechend adaptiert werden, eingesetzt.

Die Erfahrungen mit Pflanzenöl-BHKW in der Praxis können durchaus positiv bewertet werden. Dies wird auch durch zwei Forschungsberichte zum Ausdruck gebracht, siehe [8] und [11]. Dabei wurden BHKW sowohl im laufenden Betrieb als auch am Prüfstand untersucht. Eine gesicherte Kraftstoffqualität wird als entscheidend für das Betriebsverhalten gewertet.

2.1.3 Einsatz von Holzgas in Gasmotoren

Beim Einsatz von Holzgas in Verbrennungsmotoren können in der Regel höhere elektrische Wirkungsgrade erzielt werden als im Vergleich zu anderen KWK-Technologien, bei denen Biomasse einer Verfeuerung zugeführt wird. Bei der Verfeuerung wird die entstehende Wärme in nachgeschalteten Prozessen zum Teil in Strom umgewandelt. Bei der Vergasung hingegen ist ein Großteil der mit dem Brennstoff zugeführten Energie nicht innere Energie, sondern die zugeführte Energie ist als chemisch gebundene Energie im Produktgas enthalten. Das ermöglicht eine Verbrennung des Gases in Verbrennungsmotoren bei hohen Temperaturen, wodurch gute elektrische Wirkungsgrade erzielt werden [5].

Ein mögliches Verfahren zur Holzgasgewinnung wurde bereits in Kapitel 1.2.3 beschrieben. Die weiteren Schnittstellen beim Einsatz von Holzgas in einem Verbrennungsmotor sind die Gasreinigung und die Gasnutzung im Motor selbst. Die Technologie mit nachgeschalteter Kraftmaschine ist in einem breiten Leistungsspektrum von wenigen Kilowatt bis zu mehreren Megawatt elektrischer Leistung einsetzbar.

Es sind zwar höhere elektrische Wirkungsgrade im Vergleich zu anderen KWK mit Biomasseverfeuerung möglich, jedoch sind die Regelung und Automatisierung des komplexen Ver-

gasungsprozesses und vor allem die notwendige Produktgasreinigung ungleich schwieriger. Bei der Ausführung als Kraft-Wärme-Kopplung sind die Produktgaskühlung nach dem Vergaseraustritt, die Gasmotorkühlung und die Wärmerückgewinnung aus dem Motorabgas die wesentlichen Komponenten der Wärmebereitstellung [5].

Das aus der Vergasung gewonnene Brenngas muss für den Einsatz in Verbrennungskraftmaschinen gekühlt und gereinigt werden. Für die Eignung zur direkten Nutzung in nachgeschalteten Gasmotoren stellen vor allem die Partikel- (anorganische Asche, nicht umgesetzte Biomasse) und Teergehalte des Produktgases das Hauptproblem dar. Daher ist eine Reinigung des Gases erforderlich, für die unterschiedliche Verfahren existieren. Außerdem sind noch Verunreinigungen im Produktgas wie Alkalimetalle, Halogene, Ammoniak (NH_3) und Schwefelverbindungen (H_2S) hinsichtlich der zu erwartenden Emissionen und des Einflusses dieser Komponenten auf das Kraftaggregat zu berücksichtigen. Dafür gibt es ebenfalls verschiedene Möglichkeiten zur Entfernung in der Gasreinigungsstufe [5], [23].

Für die motorische Anwendung dürfen gewisse Grenzwerte für die Produktgasqualität nicht überschritten werden. Ansonsten kann es zu Beeinträchtigungen beim Betrieb der Anlage kommen, die deren Lebensdauer erheblich verkürzen können und zu einem erhöhten Instandhaltungsaufwand führen würden. Als Motoren werden bei dieser Technologie im Allgemeinen bestehende Standardmaschinen eingesetzt. Dabei können Gas-Otto-Motoren, Zündstrahlmotoren oder auf Fremdzündung umgebaute Dieselmotoren zur Anwendung kommen.

Das Hauptproblem der Emissionen liegt im hohen CO-Gehalt des Produktgases. Dieser führt zu hohen Restkonzentrationen von Kohlenmonoxid im Abgas, welche erhebliche Probleme mit den vorgeschriebenen Grenzwerten bringen können. Zur Nachbehandlung mittels eines Oxidationskatalysators muss das Abgas frei von Katalysatorgiften wie Schwefel, Chlor, Fluor und Schwermetallen sein, was wiederum hohe Anforderungen an die Produktgasreinigung stellt. Staubpartikel im Abgas stellen in der Regel kein Problem dar, da sie ohnehin nach der Gasreinigung bereits sehr niedrige Werte aufweisen müssen. Bei der Verbrennung von Holzgas entstehen normalerweise nur geringe Kohlenwasserstoffemissionen und relativ niedrige NO_x -Emissionen [5].

Bei einer nassen Reinigung des Produktgases und der Gaskühlung fällt ein Abwasser- bzw. Kondensatstrom an. Dieser enthält toxische Verbindungen und muss auf jeden Fall gereinigt werden. Neben der erforderlichen aufwendigen Produktgasreinigung sind die in der Regel höheren Abgasemissionen des Gasmotors und der wärmetechnisch komplexere Anlagenaufbau weitere Nachteile gegenüber Verbrennungssystemen [5].

Der Stand der Technik wird folgendermaßen beurteilt. Die drei Hauptkomponenten Gaserzeugung, Gasreinigung und Gasnutzung müssen als Gesamtanlage betrachtet werden, bei der jedes Teilsystem funktionstechnisch optimal arbeitet. Die Vergasungsverfahren erfüllen die Anforderungen an eine marktreife Technologie derzeit nur unvollkommen. Es gilt noch Aufgaben zur Detailprozess- und Gesamtprozessoptimierung in Versuchs- und Demonstrationsanlagen zu bewältigen [22]. Eine Reinigung des Rohgases ist mit den verfügbaren Technologien auf die für die Gasnutzung notwendigen Anforderungen technisch machbar [23]. Bei den Gasmotoren, die prinzipiell für den Einsatz von Holzgas geeignet sind, sind noch technische Weiterentwicklungen am Motor selbst und den Peripherieeinrichtungen (Filter- und Katalysatortechnik, etc.) für einen optimierten Betrieb mit Biomasse-Schwachgas notwendig [24].

Technologisch und wirtschaftlich vertretbare Verfahren zur Gasreinigung, sowie die Abwässer bzw. Emissionen, die bei der Gasreinigung bzw. durch die Verbrennung des Produktgases anfallen, stellen die größten Herausforderungen dar und werden weiterhin Gegenstand von Weiterentwicklungen und Forschungen sein [5].

Mit der Festbettvergasung und der motorischen Nutzung des Holzgases befassen sich zahlreiche Institutionen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen, auch in Österreich, siehe Anhang A.1.3.1 und [21], [25]. In den letzten Jahren kam – bedingt auch durch gesetzliche Anreize in verschiedenen Ländern, Stichwort Ökostrom – sehr viel Bewegung in dieses Segment, und die ersten Unternehmen beginnen, BHKW mit Holzvergasung kommerziell anzubieten. In Österreich fand dazu im Juni 2005 eine Anbieterpräsentation für Holzgaskraftwerke statt, die vom *Netzwerk Ökoenergie Steiermark* [82] durchgeführt und vom *Joanneum Research* [83] aus Graz inhaltlich initiiert und betreut wurde. Die Veranstaltung, an der sechs Hersteller teilnahmen, konzentrierte sich auf Holzgaskraftwerke nach dem Festbettprinzip mit einer elektrischen Leistung bis maximal 1 [MW_e]. Die Bewertung der Technologie führte aus Sicht der Organisatoren und der für die Veranstaltung inhaltlich verantwortlichen Personen zu folgenden Ergebnissen, die in einem Endbericht zur Veranstaltung dargelegt wurden.

- „Die Holzgaskraftwerke haben noch nicht den Stand der Technik erreicht, der von kommerziellen Energieanlagen erwartet wird. Ein derzeit nicht vollständig gelöstes technisches Problem ergibt sich aus den Genehmigungsbedingungen, insbesondere können die CO-Emissionsgrenzwerte in den Motorabgasen nicht eingehalten werden.“ [21].
- Die an der Präsentation teilnehmenden Hersteller bieten Garantien und Gewährleistungen für die Anlage. Sie haben auch Erfahrungen mit der Genehmigung von Anlagen und bemühen sich, das technische und wirtschaftliche Risiko für die Betreiber zu verringern oder zumindest abschätzbar zu machen. Viele Anbieter sind eben noch nicht in der Lage, marktkonform anzubieten, indem sie Garantien, Gewährleistungen und Risikobeteiligungen übernehmen, und damit dem Kunden zumindest einen Teil des technischen und folglich auch finanziellen Risikos abnehmen [21].
- „Keiner der anwesenden Anbieter konnte auf längere Erfahrungen mit dem Betrieb seiner Anlage verweisen. Damit ist ein potenzieller Kunde in der Rolle eines Pioniers, der nicht auf die Erfahrungen eines Betreibers hinsichtlich Anlagenbetrieb und Wirtschaftlichkeit zurückgreifen kann.“ [21].

Im Zuge einer Literatur- und Internetrecherche wurden Hersteller, die Komplettlösungen für die Biomassevergasung, Gasreinigung und motorische Nutzung anbieten, recherchiert, siehe Anhang A.1.3.2. Anschließend wurden die Hersteller hinsichtlich ihres Produktprogramms und vorhandener Referenzanlagen kontaktiert. Die Angaben dazu bekräftigen die Technologiebewertung der oben genannten Veranstaltung zum Teil. Es werden zwar bereits Systeme und Anlagen zur Holzvergasung und zur anschließenden Verwertung des Produktgases in Gasmotoren angeboten, jedoch befinden sich die Anlagen erst im Aufbau beim Kunden, oder es konnten noch keine Referenzanlagen angegeben werden.

2.1.4 Herstellerübersicht und Märkte

Für Motor-BHKW, bei denen Erdgas, Flüssiggas, Klär- und Biogas oder auch Heizöl zum Einsatz kommt, konnte – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – für den deutschsprachigen

Raum eine Vielzahl an Herstellern im Leistungsbereich von ca. 5 bis 1.000 [kW_e] gefunden werden, siehe Anhang A.1.1. Bei der Erstellung der Liste wurde das Hauptaugenmerk auf die Hersteller von BHKW-Komplettmodulen gelegt. Viele dieser Anbieter verwenden in ihren BHKW Antriebsaggregate namhafter Motorenhersteller, die hier im Allgemeinen nicht näher angeführt werden.

Als Basis für die Recherche diente die Publikation „BHKW Kenndaten 2005“ der *Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (ASUE)* [14] und die Homepages der jeweiligen Hersteller. Weitere Listen wurden – wiederum ohne Anspruch auf Vollständigkeit – bearbeitet: [71], [73], [74], [75].

Zusätzliche Informationen zu weiteren Herstellern, aber auch zu Händlern, Vertriebspartnern und Dienstleistungsunternehmen im Bereich Blockheizkraftwerke finden sich auf den Internetseiten: [72], [73], [74], [75], [77].

Ein weiterer Schwerpunkt wurde auf die Recherche von Herstellern gelegt, die Blockheizkraftwerke für den Einsatz von Pflanzenöl in ihrem Produktprogramm haben, siehe Anhang A.1.2. Grundlage für die Erstellung dieses Verzeichnisses – das wiederum keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt - waren die Quellen [14] und [78].

Zusätzliche Unterlagen, die bearbeitet wurden und auf denen sich auch Informationen zur Pflanzenöltechnologie, zu weiteren Herstellern und Unternehmen, die im Bereich der Pflanzenölmotorentechnik, insbesondere der Umrüsttechnik, tätig sind, sind in folgenden Quellen enthalten: [79], [80], [81], [8], [15].

Nachfolgend werden konkret zwei BHKW mit Gasmotoren aus dem Leistungsbereich bis ca. 5 [kW_e] und deren technische Eigenschaften beschrieben. Es handelt sich dabei um ein Produkt der Firma *SenerTec*, das in Österreich bereits zahlreich installiert wurde (siehe Anhang A.1.4.1), und um das leistungsmodulierende BHKW *ecopower*.

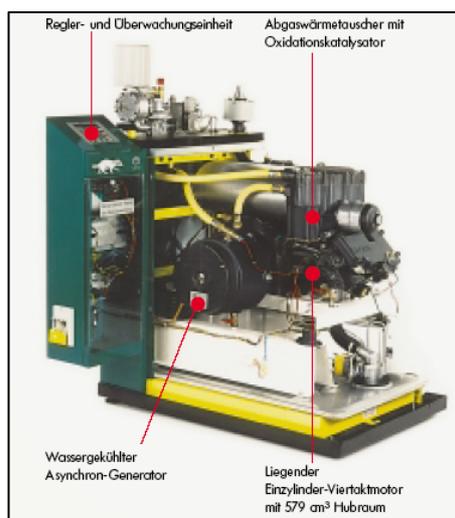
SenerTec – Modell Dachs

SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH Carl-Zeiss-Straße 18 D - 97424 Schweinfurt	Tel: +49 9721/651-0 www.senertec.de
--	---

Für die Produktbeschreibung wurden folgende Quellen verwendet: [31], [110].

SenerTec bietet neben den BHKW-Modulen auch Komplettlösungen für den Netzersatzbetrieb und für den Inselbetrieb (siehe dazu Kapitel 3.3) auf Basis der unten angeführten Heizkraftanlagen (HKA) an (siehe Tabelle 6). Darüber hinaus gibt es mit dem System *Dachs SE* eine Anlage zur Vollversorgung mit Wärme, Strom und Warmwasser. Diese besteht aus einer der unten angeführten Heizkraftanlagen, einem Wärmespeicher und einem Warmwassermodul.

Bei der *Dachs HKA* kommt ein Einzylinder-4-Takt Spezialmotor mit ca. 580 [cm³] Hubraum zum Einsatz, der für bis zu 80.000 Betriebsstunden ausgelegt ist. Der wassergekühlte Asynchrongenerator ist fest mit dem Motor verschraubt und wird über ein einstufiges Getriebe angetrieben. Die elektrische Leistung variiert je nach Modell zwischen 5,0 und 5,5 [kW_e] und die thermische zwischen 10,3 und 12,5 [kW_{th}]. Über einen integrierten Leitregler können bis zu 6 Module vernetzt und betrieben werden.

Bild 7: Innenansicht – *Dachs HKA* [3]

Das Abgas wird in der Regel über ein spezielles Einführungsstück drucklos in den Schornstein eingeleitet. Die Abgastemperatur, die bei ca. 150 [°C] liegt, lässt sich mit einem zusätzlichen Kondensationsabgaswärmetauscher (*Dachs Kondensator*) weiter reduzieren. Damit kann der Brennstoffnutzungsgrad noch weiter gesteigert werden. Bei den Gas-HKA ist ein Service alle 3.500, bei der Heizöl-HKA alle 2.700 Betriebsstunden erforderlich. Die Gas-Heizkraftanlagen werden im Magerbetrieb gefahren. Das ermöglicht NO_x-Werte, die unter den gesetzlichen Anforderungen liegen. Die LowNO_x-Modelle weisen noch niedrigere Emissionswerte auf. Diese Heizkraftanlagen besitzen einen integrierten Oxidationskatalysator, der das Kohlenmonoxid und die unverbrannten Kohlenwasserstoffe konvertiert.

Tabelle 6: Technische Daten – *Dachs HKA* [31], eigene Darstellung

Typ DACHS	HKA G 5.5	HKA G 5.0	HKA F 5.5	HKA HR 5.3	
		Low NO _x	Low NO _x		
Brennstoff	Erdgas	Erdgas	Flüssiggas	Heizöl EL	Biodiesel (RME)
elektrische Leistung [kW]	5,5	5,0	5,5	5,3	5,3
thermische Leistung [kW]	12,5	12,3	12,5	10,5	10,3
Leistungsaufnahme [kW]	20,5	19,6	20,5	17,9	17,6
Max. Vorlauftemperatur	83 °C				
Max. Rücklauftemperatur	70 °C				
Spannung / Frequenz	3 ~ 230 V / 400 V 50 Hz				
Wirkungsgrad					
- elektrisch	27%	26%	27%	30%	30%
- thermisch	61%	63%	61%	59%	59%
- Brennstoffnutzung	88%	89%	88%	89%	89%
Stromkennzahl	0,44	0,41	0,44	0,50	0,51
Schallemission [dB(A)] nach DIN 45635-01	52 - 56			54 - 58	
Abgasemission < TA- Luft	X			X	X
Abgasemission < 1/2TA- Luft		X	X		
Nutzungsdauer	bis zu 80.000 Betriebsstunden bei Wartung gemäß Serviceplan und Instandhaltung				
Wartung [Betriebsstunden]	3.500	3.500	3.500	2.700	Empfohlen: 1400
Minimum Methanzahl	35	35	35		

PowerPlus Technologies GmbH – Modell ecopower

PowerPlus Technologies GmbH Fasaneninsel 20 D - 07548 Gera	Tel: +49 365 / 830403-00 www.ecopower.de
Ein Unternehmen der Vaillant Gruppe.	

Folgende Quellen wurden für die Beschreibung verwendet: [33], [112].

Das *ecopower* BHKW ist ein leistungsmodulierendes BHKW. Es kann sich der gewünschten Strom- oder Wärmeleistung im Bereich von 1,3 bis 4,7 [kW_{el}] beziehungsweise 4,0 bis 12,5 [kW_{th}] anpassen und ermöglicht auf diese Weise längere Betriebszeiten. Über die stufenlose Variation der Motordrehzahl im Bereich von 1.200 – 3.600 [U/min] arbeitet das Gerät immer mit dem optimalen Wirkungsgrad.

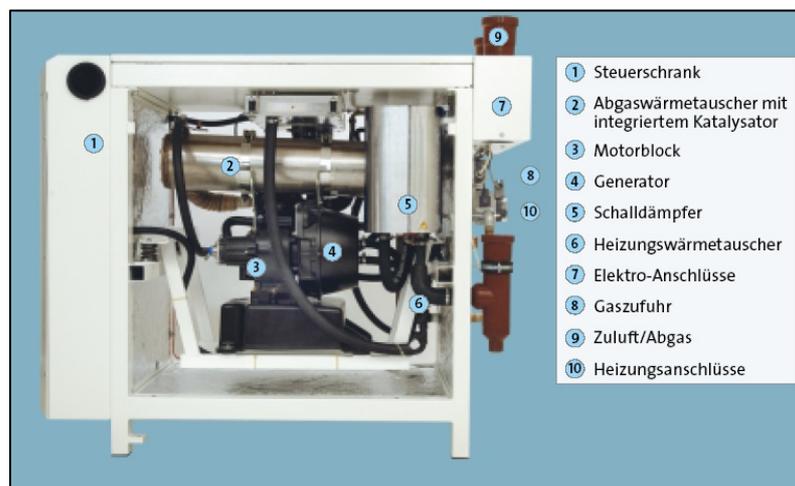


Bild 8: Innenansicht – *ecopower* [33]

Das *ecopower* BHKW wird λ -1 geregelt betrieben, niedrige Abgaswerte werden durch einen 3-Wege-Katalysator erreicht. Ein spezielles Wärme- und Schalldämmgehäuse sorgt für einen geräuscharmen Betrieb. Bei größerem Strom- und Wärmebedarf (zum Beispiel in Gewerbebetrieben oder Hotels) können auch mehrere *ecopower* Module parallel betrieben werden.

Tabelle 7: Technische Daten – *ecopower* BHKW [33], eigene Darstellung

Elektrische Leistung (je nach Luftdichte und Gasqualität)	1,3 bis 4,7 kW, modulierend
Thermische Leistung	4,0 bis 12,5 kW, modulierend
Gesamtwirkungsgrad	konstant > 90%
Motor	Einzylinder 4-Takt-Hubkolbenmotor, 272 cm ³
Variable Motordrehzahl	1.200 - 3.600 U/Min
Brennstoff	Erdgas, Flüssiggas (Propan)
Abgastemperatur	< 90° C
Abmessungen (Höhe x Breite x Tiefe in cm)	108 x 74 x 137
Anschlussfertiger Netzparallelbetrieb	3 x 400V, 50 Hz, cos φ 1
Schalldruck	56 dB(A) aus 2 m Abstand
Gewicht	395 kg
CE-Zertifizierung (PIN 0063AU3290), EMV- und VDE-Zulassung	

In Österreich wurden von der Firma *Lackner Energietechnik* bereits einige *ecopower* Modelle installiert (siehe Anhang A.1.4.1). Aufgrund seiner Leistungsgröße und der Leistungsmodulation hat dieses BHKW im kleinen Leistungsbereich Vorteile gegenüber anderen Modellen, und ihnen wird großes Marktpotenzial eingeräumt.⁵

2.1.5 Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte

Für eine Betrachtung über den deutschsprachigen Raum hinaus wird in diesem Kapitel beispielhaft das Mikro-BHKW der Firma *Honda* vorgestellt, das eines der weltweit kleinsten verbrennungsmotorischen BHKW ist. Es besitzt Marktreife, ist aber in Europa noch nicht verfügbar. Diese Darstellung soll die Entwicklungsrichtung aufzeigen, die die Technologie von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungen nehmen kann.

Honda

Honda Motor Europe (North) GmbH Kundenzentrale Postfach 200222 D - 63077 Offenbach	Tel: +49 01805 20 20 90 www.honda.de
--	---

Für diese Darstellung wurden folgende Quellen verwendet: [4], [96], [97] und [98].

Das *Ecowill* Mikro-BHKW von *Honda* ist für den Einsatz in Einfamilienhäuser konzipiert. Das erdgasbefeuerte BHKW hat eine elektrische Leistung von 1 [kW_{el}] und eine thermische Leistung von 3,25 [kW_{th}]. Der dafür eingesetzte Gasmotor *GE160V* wurde speziell für den Einsatz im Mikro-BHKW entwickelt und gilt als der weltweit kleinste Gaskolbenmotor. Es handelt sich dabei um einen 1-Zylinder-Viertakt-Motor mit einer geplanten Lebensdauer von 10 Jahren bzw. 20.000 Betriebsstunden und einem Wartungsintervall von 6.000 Betriebsstunden. Das BHKW wird λ -1 geregelt betrieben, und die NO_x-Emissionen werden durch den Einsatz eines Drei-Wege-Katalysators reduziert.



Bild 9: *Honda Ecowill* [96]

Derzeit ist dieses BHKW nur in Japan auf dem Markt. Dort wird es von *Honda* gemeinsam mit dem Energieversorgungsunternehmen (EVU) *Osaka Gas* vermarktet, und es wurden seit dem Frühjahr 2003 mehr als 15.000 Einheiten verkauft. In den USA erfolgt der Vertrieb gemeinsam mit *Climate Energy, LLC*. Feldtests sind dort ab Herbst 2005 geplant, und der Verkauf soll ab Herbst 2006 starten. In Deutschland prüft *Honda* momentan die Markteinführung.

Tabelle 8: Technische Daten – *Honda Ecowill*, eigene Darstellung

Modell	Motor	P _{el} [kW]	P _{th} [kW]	P _{Brennstoff} [kW]	η_{el} [%]	η_{th} [%]	η_{ges} [%]	Brennstoff
Ecowill	Honda GE160V 163 cm ³	1	3,25	k. A.	20	65	85	Erdgas

⁵ Telefonat: Hr. Pachernegg, *Lackner Energietechnik GmbH*, 03.02.2006.

2.2 Mikrogasturbine

2.2.1 Technologiebeschreibung

Eine weitere Technologie, die zur Erzeugung mechanischer respektive elektrischer Energie bei Blockheizkraftwerken zum Einsatz kommt, ist die des Gasturbinenprozesses mit Wärmerückgewinnung. Die Hauptkomponenten dieses Prozesses sind ein Verdichter, die Brennkammer, eine Turbine und ein Wärmetauscher zur Rückgewinnung der Wärme aus den heißen Turbinenabgasen.

Während KWK-Anlagen mit Gasturbinen ab einer Leistungsgröße von mehreren hundert Kilowatt eine sehr ausgereifte Technologie darstellen, gibt es auch eine Entwicklung hin zu Mikrogasturbinen im Leistungsbereich von ca. 30 bis 250 [kW_e]. Durch die Kompaktheit dieser Anlagen ist ebenfalls eine Blockbauweise möglich, und die Mikrogasturbine kann anschlussfertig in das elektrische und thermische Energieversorgungssystem eingebunden werden.

Funktionsweise

Aus der Umgebung angesaugte Luft wird im Verdichter komprimiert und anschließend der Brennkammer zugeführt. Dort findet durch die Zugabe von Brennstoff eine Verbrennungsreaktion statt. Das dabei entstehende Rauchgas wird in einer Turbine entspannt, die wiederum den Verdichter und den zur Stromerzeugung notwendigen Generator antreibt. Das aus der Turbine austretende heiße Abgas überträgt seine Wärme in einem Wärmetauscher auf ein anderes Medium, zumeist Wasser, und tritt danach ins Freie [2].

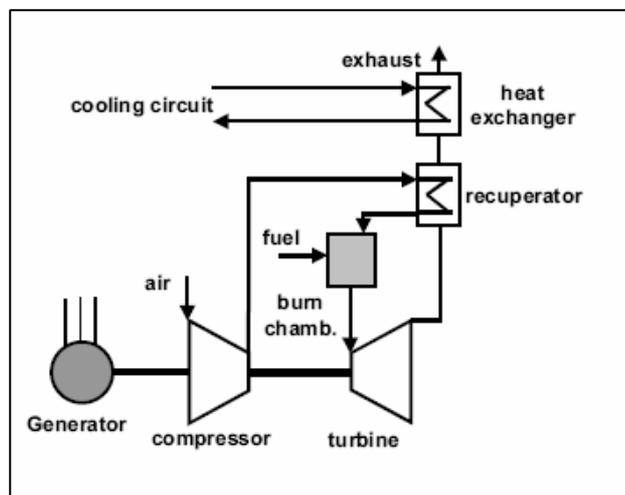


Bild 10: Schema einer Mikrogasturbine mit Rekuperator [12]

Durch die kleine und kompakte Bauweise und die speziell bei den kleinen Turbinen relativ hohen Verluste sind die elektrischen Wirkungsgrade solcher Anlagen mit rund 15 % im Vergleich zu motorischen BHKW eher bescheiden. Zur Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades wird daher in der Regel ein Wärmetauscher zur Verbrennungsluftvorwärmung - ein so genannter Rekuperator - verwendet, der vom heißen Turbinenabgas durchströmt wird. Damit können Wirkungsgrade zwischen 25 und 30 % erreicht werden. Ein weiterer Wärmetauscher danach dient zur Auskopplung der Heiz- oder Prozesswärme, siehe Bild 10. Falls der Durchfluss des Abgases durch den Rekuperator variiert werden kann, was als Rekupera-

tor-Bypass bezeichnet wird, kann die abgegebene Prozesswärme bei Bedarf auf Kosten des elektrischen Wirkungsgrades erhöht werden. Dadurch ist eine sehr gute Anpassung an einen variablen Wärmebedarf möglich [2], [12].

Durch die hohe Abgastemperatur im Bereich von 280 bis 680 [°C] - je nach Einsatz des Rekuperators - eignen sich Mikrogasturbinen darüber hinaus sehr gut für Anwendungsfälle, bei denen abwärmeseitig hohe Temperaturen gefordert werden, wie zum Beispiel zur Dampferzeugung, für Trocknungsprozesse und zur Klimakälteerzeugung mittels angeschlossener Absorptionskältemaschine.

Typisch für den Aufbau der Mikrogasturbine ist, dass der mit einem Permanentmagnet erregte Generator ohne Zwischenschaltung eines mechanischen Getriebes direkt auf der Antriebswelle der Turbine und des Verdichters angeordnet ist. Man spricht daher von so genannten Ein-Wellen-Anlagen, die mit Drehzahlen zwischen 70.000 und 100.000 [U/min] betrieben werden. Zur Einkopplung des Stroms ins Netz wird neben dem schnell laufenden Permanentmagnetgenerator ein digitaler Leistungsregler eingesetzt, der den hochfrequenten Wechselstrom zunächst gleichrichtet und dann in Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 [Hz] und einer Spannung von 400 [V] umwandelt. Aufgrund dieses „elektronischen Getriebes“ benötigt die Mikrogasturbine keine Synchronisationseinrichtung und die Leistungsregelung erfolgt über die Drehzahl. Dies bewirkt auch geringe Wirkungsgradverluste im Teillastbetrieb [26], [27].

Mikrogasturbinen können eine Lebensdauer von bis zu 80.000 Betriebsstunden erreichen. Die Wartungsintervalle zwischen 4.000 und 8.000 Betriebsstunden sind in der Regel deutlich länger als jene bei Verbrennungsmotoren [27], [85].

Als ökologischer Vorteil erweisen sich die niedrigen Emissionswerte. Mikrogasturbinen werden mit besonders hohen Luftüberschüssen – mit einer Luftzahl λ zwischen 6 und 9 – betrieben. Daraus resultieren sehr niedrige NO_x - und CO-Werte [26], [27].

Der erforderliche Gasdruck vor Eintritt in die Brennkammer liegt bei ungefähr 3,8 bis 8,5 [bar]. Daher beinhalten die Anlagen der meisten Hersteller einen zusätzlichen Gasverdichter, so dass die Anlagen am Niederdruck-Gasnetz angeschlossen werden können. Dieser vorgeschaltete Verdichter bedingt aber wiederum eine Minderung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage [3], [12].

2.2.2 Brennstoffe

In Mikrogasturbinen gelangt am häufigsten Erdgas oder Flüssiggas zum Einsatz. Aber auch regenerative Gase wie zum Beispiel Biogas, Klärgas und Deponiegas sind durch den einfachen Aufbau einer Mikrogasturbine besonders gut geeignet. Durch die kompakte Bauweise eignen sie sich darüber hinaus hervorragend für den Einsatz von Schwachgasen [85].

Die Mikrogasturbine hat beim Einsatz von Biogas gegenüber Verbrennungsmotoren einen Vorteil hinsichtlich des im Biogas enthaltenen Schwefelwasserstoffgehalts (H_2S). Dieser beeinflusst bei Verbrennungsmotoren die Lebensdauer der Motoren bzw. deren Wartungsaufwand maßgeblich. Der Schwefelwasserstoff aus dem Biogas reagiert mit dem im Motor entstehenden Wasserdampf zu Schwefelsäure (H_2SO_4), die vom Ölfilm der Zylinderwände aufgenommen wird. Dadurch gelangt die Schwefelsäure in den Ölkreislauf und in weiterer Folge an die Lager-Oberflächen, die durch diese chemische Belastung schneller verschleifen. Im Gegensatz dazu gibt es bei der Mikrogasturbine nur einen einzigen bewegten Bau-

teil, die schnell laufende Rotorwelle, auf der Verdichter- und Turbinenlaufrad sowie Generatorläufer befestigt sind. Darüber hinaus ist bei den Modellen des Herstellers *Capstone* kein Schmiermittel nötig, da wartungsfreie Luftlager eingesetzt werden. Dadurch wird die Korrosionsproblematik, wie sie bei Verbrennungsmotoren durch die Schwefelwasserstoffanteile im Biogas auftritt, vermieden [26].

In Mikroturbinen können auch flüssige, fossile Brennstoffe wie zum Beispiel Diesel beziehungsweise leichtes Heizöl und Kerosin zum Einsatz kommen. Auf diesen Aspekt wird hier aber nicht näher eingegangen.

2.2.3 Herstellerübersicht und Märkte

Der Einsatz von Mikrogasturbinen in Blockheizkraftwerken ist in Europa technologisch schon sehr weit fortgeschritten. Es konnten 3 Hersteller identifiziert werden, deren Mikrogasturbinen bereits in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden. Dies sind Modelle der Firmen *Capstone*, *Turbec* und *Bowman Power*. Die Produkte zweier Hersteller werden hier genauer beschrieben.

Capstone

CAPSTONE TURBINE CORPORATION 21211 Nordhoff Street Chatsworth, CA 91311 USA	Tel: +1 818.734.5300 www.capstoneturbine.com
---	--

Capstone ist nach eigenen Angaben mit über 3.500 verkauften Mikrogasturbinen führender Hersteller auf diesem Gebiet.⁶ Das Unternehmen bietet einerseits Mikrogasturbinen-Systeme an, bei denen ein externer Wärmetauscher zur Nutzung der Wärme aus dem Abgas angeschlossen werden kann, andererseits gibt es bereits Modelle von Mikrogasturbinen mit integriertem Wärmetauscher in kompakter Bauweise (Modelle *C60-ICHP*, *C65-ICHP* und *CR65-ICHP*). Die Besonderheiten der *Capstone* Mikrogasturbinen werden anhand des Modells *C30* beschrieben [84], da auch in Österreich bereits mehrere KWK-Anlagen mit diesem Modell realisiert wurden bzw. sich derzeit in Planung befinden, siehe Kapitel 2.2.5.



Bild 11: Innenansicht – *Capstone* C30 Mikrogasturbine [88]

Die *Capstone* C30 ist ein kompaktes Stromerzeugungsaggregat mit einer elektrischen Nennleistung von 30 [kW_{el}], der optimale Lastbereich liegt dabei zwischen 15 und 30 [kW_{el}]. Die Nutzung der Abgaswärme kann über einen externen Wärmetauscher erfolgen und liefert 85 [kW_{th}] thermische Leistung. Bild 11 zeigt die Innenansicht des Modells C30 und seiner wesentlichen Komponenten.

- 1 Abgasführung
- 2 Turbine und Reprokerator
- 3 Generator
- 4 Lufteintritt
- 5 Elektronik
- 6 Kühlluft

⁶ *Capstone Turbine Corporation: Homepage Capstone Turbine Corporation.* www.capstoneturbine.com (Juni 2006).

Die Mikroturbine selbst besteht aus folgenden Hauptkomponenten, siehe Bild 12: Kompressor, Rekuperator zur Verbrennungsluftvorwärmung, Brennkammer, Turbine und Generator.

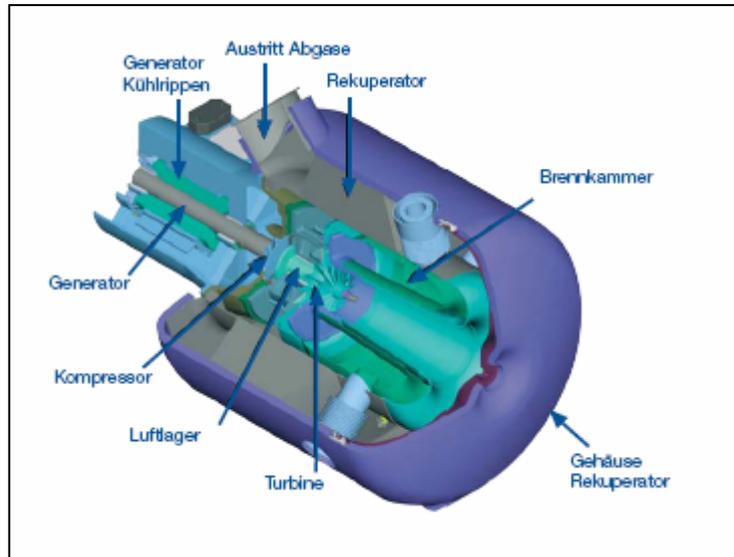


Bild 12: Capstone C30 Mikrogasturbine [84]

Alle rotierenden Teile befinden sich auf einer gemeinsamen, luftgelagerten, wartungsfreien Welle. Daher benötigt die Mikrogasturbine auch keine Schmiermittel. Die Welle ist das einzige sich bewegende Teil an der ganzen Maschine und die Nenndrehzahl beträgt 96.000 Umdrehungen pro Minute. Der Generator wird durch die einströmende Luft gekühlt, es sind im ganzen System keine Kühlmittel notwendig. Die Mikrogasturbine erreicht äußerst niedrige NO_x -Werte ohne Katalysator oder andere Systeme zur Abgasreinigung, und sie eignet sich sowohl für den Netzparallelbetrieb als auch für den Inselbetrieb (siehe Kapitel 3.3). In Tabelle 9 sind die verschiedenen Modelle und ihre wesentlichen Kenndaten dargestellt.

Tabelle 9: Technische Daten – Capstone Mikrogasturbinen, eigene Darstellung

Modell	P_{el} [kW]	P_{th} [kW]	η_{el}	η_{ges}	Brennstoff	Besonderheiten
C30	30	85	26 (+/- 2%)	k. A.	Erd-, Flüssiggas. Bio-, Deponiegas	Mikrogasturbinen-System.
C60-ICHP	60	115	28 (+/- 2%)	82 (+/- 4%)	Erdgas, Flüssiggas	Mikrogasturbinen-BHKW mit integriertem Abgaswärmetauscher. Nur mehr bis Februar 2006 verfügbar.
C65-ICHP	65	78 oder 112	29	k. A.	Erdgas, Flüssiggas	Mikrogasturbinen-BHKW mit integriertem Abgaswärmetauscher.
CR65-ICHP	65	78	29	k. A.	Biogas, Deponiegas	Mikrogasturbinen-BHKW mit integriertem Abgaswärmetauscher.

Turbec

Turbec S.p.A. Head office Via Statale, 20/A 440 40 Corporeno (FE) Italy	Tel: +39 0516835273 www.turbec.com
--	---

Für diese Darstellung wurden folgende Quellen verwendet: [102], [103].

Das Unternehmen *Turbec* wurde 1998 als Gemeinschaftsunternehmen von *Volvo* und *ABB* gegründet und hatte zum Ziel, Mikrogasturbinen für die dezentrale Erzeugung zu entwickeln und herzustellen. Im Dezember 2003 hat das italienische Unternehmen *API Com S.r.l.* die Anteile von *Volvo* und *ABB* übernommen und *Turbec S.p.A.* im Juli 2004 neu gegründet.

Das Modell *T100 PH* (siehe Bild 13) ist eine Anlage bestehend aus der Mikrogasturbine *T100* gekoppelt mit einem Abgas-Wärmetauscher in einem Gehäuse. Die wesentlichen Komponenten sind wiederum Kompressor, Rekuperator, Brennkammer, Turbine, Permanentmagnetgenerator und Wärmetauscher. Die Welle ist auf ölgeschmierten Gleitlagern gelagert, und die Nenndrehzahl beträgt bei diesem Modell 70.000 [U/min]. Als Brennstoff dient Erdgas, der Einsatz anderer Brennstoffe (Biogas, Diesel, Kerosin, Methanol) kann durch Modifikation des Standardmodells ermöglicht werden. Weitere wesentliche Kenndaten sind in Tabelle 10 zusammengefasst.



Bild 13: *Turbec T 100* [102]

Tabelle 10: Technische Daten – *Turbec T 100*, eigene Darstellung

Modell	P_{el} [kW]	P_{th} [kW]	$P_{Brennstoff}$ [kW]	η_{el} [%]	η_{th} [%]	η_{ges} [%]	Brennstoff	Besonderheiten
T100 PH	100 (+/- 1)	155 (+/- 5)	333	30 (+/- 1)	k. A.	77 (+/- 1)	Erdgas	Teillastbetrieb bis 50% möglich.

2.2.4 Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte

Die folgende Tabelle soll einen Überblick über weitere Hersteller und über die Märkte, auf denen sie tätig sind, bieten. So sind zum Beispiel in den USA Mikrogasturbinen schon vielfach im Einsatz und haben daher dort schon eine hohe technologische Reife erreicht [2]. Darüber hinaus sollen Entwicklungen und Innovationen im Mikrogasturbinenbereich aufgezeigt werden. Als Quellen dienten für diese Ausarbeitung die Homepages der jeweiligen Unternehmen und die „Transferstelle Neue Produkte“ der *ASUE* [4].

Tabelle 11: Weitere Hersteller – Mikrogasturbinen

Firma	Modell	P_{el} [kW]	P_{th} [kW]	η_{el}	η_{ges}	Brennstoff	Besonderheiten
Bowman Power Group Limited Ocean Quay Belvidere Road Southampton Hampshire UK, SO14 5QY Tel: +44 23 8023 6700 www.bowmanpower.co.uk	TG80R C-G-R	80	136 – 216	22 – 28	75 – 80	Erd-, Flüssiggas	Rekuperator/Bypass. Thermische Leistung abhängig von Rekuperatoröffnung.
	TG80S O-G	80	k. A.	15, 5	>90	Erd-, Flüssiggas	Abgas mit einer Temperatur von 535 [°C] zur Wärmebereitstellung bei Trocknungs- und Produktionsprozessen oder Kühlung mittels Absorptionskältemaschinen.
	TG80R C-G	80	136	28	75	Erd-, Flüssiggas	

Elliott Energy Systems, Inc. 2901 S.E. Monroe Street Stuart, FL 34997 USA Tel: +1 772 219 9449 www.elliottmicroturbines.com	TA-100 CHP	100	172	k. A.	>75	Erdgas	KWK in Kompaktbauweise. Rekuperator/Bypass.
Ingersoll Rand Energy Systems 800-A Beaty Street, Davidson North Carolina 28036 USA Tel: +1 877 477 6937 www.irenergysystems.com	MT 70	70	k. A.	28	k. A.	Erd-, Flüssig-, Bio-, Deponie-, Klär-gas. Fackelga	Hersteller von Mikro-gasturbinen. Es sind auch BHKW auf Basis der zwei angeführten Mikro-gasturbinen in kompakter Bauweise verfügbar, und die Modelle besitzen in den USA Marktreife.
	MT 250	250	k. A.	29	k. A.		
Kohler Power Systems 444 Highland Drive Kohler, WI 53044 USA www.kohlerpowersystems.com/onsite.html	MT 80	80	140	k. A.	74	Erdgas	KWK-Anlage auf Basis der Mikro-gasturbine MT 80.
UTC Power 195 Governor's Windsor South Windsor, CT 06074 USA www.utcpower.com	UTC Power bietet mit dem Model <i>Pure Comfort</i> eine Kraft-Wärme-Kältekopplung auf Basis der Mikro-gasturbinen-Technologie im elektrischen Leistungsbereich von 240 – 360 [kW _{el}] an.						
KAWASAKI Gas Turbine Europe GmbH Nehringstrasse 15 61352 Bad Homburg Germany www.kawasaki-gasturbine.de	Eine Anlage zur Kraft-Wärme-Kopplung auf Gasturbinen-Basis: <i>GPC 06</i> mit 610 [kW _{el}].						
Toyota Turbine and Systems www.toyota-turbine.co.jp	Toyota Turbine and Systems stellt zwei KWK auf Basis von Mikro-gasturbinen her. Die Modelle mit einer elektrischen Leistung von 50 und 300 [kW _{el}] haben in Japan Marktreife erreicht, nachdem die Entwicklung und Markteinführung gemeinsam mit den Energieversorgungsunternehmen <i>Tokyo Gas</i> , <i>Osaka Gas</i> und <i>Toho Gas</i> erfolgte. Es sind keine Aussagen zur Verfügbarkeit dieser Anlagen in Europa möglich. Siehe auch [86] und [87].						
Micro Turbine Technology B. V. Azimuth Technology Management B.V. Nonneveld 585 4811 DT Breda The Netherlands Tel: +31 76 521 68 78 www.mtt-eu.com	Das Unternehmen beschäftigt sich mit der Entwicklung von Mikroturbinen im Leistungsbereich von 10 [W] bis 150 [kW] und dabei vor allem für Anwendungen in Mikro-KWK mit elektrischen Leistungen von 1 – 3 [kW _{el}]. Durch eine Konstruktion bestehend aus 3 Komponenten soll es zu einem geringen Fertigungs- und Wartungsaufwand kommen. Die Anlagen befinden sich noch alle in der Entwicklungsphase. Ein Prototyp ist seit 2003 in der Testphase, und die Markteinführung der Mikro-KWK soll in den Jahren 2007 bis 2009 erfolgen.						

2.2.5 Vertrieb und Referenzen in Österreich

In diesem Kapitel werden ausgewählte Mikrogasturbinen-Aktivitäten und Referenzanlagen in Österreich – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – dargestellt. Ein Energieversorgungsunternehmen versucht dabei, die Markteinführung von Mikrogasturbinen aktiv zu unterstützen.

Capstone

Wels Strom GmbH Geschäftsbereich Energiesysteme Stelzhamerstraße 27 4600 Wels	Tel: +43 7242/493-0 www.eww.at
Verdesis Suisse SA Laurenzenvorstadt 103 CH-5001 Aarau	Tel: +41 (0) 62 844 46 88 www.verdesis.com

Im Rahmen ihres Geschäftsbereiches *EnergieSysteme* vertreibt der Elektrizitätsversorger *Wels Strom* Mikrogasturbinen des Herstellers *Capstone* in Österreich. Dabei besteht eine Kooperation mit dem Unternehmen *Verdesis* aus der Schweiz, das sich mit der Aufbereitung und Verwertung von Biogas beschäftigt. Ziel der Zusammenarbeit ist die Einführung der Mikrogasturbine in Österreich im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere in Verbindung mit erneuerbaren Energieträgern. Von *Wels Strom* werden folgende Referenzen in Österreich angeführt.⁷

- *Wels Strom* hat seit September 2004 eine C60 Mikrogasturbine im Fernheizwerk in Wels in Betrieb. Diese wird mit Erdgas betrieben und dient vor allem als Versuchs- und Demonstrationsobjekt.
- Konzeption und Planung von 2 Mikrogasturbinen C30 bei der Kläranlage des Reinhalteverbands Hallstättersee wurden ausgeführt. Diese beiden Anlagen wurden im Dezember 2005 in Betrieb genommen. Sie werden mit Klärgas betrieben und die Abwärme wird für die Beheizung des Faulturms bzw. für die Heizung der Gebäude genutzt.
- Installation einer C30 Mikrogasturbine in der Kläranlage in Leoben. Als Brennstoff wird das anfallende Klärgas verwendet.
- Im Jahr 2006 werden 2 weitere C30 Mikrogasturbinensysteme unter Mitwirkung von *Wels Strom* in Betrieb gehen. Eine Anlage ist zur Energieversorgung einer Freizeitanlage geplant, die zweite in einem Bürogebäude, bei der das Mikrogasturbinen-BHKW mit einer Absorptionskältemaschine (Hersteller *Yazaki*) gekoppelt wird. Bei diesen beiden Mikrogasturbinen wird Erdgas als Brennstoff eingesetzt.

Alle von *Wels Strom* geplanten Anlagen werden auf wärmegeführte Betriebsweise ausgelegt (siehe dazu Kapitel 3.2.1).

Turbec

Eine Vertriebspartnerschaft zwischen einem österreichischen Energieversorgungsunternehmen und *Turbec* war angedacht, wurde aber schließlich nicht verwirklicht. In Österreich sind zwei Anlagen in Betrieb, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

⁷ Telefonat: Hr. Berger, *Wels Strom GmbH*, 12.01.2006.

- Eine *Turbec* Mikrogasturbine *T100* ist in der Fernwärmezentrale der *Energie Steiermark – Gas & Wärme* in Voitsberg seit 2001 in Betrieb. Dort treten allerdings immer wieder Probleme bei der Einspeisung des elektrischen Stromes ins Netz aufgrund der dortigen Netzcharakteristik auf.⁸
- Eine zweite *Turbec*-Anlage wurde in der Steiermark in Graz-Thondorf im *Magna-Steyr* Fahrzeugwerk im Februar 2003 errichtet. Die Anlage, gekoppelt mit einer Absorptionskältemaschine, wurde von der *OMV Cogeneration* in Form eines Energiecontractings betrieben. Die Erfahrungen damit waren grundsätzlich sehr positiv, auch im Zusammenspiel von Mikrogasturbine und Absorptionskältemaschine.⁹

„Die bisherigen Betriebserfahrungen können als sehr gut bezeichnet werden. ... Werden die betriebsbedingten Stillstände abgezogen, kommt man für das erste Betriebsjahr auf eine Verfügbarkeit der Anlage von 95 % bzw. über 99,3 %. ... Der Wartungsaufwand ist gering, so ist beispielsweise kein regelmäßiger Ölwechsel erforderlich und auch keine Einstellung von Ventilen. Das alle 6.000 [h] erforderliche Service wurde inklusive Ab- und Anfahren in weniger als 12 Stunden erledigt.“ [28].

Nach Auslaufen des Energiecontractings wurde die Mikrogasturbine jedoch zusammen mit der Absorptionskälteanlage an die *Energie Contracting Steyr*, ein Tochterunternehmen der oberösterreichischen *Energie AG*, verkauft.⁹
- Diese Anlage befindet sich derzeit im Aufbau und soll die auf dem Industriegelände der ehemaligen Steyrerwerke in Steyr angesiedelten Betriebe (*MAN*, *SKF*, ...) mit Wärme versorgen. Die Absorptionskältemaschine wird dazu genutzt, um die Druckluft, die ebenfalls für die Betriebe zur Verfügung gestellt wird, zu kühlen.¹⁰

2.3 Stirling-Motor

2.3.1 Technologiebeschreibung

Eine Technologie, die durch das Aufkommen kleiner und dezentraler Erzeugungsanlagen wieder verstärkt an Bedeutung gewinnt, nachdem sie im letzten Jahrhundert vor allem durch die Verbrennungsmotoren verdrängt wurde, ist die des Stirling-Motors. Dieser geht auf die Erfindung des schottischen Geistlichen Robert Stirling im Jahr 1816 zurück. Der Stirling-Motor ist gekennzeichnet durch eine externe Verbrennung und zählt zur Gruppe der Expansionsmotoren. Die Kolbenbewegungen erfolgen nicht durch Expansion von Verbrennungsgasen infolge einer inneren Verbrennung, sondern durch die Expansion eines im Zylinderraum des Stirlingmotors eingeschlossenen Arbeitsgases aufgrund von Energiezufuhr aus einer äußeren Wärmequelle. In den letzten Jahren gab es eine intensive Forschung und Weiterentwicklung des Stirling-Motors, und nun kommen die ersten Anwendungen in Blockheizkraftwerken als Serienprodukte auf den Markt.

⁸ Telefonat: Hr. Ing. Neuhold, *Steirische Gas-Wärme GmbH*, 05.01.2006.

⁹ Telefonat: Hr. DI Dr. Glatzer, *OMV Cogeneration GmbH*, 05.01.2006.

¹⁰ Telefonat: Hr. DI Widhalm, *Energie Contracting Steyr GmbH*, 10.01.2006.

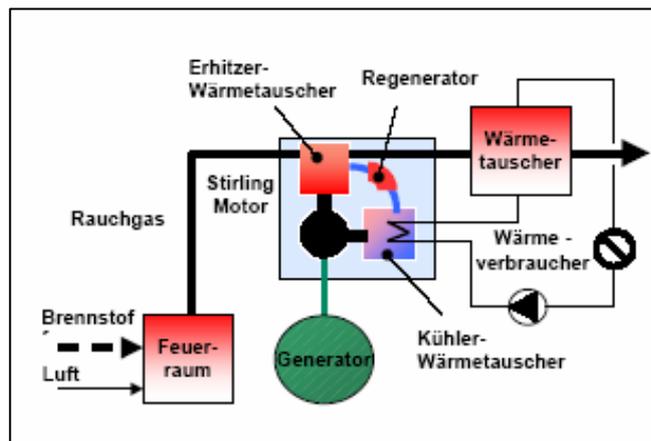


Bild 14: Aufbau einer KWK-Anlage mit Stirlingmotor [2]

Bild 14 soll die Anwendung des Stirling-Motors in einer Kraft-Wärme-Kopplung verdeutlichen. Im Feuerraum der Anlage wird der Brennstoff verbrannt. Es entstehen heiße Rauchgase, die durch den Erhitzerwärmetauscher strömen und dabei einen Teil des Energieinhaltes an das Arbeitsgas im Motor abgeben. Der Erhitzerwärmetauscher kann dabei direkt im Feuerraum oder im nachgeschalteten Rauchgaskanal angeordnet sein. Die Restwärme des Abgases wird über einen zusätzlichen Wärmetauscher für die Bereitstellung von Wärme genutzt. Die Kühlung des Stirling-Motors erfolgt durch den Rücklauf des Wärmebereitstellungssystems über einen Kühler-Wärmetauscher. Der Stirling-Motor ist direkt mit einem Generator zur Stromerzeugung gekoppelt [5].

Funktionsweise

Beim Stirling-Motor bewegt sich ein Arbeitsmedium in einem geschlossenen System bestehend aus Kolben und Zylinder. Dabei können Luft, Stickstoff, Helium oder Wasserstoff als Arbeitsgas eingesetzt werden. Der Stirling-Motor besteht aus einem heißen und einem kalten Raum, zwischen denen das Arbeitsgas hin und her bewegt wird. Der heißen Zone wird dabei laufend Wärme zugeführt, und von der kalten Zone laufend Wärme abgeführt. Zwischen den beiden Räumen ist ein Regenerator angeordnet. Dort gibt das heiße Gas Wärme ab, bevor es in den Kühler kommt. Beim Zurückströmen des kalten Gases kann die im Regenerator gespeicherte Wärme wieder aufgenommen werden [2], [42].

Nach Art der Arbeitsraumkonfiguration wird beim Stirling-Motor zwischen drei Bauarten unterschieden: [41].

- α -Typ: Dieser Motorentyp besitzt zwei bzw. vier Zylinder und Arbeitskolben. Dabei wird zwischen Kompressions- und Expansionskolben unterschieden, die in einem bestimmten Phasenwinkel (z. B. 90°) zueinander stehen.
- β -Typ: Die β -Maschine besitzt einen Arbeits- und einen Verdrängerkolben, die sich in einem Zylinder befinden. Dabei muss nur der Arbeitskolben und die Verdrängerkolbenstange nach außen hin abgedichtet werden. Der Verdrängerkolben hat dabei die Aufgabe, das Arbeitsgas bei konstantem Volumen zwischen den Expansions- und Kompressionsräumen mit dazwischen liegendem Regenerator hin und her zu schieben. Der Kurbeltrieb wird über ein besonderes Gestänge realisiert [29].

- γ -Typ: Der γ -Typ besitzt ebenfalls einen Arbeits- und einen Verdrängerkolben, die jedoch in zwei verschiedenen Zylindern eingebaut sind. Er arbeitet allerdings wie die α -Maschinen mit konventionellen Kurbeltrieben.

Beim α -Typ (siehe Bild 15) wird während eines Arbeitszyklus das Arbeitsgas von einem kalten Gebiet (Verdichtungszyylinder), wo das Gas komprimiert wird, in ein heißes Gebiet (Expansionszyylinder), wo es expandiert, verschoben. Dazwischen befindet sich der Regenerator, ein hochporöser Körper mit hoher Wärmekapazität, der zur Energiezwischenspeicherung dient. Die Antriebsenergie wird von außen in Form von heißem Rauchgas oder einer anderen externen Wärmequelle über den Erhitzer-Wärmetauscher zugeführt. Über einen Kühler-Wärmetauscher wird das Arbeitsgas gekühlt, und die abgeführte Wärme kann für Heizzwecke genutzt werden. Aus dem periodischen Ablauf temperaturbedingter Expansion und Kompression des unter Druck stehenden Arbeitsgases wird die mechanische Arbeit gewonnen [2], [5].

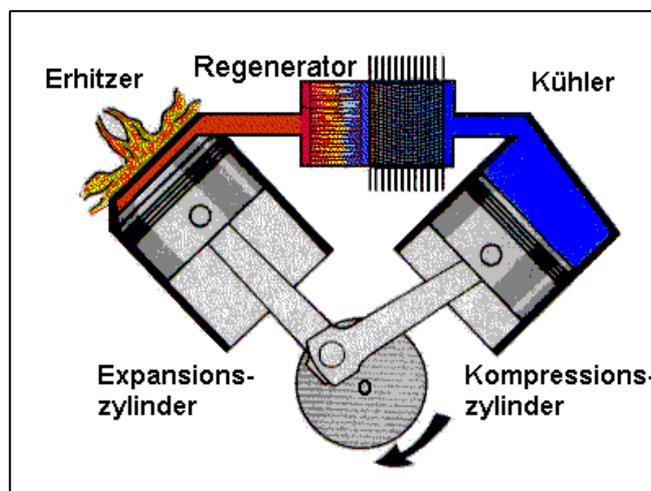


Bild 15: Aufbau eines Stirling-Motors, α -Typ [119], eigene Darstellung

Der Stirling-Motor weist vielfältige Vorteile auf. Da ist zunächst die Eignung für kleine Leistungseinheiten bis ca. 100 [kW] zu erwähnen, die ihn für den Einsatz in dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungen prädestinieren. Weiters zeichnet er sich durch eine kompakte Bauweise und einen äußerst geräusch- und vibrationsarmen Betrieb im Vergleich zu Verbrennungsmotoren aus. Stirlingmotoren haben darüber hinaus auch ein gleichmäßigeres Drehmoment [13], [41].

Eine äußere Verbrennung kann bezüglich der Emissionen besser optimiert werden als die innere Verbrennung in einem Motor. Daher können beim Stirlingmotor sehr niedrige Abgaswerte erzielt werden. Der Stirling-Motor selbst ist sehr wartungsfreundlich und zeichnet sich durch geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten aus. Durch die externe Verbrennung treten keine Verbrennungsrückstände im eigentlichen Motor auf, und es gibt keine Schmierprobleme. Die Kolben laufen ohne Schmierstoffe in den Zylindern, da diese im heißen Bereich verkohlen würde. Die Wartungsintervalle werden mit 5.000 bis 7.000 Stunden angenommen und liegen in der Regel über jenen von Verbrennungsmotoren [2], [42].

Als kritische Schnittstellen werden – vor allem beim Einsatz von Biomasse - der mit dem Rauchgas in Kontakt stehende Erhitzerwärmetauscher und die Abdichtung des Schadraumes angesehen. Der Schadraum ist jener Bereich, den das Arbeitsgas ausfüllt. Der Gesamtwirkungsgrad der Stirling-BHKW liegt im Bereich von 63 bis 86 %. Nachteilig ist, dass

sie nur bescheidene elektrische Wirkungsgrade zwischen 20 bis 30 % aufweisen. Oftmals liegt der elektrische Wirkungsgrad aufgrund des geringen Temperaturgefälles noch darunter. Daher muss eine optimale Ausnutzung der anfallenden Wärme durch eine wärmegeführte Betriebsweise im Vordergrund stehen [2], [5], [13].

Ein ganz wesentlicher Vorteil ist die Vielfalt der Brennstoffe, die beim Stirling-Motor eingesetzt werden können.

2.3.2 Brennstoffe

Durch die im Gegensatz zu Otto- und Dieselmotoren geschlossenen Arbeitsräume und die Wärmezufuhr von außen sind Stirlingmotoren unabhängig von der Art der Wärmequelle. Die Krafterzeugung ist gänzlich vom Verbrennungsprozess entkoppelt, bei dem prinzipiell beliebige Brennstoffe eingesetzt werden können. Es können feste, flüssige und gasförmige Brennstoffe verwendet werden, und hierbei sowohl fossile als auch erneuerbare Energieträger, wobei beim Einsatz von Biogas, Klärgas oder Deponiegas weniger Aufwand für die Reinigung erforderlich ist. Die Eignung fester Biomasse beschränkt sich auf Hackgut, Sägespäne und Pellets mit einem geringen Anteil an Rinde (asche- und chlorarme Brennstoffe).¹¹ Aber es kann auch eine von einer Verbrennung unabhängige Wärmequelle wie zum Beispiel die Abwärme aus einem anderen Prozess genutzt werden.

Die Verwendung von Erdgas als Brennstoff für Stirling-Motoren ist am weitesten entwickelt. Der Einsatz von Biomasse, und hier vor allem von fester Biomasse, stellt bei vielen Herstellern noch einen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt dar. Ein Anbieter setzt dabei auf die Vergasung von Holzpellets und steht damit an der Schwelle zur Marktreife.

2.3.3 Herstellerübersicht und Märkte

Bisher haben zwei Hersteller von Mikro-BHKW mit Stirlingmotoren den Markteintritt in Europa geschafft. Dies sind der deutsche Hersteller *Solo Stirling* und der Hersteller *Whisper Tech* aus Neuseeland mit dem Modell *WhisperGen*. Als Sekundärquelle diente für diese Ausarbeitung die „Transferstelle Neue Produkte“ der ASUE [4].

Solo Stirling

SOLO STIRLING GmbH Stuttgarter Str. 41 Postfach 60 01 52 D-71050 Sindelfingen	Tel: +49 7031 301-0 www.stirling-engine.de
---	---

Basis für das Modell *Solo Stirling 161 microKWK-Modul* (siehe Bild 16) ist ein α -Stirling-Motor. Es besitzt Marktreife, wird in Serie gefertigt und ist in ca. 60 Referenz- und Pilotanlagen in Europa im Einsatz.¹² Als Brennstoffe können derzeit Erdgas und Flüssiggas eingesetzt werden, die Verwendung flüssiger Brennstoffe und fester, erneuerbarer Energieträger in Form von Holzpellets stellt derzeit noch einen Schwerpunkt in der Forschungs- und Entwicklungsarbeit des Unternehmens dar [92].

¹¹ *Bios Bioenergiesysteme GmbH*: Beschreibung der Biomasse-KWK auf Basis Stirlingmotor. <http://www.bios-bioenergy.at/bios01/biomass/de/stirling.html> (Juni 2006).

¹² *Solo Stirling GmbH*: Referenzliste *Solo Stirling 161 micro KWK-Modul*. <http://www.stirling-engine.de/referenz1003.html> (Juni 2006).

Für die Produktbeschreibung wurden folgende Quellen verwendet: [1], [34], [35], [92].



Bild 16: Solo Stirling 161 microKWK-Modul [92]

Der Aufbau des Stirling Motors ist in Bild 17 dargestellt. Es handelt sich dabei um einen einfach wirkenden 90°-V-Zweizylinder Stirling, α -Typ. Zwischen den beiden Arbeitszylindern befinden sich der Erhitzer, der Regenerator und der Gaskühler. Als Arbeitsgas wird Helium eingesetzt. Der Erhitzer besteht aus ringförmig gebogenen Röhrchen, die von einem Gasbrenner erwärmt werden. Die Erhitzertemperatur soll dabei so hoch wie möglich sein, allerdings setzen die Werkstoffe bei etwa 700 [°C] Grenzen. Der Regenerator besteht aus einem Paket von Drahtsieben und der Arbeitsgaskühler aus Rohrbündel, die vom Kühlwasser durchflossen werden. Die Temperatur des Kühlers im Stirling-Prozess soll möglichst niedrig sein, sie wird von der Temperatur des zu beheizenden Wassers bestimmt, wobei hier nach unten keine Grenzen gesetzt sind.

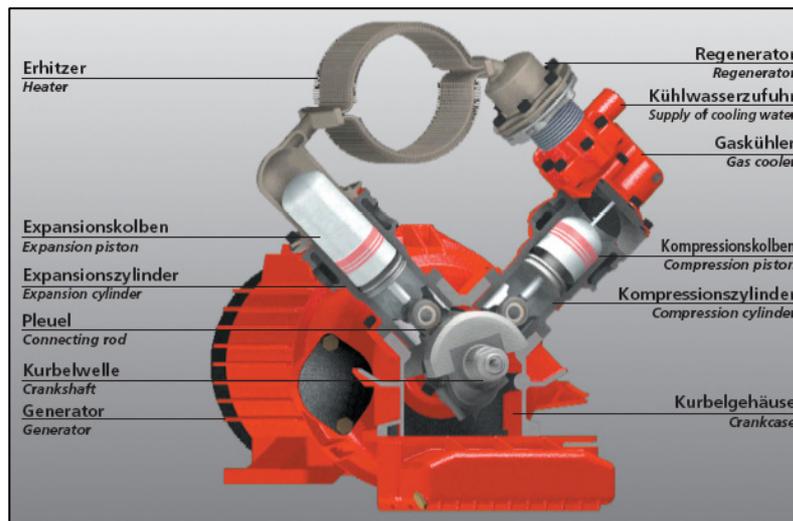


Bild 17: Aufbau des Stirling-Motors im Solo Stirling 161 mikroKWK-Modul [35]

Der Erhitzer befindet sich in einer zylindrischen, liegend angeordneten Brennkammer, in der auch der Gasbrenner integriert ist und in der die Verbrennung kontinuierlich stattfindet. Der Gasbrenner des Solo Stirling BHKW verfügt über einen Luftvorwärmer, der die im Abgas – nach Durchströmen des Erhitzers und vor dem Abgaswärmetauscher – noch enthaltene Energie auf die frische Verbrennungsluft überträgt. Durch die Vorwärmung der Verbrennungsluft wird eine Steigerung des Wirkungsgrades des Stirlingmotors erreicht. Die Vermischung der vorgewärmten Luft mit dem Brennstoff erfolgt erst in der Brennkammer. Zur Verminderung von Schadstoffemissionen wird in der Brennkammer ein sehr hoher Abgasanteil rezirkuliert. Durch das beigemischte Abgas, das nach der Verbrennung praktisch sauerstofffrei ist, wird die Verbrennungsreaktion gebremst und räumlich verteilt. Man spricht daher

von einer flammlosen Oxidation. „Durch eine hohe Abgas/Luft-Vormischung werden Spitzentemperaturen in der Flamme vermieden und die thermische Stickoxidbildung wird auch bei höchster Luftvorwärmung fast vollständig unterdrückt.“¹³ Der Brenner hält die Temperatur des Erhitzers immer konstant. Dazu wird die Brennerleistung über die Leistung des Brennergebläses angepasst.

Die Schadstoffemissionen liegen - ohne zusätzliche Abgasnachbehandlung durch Katalysatoren - deutlich unter denen vergleichbarer, konventioneller motorischer BHKW. Auch bei hoher Luftvorwärmung werden Emissionswerte von nur wenigen [mg/m³] für NO_x und CO erreicht. Kohlenwasserstoffe und Russ sind praktisch nicht nachweisbar (siehe auch Tabelle 12).

Die Leistung des *Solo Stirling* BHKW ist zwischen 2 und 9,5 [kW_e] elektrisch und 8 und 26 [kW_{th}] stufenlos modulierbar. Die Leistungsmodulation erfolgt dabei über die Steuerung des mittleren Prozessdrucks des Arbeitsgases, und die abgegebene Leistung kann ohne nennenswerte Wirkungsgradverluste dem jeweiligen Bedarf angepasst werden. Die Leistung des Brenners wird entsprechend der Leistungsabgabe des BHKW geregelt.

Der Stirlingmotor treibt einen zweipoligen Asynchron-Generator mit Luftkühlung an, der direkt mit dem Motor gekoppelt ist. Die Drehzahl beträgt bei 50 [Hz] etwa 1.500 [U/min].

Tabelle 12: Technische Daten – *Solo Stirling 161 microKWK-Modul* [34], [35]

Brennstoffe	Erdgas, Flüssiggas
Elektrische Leistung	2 - 9,5 kW
Wärmeleistung	8 - 26 kW
Brennerleistung	16 – 40 kW
Nenndrehzahl	1.500 U/min
Elektrischer Wirkungsgrad (50 – 100% Last)	22 - 24 %
Gesamtwirkungsgrad (Brennwerttechnik)	92 - 96 %
Arbeitsgas	Helium
Wartungsintervall	5.000 - 8.000 h
Emissionen CO	40 – 60 mg/m ³
Emissionen NO _x	80 - 120 mg/m ³
Emissionen HC (Kohlenwasserstoffe), max.	2 mg/m ³
Abmessungen L x B x H	1.280 x 700 x 980 mm
Gewicht	450 kg
Leistungen und Wirkungsgrade bezogen auf 50 °C im Heizungsvorlauf	

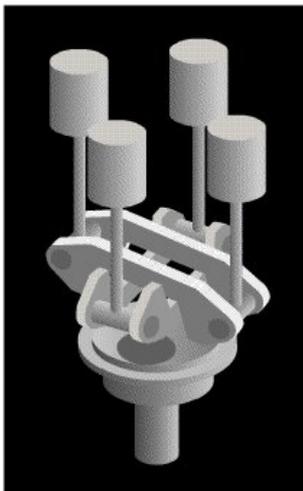
Whisper Tech – Modell WhisperGen

Whisper Tech 224 Armagh Street Christchurch New Zealand	Tel: +64 3 363 9293 www.whispergen.com
---	---

Für diese Darstellung wurden folgende Quellen verwendet: [4], [93].

¹³ *WS Wärmeprozessstechnik GmbH*: Beschreibung flammlose Oxidation. http://www.flox.com/de_pages/deu_flox.html (Februar 2006).

Das Modell *WhisperGen AC* des neuseeländischen Herstellers *Whisper Tech* ist ein kompaktes BHKW in der Größe eines Haushaltsgeschirrspülers auf Basis eines 4-Zylinder- α -Stirling-Motors. Aufgrund seiner Leistungsgröße ist es für den Einsatz im Einfamilienhausbereich vorgesehen, und es wird auch bereits in Europa vertrieben. Der zweitgrößte britische Energieversorger *Powergen*, ein Tochterunternehmen des deutschen Energieversorgers *E.ON*, hat für 5 Jahre einen Exklusivvertrag mit *Whisper Tech* für Großbritannien und will bis zum Jahr 2010 die Marktdurchdringung mit bis zu 80.000 verkauften Einheiten schaffen. Seit 2004 hat *Powergen* 400 Testanlagen in Großbritannien in Betrieb. Es wurde auch eine Evaluierung der Markteinführung für die Niederlande und Deutschland durchgeführt, und ab 2006 soll das Modell in Deutschland erhältlich sein. Darüber hinaus arbeitet *Whisper Tech* an der Entwicklung eines Stirlingmotorsystem, das ein Objekt auch weiterhin mit Wärme versorgen kann, selbst wenn der Stirlingmotor nicht in Betrieb ist.

Bild 18: *Whispergen AC*Bild 19: Stirling-Motor – *Whispergen* [93]

Herzstück des mit Erdgas befeuerten Stirling-BHKW ist ein 4-Zylinder-Stirlingmotor, α -Typ. Die vier Zylinder, die im Kreis angeordnet sind, übertragen ihre Kraft auf eine kreisrunde Scheibe (Wobble Yoke). Aufgrund einer Phasenverschiebung von je 90° zwischen den einzelnen Zylindern wird mittels einer speziellen Mechanik die axiale Zylinderkraft in eine radiale Bewegung umgewandelt, die den Generator antreibt. Das BHKW hat eine elektrische Leistung von bis zu $1,2 \text{ [kW}_e]$ und eine thermische Leistung von bis zu $8 \text{ [kW}_t]$, wobei die Vorlauf- bzw. Rücklauftemperatur des Aggregats bei 80 bzw. $60 \text{ [}^\circ\text{C]}$ liegt. Aufgrund der kontinuierlichen Verbrennung zeichnet sich das Aggregat durch einen extrem geräuscharmen Betrieb aus, worauf die Modellbezeichnung zurückzuführen ist. Das BHKW erreicht einen Gesamtwirkungsgrad von über 90% . Dabei liegt der elektrische Wirkungsgrad bei Volllast bei rund 12% und der thermische

Wirkungsgrad bei ca. 83% [94]. Die wesentlichen technischen Daten sind noch einmal in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Technische Daten – *WhisperGen AC*, eigene Darstellung

Modell	$P_{el} \text{ [kW]}$	$P_{th} \text{ [kW]}$	$\eta_{el} \text{ [%]}$	$\eta_{ges} \text{ [%]}$	Brennstoff	Besonderheiten
WhisperGen AC	0,4 – 1,2 modulierend	4,9 – 8 modulierend	12	> 90	Erdgas	4-Zylinder- α -Stirling-Motor

Es gibt auch eine Gleichstromversion des Stirling Moduls, *Whispergen DC*. Dieses wird mit Kerosin oder Diesel betrieben und ist für die Strom- und Wärmeversorgung bei Inselsystemen (siehe Kapitel 3.3.3) geeignet, wobei es vorrangig auf Booten und Yachten eingesetzt wird.

2.3.4 Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte

In den vergangenen Jahren setzte eine intensive Forschung und Entwicklung von BHKW auf Basis von Stirling-Motoren ein. Daher soll dieses Kapitel einen aktuellen Marktüberblick bieten. Dabei werden zwei Produkte ausführlicher beschrieben, und weitere Hersteller sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – in einer Liste zusammengefasst. Als Quelle dienen hier einerseits die Herstellerangaben auf den jeweiligen Homepages und die „Transferstelle Neue Produkte“ der ASUE [4].

Neueste Entwicklungen setzen dabei auf Freikolben Stirling-Motoren, deren Besonderheit ist, dass sie kein kinematisches Getriebe besitzen. Die Auf- und Ab-Bewegungen von Kolben und gegebenenfalls Verdränger werden nur durch Druck-, Massen-, Feder- und Reibungskräfte bewirkt. Diese Prozesse können in einem hermetisch abgedichteten Zylinder ausgeführt werden, eine mechanische Verbindung nach außen besteht nicht. So kann das Problem der Abdichtung des Schadraumes und der damit verbundenen Arbeitssgasverluste vermieden werden. Die Maschinen benötigen kein Öl und sind fast wartungsfrei. Die Stromerzeugung kann entweder direkt mittels eines Linear-Wechselstrom-Generators, bei dem sich ein Permanentmagnet auf dem Arbeitskolben und die Spule auf der Zylinderwand befindet, oder pneumatisch oder hydraulisch erfolgen [29], [41].

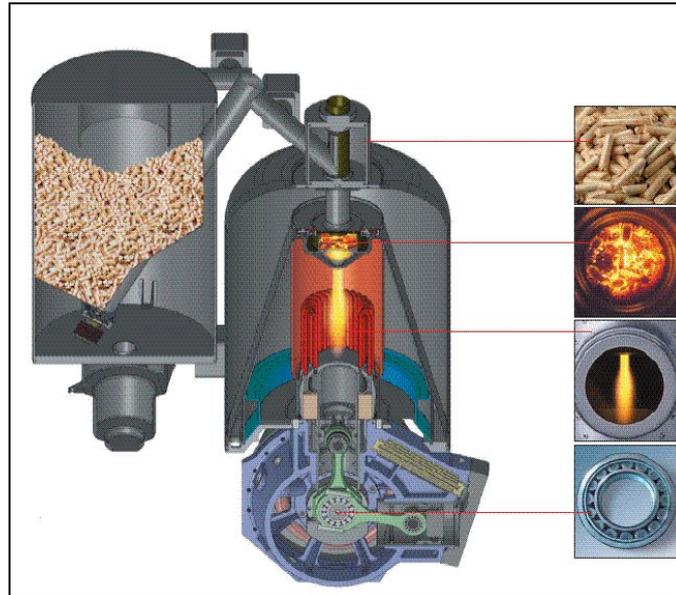
Sunmachine

SUNMACHINE Vertriebsgesellschaft mbH Daimlerstraße 21 87437 Kempten Deutschland	Tel: +49 0 831 / 540 77 77 www.sunmachine.com
---	--



Bild 20: *sunmachine* [107]

Nach Herstellerangaben wurde ab Oktober 2005 eine Vorserie der *sunmachine* hergestellt. Ab Beginn 2006 geht sie in Serienproduktion, und ab März 2006 soll die Auslieferung der Aggregate erfolgen. Als Brennstoffe kommen bei der *sunmachine* derzeit Holzpellets zur Anwendung. Für die Serie soll dann der Einsatz weiterer Brennstoffe wie Heizöl und Gas sowie Hackschnitzel und Pflanzenöl angeboten werden. Die Besonderheit der *sunmachine* ist, dass die Pellets nicht einer Verbrennung zugeführt werden, sondern in einem Holzvergaser vergast werden. Das dabei entstehende Gas wird in einem Upside-down-Brenner, bei dem die Flamme vertikal von oben nach unten auf den Erhitzerwärmetauscher gerichtet ist, verbrannt. Der Aufbau des Motors ist in Bild 21 dargestellt. Als Arbeitsgas wird im Stirlingmotor, α -Typ, Stickstoff eingesetzt [106], [107], [108].

Bild 21: Aufbau der *sunmachine* [107]

Die wesentlichen technischen Daten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 14: Technische Daten – *sunmachine* [108], eigene Darstellung.

Modell	P_{el} [kW]	P_{th} [kW]	$P_{Brennstoff}$ [kW]	η_{el} [%]	η_{th} [%]	η_{ges} [%]	Brennstoff
sunmachine	1,5 – 3	4,5 – 10	7,5 – 14,9	20 - 25	k. A.	ca. 90	Pellets

Microgen

Microgen Energy Limited Minerva Business Park Lynch Wood, Peterborough PE2 6FT UK	Tel: +44 1733 361002 www.microgen.com
--	--

Als Quelle dienen [4] und die Homepage des Unternehmens [95].

Das Modell *Microgen* ist ein BHKW mit einem Freikolben-Stirling-Motor, der vom amerikanischen Unternehmen *Sunpower Inc.* entwickelt wurde. *Microgen* hat eine weltweite Lizenz zur Anwendung des Motors in Mikro-KWK-Aggregaten. Es sind BHKW-Modelle mit einer elektrischen Leistung von 1,1 [kW_{el}] und einer thermischen Leistung zwischen 15 und 36 [kW_{th}] geplant. Alle Modelle sollen bis hinunter auf 5 [kW_{th}] thermische Leistung modulierbar sein, und der gewünschte Wirkungsgrad soll 90 % erreichen. Als Brennstoff wird Erdgas eingesetzt. Das BHKW ist mit zwei Brennern ausgestattet, einen für den Stirling-Motor und einen für die Bereitstellung zusätzlich benötigter Wärme. Ein Modul für netzunabhängigen Betrieb beziehungsweise für den Netzersatzbetrieb (siehe Kapitel 3.3) ist ebenfalls in Entwicklung. Von seiner Größe und Kompaktheit ist das Aggregat für die Wandmontage konzipiert.

Microgen befindet sich noch in der Feldtestphase. Prototypen liefen bereits erfolgreich 52.000 Betriebsstunden in Laborversuchen und in Feldtests in Großbritannien. Im Oktober 2005 wurde der erste Prototyp in den Niederlanden installiert und dort Feldtests unterzogen. Umfangreichere Feldtests sind für die Niederlande im Frühjahr 2006 geplant. Die Markteinführung des *Microgen* ist für das Jahr 2007 vorgesehen, zunächst in Großbritannien und dann in ausgewählten Ländern wie Holland und Deutschland.

2.3.4.1 Verzeichnis weiterer Hersteller

Tabelle 15: Weitere Hersteller – Stirling-BHKW

Firma	Modell	P_{el}/P_{th} [kW]	η_{el}/η_{ges} [%]	Besonderheiten
Menag Energie AG Bachmatten 5 CH-4435 Niederdorf Schweiz Tel.: +41 61 956 2500 www.menag-group.com/de/	ENX55	48/83	30/82	Die <i>Menag Group</i> führt den <i>ENX55</i> Stirlingmotor unter dem Label <i>Energy Now</i> am Markt ein. Der <i>ENX55</i> wird von <i>STM Power</i> - MI, USA – produziert. Das Unternehmen arbeitet seit 15 Jahren an der Forschung und Entwicklung eines Stirlingmotors mit doppelt wirkenden Zylindern und hat letztes Jahr die Feldversuche der Beta-Aggregate abgeschlossen [115], [116]. <ul style="list-style-type: none"> • Brennstoff: Erd-, Klär-, Holz-, Deponie-, Grubengas, Propan; Diesel, Methanol, Pflanzenöle; Abhitzenutzung.
STM Power 275 Metty Drive Ann Arbor MI 48103 USA www.stmpower.com	Power Unit	55/k. A.	k. A./k. A.	<ul style="list-style-type: none"> • Kompakte KWK-Anlage auf Basis eines Stirlingmotors. • Brennstoff: Klärgas, Deponiegas, Biogas, Fackelgas.
STIRLING SYSTEMS AG Säntisstrasse 50 CH-8200 Schaffhausen Schweiz Tel: +41 52 625 54 54 www.sticore.com www.stirling-systems.com	Stirling Energy Modul (SEM)	ca. 1,2/5	ca. 18/> 90	<ul style="list-style-type: none"> • Freikolben-Stirling-Maschine. • Brennstoff: Erdgas. • Thermische Leistung: Stirlingprozess + Zusatzbrenner 5 [kW_{th}]; Spitzenleistung bis zu [15 kW_{th}] geplant. • Entwicklungs- und Erprobungsphase. Dauertest eines Moduls in Neuhausen, Schweiz, mit 5.000 Betriebsstunden. • Im März 2005 wurde ein Feldtestprogramm bei EVU in der Schweiz und in Europa mit 5 Anlagen gestartet [117]. • Entwicklungsziel: Herstellung eines serienreifen Prototyps mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 25 % bis 2007.
BBT Thermotechnik GmbH Sophienstraße 30 - 32 35573 Wetzlar Deutschland Tel: +49 6441418 1739 www.bbt-thermotechnik.com	<i>BBT Thermotechnik</i> , ein Unternehmen, das aus der Zusammenführung der Heizungsaktivitäten von <i>Bosch</i> und <i>Buderus</i> entstanden ist, zeigte 2005 eine Vorentwicklungsstudie eines Gas-Zentralheizgerätes mit integriertem Stirlinggenerator für Ein- und Zweifamilienhäuser. Dabei wird ebenfalls ein Freikolben-Stirling-Motor verwendet [118]. <ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Leistung: 200 – 450 [W_{el}]. • Thermische Leistung: 1,5 – 3 [kW_{th}] plus 4 – 42 [kW_{th}] vom Heizgerät. • Elektrischer Wirkungsgrad: ca. 15 %. • Wartungsarmer Betrieb. • Prototyp im Jahr 2005 präsentiert. Aktuell Langzeittests des Stirling-Generators, Markteinführung nicht vor 2008. 			
Epas ressourcenschonende Produkte GmbH Zweinaundorfer Str. 207 D-04316 Leipzig Tel: +49-3 41/9 90-38 43 www.epas-gmbh.com	Das <i>Epas Stirling BM 1000</i> ist ein mit der Abwärme eines Holzpellets-Ofens beheizter und mit einem Stromerzeugungssystem gekoppelter Stirlingmotor mit einer elektrischen Leistung von 1 [kW _{el}].			

<p>Enatec micro-cogen B.V. P.O. Box 105 NL 7130 AC Lichtenvoorde Niederlande</p> <p>Tel.: +31 54439 1844 www.enatec.com www.rinnai.co.jp/en/index.html www.infiniacorp.com/main.htm</p>	<p>Kooperation zwischen dem niederländischen Unternehmen <i>Enatec micro-cogen B. V.</i>, dem japanischen Konzern <i>Rinnai Corporation</i> und dem amerikanischen Unternehmen <i>Infinia Corporation</i> (vormals <i>Stirling Technology Company</i>). Zielsetzung ist die Serienproduktion von Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungen auf Basis von Stirling-Motoren.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Freikolben-Stirling-Motor mit Linear-Generator, kombiniert mit Gas-Brennwertkessel. • Elektrische Leistung: 1 [kW_{el}] • Thermische Leistung: 6 – 24 [kW_{th}] • Elektrischer Wirkungsgrad: $\eta_{el} = 10 \%$. • Sehr niedrige NO_x-Emissionen. • Feldtests mit 10 Geräten im Labor und in Einfamilienhäusern von 2003 bis 2004. Serienproduktion für Japan 2007 erwartet, in Europa und USA für 2008.
---	---

2.3.5 Stirling-Aktivitäten in Österreich

Solo Stirling Netzwerk Österreich

In Österreich wurde eine Kooperationsvereinbarung zwischen den Energieversorgungsunternehmen *Wels Strom* und *E-Werk Gösting* über das *Solo Stirling Netzwerk Österreich* im November 2005 geschlossen. Ziel ist die Markteinführung und der Vertrieb des *Solo Stirling Moduls*.¹⁴

Solo Stirling Netzwerk Österreich	
<p>E-Werk Gösting GmbH & Co KG (Vertriebsgebiet: Osttirol, Kärnten, Steiermark, Burgenland, Wien) Viktor-Franz-Straße 13- 23 A-8051 Graz</p> <p>Tel: +43 316-60 77-63 www.ewg.at</p>	<p>Wels Strom GmbH (Vertriebsgebiet: Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Ober-, Niederösterreich, Wien) Durisolstraße 3 A-4602 Wels</p> <p>Tel: +43 7242-493-411 www.eww.at</p>

Als Quellen für die Referenzen in Österreich dienten Telefongespräche.^{14, 15}

- Das *E-Werk Gösting* hat im April 2004 zwei *Solo Stirling 161* im Stuckitzbad in Graz offiziell in Betrieb genommen.



Bild 22: Solo Stirling 161 microKWK-Modul im Stuckitzbad in Graz¹⁶

¹⁴ Telefonat: Hr. Ing. Weigend, *Elektrizitätswerk Gösting V. Franz GmbH & Co KG*, 12.01.2006.

¹⁵ Telefonat: Hr. Berger, *Wels Strom GmbH*, 12.01.2006.

¹⁶ *Elektrizitätswerk Gösting V. Franz GmbH & Co KG*: Innovative Systeme – Kraft-Wärme-Kopplung. <http://www.ewg.at/Leistungsbereiche/innovativesysteme/kwk.htm> (Jänner 2006).

- 2 weitere Anlagen wurden in Graz im Jahr 2005 in Betrieb genommen.
- *Wels Strom* betreibt eine Anlage im unternehmenseigenen Fernheizwerk in Wels und eine Anlage im eigenen Werkstätten-/Verwaltungsgebäude. Es wurde bis dato noch keine Anlage an einen Kunden verkauft. Die Erfahrungen werden grundsätzlich als positiv bewertet, das System funktioniert stabil.

Bios Bioenergiesysteme

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH Inffeldgasse 21b A-8010 Graz	Tel: +43 316-481300 www.bios-bioenergy.at
---	---

Als Quelle für diese Darstellung diente die Homepage des Unternehmens [90].

Im Rahmen einer Forschungs- und Entwicklungszusammenarbeit der *Bios Bioenergiesysteme GmbH*, der *Mawera Holzfeuerungsanlagen GmbH* und der *Technischen Universität Dänemark* wurde eine KWK auf Basis eines Stirlingmotors mit einer Biomassefeuerung entwickelt. Als Brennstoffe können Hackschnitzel, Sägespäne und Pellets mit einem geringen Anteil an Rinde eingesetzt werden. Die Nennleistungen der Aggregate betragen 35 und 75 [kW_{el}].



Bild 23: Stirling-KWK – 35 [kW_{el}] [91]



Bild 24: Stirling-KWK – 75 [kW_{el}] [91]

Es werden folgende Referenzanlagen angeführt.

- Die KWK-Technologie auf Basis eines 35 [kW_{el}] Stirlingmotors wurde über 7.000 Betriebsstunden erfolgreich getestet und im Jahr 2002 im Rahmen eines kommerziellen Projekts im Biomasse Fernheizwerk Oberlech realisiert.

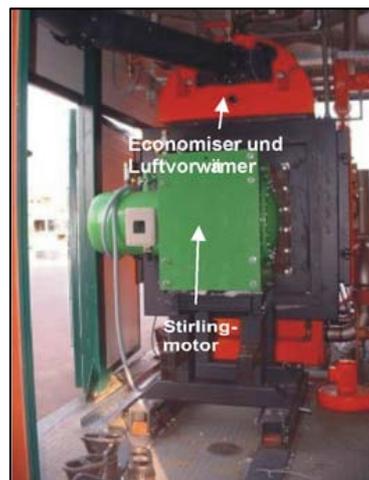


Bild 25: KWK auf Basis eines Stirlingmotors in Oberlech [90]

- Im Herbst 2003 wurde eine Pilotanlage mit einem 75 [kW_{el}] Stirlingmotor in Betrieb genommen, die bis März 2004 über 2.000 Stunden erfolgreich betrieben wurde.
- Im Biomasse-Fernheizkraftwerk Feldbach wurde im Jahr 2004 in die bestehende Anlage ein Stirlingmotor mit 35 [kW_{el}] eingebaut, wobei diese Anlage bereits eine Weiterentwicklung der Pilotanlagentechnologie darstellt.
- Das Biomasse-Fernheizkraftwerk Birkfeld wird mit einer 75 [kW_{el}] Stirlingmotorenanlage nachgerüstet.

„Die neu entwickelte KWK-Technologie stellt weltweit die erste erfolgreiche Anwendung von Stirlingmotoren in Biomassefeuerungen im Leistungsbereich kleiner 100 [kW_{el}] dar und kann als Durchbruch bei der Nutzung von Biomasse in KWK-Anlagen im kleinen Leistungsbereich angesehen werden.“¹⁷

Joanneum Research

<p>JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH Institut für Energieforschung</p> <p>Elisabethstraße 5/I A-8010 Graz</p>	<p>Tel: +43 316 876-1338</p> <p>www.joanneum.at</p>
--	--

Als Quellen für diese Darstellung dienten [5], [89] und ein Telefongespräch.¹⁸

Das Forschungsinstitut *Joanneum Research* in Graz entwickelte einen α -Typ Stirlingmotor, der speziell für Biomasse konstruiert wurde und eine elektrische Leistung von 3 [kW_{el}] aufweist. Dabei handelt es sich um eine Laboranlage, die für einen späteren Einsatz in Entwicklungsländern gedacht war. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf den Erhitzerwärmetauscher gelegt. Die Anlage wird im Rahmen eines EU-Demonstrationsprojekts zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung verwendet. Sie diene auch als Vorstufe zur Entwicklung eines 30 [kW] Stirlingmotors der gleichen Bauart. Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Firma

¹⁷ *Bios Bioenergiesysteme GmbH*: Beschreibung der Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie auf Basis Stirlingmotor.

<http://www.bios-bioenergy.at/bios01/biomass/de/stirling.html> (Februar 2006).

¹⁸ Telefonat: Hr. Dr. Padinger, *Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH*, 27.07.2006.

Leobersdorfer Maschinenfabrik AG wurde dieser α -Typ-Stirlingmotor mit einer Nennleistung von 30 [kW] bei *Joanneum Research* geplant und in der eigenen Werkstätte gebaut. Als Brennstoff wird feste Biomasse verwendet. Wesentliche Kenndaten - wie die Motorleistung von 30 [kW] und ein Motorwirkungsgrad von 26 % - konnten bei Versuchsläufen im Labor erreicht werden. Der Stirlingmotor soll im Frühjahr 2006 im Biomasse-Fernheizwerk im ÖKOPARK in Hartberg eingebaut werden.

Austrian Bioenergy Centre

Austrian Bioenergy Centre GmbH Inffeldgasse 21b A-8010 Graz Tel: +43 316 873-9201 www.abc-energy.at	Gesellschafter des Austrian Bioenergy Centre HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg BLT Technische Universität Graz BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH Technische Universität Wien Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH
---	---

Im Rahmen von Projekten beschäftigte sich das *Austrian Bioenergy Centre* mit der Weiterentwicklung und Optimierung von Biomasse-KWK auf Basis des ORC-Prozesses und des Stirlingmotors. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf einzelnen Systemkomponenten und den Schnittstellen zwischen der Feuerungsanlage und dem jeweiligen Kraftprozess. Ein aktuelles Ergebnis dieser Tätigkeiten ist ein neuer Erhitzerwärmetauscher für Biomasse-KWK mit Stirlingmotoren [39].

Stirling Power Module Energieumwandlungsges mbH

Stirling Power Module Energieumwandlungsges mbH Nikolaus Schönbacher Strasse 7 A-8052 Graz	Tel: +43 316 58 14 33 http://www.stirlingpowermodule.com/
---	--



Bild 26: *Stirling Power Module* [109]

Ziel des im Jahr 2003 gegründeten und in Graz ansässigen Unternehmens *Stirling Power Module Energieumwandlung* ist die Entwicklung und Produktion eines preiswerten Stirling-Moduls zur Erzeugung von elektrischer Energie beim Betrieb einer Pelletsheizung. Dabei handelt es sich um einen 4-Zylinder Stirlingmotor mit einer elektrischen Leistung von 1 [kW_{el}]. Die zum Patent angemeldete geräuschlose und vibrationsarme Motor-Generator-Einheit kann in viele konventionelle, am Markt befindliche Biomassefeuerungsanlagen für Wohnbauten eingebaut werden, siehe Bild 26. Die Entwicklung, die Vermarktung und der Vertrieb sollen zunächst exklusiv mit einem an der Firma beteiligten, österreichischen Hersteller von Biomassefeuerungsanlagen erfolgen, später soll das Modul mittels eines Adapters allen interessierten Heizkesselherstellern zur Verfügung stehen. Im Winter 2006/2007 soll ein Feldtest mit 40 Aggregaten beginnen, und ab dem Jahr 2007 soll das Produkt – positive Feldtests vorausgesetzt – für Endkunden erhältlich sein [109].

2.4 Dampfkolbenmotor

2.4.1 Technologiebeschreibung

Dampfkolbenmotoren sind Entspannungsmaschinen. Das bedeutet, dass der unter Druck stehende Dampf unmittelbar auf den Kolben drückt und diesen dadurch bewegt. Basis für die Entwicklung von Dampfkolbenmotoren waren die klassischen Dampfmaschinen aus dem 19. Jahrhundert. Sie stellen eine ausgereifte Technologie dar und können in einem Leistungsbereich von 20 [kW_{el}] bis ca. 1.500 [kW_{el}] eingesetzt werden. Durch die Eignung für kleine Leistungsgrößen sind sie auch für Anwendungen zur dezentralen Energiebereitstellung interessant [5].

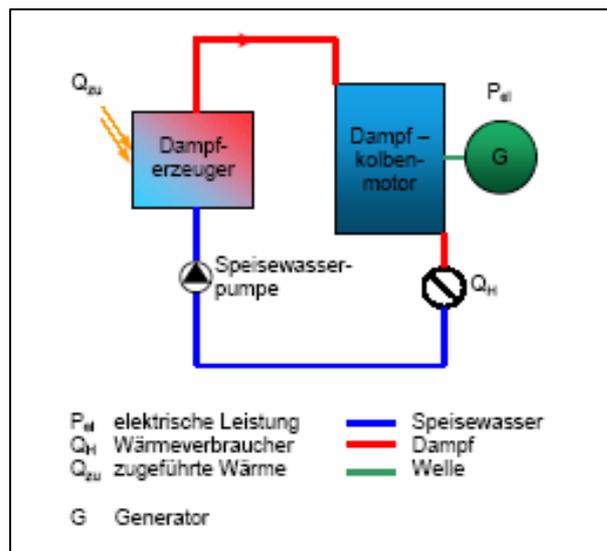


Bild 27: Schema einer KWK-Anlage mit Dampfkolbenmotor [2]

Die Hauptkomponenten der KWK sind der Dampferzeuger, der Dampfkolbenmotor, der Generator, der Kondensator und die Speisewasserpumpe, siehe Bild 27. In der Feuerung wird der Brennstoff verbrannt, und das dabei entstehende Rauchgas durchströmt einen Dampfkessel, in dem Dampf erzeugt wird. Der Dampf strömt anschließend in den Dampfkolbenmotor. Dort leistet er durch Entspannung mechanische Arbeit, die im Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Danach wird der Dampf in den Kondensator geleitet, wo die anfallende Kondensationswärme zur Wärmebereitstellung genutzt werden kann. Die Speisewasserpumpe bringt das Wasser anschließend auf Betriebsdruck und führt es dem Kessel zu. Damit ist der der Kreislauf wieder geschlossen. Im Prinzip entspricht der Prozess dem Dampfturbinenprozess, bei dem anstatt der Turbine ein Kolbenmotor eingesetzt wird [2], [5].

Funktionsweise

Ein Dampfmotor kann aus einem oder mehreren Zylindern bestehen. Zu jedem Zylinder gehören ein Arbeitskolben (Dampfkolben) und ein Regelkolben. Dadurch besitzt der Motor zwei Wellen, eine Regelwelle und eine Arbeitswelle. Die Arbeitsweise des Dampfkolbenmotors ist in Bild 28 dargestellt. Der Dampf strömt in den Zylinder ein (Bild a), bis der Einlassvorgang durch den Regelkolben unterbunden wird. Der Dampf entspannt sich und leistet am Kolben Arbeit, die über eine Pleuelstange auf die Arbeitswelle übertragen wird (Bild b). Durch die Entspannung vergrößert sich das Volumen, und der Druck nimmt kontinuierlich ab. Nach Erreichen des Totpunktes bewegt sich der Regelkolben wieder nach rechts und gibt das Auslassventil frei. Der Dampf kann aus dem Zylinder herausströmen (Bild c), und der Vorgang beginnt wieder von neuem. Die Leistungsregelung des Dampfkolbenmotors erfolgt über den Hub des Regelkolbens, der die eintretende Dampfmenge bestimmt [2].

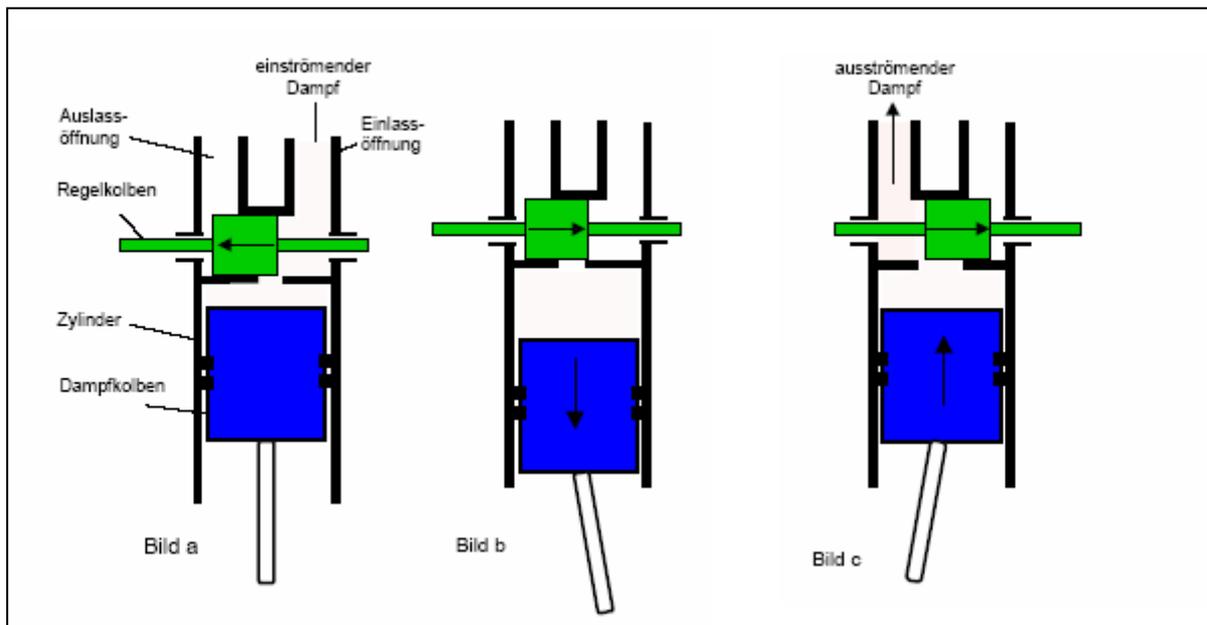


Bild 28: Prinzipschaubild eines Dampfkolbenmotors [2]

Dampfkolbenmotoren zeichnen sich durch ihre Robustheit und Langlebigkeit aus. Darüber hinaus haben sie ein sehr gutes Teillastverhalten, und der modulare Aufbau des Motors erlaubt eine sehr gute – auch nachträgliche – Anpassung an die gegebenen Betriebsbedingungen und den benötigten Bedarf an Strom und Wärme. Dampfkolbenmotoren können auch Schwankungen der Dampfqualität hinsichtlich Temperatur und Dampfstrom besser verarbeiten als Turbinen. Diese Schwankungen können bei der Verfeuerung von Biomasse aufgrund des unterschiedlichen Wassergehalts des eingesetzten Brennstoffs auftreten [5], [30].

Als Nachteil erweist sich jedoch der geringe elektrische Wirkungsgrad im Bereich von 6 bis 20 %. Weiters ist der Dampfkolbenmotor relativ wartungsintensiv, und er erreicht einen hohen Lärmpegel (bis zu 95 dB(A)). Dadurch ist eine Anwendung dieser Technologie ohne entsprechende Schallschutzmaßnahmen in Wohnhäusern und dergleichen nicht möglich [2].

2.4.2 Brennstoffe

Grundsätzlich ist der Betrieb des Dampfkolbenmotors mit jedem Brennstoff möglich. Aus diesem Grund ist er natürlich für den Einsatz erneuerbarer Energieträger besonders interessant. Es können Hackschnitzel, Energiepflanzen, Resthölzer und andere Reststoffe verwendet werden. Darüber hinaus kann auch Abwärme aus Produktionsprozessen zur Dampferzeugung genutzt werden.

2.4.3 Herstellerübersicht und Märkte

Für Kraft-Wärme-Kopplungen mit einem Dampfkolbenmotor im eigentlichen Sinn konnte im deutschsprachigen Raum ein Hersteller recherchiert werden. Ende des Jahres 2005 ist eine sehr interessante Entwicklung eines weiteren Herstellers im Bereich dampfbetriebener Motoren auf den Markt gekommen. Es handelt sich dabei um ein Blockheizkraftwerk im untersten elektrischen Leistungsbereich, das keinen Dampfkolbenmotor im herkömmlichen Sinn verwendet, aber ebenfalls mit Prozessdampf arbeitet. Daher wurde es in dieses Kapitel der

Ausarbeitung aufgenommen. In dem Aggregat, bei dem zur Gänze auf drehende Teile verzichtet wird, kommt ein Doppelfreikolben zur Anwendung.

Spilling Energie System GmbH

Spilling Energie System GmbH Werftstrasse 5 D-20457 Hamburg	Tel: +49 (0) 40-789175-0 www.spilling.de
--	--

Der deutsche Anlagenbauer *Spilling* stellt Dampfkolbenmotoren zur Energieerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen her. Die Modellpalette erstreckt sich über einen elektrischen Leistungsbereich von 140 bis 1.050 [kW_{el}], siehe Tabelle 16. In den Anlagen können unterschiedlichste Brennstoffe, sowohl fossile als auch erneuerbare, eingesetzt werden. Der Standardlieferungsumfang beinhaltet den Dampfkolbenmotor mit Generator und Steuerung. Ergänzend können Anlagenteile wie die Dampfreduzierstation, der Kondensationswärmetauscher inklusive Kondensatsammeltank mit Rückförpumpen geliefert werden. Der Dampferzeuger und die Feuerungsanlagen müssen hingegen von spezialisierten Herstellern zugekauft werden [30]. In Bild 29 ist der Energiefluss einer Biomasse Kraft-Wärme-Kopplung mit Dampfkolbenmotor dargestellt.

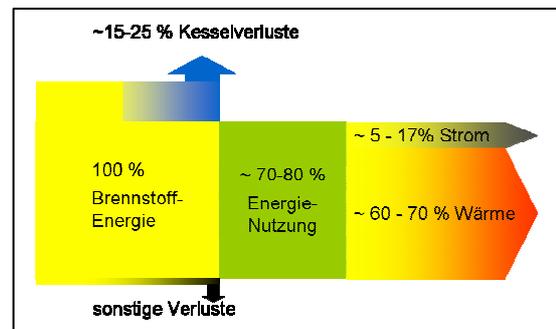


Bild 29: Energiefluss bei Biomasse-KWK mit *Spilling* Dampfkolbenmotor [30]



Bild 30: Anlagenbeispiel eines *Spilling* Dampfkolbenmotors [30]

Der Betrieb und die Wartung der Motoren werden dadurch erheblich einfacher und wirtschaftlicher [30].

Der *Spilling*-Motor ist ein modular aufgebauter Dampfkolbenmotor, siehe Bild 30. Er kann an unterschiedliche Dampfbedingungen angepasst werden und ist speziell für den Einsatz in kleinen und mittleren Dampfkraftanlagen entwickelt, die in erster Linie als Kraft-Wärme-Kopplungen betrieben werden. Eine Besonderheit ist, dass der Motor für Trockenlauf konzipiert ist. Die Kolben und Schieber sowie die Abdichtungen der Kolben und Schieberstangen werden nicht mit Öl geschmiert. Dies wird durch die Auswahl besonderer Materialpaarungen, die selbst schmierende Eigenschaften aufweisen, erreicht. Es existieren daher keine Zylinderschmiersysteme, und es muss kein Öl aus dem Abdampf und dem Kondensat abgeschieden werden.

Tabelle 16: Technische Daten – *Spilling* Dampfmotoren [30]

<i>Spilling</i> Biomasse Heiz-Kraft-Anlagen				
Elektrische Generatorleistung [kW]	140	350	700	1.050
Brennstoff Hackschnitzel [t/h]	~ 0,4	~ 1,1	~ 2,3	~ 3,3
Dampfdruck [bar]	25	25	25	25
Dampftemperatur [°C]	250	250	250	250
Dampfproduktion [t/h]	1,9	4,1	8,3	12,4
Gegendruck [bar]	0,5	0,5	0,5	0,5
Abdampftemperatur [°C]	~ 110	~ 110	~ 110	~ 110
Wärmeleistung [MW]	~ 1,1	~ 2,3	~ 4,6	~ 7,0

OTAG – Modell *lion* Powerblock

OTAG Vertriebs GmbH & Co.KG Zur Hammerbrücke 9 D-59939 Olsberg	Tel: +49 29 62 / 88 13 39 www.otag.de
---	---

Für diese Darstellung wurden die Homepage des Unternehmens sowie folgende Quellen herangezogen: [4], [100].

Bild 31: *lion* Powerblock¹⁹

Das deutsche Unternehmen OTAG bietet mit dem Modell *lion Powerblock* ein BHKW mit geschlossenem Prozessdampfbetrieb an. Die Besonderheit an diesem Aggregat ist, dass es keinen Dampfkolbenmotor im herkömmlichen Sinn, sondern einen freischwingenden Doppelkolben mit integriertem Lineargenerator verwendet. Dieses Konzept verzichtet dabei vollständig auf drehende Teile. Darüber hinaus gibt es im *lion Powerblock* keine Lager, und er benötigt keine Betriebshilfsstoffe. Als Brennstoff können Erdgas und Flüssiggas eingesetzt werden. Das BHKW ist im untersten Leistungsbereich angesiedelt und weist eine modulierbare elektrische Leistung von 0,2 bis 3,0 [kW_{el}] auf. Weitere wesentliche technische Daten sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Das Funktionsprinzip des *lion Powerblocks* ist in Bild 32 dargestellt. Der Gasbrenner erhitzt Wasser in einem Rohrverdampfer und erzeugt Prozessdampf mit einer Temperatur von ca. 400 [°C] und einem Druck von 25 bis 30 [bar]. Anschließend tritt der Dampf abwechselnd in den linken und rechten Arbeitszylinder ein. Der Dampf entspannt sich und leistet Arbeit am Doppelkolben, der die mit dem Kolben fest verbundene Ankerspule durch ein starkes Magnetfeld hin- und herbewegt. Der in der Spule erzeugte Strom wird in einem Wechselrichter umgewandelt und anschließend in das Netz gespeist. Der Kühlkreislauf führt die beim Prozess anfallende Wärme über einen Plattenwärmetauscher ab und übergibt diese an den Heizungs- und Brauchwasserkreislauf. Der Dampf kondensiert und wird anschließend dem

¹⁹ OTAG GmbH & Co KG: Produktfoto *lion Powerblock*.
<http://www.otag.de/presse.htm> (Juni 2006).

Verdampfer zugeführt. Der Kreislauf ist geschlossen, und der Prozess beginnt wieder von vorne.

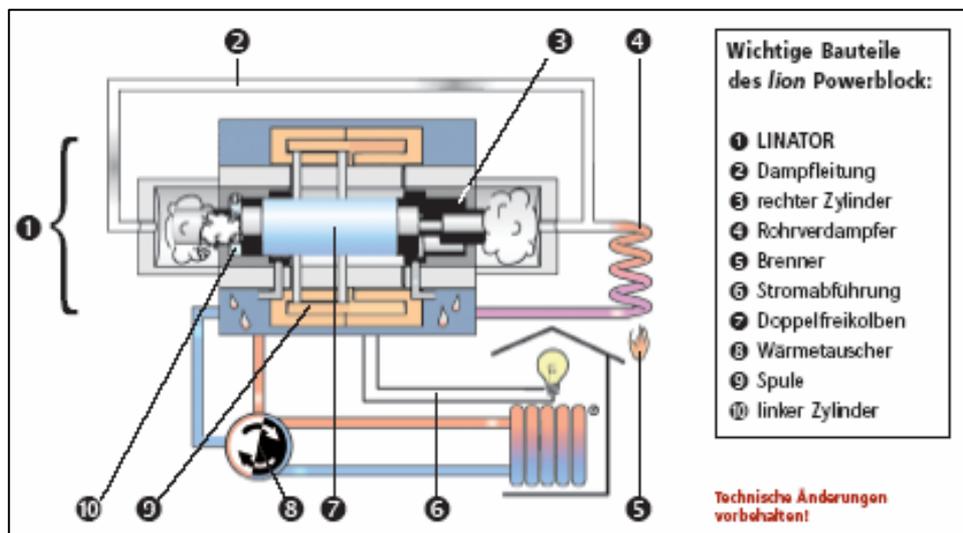


Bild 32: Vereinfachtes Funktionsschema – *lion Powerblock* [100]

Der *lion* wird - eventuell in Verbindung mit einem Spitzenkessel – an den Heizwasserkreislauf und an die elektrische Anschlussstelle im Gebäude angeschlossen. Durch seine Leistungsgröße und seinen weiten Modulationsbereich eignet er sich auch für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Darüber hinaus kann das Aggregat als normale Heizung arbeiten, falls der Generator keinen Strom erzeugt. Als Vorteile werden ein leiser Betrieb und lange Wartungsintervalle genannt, und es wird von einer geschätzten Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen.

Tabelle 17: Technische Daten – *lion Powerblock* [100], eigene Darstellung

Kraftwandler	Freikolbendampfmaschine mit integriertem Lineargenerator (LINATOR®)
Brennstoff	Erdgas, Flüssiggas
Spannung	230 [V] AC, 50 [Hz]
Anschluss	3 Phasen
Elektrische Leistung (modulierend)	0,2 - 3,0 [kW]
Thermische Leistung (modulierend)	2,0 - 16,0 [kW]
Brennstoffnutzungsgrad (abhängig von der Rücklauftemperatur)	bis zu 98,5 %
Arbeitsfrequenz (Frequenz der Schwingung wird als Hubzahl pro Minute angegeben.)	40 – 75 [Hz] = 2.400 – 4.500 [Hübe/min].
Geräusch	ca. 42 [dB (A)]
Abmessungen (HxBxT)	126 x 62 x 83 [cm]
Gesamtgewicht	ca. 190 [kg]

Seit dem Frühjahr 2004 erfolgten Feldtests mit 10 Geräten. Nach Herstellerangaben wurden Anfang des Jahres 2006 die ersten Geräte ausgeliefert, und die Serienproduktion aufgenommen [101]. Modelle des *lion Powerblocks* für den Einsatz von Holzpellets bzw. Heizöl sollen voraussichtlich im Jahr 2007 verfügbar sein.

2.4.4 Weitere Hersteller, Entwicklungen und Märkte

Button Energy Energiesysteme

Button Energy Energiesysteme GmbH Gurkgasse 16 A-1140 Wien	Tel: +43 1-983 30 46 www.buttonenergy.at
---	--

Das österreichische Unternehmen *Button Energy Energiesysteme* ist Kooperationspartner der *OTAG GmbH* für die Entwicklung und Herstellung des *lion Powerblock*. Sie produziert und liefert den Dampfgenerator, den Dampfkessel und die Hydraulik. *OTAG* liefert die Elektronik und das Gehäuse zu den Anlagen, übernimmt die Endfertigung und vertreibt den *lion Powerblock*. Zurzeit steht *Button Energy* auch in der Entwicklung eines eigenen KWK-Moduls mit der Bezeichnung *Bison* für den Einsatz von Biomasse. Diese Anlage beruht auf der gleichen Technologie und den gleichen Komponenten, wie sie für den *lion Powerblock* produziert werden. Einen Vertrieb des *lion Powerblock* gibt es durch das Unternehmen ab dem Jahr 2007.²⁰

2.5 Zusammenfassung Stand der Technik

Dieses Kapitel soll einen Überblick über den Entwicklungsstand der beschriebenen Technologien bieten. Das soll anhand des Forschungs- und Technologieentwicklungszyklus (FTE) der Produktentwicklung, der von der Forschung bis hin zur Kommerzialisierung eines Produktes reicht, beispielhaft verdeutlicht werden, siehe Bild 33. BHKW mit Brennstoffzellen liegen in der FTE-Kette noch am weitesten zurück. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit auch nicht näher darauf eingegangen.

Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotoren stellen eine ausgereifte Technologie und somit den Stand der Technik dar und sind in einem breiten Leistungsspektrum verfügbar. Die Vielzahl an Herstellern, die alleine für den deutschsprachigen Raum recherchiert werden konnten, ist ein Zeichen dafür, dass bei diesem BHKW-Typ der Markteintritt im letzten Jahrzehnt erfolgreich geschaff wurde, und es sich bereits um einen sehr wettbewerbsfähigen Markt handelt. Dabei werden Erdgas befeuerte Otto-Motoren am häufigsten eingesetzt. Aber auch der Einsatz von Pflanzenöl in Motoren zur kombinierten Strom- und Wärmeenergieerzeugung ist bereits sehr weit fortgeschritten. Allerdings liegen hier noch nicht so viele Langzeiterfahrungen wie im Vergleich zu den Gas-Otto-Motoren vor. Die Verwendung von Pflanzenöl wird sicherlich noch weiter Gegenstand von Entwicklungsvorhaben bleiben und weiteres Verbesserungspotenzial bieten.

Bei Gasmotoren im kleinen Leistungsbereich ist es gelungen, besonders kompakte und benutzerfreundliche Anlagen zu entwickeln. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Trend zu noch kleineren Leistungsgrößen – wie sie beispielsweise mit dem BHKW von *Honda* bereits bestehen – weiter fortsetzen wird. Als Innovation bei motorischen BHKW ist die stufenlose, drehzahlabhängige Leistungsmodulation zu erwähnen. Dadurch ist ein Betrieb ohne Wirkungsgradeinbußen möglich, und das Gerät kann sich optimal dem schwankenden Wärme- bzw. Strombedarf anpassen. Diese beiden Entwicklungen eröffnen neue Möglichkeiten für den Einsatz von KWK auf Basis von Verbrennungsmotoren im Ein- und Zweifamilienhausbereich.

²⁰ Telefonat: Hr. Ing. Knopf, *Button Energy Energiesysteme GmbH*, 27.07.2006.

Gasmotoren sind bereits hoch entwickelt. Verbesserungsmöglichkeiten werden noch in einer weiteren Steigerung des Wirkungsgrades und zusätzlichen Minderung der Emissionen durch innovative Verbrennungsregelungen gesehen, siehe dazu [12] und [37].

Auch Mikrogasturbinen konnten in den letzten Jahren eine hohe technologische Reife erreichen, der entscheidende Marktdurchbruch in Europa steht aber noch aus. Darüber hinaus ergab die Recherche eine relativ begrenzte Zahl an Herstellern, von denen nur zwei in Europa ansässig sind. Bei den übrigen Herstellern konnte nicht zu jedem eine Aussage über die Verfügbarkeit und den Vertrieb – insbesondere im deutschsprachigen Raum – getroffen werden. Im kleinsten Leistungsbereich nimmt der amerikanische Hersteller *Capstone* sicherlich eine führende Stellung ein.

Die spezifischen Investitionskosten von Mikrogasturbinen liegen etwas höher als jene von motorischen BHKW. Jedoch werden hinsichtlich Wartungs- und Instandhaltungskosten ökonomische Vorteile für die Mikrogasturbine aufgrund der Konstruktionscharakteristik erwartet. Sämtliche rotierende Teile sind auf einer einzigen Welle angeordnet, und ein Hersteller verwendet darüber hinaus Luftlager, so dass keine Schmiermittel nötig sind. Weiters kommt die Mikrogasturbine ohne Kühlmittel aus. Ein weiterer Vorteil sind die außerordentlich niedrigen Emissionswerte, die mit Mikrogasturbinen erreicht werden. Allerdings weisen BHKW mit Gasmotoren der gleichen Leistungsklasse deutlich bessere elektrische Wirkungsgrade und Gesamtwirkungsgrade auf, was einen nicht zu vernachlässigenden Nachteil für Mikrogasturbinen darstellt. Mikrogasturbinen können allerdings für jene Anwendungen von besonderem Interesse sein, die abwärmeseitig ein hohes Temperaturniveau benötigen.

Bei den BHKW, die auf Basis eines Stirlingprozesses arbeiten, soll hinsichtlich des Entwicklungsstandes eine Unterscheidung zwischen Erdgas befeuerten BHKW und jenen, die Biomasse als Brennstoff verwenden, getroffen werden.

Stirling-BHKW, die Erdgas einsetzen, sind technisch so weit fortgeschritten, dass erste Verbreitungsaktivitäten durchgeführt werden. Es gibt zwei Hersteller, die eine Serienproduktion aufgenommen haben und in Europa mit der Markterschließung beginnen. In Österreich versuchen dabei zwei Energieversorger, die Markteinführung eines Produktes aktiv zu unterstützen.

Stirling-BHKW weisen zwar etwas höhere spezifische Investitionskosten auf als vergleichbare Motor-BHKW, jedoch sollten die Wartungs- und Instandhaltungskosten niedriger sein. Weiters erreichen Stirling-Motoren sehr niedrige Emissionswerte, die aufgrund der äußeren, stationären Verbrennung realisiert werden können. Sie sind auch leiser und vibrationsärmer als Verbrennungsmotoren und zeichnen sich durch einen weiten Modulationsbereich aus. Nachteilig sind sicherlich die deutlich geringeren elektrischen Wirkungsgrade im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren.

Dabei ist aber zu bedenken, dass gerade die Aggregate im kleinsten Leistungsbereich als „Heizung“ anzusehen sind, die strikt wärmegeführt betrieben wird und bei der als Nebenprodukt elektrische Energie entsteht. Höchste Priorität hat daher der Eigenverbrauch des produzierten Stroms bei gleichzeitiger Nutzung der erzeugten Wärme [7].

Aussagekräftige Beurteilungen sind aufgrund der geringen Langzeiterfahrungen mit den Aggregaten beim Betrieb vor Ort und der fehlenden Marktdurchdringung noch schwer möglich. Das Segment der Stirling-BHKW weist auf jeden Fall eine sehr dynamische Entwicklung auf, weitere Hersteller stehen an der Schwelle zur Marktreife.

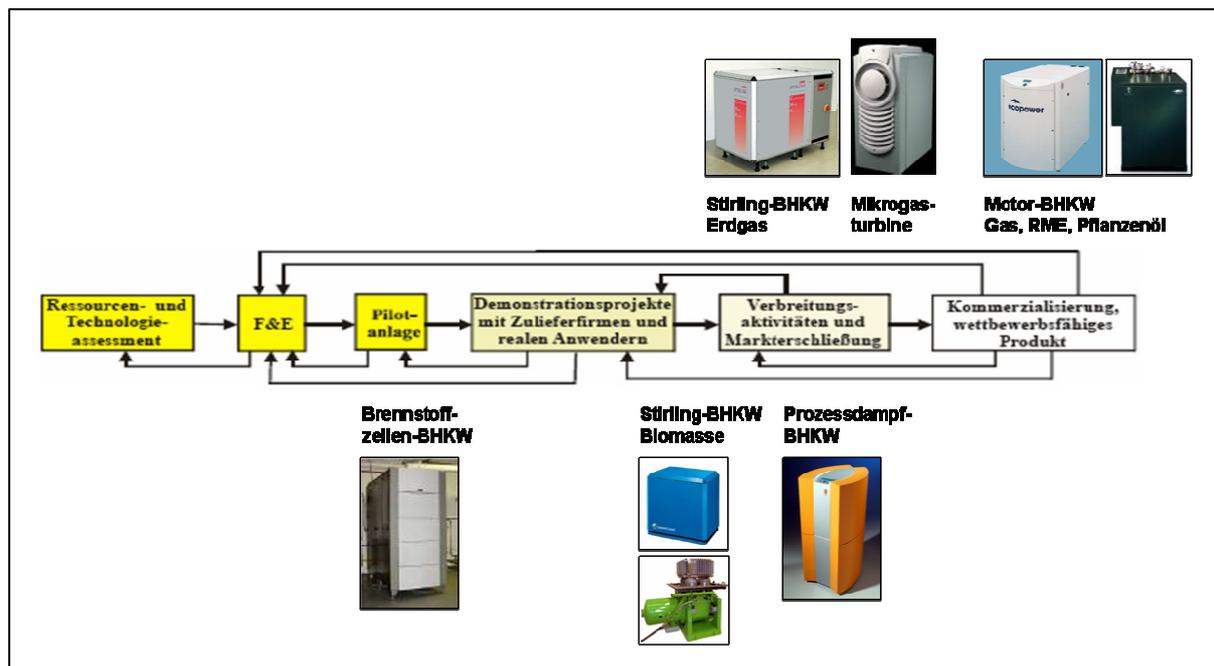


Bild 33: Forschungs- und Technologieentwicklungskette [1], eigene Darstellung

Stirling-BHKW, bei denen feste Biomasse als Brennstoff eingesetzt wird, sind in der Entwicklung noch nicht so weit fortgeschritten wie die Modelle mit Erdgas. Ein Produkt, bei dem das aus der Vergasung von Pellets entstehende Produktgas genutzt wird, soll unmittelbar vor der Markteinführung stehen. Stirling-Motoren, die in Biomassefeuerungen mit Hackschnitzel zum Einsatz kommen, werden bereits in zahlreichen Demonstrationsanlagen eingesetzt. Hier ist besonders auf die Aktivitäten in Österreich hinzuweisen, die in Zusammenarbeit mit bzw. von heimischen Unternehmen durchgeführt werden. Für die endgültige Marktreife wird noch weiteres Entwicklungs- und Optimierungspotenzial gesehen.

Dampfkolbenmotoren stellen zwar seit langem eine marktreife Technologie dar, sind aber weit nicht so verbreitet wie andere KWK-Technologien. Für Dampfkolbenmotoren im eigentlichen Sinn konnte überdies nur ein Hersteller recherchiert werden. Der geringe elektrische Wirkungsgrad stellt sicherlich ein Hemmnis für bestimmte Anwendungen dar.

Daher werden Dampfkolbenmotoren vor allem dort eingesetzt, wo billige Brennstoffe für die Feuerung vorhanden sind, deren sonstige Weiterverwendung oder Aufbereitung nicht wirtschaftlich wäre bzw. zusätzliche Kosten verursachen würde. Beispiele dafür sind die Verbrennung von Reststoffen und Abfällen aus Holz und anderer Biomasse. In diesen Fällen können Dampfkolbenmotoren eine energetisch sinnvolle Lösung darstellen [30].

Vor kurzem ist eine sehr interessante Entwicklung eines BHKW auf den Markt gekommen, das auf Basis eines geschlossenen Prozessdampfbetriebes arbeitet aber keinen Dampfkolbenmotor im klassischen Sinn verwendet. Das Unternehmen beginnt soeben mit ersten Verbreitungsaktivitäten und der Markterschließung. Der elektrische Wirkungsgrad dieses mit Prozessdampf betriebenen BHKW ist eher bescheiden. Jedoch kann es aufgrund seiner Leistungsgröße Anwendungsmöglichkeiten im Einfamilienhausbereich eröffnen, wo es wiederum als „Heizung“ gesehen werden muss, die als Nebenprodukt Strom erzeugt, der in erster Linie zur Abdeckung des Eigenbedarfs dient.

3 Planung und Auslegung von Blockheizkraftwerken

Die richtige Dimensionierung und Auslegung ist ein entscheidendes Kriterium für den Einsatz eines BHKW und folglich auch für die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage. Wird ein BHKW zu klein dimensioniert, kann nicht das gesamte Einsparungspotenzial hinsichtlich der Energiekosten ausgeschöpft werden. Wird es hingegen zu groß ausgelegt, dann muss es zur Deckung des Bedarfs je nach Modell häufig im Teillastbetrieb – verbunden mit schlechteren Wirkungsgraden – oder im Taktbetrieb, das bedeutet oftmaliges Hoch- und Niederfahren des Aggregats, gefahren werden. Unterschiedliche Randbedingungen erfordern im Allgemeinen, dass die Auslegung eines Blockheizkraftwerkes auf jede Planung individuell abgestimmt wird [1].

Die VDI-Richtlinie 3985 „Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen“ [45] bietet ein formalisiertes Konzept für die Realisierung einer solchen Anlage. Darin werden die drei Phasen Planung, Ausführung und Inbetriebnahme definiert und ausführlich beschrieben. Im Anhang A.2 ist das Arbeitsablaufdiagramm der Richtlinie mit den wesentlichen Arbeitsschritten hinsichtlich Voruntersuchung, Planung und Auftragsvergabe abgebildet. Die Richtlinie liefert zwar wichtige Anhaltspunkte, eine solch umfassende Aufarbeitung scheint aber erst für BHKW im Megawatt-Leistungsbereich gerechtfertigt zu sein. „Bei kleineren BHKW stünde der Aufwand einer Planung nach VDI 3985 aber in keinem Verhältnis zu den möglicherweise genaueren Ergebnissen. Außerdem enthält die VDI-Richtlinie kaum Richtwerte aus der Praxis oder Hinweise zur Einpassung des BHKW in das Versorgungsobjekt.“ [13]. Die folgenden Abschnitte sollen daher einige Grundregeln, die bei einer Planung und Auslegung eines BHKW zu beachten sind, darstellen.

3.1 Analyse des elektrischen und thermischen Energiebedarfs

Im Zentrum jeder Planung steht das Versorgungsobjekt. Zur Auslegung eines Blockheizkraftwerkes muss die Struktur des elektrischen und thermischen Bedarfs bekannt sein. Je genauer dabei der zeitliche Verlauf des Wärme- bzw. Strombedarfs eines Objektes vorliegt, desto genauer kann die Laufzeit des BHKW und die Energiebilanz berechnet und damit die Wirtschaftlichkeit abgeschätzt werden [13]. Für die Auslegung eines BHKW ist es daher notwendig, bei bestehenden Objekten die Daten der derzeitigen Energieversorgung zu ermitteln.

3.1.1 Wärmebedarf und Wärmeleistungsbedarf des Objektes

Bei kleinen Objekten ist oftmals keine breite Datenbasis der bestehenden Energieversorgungsanlage vorhanden, um eine Auslegung eines BHKW durchzuführen. Detaillierte Messungen sind mit den vorhandenen Messeinrichtungen nicht möglich. Daher behilft man sich hier oftmals der monatlichen Aufzeichnungen des Brennstoffverbrauchs, um auf den Wärmebedarf zu schließen. Aus dem Brennstoffverbrauch und dem Nutzungsgrad des Heizkessels kann der Wärmebedarf ermittelt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass der gesamte

Brennstoffverbrauch der Heizung zuzurechnen ist und nicht anderweitig verwendet wird, wie zum Beispiel ein möglicher Gasverbrauch zum Kochen. Der Wärmebedarf ergibt sich aus der Multiplikation des Brennstoffverbrauchs (bezogen auf den Heizwert H_u) und dem Kesselnutzungsgrad [13], [42].

„Dieser setzt sich aus dem Kesselwirkungsgrad, der von den Abgas- und den Strahlungsverlusten abhängig ist, und dem Betriebsbereitschaftsverlust zusammen. Des Weiteren müssen Überdimensionierungen der Kesselanlage, Fehler oder falsche Einstellungen bei Steuerungen und Regelungen, die Höhe der Vorlauftemperatur und die Anzahl der Kessel bei der Abschätzung des Nutzungsgrades berücksichtigt werden. Verteilungsverluste, die erst hinter dem Kessel entstehen, werden nicht einbezogen, weil sie für BHKW und Kessel gleich sind.“ [13].

Der Brennstoffverbrauch setzt sich in der Regel aus einem Anteil zur Bereitstellung von Heizwärme, der von der Außentemperatur und der Nutzung des Gebäudes abhängt, und einem Anteil für die Warmwasserbereitstellung zusammen. Der Brennstoffverbrauch im Sommer kann dabei wertvolle Hinweise auf den Wärmebedarf zur Bereitstellung von Warmwasser liefern. Aus den so gewonnenen Ergebnissen ist zumindest die Charakteristik des Wärmebedarfs für die Raumheizung, für den Warmwasserbedarf und den gesamten Wärmebedarf ersichtlich, siehe Bild 34.

Die installierte Anlagentechnik ist ein Anhaltspunkt für den thermischen Leistungsbedarf. Dabei muss insbesondere auf die Dimensionierung des vorhandenen Kessels eingegangen werden. Wie bereits oben erwähnt, sind Heizkessel sehr häufig überdimensioniert, so dass die Kesselleistung weit über dem tatsächlichen Wärmeleistungsbedarf liegt. Die Leistung eines richtig dimensionierten Heizkessels lässt hingegen Rückschlüsse über den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Objektes zu [42].

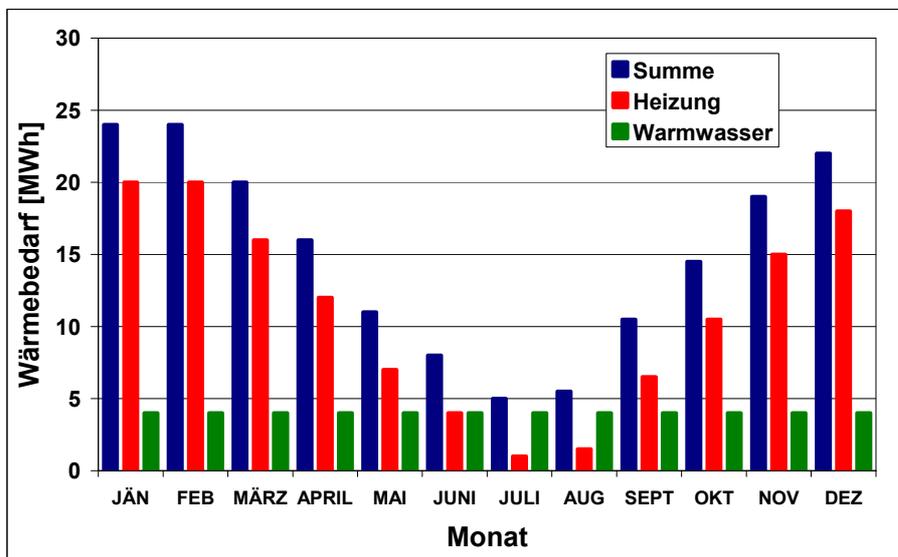


Bild 34: Beispiel für den Verlauf des Wärmebedarfs während eines Jahres

Eine äußerst genaue Analyse des Wärmebedarfs liefert die stündliche Erfassung der Verbrauchswerte. Registriert man in jeder einzelnen Stunde des Jahres den Wärmeverbrauch und trägt diesen – nach der Größe geordnet – über alle Stunden des Jahres auf, so erhält man die geordnete Jahresdauerlinie. Diese stellt ein ganz wesentliches Element zur Auslegung und Dimensionierung des BHKW dar. Die Einheiten auf der y-Achse werden so gewählt, dass die Werte die Leistungen darstellen (zum Beispiel kWh/h = kW) oder in Pro-

zent des maximalen Wärmeleistungsbedarfs aufgetragen werden. Der höchste Wert entspricht der maximalen Wärmelast an den kältesten Tagen im Jahr, das andere Ende der Kurve spiegelt den Wärmeverbrauch im Sommer wider. Da normalerweise bei kleinen Objekten keine detaillierten Aufzeichnungen zur Aufstellung einer Jahresdauerlinie vorliegen, verwendet man normierte Lastganglinien, die mit den tatsächlichen Nutzwärmeverbräuchen multipliziert werden [13]. Bild 35 zeigt ein Beispiel einer solchen Jahresdauerlinie. Die Fläche unter der Kurve entspricht dabei dem Jahreswärmebedarf.

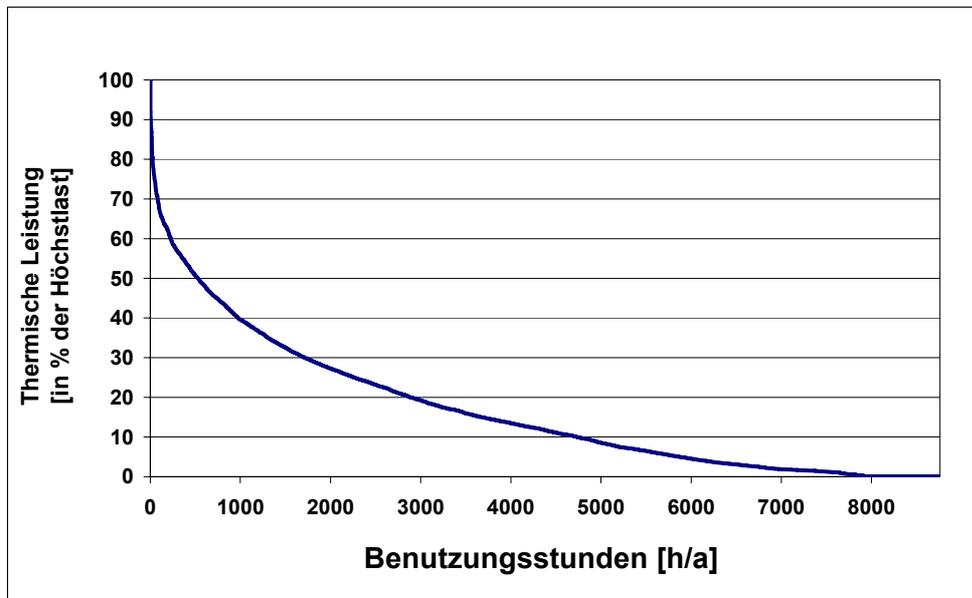


Bild 35: Beispielhafte Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs

„Liegen weitere Wärmeanwendungen wie z. B. Absorptionskältebereitstellung oder Prozesse mit Niedertemperatur-Heizlast vor, so ist deren Heizlast mit ihrem zeitlichen Verlauf in die Überlegungen einzubeziehen.“ [46].

3.1.2 Strombedarf

Der Bedarf an elektrischer Arbeit kann aus den Jahresabrechnungen des Energieversorgungsunternehmens entnommen werden, wobei die Daten zumindest in monatlicher Aufschlüsselung vorliegen sollten. Für die Wirtschaftlichkeit eines BHKW ist von entscheidender Bedeutung, wie viel an elektrischer Arbeit durch das BHKW substituiert wird, wie viel eingespeist wird, und wie hoch der Reststrombezug ist. Überdies sind die Tarife der Stromversorger nach Hochtarif- und Niedertarif-Arbeitspreisen und – vor allem bei größeren Verbrauchern – Preisen für die bezogene elektrische Leistung aufgeteilt. Daher erscheint es sinnvoll, eine Leistungsmessung, beispielsweise in einem Viertelstundenintervall, über einen repräsentativen Zeitraum durchführen zu lassen, womit der jeweilige Energieversorger beauftragt werden kann. Mit den gewonnenen Messergebnissen kann man anschließend durch Überlagerung des Stromlastganges mit der BHKW-Stromerzeugung die Anteile der substituierten und eingespeisten elektrischen Arbeit, des noch zu beziehenden Stroms und der verbliebenen, noch zu beziehenden elektrischen Leistung erhalten [13].

Bei Neubauten kann nicht auf vergangene Verbrauchswerte zurückgegriffen werden, der Wärmebedarf muss hier mit Hilfe der bauphysikalischen Daten berechnet werden. Der tatsächliche Wärme- und Stromverbrauch ist auch noch abhängig von der Nutzung, die über

Erfahrungswerte abgeschätzt wird [13]. Wie eine solche Berechnung des Wärmebedarfs, einer Jahresdauerlinie und der Ganglinie des Strombedarfs mittels eines Softwareprogramms realisiert werden kann, wird in Kapitel 5 anhand der Beschreibung des Programms *BHKW-Plan* erläutert.

3.2 Betriebsweise

Blockheizkraftwerke zeichnen sich durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme in einem konstanten Verhältnis aus. Es gibt daher prinzipiell zwei Möglichkeiten, nach denen ein Blockheizkraftwerk ausgelegt und betrieben werden kann: [13].

- Nach der Höhe und Struktur des Wärmebedarfs.
- Nach der Höhe und Struktur des Strombedarfs.

Die Regelungs- und Steuerungseinrichtungen eines BHKW ermöglichen es im Allgemeinen jedoch, das BHKW nicht nur nach einer dieser beiden Führungsgrößen zu betreiben. Die Funktionsweise weiterer möglicher Betriebsweisen wird zum Beispiel in [42] und [43] beschrieben. Hier sollen die wärmegeführte und stromgeführte Betriebsweise, die die Randpunkte für weitere, gemischte Betriebsweisen bilden, dargestellt werden.

Für den Betrieb eines BHKW werden neben dem eigentlichen Modul in der Regel noch Spitzenkessel und auf jeden Fall Pufferspeicher in das Wärmeversorgungssystem eingebunden. Sie haben dabei folgende Funktionen.

Spitzenkessel

Da Blockheizkraftwerke im Allgemeinen auf den thermischen Grundlastbereich ausgelegt werden (siehe Kapitel 3.2.3), wird zur Abdeckung des restlichen Wärmebedarfs ein Heizkessel eingesetzt, der auch als Reservesystem bei Ausfall oder Wartungsarbeiten am BHKW-Modul dienen kann.

Pufferspeicher

Beim Wärmebedarf treten nicht nur Schwankungen über den Jahres- und Tageszyklus sondern auch im Stundenbereich auf. Daher müsste das BHKW abschalten, sobald der Wärmebedarf unter die technisch mögliche Wärmeproduktion des BHKW absinkt. Durch den Einsatz eines thermischen Pufferspeichers können diese Taktzyklen reduziert werden, und somit kann die Laufzeit des BHKW erhöht werden. Mit Hilfe eines Pufferspeichers kann weiters die Bereitstellung von Strom und Wärme etwas unabhängiger gestaltet werden. So kann das BHKW beispielsweise bei einer gemischten Betriebsweise Strombedarfsspitzen unabhängig vom momentanen Wärmebedarf abdecken [13], [43].

Der Pufferspeicher ist in der Regel auf ein Volumen ausgelegt, das der thermischen Kapazität von einer Volllaststunde des BHKW entspricht. Als Wärmepuffer können gegebenenfalls auch Warmwasserspeicher eingesetzt werden. Diese sind im Gegensatz zu Pufferspeicher jedoch mit Trinkwasser gefüllt und nicht direkt sondern über Wärmetauscher in das Heizungssystem eingebunden [13].

Neue Entwicklungen im BHKW-Bereich (Leistungsmodulation, kleine Leistungsgrößen) machen bei geringem Heizwärmebedarf, beispielsweise aufgrund verbesserter Dämmstandards, auch einen monovalenten Betrieb des BHKW möglich. Darunter versteht man, dass

das BHKW die alleinige Heizquelle für die Wärmeversorgung des Gebäudes ist. Der Einsatz eines Wärmespeichers hilft dabei, einerseits Zeiten mit geringem Wärmebedarf (im Vergleich zur BHKW-Leistung) zu überbrücken und andererseits kurzfristig eine thermische Mehrleistung abzugeben [3].

3.2.1 Wärmegeführte Betriebsweise

Das BHKW-Modul folgt bis zu seiner oberen Leistungsgrenze der Wärmebedarfskurve, der Spitzenkessel deckt den restlichen Wärmebedarf ab. Der vom BHKW gleichzeitig erzeugte Strom wird entweder innerhalb des betrachteten Objekts genutzt oder gegebenenfalls in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Der Strombedarf während der Stillstandszeiten des BHKW und ein etwaiger Mehrbedarf werden über das Elektrizitätsnetz ausgeglichen.

In Bild 36 erkennt man auch den Zweck des Pufferspeichers. Zunächst ermöglicht er einen Weiterbetrieb des BHKW bei Nennlast, wenn der Wärmebedarf absinkt. Wenn der Pufferspeicher vollständig geladen ist, kann noch die Leistung des BHKW bis zur Schaltgrenze gesenkt werden. Ist auch diese untere Grenze erreicht, dann wird das BHKW abgeschaltet, und der Wärmebedarf wird durch den Pufferspeicher bereitgestellt [43].

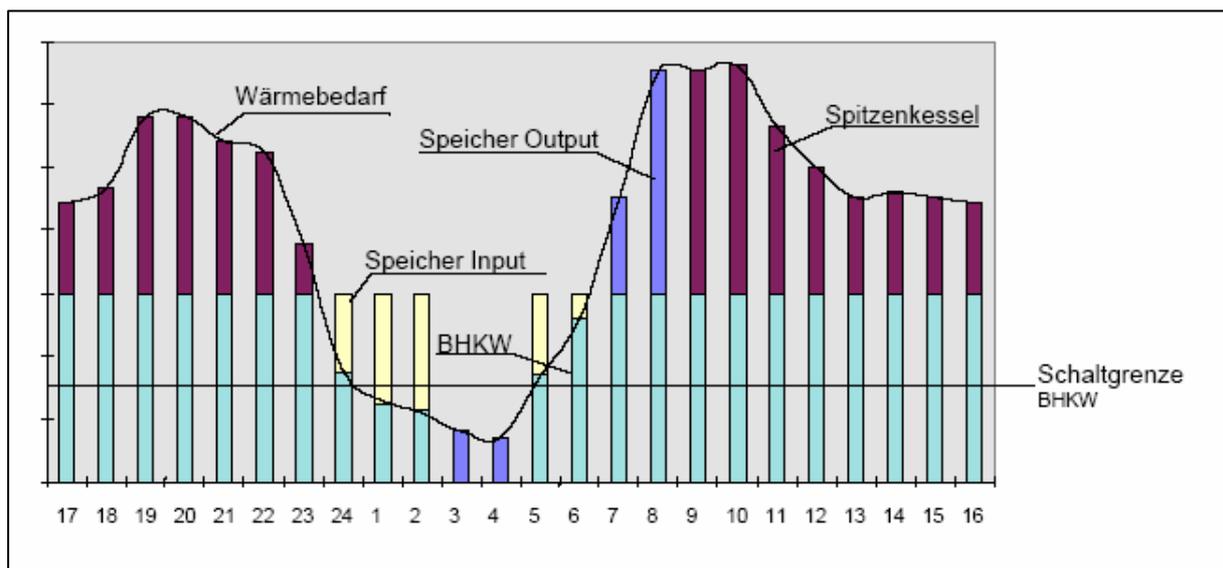


Bild 36: Wärmegeführte Betriebsweise [43]

3.2.2 Stromgeführte Betriebsweise

Die Auslegung und der Betrieb des BHKW erfolgen anhand der elektrischen Bedarfswerte. Das BHKW fährt bis zu seiner oberen elektrischen Leistungsgrenze die Strombedarfskurve ab, ein erforderlicher Mehrbedarf wird wiederum über das öffentliche Stromnetz ausgeglichen, siehe Bild 37.

Beispiele für eine stromgeführte Betriebsweise finden sich meist im gewerblichen Bereich, wo das BHKW den zentralen Teil der betrieblichen Stromversorgung bilden kann und ein hoher, teuer zu bezahlender elektrischer Leistungsbedarf vorhanden ist [13]. Aus ökologischer Sicht ist diese Betriebsweise nur dann sinnvoll, wenn auch die gleichzeitig erzeugte Wärme genutzt werden kann, wobei wiederum ein thermischer Speicher die Funktion eines Zwischenspeichers übernehmen kann. Zusätzliche, überschüssige Wärme muss über einen

Kühler an die Umgebung abgeführt werden. Das BHKW würde in diesem Fall auf die Funktion eines reinen Stromaggregats reduziert werden, was dem KWK-Prinzip widerspricht.

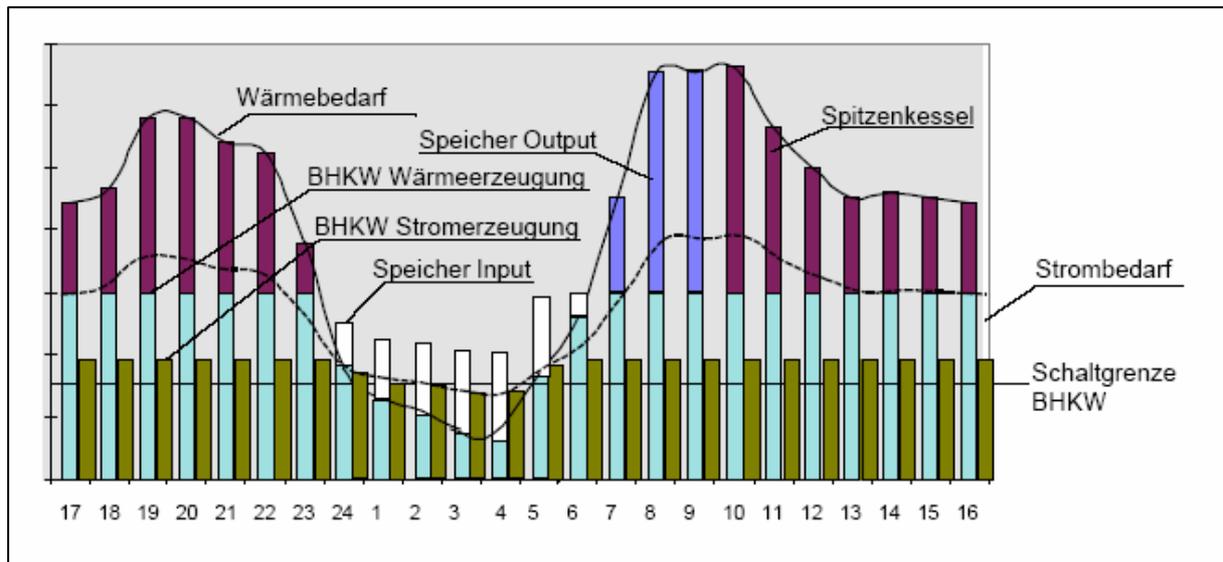


Bild 37: Stromgeführte Betriebsweise [43]

Die Auslegung nach dem Strombedarf wird im weiteren Verlauf der Arbeit nicht mehr näher betrachtet, da nur die Auslegung nach der Höhe und der Struktur des Wärmebedarfs die höchstmögliche Ausnutzung des eingesetzten Brennstoffs gewährleistet, und somit der technisch mögliche Gesamtwirkungsgrad erreicht wird.

3.2.3 Auswahl eines BHKW

Nach der Festlegung der Betriebsweise erfolgt die endgültige Dimensionierung des BHKW, das in der Regel auf die Wärmegrundlast ausgelegt wird. Das ist jene Wärmelast, die in etwa an 4.000 bis 7.000 Stunden im Jahr auftritt, siehe Bild 38. Ausschlaggebend dafür sind einerseits wirtschaftliche Gründe – um eine möglichst hohe zeitliche Auslastung und somit lange Laufzeiten des im Vergleich zu herkömmlichen Heizungsanlagen kapitalintensiveren BHKW zu erreichen – und andererseits die Absicht zum rationellen Energieeinsatz.

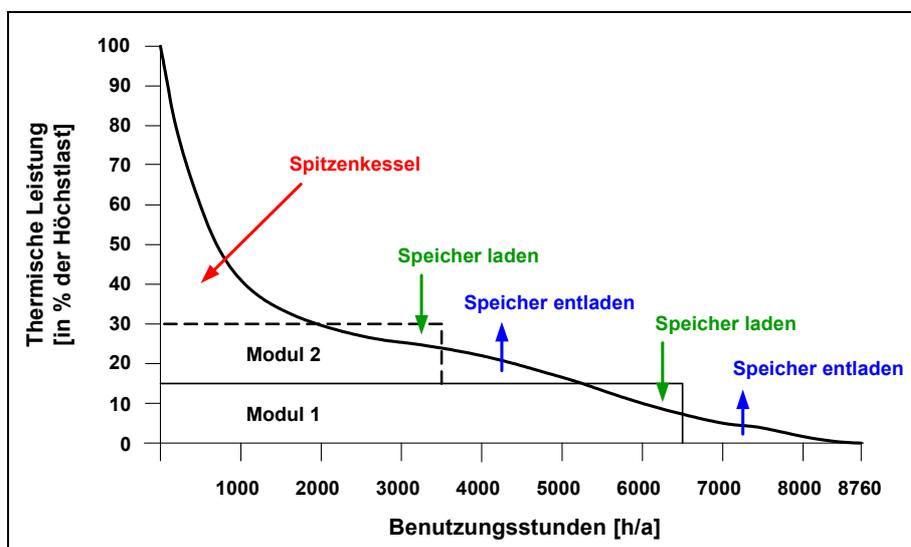


Bild 38: Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs [13], eigene Darstellung

Bild 38 zeigt beispielhaft eine Jahresdauerlinie, in der die Wärmeproduktion des BHKW eingetragen ist. Ein BHKW mit einer Leistung von 15 % der thermischen Höchstlast erreicht eine Laufzeit von ca. 6.500 Stunden. Damit deckt es etwa 56 % des Gesamtwärmebedarfs. Ein zweites Modul mit der gleichen Leistung (gestrichelte Linie) würde noch etwa 3.300 Stunden laufen und damit weitere 28 % des Wärmebedarfs abdecken. Ein großes BHKW mit einer Leistung von 30 % der thermischen Höchstlast würde im betrachteten Fall eine Laufzeit von 3.300 Stunden erreichen und ca. den gleichen Anteil an Wärme bereitstellen wie ein Aggregat mit der halben Leistung. Aus diesem Beispiel wird der Zusammenhang ersichtlich, dass bei einer Auslegung auf die Grundlast die Laufzeit und die gelieferte Wärmemenge hoch sind, auch wenn die Wärmeleistung des BHKW gemessen am maximalen Wärmeleistungsbedarf klein ist [13].

Die Entscheidung über die geeignete Anlagenleistung und die Anzahl der Module hängt sehr stark vom Eigenstromverbrauch und von der zu erwartenden, eingespeisten elektrischen Arbeit und deren monetärer Bewertung ab. Bei Tarifen, die auch eine leistungsbezogene Komponente enthalten, kommt jener Leistung, die durch das BHKW reduziert werden kann, besondere Bedeutung zu. Hier sind längere Laufzeiten vorteilhaft, da dadurch die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass das BHKW zu jenen Zeiten läuft, in denen eine hohe elektrische Leistung erforderlich ist. Die Zahl der Module beeinflusst wiederum die Investitionskosten. Kleinere Module weisen zudem höhere spezifische Investitionskosten auf als ein großes Modul (siehe auch Bild 39). Mit Hilfe einer nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung kann eine Entscheidung über Anzahl der Module und die geeignete Anlagenleistung bei gleichzeitig hoher Bedarfsdeckung getroffen werden.

Jener Bereich, in dem die Linie der Wärmeerzeugung des BHKW die Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs überschreitet, stellt den Ladevorgang des thermischen Pufferspeichers dar. BHKW mit einer Leistungsmodulation können die Jahresdauerlinie am rechten Ende bis zur unteren Schaltgrenze nachfahren, siehe dazu auch das Auslegungsbeispiel in Kapitel 6.4.2. Für die Bereitstellung des verbleibenden Wärmebedarfs wird ein Spitzenkessel eingesetzt. In der Literatur [13], [46] und [43] finden sich dazu unterschiedliche Angaben, ob im Falle einer Neuinstallation die Kesselleistung um die thermische BHKW-Leistung verringert werden kann, oder ob sie für Ausfallszeiten auf die maximale Wärmebedarfsleistung ausgelegt werden soll.

Falls nur unzureichendes Datenmaterial vorhanden ist, können die Richtwerte aus Tabelle 18 für eine erste Abschätzung zur Auslegung herangezogen werden. Diese Richtwerte eignen sich deshalb, weil die Jahresdauerlinie für verschiedene Arten von Objekten zumeist einen charakteristischen Verlauf aufweist. Dabei wird die thermische Leistung des BHKW auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Objektes bezogen. Es ist zu beachten, dass der maximale Wärmeleistungsbedarf auf Grund von Überdimensionierungen nicht unbedingt mit der installierten Kesselleistung übereinstimmen muss. Weiters muss bei der Versorgung mehrerer Objekte ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt werden [46].

Tabelle 18: Anteil des BHKW am maximalen Wärmeleistungsbedarf bei verschiedenen Gebäudetypen [13]

Wärmeverbraucher	Anteil des BHKW am maximalen Wärmeleistungsbedarf
Wohnhochhäuser	8 – 30 %
Reihenhäuser	8 – 20 %
Wohnblocks (3 bis 5 Geschosse)	8 – 20 %
Hotels	13 – 35 %
Krankenhäuser	15 – 40 %
Hallenbäder	15 – 40 %
Schulen	10 – 30 %
Bürogebäude	5 – 15 %
Kaufhäuser	10 – 30 %

3.3 Versorgungskonzepte

3.3.1 Netzparallelbetrieb

In der Regel werden Mini- und Mikro-BHKW parallel zum öffentlichen Stromnetz betrieben. Das bedeutet, dass das BHKW neben der Eigenversorgung des Objektes mit Strom und Wärme ungenützte Strommengen in das Netz einspeist, und ein etwaiger Mehrbedarf an Strom aus dem Netz bezogen wird.

3.3.2 Netzersatzbetrieb

Beim Netzersatzbetrieb arbeitet das BHKW parallel zum öffentlichen Stromnetz, solange das Netz zur Verfügung steht. Bei einer Störung oder Ausfall des Stromnetzes übernimmt das BHKW die Stromversorgung im Netzersatzbetrieb. Dabei wird das BHKW zunächst über eine externe Trennschaltstelle vom Netz getrennt. Das BHKW wird abgeschaltet und anschließend im leistungsgeregelten Inselbetrieb wieder hochgefahren [3].

Diese Art der elektrischen Einbindung kommt vor allem dort zur Anwendung, wo Strom und Wärme benötigt werden, und wo auch bei Ausfall des Stromnetzes eine Stromversorgung unverzichtbar ist.

3.3.3 Inselbetrieb

Wenn kein Anschluss an ein öffentliches Stromnetz vorhanden ist, können Blockheizkraftwerke im so genannten Inselbetrieb gefahren werden. Typische Anwendungsfälle dafür sind abgelegene Häuser, Schutzhütten und dergleichen. Das BHKW versorgt das Objekt mit Strom und Wärme, wobei die Strombereitstellung Priorität besitzt. Für den Inselbetrieb sind neben dem BHKW noch ein Wechselrichter und eine Batterie notwendig.

Mit einem derartigen System steht ein Drehstromnetz zur Verfügung, das mit der üblichen Stromversorgung vergleichbar ist. Die Batterie versorgt dabei die angeschlossenen Verbraucher über drei einphasige Wechselrichter. Wird eine definierte Batteriespannung unterschritten bzw. eine bestimmte Verbraucherleistung überschritten, so wird über ein Batteriemanagementsystem das BHKW angefordert [111].

4 Wirtschaftlichkeitsrechnung

4.1 Allgemeine Einführung

Der Kauf eines BHKW ist eine Investition, die in der Regel auch im kleinen Leistungsbereich über der einer reinen Wärmeversorgungsanlage liegt. Daher sollte zur Entscheidung über die Vorteilhaftigkeit einer solchen Investition eine Investitionsrechnung durchgeführt werden.

Das Charakteristische an Investitionen ist, dass dadurch Zahlungsströme generiert werden und die finanziellen Mittel längerfristig gebunden sind [50]. Zur Bewertung der finanziellen Auswirkung einer Investition können verschiedene Rechenverfahren herangezogen werden. Man unterscheidet dabei zwischen statischen und dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung.

Statische Verfahren

- Kostenvergleichsrechnung
- Gewinnvergleichsrechnung
- Statische Amortisationsrechnung
- Rentabilitätsrechnung

Dynamische Verfahren

- Kapitalwertmethode
- Interne Zinsfuß-Methode
- Annuitätenmethode
- Dynamische Amortisationsdauer

Zu den Stärken und Schwächen der einzelnen Rechenverfahren sei auf die einschlägige Literatur verwiesen, zum Beispiel [48], [49], [50] und [53]. Allgemein gilt bei den statischen Verfahren als nachteilig, dass die zeitliche Struktur der Zahlungen nicht berücksichtigt wird. Es wird nicht unterschieden, ob Zahlungen bereits heute oder beispielsweise erst in fünf Jahren anfallen. Weiters ist bei den unterschiedlichen Methoden darauf zu achten, in welchem Verhältnis der Aufwand für die Beschaffung der notwendigen Daten und für die Durchführung der Berechnung zur Genauigkeit der Ergebnisse steht. Falls zahlreiche benötigte Werte auf Annahmen beruhen, erscheinen sehr detaillierte Verfahren nicht zielführend.

Bei Investitionen unterscheidet man zwischen zwei Arten von Entscheidungssituationen. Bei der Beurteilung, ob eine Einzelinvestition im Sinne einer Ja-Nein-Entscheidung durchgeführt werden soll, spricht man von absoluter Vorteilhaftigkeit und beim Vergleich mehrerer Investitionsvorhaben von relativer Vorteilhaftigkeit [48].

Um eine bessere Entscheidungsgrundlage zu erhalten, wird zur Beurteilung einer Investition oftmals nicht nur ein Rechenverfahren angewandt. Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende zwei Verfahren dargestellt, da diese beiden Methoden auch in der Planungssoftware *BHKW-Plan* zur Anwendung kommen (siehe Kapitel 5.5): einerseits die Annuitätenmethode auf Grundlage der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung“ [51] und Blatt 7 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen - Blockheizkraftwerke“ [52]; andererseits das Verfahren der dynamischen Amortisationsdauer.

4.2 Annuitätenmethode

„Der Leitgedanke der Annuitätenmethode besteht darin, alle mit einem Investitionsobjekt verbundenen Zahlungen gleichmäßig auf die Nutzungsdauer zu verteilen.“ [48]. Falls nicht anders angegeben, beziehen sich alle im Kapitel 4.2 und in den Unterkapiteln gemachten Angaben auf die VDI-Richtlinie 2067, [51] und [52]. Das Blatt 1 der Richtlinie 2067 bildet dabei die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsrechnung und bezieht sich ganz allgemein auf die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.

„Das Annuitätsverfahren gestattet es, einmalige Zahlungen/Investitionen und laufende Zahlungen mit Hilfe des Annuitätsfaktors a während eines Betrachtungszeitraumes T zusammenzufassen.“ [51]. Die Auszahlungen entsprechen den Kosten und werden in einmalige Zahlungen und laufende Zahlungen unterteilt. Daraus ergeben sich

- Kapitalgebundene
- Bedarfsgebundene (verbrauchsgebundene)
- Betriebsgebundene und
- Sonstige Auszahlungen (= Kosten)

Die Berechnung der jeweiligen Kosten wird anschließend im nächsten Kapitel genau beschrieben. Je nach Projekt und Betrieb können Einzahlungen in gleicher Weise wie die oben dargestellten Auszahlungen entstehen. Das gilt besonders für kapitalgebundene Einzahlungen, wenn zum Beispiel Zuschüsse oder Förderungen für die Investitionen gewährt werden, oder auch für steuerliche Vergünstigungen. Die Differenz aus der Einzahlungsannuität und der Auszahlungsannuität ergibt die Gesamtannuität. Blockheizkraftwerke im kleinen Leistungsbereich werden in der Regel nicht auf das Ziel, Gewinne zu erwirtschaften, ausgelegt. Es gilt daher die Entscheidungsregel, dass die günstigste Anlage jene ist, die die wenigsten Auszahlungen (= Kosten) verursacht.

Basierend auf Blatt 1 der Richtlinie ist das Blatt 7 „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Blockheizkraftwerke“ speziell auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung von Blockheizkraftwerken abgestellt. Diese wird im folgenden Kapitel dargestellt, und dabei wird auch näher auf die einzelnen Kostensätze eingegangen.

4.2.1 Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7

Die Besonderheit beim Betrieb eines BHKW stellt die Koppelproduktion von Strom und Wärme dar. Die Zuordnung der verschiedenen Kosten zu den Produkten Strom und Wärme erwies sich als nicht zweckdienlich. Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen vielmehr die Kapital-, Brennstoff- und Betriebskosten sowie die Erlöse aus dem BHKW-Betrieb alternativ einer getrennten Strom- und Wärmebeschaffung gegenübergestellt werden [13].

Die jährlichen Wärmeerzeugungskosten ergeben sich aus den Jahreskosten der BHKW-Anlage nach Abzug des Wertes des eigenerzeugten Stroms. Die Jahreskosten setzen sich dabei aus der Summe von kapitalgebundenen, verbrauchsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten zusammen. Die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten sind auch davon abhängig, welchen Anteil die Erzeugung des BHKW an der Deckung des Wärme- und Strombedarfs erreicht.

4.2.1.1 Berechnung der Kosten

Kapitalgebundene Kosten

Die Problematik besteht darin, wie man die Anschaffungsauszahlungen für die Investitionen unter Berücksichtigung von Zinsen und Zinseszinsen auf die Nutzungsdauer verteilt. Dabei behilft man sich des Annuitätenfaktors, mit dem die Investitionskosten einer Anlage in gleich hohe jährliche Beträge während der Nutzungsdauer umgerechnet werden, siehe [13].

Zinsfaktor $q = (1+p/100)$

Kalkulationszinssatz p [%]

Nutzungsdauer n

Annuitätenfaktor $a = \frac{q^n * (q - 1)}{q^n - 1}$

Investition I

Jährliche kapitalgebundene Kosten $K_K = I * a$

Die jährlichen kapitalgebundenen Kosten – die Annuität – bestehen dabei aus zwei Teilen: Zum einen aus dem Anteil zur Wiedergewinnung des eingesetzten Kapitals und zum anderen aus einem Zinsanteil, der die Verzinsung der zu Beginn einer jeden Periode noch ausstehenden Beträge zum Kalkulationszinssatz repräsentiert [48].

Investitionen

In der Literatur [1], [13], [43] und [52] sind die Investitionen, die beim Einsatz eines BHKW notwendig sind, in unterschiedlichem Detaillierungsgrad angeführt. Dabei gilt es auch immer zu beachten, welche Komponenten einer bestehenden Wärmeversorgungsanlage weiter verwendet werden können. So kann zum Beispiel ein vorhandener Heizkessel möglicherweise als Spitzenkessel eingesetzt werden, oder ein bestehender Warmwasserspeicher in die BHKW-Anlage integriert werden. Weiters kommt dem Heizraum besondere Bedeutung zu. Aus Kostengründen sollte bei bestehenden Objekten immer versucht werden, das BHKW im vorhandenen Heizraum zu installieren.

Folgende Komponenten stellen die wesentlichen Investitionen beim Einsatz eines BHKW dar:

- BHKW-Modul
- Spitzenkessel
- Pufferspeicher
- Heizungstechnische Einbindung des BHKW
- Stromeinspeisung
- Bauliche Maßnahmen
- Brennstofflagerung
- Nebenkosten für Planung und Genehmigung

Anhand von Bild 39 sollen die Investitionskosten für das eigentliche BHKW-Modul genauer betrachtet werden. Von der *Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.* wurden Richtpreiserhebungen unter den Herstellern von BHKW mit Verbrennungsmotoren durchgeführt, die letzte davon im Jahr 2005, siehe [14]. Zwei wesent-

liche Dinge sind dabei aus der Grafik zu erkennen sind. Einerseits besteht bei den spezifischen Kosten, das sind die Preise bezogen auf die elektrische Leistung, ein Unterschied je nach Art des eingesetzten Brennstoffs. Andererseits ist bei allen BHKW eine Degression der spezifischen Kosten mit zunehmender elektrischer Leistung erkennbar.

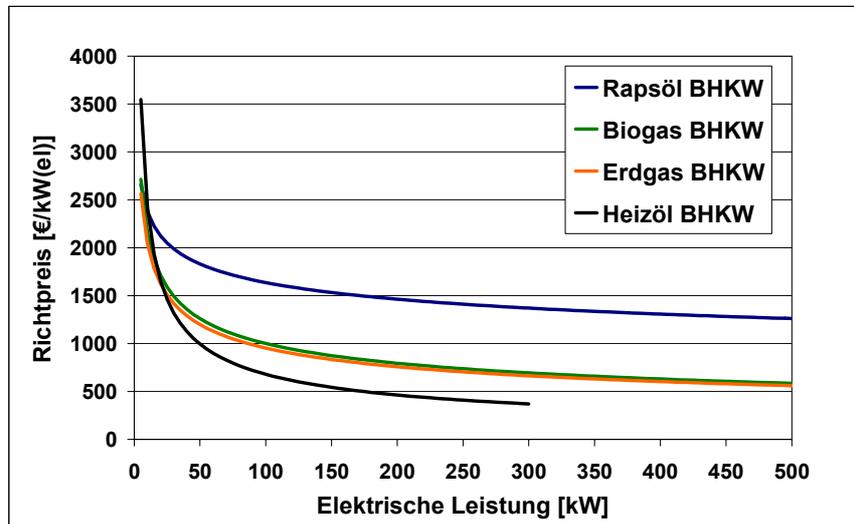


Bild 39: Richtpreise BHKW [14], eigene Darstellung

Die angegebenen Preise sind als Richtpreise zu verstehen und inkludieren folgende Komponenten: Motor, Schalldämmung, Katalysator, Schmierölver- und -entsorgung, Schaltschrank, Be- und Entlüftung, den Transport, die Montage und die Inbetriebnahme [14].

Nutzungsdauer

Für die Berechnung der Annuität der einzelnen Investitionen ist die Nutzungsdauer ausschlaggebend. Nach der VDI Richtlinie 2067, Blatt 1 stellt die rechnerische Nutzungsdauer einen Erfahrungswert dar, von dem die tatsächliche Nutzungsdauer sowohl nach oben als auch nach unten abweichen kann. „Die rechnerische Nutzungsdauer ist beendet, wenn Reparatur und Instandsetzung sowie die Kosten für die Erneuerung einzelner Anlagenteile einen so hohen Aufwand erfordern, dass er in keinem Verhältnis mehr zu einer Neuanschaffung steht.“ [51]. Die Blätter 1 und 7 der Richtlinie enthalten rechnerische Nutzungsdauern für die einzelnen Anlagenkomponenten.

Unter technischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll, die Nutzungsdauer auf die Anlagenlebensdauer anzusetzen. Unter dem Aspekt der Sicherheit einer Investition ist hingegen die Wahl einer kürzeren Nutzungsdauer und somit die Verteilung der Kosten auf einen kürzeren Zeitraum sinnvoll, da Zahlungen als umso unsicherer gewertet werden können, je weiter der Betrieb eines BHKW in der Zukunft liegt [43].

Kalkulationszinssatz

Neben der Nutzungsdauer kommt auch der Wahl des Kalkulationszinssatzes bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung besondere Bedeutung zu. Die Wahl der Höhe des Kalkulationszinssatzes hängt dabei von der Art der Finanzierung der geplanten Investitionen ab.

Werden die Investitionen vollständig eigenfinanziert, wird der Kalkulationszinssatz zumindest in der Höhe des Habenzinssatzes einer bestimmten Kapitalmarktanlage angesetzt. Bei Fremdfinanzierung stellt der Fremdkapitalzinssatz die Untergrenze dar. Da die aus einer Investition resultierenden Zahlungen und die Nutzungsdauer mit entsprechenden Risiken

behaftete Größen sind, kann in beiden Fällen zu den gegebenen Zinssätzen noch ein Risikozuschlag addiert werden. Bei Mischfinanzierung aus Eigen- und Fremdkapital kann ein Zinssatz herangezogen werden, der sich aus dem gewichteten Mittel aus dem Kalkulationszinssatz für Eigenkapital und jenem für Fremdkapital unter Berücksichtigung der Höhe des eingesetzten Kapitals berechnet [48].

An den oben dargestellten Ausführungen wird deutlich, dass bei der Wahl des Kalkulationszinssatzes und der Nutzungsdauer ein gewisser Interpretationsspielraum gegeben ist. Der Kalkulationszinssatz und die Nutzungsdauer werden je nach Zweck der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und der spezifischen Sichtweise durch den Planer oder Anlagenbetreiber festgesetzt [43].

Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten, im folgenden auch mit Brennstoffkosten bezeichnet, setzen sich aus den jährlichen Brennstoffkosten für das BHKW, den Spitzenkessel und den jährlichen Hilfsenergiekosten zusammen. Bei Bezug von Erdgas ist darauf Acht zu geben, dass manche Tarifsysteme neben dem reinen Arbeitspreis auch – ähnlich wie beim Strom – einen Leistungspreis enthalten können.

Betriebsgebundene Kosten

Die jährlichen betriebsgebundenen Kosten, kurz Betriebskosten, beinhalten die Instandhaltungs- und Personalkosten. Entsprechend der Richtlinie 2067, Blatt 1 [51] umfasst die Instandhaltung dabei die Wartung, die Inspektion und die Instandsetzung. In der Richtlinie werden Prozentsätze angeführt, nach denen die Instandhaltungskosten der wesentlichen Anlagenkomponenten in Prozent der jeweiligen Investition berechnet werden können.

Tabelle 19: Pauschale Jahreskosten für Instandhaltung in Prozent der Investitionen [52]

Anlagenkomponenten	Jährliche Instandhaltungskosten in % p. a.	
	von	bis
KWK-Anlage	3,0	9,0
Kessel-Anlage	1,5	2,5
Wärmezentrale	1,8	2,2
Stromeinspeisung	1,8	2,2
Bauliche Anlagen	1,0	1,5

Sehr häufig wird für das eigentliche BHKW-Modul ein Vollwartungsvertrag mit dem Hersteller abgeschlossen. Dieser Vertrag bietet eine umfassende Wartung zu einem festen Kostensatz je produzierter elektrischer Kilowattstunde. Darunter werden im Allgemeinen alle Arbeiten verstanden, die für den störungsfreien Betrieb eines BHKW notwendig sind. Das beinhaltet die Inspektion, alle Wartungs- und Reparaturarbeiten, Ersatzteile und Betriebsstoffe (außer Brennstoff). Eine Generalüberholung ist bedingt durch die Langfristigkeit der Verträge ebenfalls enthalten [14].

Neben der guten Kalkulierbarkeit solcher Verträge ist es ein weiterer Vorteil, dass die Ausführung aller Arbeiten am BHKW an den Anbieter übertragen werden, und die technischen

Risiken, zum Beispiel eines Motorschadens, durch den Vollwartungsvertrag abgedeckt sind [13].

Im Zuge der Richtpreiserhebungen wurden von der ASUE auch Kosten für eine Vollwartung von motorischen BHKW erhoben.

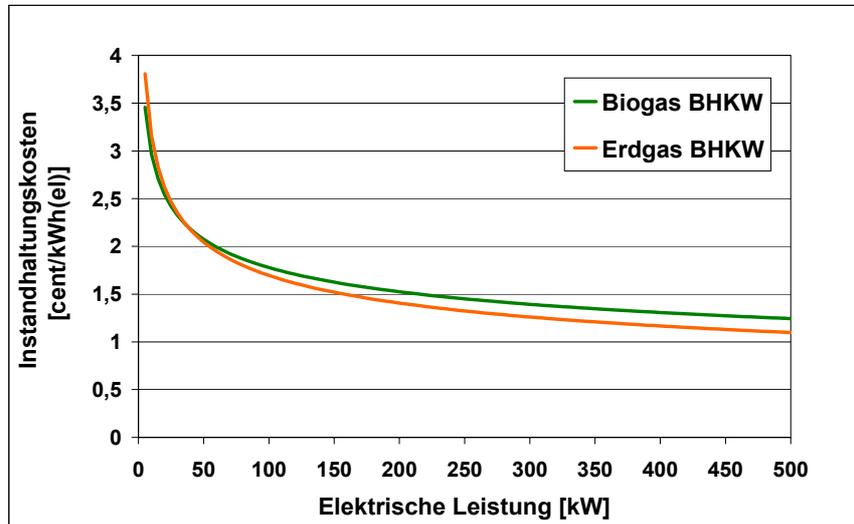


Bild 40: Instandhaltungskosten [14], eigene Darstellung

Aus Bild 40 ist ersichtlich, dass die Instandhaltungskosten für Erdgas- und Biogas- BHKW annähernd gleich sind, wobei natürlich beim Einsatz von Biogas die Gasqualität eine entscheidende Rolle spielt. Für Heizöl-BHKW können die Instandhaltungskosten der Erdgas-BHKW als Richtwert angenommen werden. Allgemein ist auch hier eine Kostendegression bei zunehmender BHKW-Größe gegeben [14].

Personalkosten sind dann zu berücksichtigen, wenn die Bedienung und Betriebsführung der Gesamtanlage oder einfache Inspektionen zumindest teilweise mit eigenem Personal durchgeführt werden. Die VDI-Richtlinie gibt auch dafür Richtwerte an. In der Regel fallen aber für Anlagen mit einer elektrischen Leistung kleiner als 50 [kW_e] keine Personalkosten an.

Sonstige Kosten

Sonstige Kosten beinhalten Steuern, Versicherungs- und Verwaltungskosten. Diese werden in der Richtlinie ebenfalls als Prozentwert der Investitionen angegeben. Dabei wird zwischen Anlagen, die eine Leistung kleiner oder größer gleich 2 [MW_{th}] aufweisen, unterschieden.

4.2.1.2 Bewertung der Eigenstromerzeugung

Der Wert der im BHKW erzeugten elektrischen Energie, sowohl für die Leistung als auch für die Arbeit, berechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 & \text{Kosten der anderweitigen Strombeschaffung} \\
 & - \text{Kosten für Zusatzstrombezug} \\
 & - \text{Kosten für Reservestrombezug} \\
 & + \text{ggf. Gutschrift für Überschussstromeinspeisung} \\
 \hline
 & = \text{Wert der Eigenstromerzeugung}
 \end{aligned}$$

Unter den Kosten der anderweitigen Strombeschaffung versteht man die Kosten für die elektrische Energie wie sie bei einer Versorgung durch ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) ohne geplante Eigenstromerzeugung anfallen. Der Strom, der auch nach dem Einbau eines BHKW noch bezogen werden muss, wird als Zusatzstrom – oder auch Reststrom – bezeichnet. Kosten für Reservestrom können dann anfallen, wenn man eine höhere Stromleistung bezieht, als man bestellt hat. Diese Kosten sind davon abhängig, ob und in welcher Höhe der Betreiber Reserveleistung beim EVU bestellt. Bei Einspeisung des überschüssigen Stroms in das Netz können gegebenenfalls Erlöse gut geschrieben werden. Die dazu notwendigen Einspeisetarife sind europaweit länderspezifisch und von der aktuellen Gesetzeslage abhängig. Entscheidende Einflussgrößen sind dabei zumeist die elektrische Leistung des BHKW und der eingesetzte Brennstoff. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird die Differenz aus den Kosten der anderweitigen Strombeschaffung und des Zusatzstrombezugs auch als Erlöse aus vermiedenem Strombezug bezeichnet, eine Abgabe auf den erzeugten (und selbst verbrauchten) Strom ist gegebenenfalls noch zu beachten.

Zur Bewertung des eigenerzeugten Stroms muss neben der Erzeugungscharakteristik des BHKW der zeitliche Verlauf des Strombedarfs bekannt sein. Die Überlagerung des Stromlastganges mit der BHKW-Stromerzeugung ergibt die Anteile der substituierten und eingespeisten elektrischen Arbeit und des Zusatzstroms. Für diese Berechnung ist eine Simulation auf Basis von Stundenwerten eigentlich unumgänglich. Mit Hilfe typischer Lastganglinien ist eine Simulationsrechnung mittels *Excel*-Tabellen oder spezieller Software zur Auslegung von Blockheizkraftwerken am besten möglich. Wie eine solche Bilanzierung aussehen kann, wird anhand des Programms *BHKW-Plan* in Kapitel 5.3 beschrieben.

Für die monetäre Bewertung der eigenerzeugten elektrischen Energie ist die Kenntnis der individuellen Stromlieferungs- und -bezugsbedingungen des EVU entscheidend. Dabei besteht zumeist eine Preisdifferenzierung nach der tariflichen Tages- und Nachtzeit, auch Hoch- bzw. Niedertarifzeit genannt, und nach einer vom EVU festgelegten Winter- und Sommerzeit. Mit der Bilanzierung der stündlichen Stromdaten und der Verknüpfung mit den unterschiedlichen Preiskonditionen des EVU können die Kosten für den Reststrombezug, für einen möglichen Reservestrombezug und die Erlöse für die Einspeisung des überschüssigen Stroms berechnet werden. Diese können anschließend den Kosten der anderweitigen Strombeschaffung gegenübergestellt werden.

In der Literatur [13] und [52] wird die Wichtigkeit der tariflichen Unterscheidung betont, und es wird davon abgeraten, mit durchschnittlichen Preisen zu rechnen.

4.2.1.3 Wärmeerzeugungskosten und Vergleich mit Heizzentrale

Die Jahreskosten der BHKW-Anlage setzen sich wie unter 4.2.1.1 beschrieben zusammen. Nach Abzug des Wertes des eigenerzeugten Stroms erhält man die jährlichen Wärmeerzeugungskosten.

$$\begin{array}{r} \text{Jahreskosten der BHKW-Anlage für Wärme-} \\ \text{und Stromerzeugung} \\ - \text{ Wert des eigenerzeugten Stroms} \\ \hline = \text{ jährliche Wärmeerzeugungskosten} \end{array}$$

Im Anhang A.3 ist das Formblatt aus der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7 [52] zur tabellarischen Aufschlüsselung der einzelnen Positionen dargestellt.

Für eine alternative Wärmeerzeugung in einem Heizkessel können die jährlichen Wärmeerzeugungskosten ebenfalls aus den kapitalgebundenen, verbrauchsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten berechnet werden. Die Division der jährlichen Wärmeerzeugungskosten durch die jährlich erzeugte Wärmemenge ergibt die spezifischen Wärmeerzeugungskosten in $[\text{€}/\text{kWh}_{\text{th}}]$ für beide Systeme. Nach dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit wird man daher jene Anlage auswählen, die die geringeren jährlichen Wärmeerzeugungskosten aufweist bzw. die Energieeinheit zu den geringeren Kosten herstellt.

4.3 Dynamische Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung ist eines der am häufigsten eingesetzten Investitionsrechenverfahren. Die Amortisationsdauer gilt als Maß für das Risiko einer Investition und ist ein weiteres Beurteilungskriterium für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage. Dabei muss zwischen der statischen und dynamischen Amortisationsrechnung unterschieden werden. Bei der statischen Amortisationsdauer wird jener Zeitraum ermittelt, in dem die Anschaffungsinvestition durch die später anfallenden Einzahlungsüberschüsse (Rückflüsse) – ohne Berücksichtigung des zeitlichen Anfalls und dadurch entstehender Zinseffekte – wiedergewonnen wird. Die Vernachlässigung des zeitlichen Anfalls ist ein Hauptkritikpunkt an der statischen Amortisationsrechnung, da Zahlungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind.

Die dynamische Amortisationsrechnung ist von der Kapitalwertmethode abgeleitet und beseitigt diesen Kritikpunkt. Die jährlichen Einzahlungsüberschüsse werden auf den Zeitpunkt 0 abgezinst und die dynamische Amortisationsdauer ist erreicht, wenn die kumulierten Barwerte der Einzahlungsüberschüsse gleich der Anschaffungsinvestition sind. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass zukünftige, spätere Zahlungen aus heutiger Sicht weniger Wert sind als frühere Zahlungen [48].

Bei Blockheizkraftwerken, die auf die Eigenversorgung abzielen und keine Gewinne aus dem Verkauf von Strom und Wärme erwirtschaften, kann keine Amortisationsrechnung für die BHKW-Anlage an sich angestellt werden. Man berechnet daher eine Amortisationsdauer für die Mehrinvestition, die eine BHKW-Anlage gegenüber einem konventionellen Heizungssystem aufweist.

Dabei werden alle Betriebs- und Brennstoffkosten für die BHKW-Anlage als Auszahlungen gewertet. Alle Betriebs- und Brennstoffkosten für das Vergleichsheizungssystem, der Wert der Eigenstromerzeugung (vermiedener Strombezug plus Einnahmen aus der Stromeinspeisung) werden als Einzahlungen betrachtet, und steuerliche Gut- bzw. Lastschriften müssen gegebenenfalls berücksichtigt werden. Die Differenz aus den Auszahlungen und Einzahlungen wird jährlich bilanziert und auf den Zeitpunkt 0 diskontiert. Die Barwerte werden anschließend aufsummiert, und die dynamische Amortisationsdauer ist erreicht, wenn die kumulierten Barwerte gleich der Mehrinvestition für die BHKW-Anlage sind. Je kleiner die Amortisationsdauer ist, umso kleiner ist das Risiko für die Investition. Überschreitet die Amortisationsdauer die Nutzungsdauer des BHKW, so ist die Anlage nicht wirtschaftlich.

Für Blockheizkraftwerke in Hausenergiesystemen als Ergänzung bzw. Ersatz zu konventionellen Heizkesseln sind Amortisationszeiten, die innerhalb der Anlagennutzungsdauer liegen

und im Bereich von 10 Jahren sind, als Entscheidungskriterium durchaus zulässig. Bei Kraft-Wärme-Kopplungen, die zur industriellen bzw. gewerblichen Energiebereitstellung dienen und dem unternehmerischen Prinzip folgen, Gewinne zu erzielen, werden kürzere Amortisationsdauern als die der Nutzungsdauer verlangt.

4.4 Sensitivitätsanalyse

Um die Gefahren, die mit der Unsicherheit einer Investition verbunden sind, besser abzuschätzen, können für Investitionsrechnungen Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden. Dabei werden die wichtigen Faktoren einer Investitionsrechnung unter ceteris-paribus-Bedingungen verändert, und es wird untersucht, innerhalb welcher Grenzen der Faktor verändert werden kann, ohne dass das Ergebnis des Investitionsprojekts aus der optimalen Lösung fällt bzw. negativ wird [54].

Für die Fallstudien aus Kapitel 6 wird eine Sensitivitätsanalyse der Amortisationsdauer durchgeführt. Damit sollen die Grenzen für einen wirtschaftlichen Einsatz herausgefunden werden.

5 Planungssoftware *BHKW-Plan*

BHKW-Plan ist eine Software zur Auslegung von Blockheizkraftwerken. Es wurde vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg und dem Institut für Technische Thermodynamik der Deutschen Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt mit Unterstützung des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg entwickelt. Seit dem Jahr 2003 wird das Programm von der Firma Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung weiterentwickelt und vertrieben.

BHKW-Plan ist ein auf einer Excel-Oberfläche basierendes Programm. Die Grundkomponenten sind die Wärme- und Strombedarfsberechnung, die Auslegung der BHKW-Anlage und eines alternativen Vergleichsheizungssystems sowie die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Auf Basis einer Simulation der stündlichen Betriebsdaten eines Jahres werden alle relevanten Ergebnisse zur Wärme- und Stromerzeugung, zu den Kosten und erzielbaren Erlösen sowie eine Energiebilanz und Bilanzierung der Schadstoffemissionen von getrennter und gekoppelter Erzeugung berechnet. Darüber hinaus enthält das Programm ein vollständiges Berichtswesen, mit dem alle Ergebnisse, Tabellen und Graphiken ausgedruckt werden können.

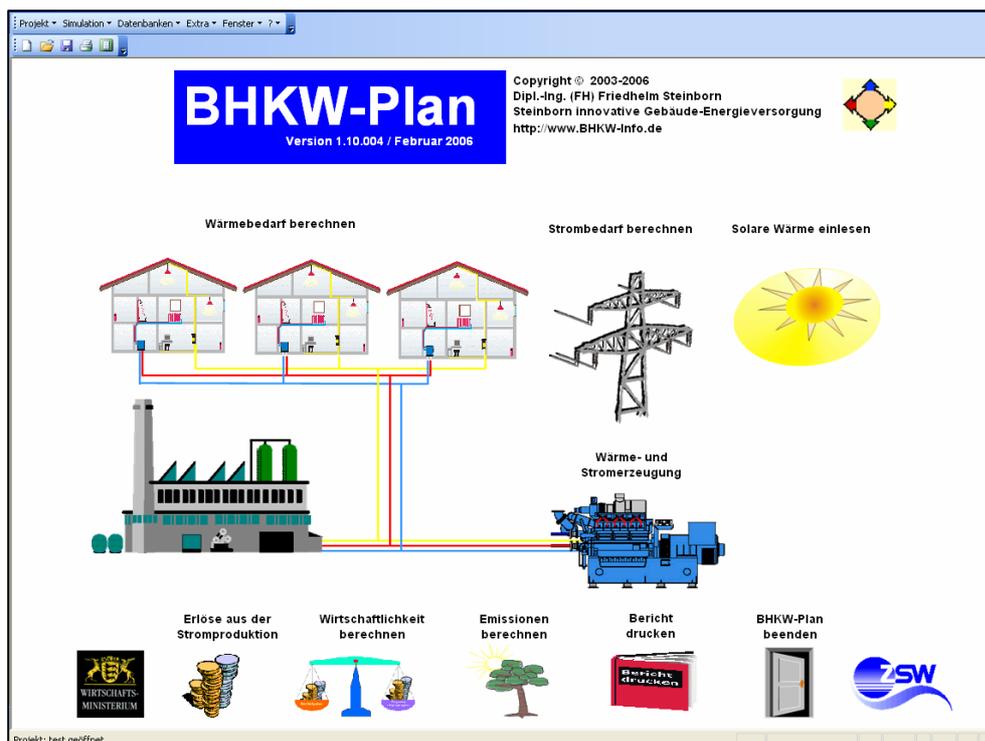


Bild 41: Benutzeroberfläche *BHKW-Plan*²¹

In den folgenden Kapiteln wird das Programm in seinen Grundzügen erläutert und in verschiedenen Bereichen wird auf die dem Programm zugrunde liegende Theorie näher eingegangen. Falls nicht anders angegeben, beziehen sich alle hier gemachten Angaben auf das Handbuch des Programms, siehe [43].

²¹ Screenshot *BHKW-Plan*.

5.1 Wärmebedarf

5.1.1 Grundlagen der Wärmebedarfsberechnung für ein Gebäude

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs führt das Programm anhand einer dynamischen Simulation der Wärmeströme über die Hüllflächen eines Gebäudes (Gebäudehülle) durch. Folgende Wärmeströme werden dabei berücksichtigt.

- $P_{\text{Trans}}^{\text{ges}}$ Transmissionswärmeverluste durch Außenwände, Fenster, Dach und Kellerdecke
- $P_{\text{WB}}^{\text{ges}}$ Wärmebrückenverluste
- P_L Lüftungsverluste
- $P_{\text{Pers\&Ger}}$ Innere Gewinne durch Personen und Geräte
- P_{Sol} Solare Gewinne durch die Fenster

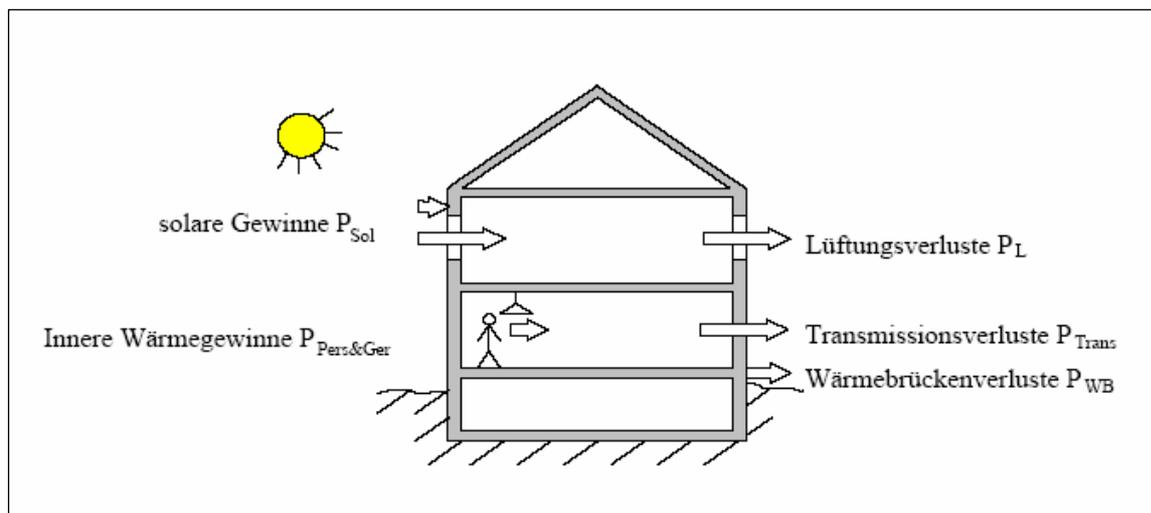


Bild 42: Wärmeströme über die Gebäudehülle [43]

Bei der Gebäudemodellierung werden dabei folgende Vereinfachungen getroffen.

- Die Wärmekapazitäten der Einzelbauteile (Wände, Zwischendecken, ...) werden zu einer Gesamtkapazität C des Gebäudes zusammengefasst.
- Es wird mit konstanten U -Werten gerechnet.
- Das Gebäude wird durch eine Zone mittlerer Raumtemperatur beschrieben, unbeheizte Kellerbereiche werden darin nicht berücksichtigt.

Zur Darstellung des thermischen Verhaltens des Gebäudes wird zunächst der Verlauf der Gebäudeinnentemperatur bestimmt. Dazu wird die Energiebilanz über der gesamten Wärmekapazität des Gebäudes betrachtet. Bei einer mittleren Temperatur der Kapazität von T_{Kap} ist im Gebäude die innere Energie

$$Q_{\text{Kap}} = C \cdot T_{\text{Kap}}$$

gespeichert. Eine zeitliche Änderung der gespeicherten thermischen Energie ergibt unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten und –gewinnen:

$$dQ_{\text{Kap}}/dt = C \cdot dT_{\text{Kap}}/dt = -P_{\text{Verl}} + P_{\text{Hzg}} + P_{\text{Sol}} + P_{\text{Pers\&Ger}}$$

Dabei sind

- $P_{\text{Verl}} = P_{\text{Trans}}^{\text{ges}} + P_{\text{WB}}^{\text{ges}} + P_{\text{L}} = L \cdot (T_i - T_a)$ gesamten Wärmeverluste durch die Gebäudehülle in [W]
 - L gesamter spezifischer Wärmeverlustkoeffizient des Gebäudes in [W/K]
 - T_i Raumtemperatur in [°C]
 - T_a Außentemperatur in [°C]
- P_{Hzg} momentane Heizleistung in [W]
- P_{Sol} nutzbaren solaren Gewinne durch Fenster in [W]
- $P_{\text{Pers\&Ger}}$ Wärmeabgabe durch Personen und Geräte im Objekt in [W]

in der Gleichung berücksichtigt.

Setzt man die mittlere Temperatur der Wärmekapazität T_{Kap} mit der Raumtemperatur gleich, so ergibt sich die inhomogene lineare Differentialgleichung 1. Ordnung:

$$dT_i/dt = -L/C \cdot T_i + P_{\text{Hzg}}(t)/C + P_{\text{Sol}}(t)/C + P_{\text{Pers\&Ger}}(t)/C + L/C \cdot T_a$$

Unter der Annahme, dass die Inhomogenitäten während des Integrationsschrittes von einer Stunde konstant bleiben, lässt sich die Differentialgleichung entsprechend exakt lösen.

$$P_{\text{Ges}} = P_{\text{Hzg}}(t) + P_{\text{Sol}}(t) + P_{\text{Pers\&Ger}}(t) + L \cdot T_a = \text{konst.}$$

Wenn man voraussetzt, dass die Außenwände relativ träge auf Temperaturänderungen reagieren, kann die Außentemperatur T_a mit dem Tagesmittelwert der Außentemperatur gleichgesetzt werden. Die täglichen solaren Gewinne werden konstant über den Tag von 08.00 Uhr bis 14.00 Uhr verteilt, und für die Wärmeabgabe durch Personen und Geräte wird ein einheitlicher Wert über das ganze Jahr angesetzt. Mit der Randbedingung, dass die Gebäudeinnentemperatur zu Beginn des Integrationsschrittes gleich derjenigen am Ende des vorherigen Schrittes T_0 bzw. dem Anfangswert zu Beginn der Simulation sein soll, ergibt sich die Raumtemperatur durch Lösen der Differentialgleichung zu:

$$T_i = T_0 \cdot e^{-\frac{L}{C} \cdot t} + \frac{P_{\text{Ges}}}{L} \cdot (1 - e^{-\frac{L}{C} \cdot t})$$

Zur Ermittlung des täglichen Heizwärmebedarfs wird schließlich das thermische Verhalten des Objektes betrachtet. Aus der stündlichen Integration der Heizleistung, die aus der Bilanzierung der Wärmeströme berechnet wird, jeweils von 00.00 Uhr bis 24.00 Uhr ergibt sich der tägliche Heizwärmebedarf.

$$P_{\text{Hzg}} = L \cdot (T_i - T_a) - P_{\text{Sol}} - P_{\text{Pers\&Ger}} + C \cdot (T_{\text{Soll}} - T_i) / \Delta t$$

Der Ausdruck $C \cdot (T_{\text{Soll}} - T_i) / \Delta t$ ist für $T_{\text{Soll}} > T_i$ dabei diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um die Raumtemperatur beispielsweise nach einer Nachtabenkung, die zwischen 22.00 Uhr und 06.00 Uhr gegebenenfalls berücksichtigt werden kann, wieder auf die Solltemperatur anzuheben. Δt ist der dafür vorgesehene Zeitraum, der im Programm mit einer Stunde festgelegt ist.

Für die momentane Raumtemperatur T_i wird die für den jeweils vorhergehenden Rechenschritt berechnete Raumtemperatur eingesetzt. Für die Außentemperatur, die täglichen solaren Gewinnen und die inneren Gewinne durch Personen und Geräte gelten dieselben Annahmen wie oben erwähnt. Wenn die Berechnung der momentanen Raumtemperatur T_i einen Wert größer als die aktuelle Raumsolltemperatur T_{Soll} liefert, die durch den Planer festgelegt wird, so besteht kein Heizbedarf.

Für die Berechnung der einzelnen Wärmeströme und genauere Erläuterungen zur Theorie der Heizwärmeberechnung für Gebäude sei auf die einschlägige Literatur verwiesen, siehe [43] und [47].

Bestimmung der Stundenwerte der Wärmelast

Die aus obiger Gleichung errechneten Stundenwerte des Heizwärmebedarfs geben keinen Nutzereinfluss wider. Sie dienen vielmehr der genaueren Berücksichtigung von solaren Gewinnen und von Temperaturabsenkungen. Zur Bestimmung der Stundenwerte werden die Tageswerte des Wärmebedarfs mit gebäudetypischen Tagesverläufen für die Wärmelast gewichtet. Diese Verläufe werden im Programm durch die Möglichkeit zur Einstellung eines Gebäudetyps berücksichtigt. Dazu ist eine große Auswahl an Tagesverläufen beispielsweise für Wohngebäude, Hotels, Gewerbebetriebe, für ein Altenheim oder Krankenhaus gegeben, die aus repräsentativen Messungen der Programmentwickler gewonnen wurden.

Bezugsquellen der Wetterdaten

Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs sind sowohl die Außentemperatur als auch die solaren Strahlungsdaten notwendig. Diese werden dem TRY-Datensatz des *Deutschen Wetterdienstes* entnommen und in einer Datenbank für Klimagebiete im *BHKW-Plan* zur Verfügung gestellt. In der Österreichversion des Programms ist neben deutschen Klimagebieten auch bereits eine Auswahl österreichischer Standorte enthalten. Über die Firma *Steinborn innovative Gebäude-Energietechnik* können unter Angabe der geographischen Länge und Breite und der Seehöhe weitere Klimadaten für Europa bezogen werden.

Prozesswärme

Neben der Berechnung des Heizwärmebedarfs kann noch ein Prozesswärmebedarf eingegeben werden. Dieser wird durch einen Prozess, der den monatlichen Wärmebedarf über ein Jahr, und durch einen Prozesstyp, der die stündliche Lastganglinie über eine Woche beschreibt, festgelegt.

5.1.2 Wärmebedarfsberechnung

Über das Dialogfeld „Wärmebedarf berechnen“ können alle relevanten Daten zur Berechnung eingegeben werden, siehe Bild 43. Die wesentlichen Parameter dabei sind:

- Auswahl eines Klimagebietes

Das Klimagebiet ist auf einen bestimmten Standort mit einer vorgegebenen Seehöhe bezogen. Bei der Installation eines BHKW auf großer Seehöhe muss beachtet werden, dass sich die Motorleistung und dadurch die elektrische Leistung in Abhängigkeit der Aufstellungshöhe ändert. Das muss im gegebenen Fall durch Editieren der BHKW-Kenndaten in der BHKW-Datenbank berücksichtigt werden.

- Auswahl eines Gebäudes

In der Gebäudedatenbank besteht eine große Auswahl an verschiedensten Gebäuden, sowohl an Wohn- als auch an Nichtwohngebäuden. Bei der Erstellung der Gebäudedatenbank wurden charakteristische Gebäude ausgewählt, die durch die Gebäudeart und die Baualtersklasse definiert sind. Hier erfolgt auch die Zuordnung gebäudetypischer Lastganglinien für die Wärmelast. Weiters können Gebäude anhand tatsächlicher Objektdaten neu angelegt werden.

- Auswahl Prozesswärme

Für die Berechnung der Prozesswärme sollte zumindest der monatliche Wärmebedarf bekannt sein. Andernfalls kann der monatliche Verbrauch durch Edition des Jahreswärmeverbrauchs bestehender Prozesse, deren charakteristischer Verlauf zum Beispiel durch einen erhöhten Verbrauch im Winter gekennzeichnet ist, angepasst werden. Die Berechnung der stündlichen Wärmelast erfolgt bei der Prozesswärme ebenfalls durch Zuordnung bestimmter Prozesstypen.

Die Simulation des Wärmebedarfs für Warmwasser kann über die Prozesswärme erfolgen. Dazu stehen in der Datenbank 6 Prozesstypen für den Warmwasserverbrauch von einer verschiedenen Anzahl an Personen zur Verfügung.

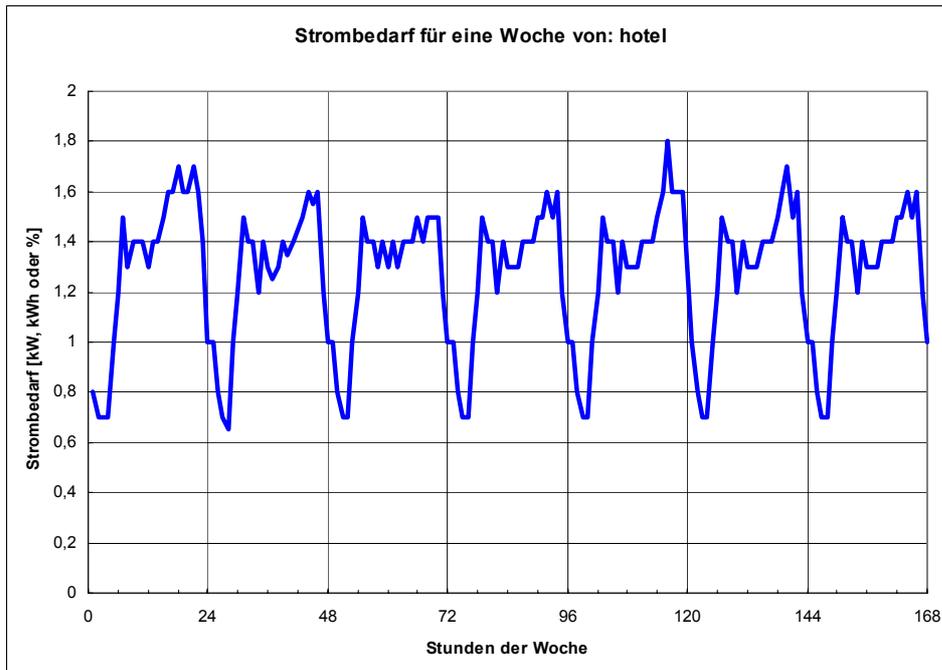


Bild 43: Dialogfeld Wärmebedarfsberechnung ²¹

Die Simulation des Wärmebedarfs für Heiz- und Prozesswärme erfolgt auf Stundenbasis über ein ganzes Kalenderjahr. Die wesentlichen Ergebnisse der Berechnung sind die Ausgabe des gesamten Wärmebedarfs und der maximalen Wärmelast. Darüber hinaus liefert das Programm auch eine graphische Darstellung der Jahresdauerlinie.

5.2 Strombedarf

Der Strombedarf wird über Stromverbraucher, die den monatlichen Strombedarf widerspiegeln, und über Stromverbrauchertypen, die den stündlichen Verlauf über eine Woche beschreiben, ebenfalls auf Stundenbasis über ein Kalenderjahr simuliert. Bild 44 zeigt die Stromlastganglinie über eine Woche für ein Hotel.

Bild 44: Stromlastganglinie über eine Woche ²¹

Für die Berechnung sollte zumindest der monatliche Strombedarf bekannt sein. Andernfalls kann der monatliche Verbrauch wiederum durch Edition des Jahresstrombedarfs bestehender Verbraucher, die durch einen charakteristischen Monatsverlauf gekennzeichnet sind, angepasst werden.

5.3 Wärme- und Stromerzeugung

Die wesentlichen Komponenten im Dialogfeld Wärme- und Stromproduktion sind die Angaben zur KWK-Erzeugung bestehend aus BHKW und Spitzenkessel und die Angaben zur getrennten Erzeugung bestehend aus einem Heizkessel und dem Strombezug über das öffentliche Versorgungsnetz. Darüber hinaus erfolgt hier auch die Berechnung der Energiebilanz des Brennstoffeinsatzes für die kombinierte und getrennte Erzeugung.

The screenshot shows the 'Eingabe zur Wärme- und Stromproduktion' dialog box. It is divided into two main sections: 'KWK-Erzeugung' and 'Getrennte Erzeugung'.
 In the 'KWK-Erzeugung' section, there are radio buttons for 'wärmegeführt' (selected), 'ohne Stromeinspeisung', 'stromoptimiert', and 'stromgeführt'. Below these are radio buttons for 'entsprechenden Bio- oder Klärgasproduktion'. There are input fields for 'Eingabe Bio- oder Klärgasmenge' and 'Eingabe Stromoptimierung'. A text label indicates 'Unterste Leistungsgrenze der BHKW-Module [50 %]' with an input field set to '50 %'. There are checkboxes for 'BHKW-Module' (checked), 'Spitzenkessel' (checked), and 'Wärmeversorgung ohne BHKW' (unchecked).
 In the 'Getrennte Erzeugung' section, there are checkboxes for 'Heizung' (checked) and 'Stromproduktion' (checked). At the bottom, there are buttons for 'Kontrolle löschen', 'Energiebilanz', 'Hilfe', and 'Schließen'.

Bild 45: Eingabefeld zur Wärme- und Stromproduktion ²¹

KWK-Erzeugung

- BHKW-Module

Hier wird die Betriebsweise des BHKW (wärmegeführt, wärmegeführt ohne Stromeinspeisung, wärmegeführt entsprechend dem Klär- oder Biogasangebot, stromoptimiert und stromgeführt) bestimmt und ein entsprechendes BHKW-Modul aus der Datenbank ausgewählt. Als Ergebnis der Simulation liefert das Programm die Resultate für den BHKW-Betrieb wie die Wärme- und Stromproduktion, den Brennstoffverbrauch, den KWK-Deckungsanteil an der Wärme und die Laufzeit des BHKW. Darüber hinaus wird die Jahresdauerlinie zusammen mit der Wärmeproduktion des BHKW graphisch dargestellt.

- Spitzenkessel

Ein Spitzenkessel zur Abdeckung der Wärmebedarfsspitzen kann aus der Heizkessel-Datenbank ausgewählt werden.

Bild 46 zeigt einen Ausschnitt aus der stündlichen Simulation einer Planung mittels *BHKW-Plan*. Die Ganglinie der Stromerzeugung ergibt sich über die Kopplung mit der Wärmeerzeugung im Verhältnis der Wirkungsgrade. In der Grafik sind die Anteile der Über- und Unterdeckung der Wärme- und Stromerzeugung ersichtlich.

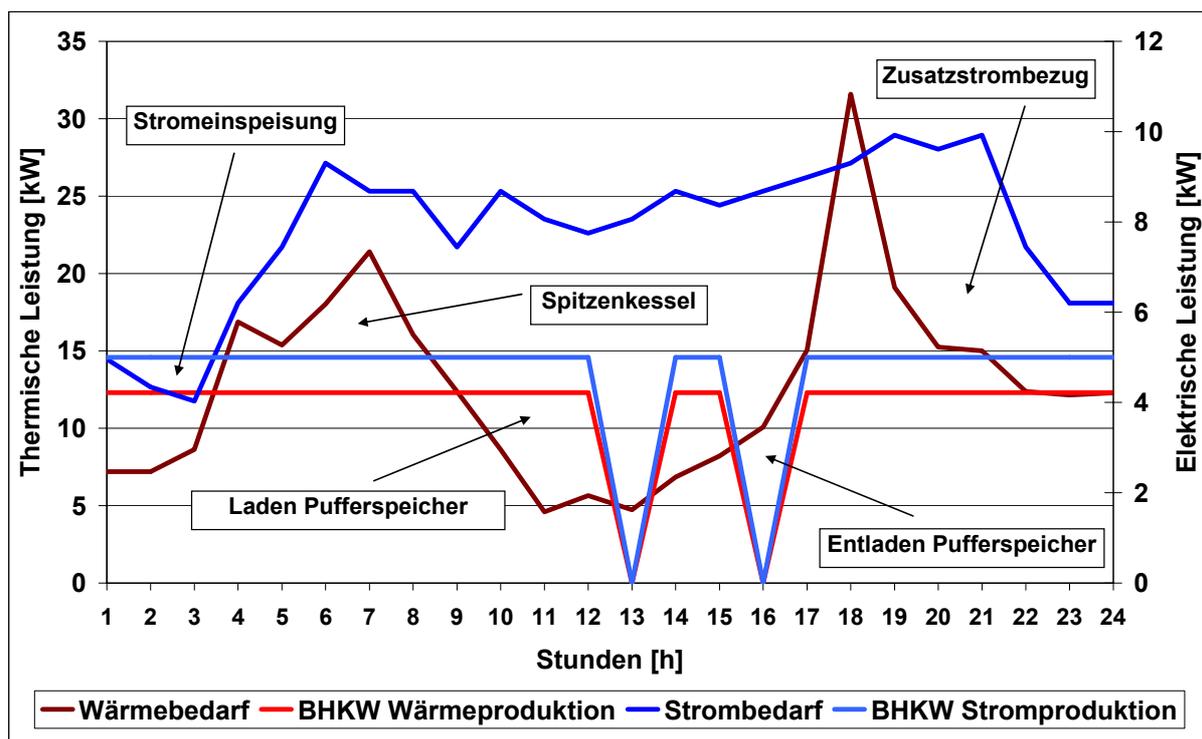


Bild 46: Wärme- und Stromganglinien, eigene Darstellung

Getrennte Erzeugung

Für das Vergleichssystem können Angaben zur getrennten Erzeugung gemacht werden.

- Heizkessel

Für die Auswahl eines Heizkessels steht wiederum die Heizkessel-Datenbank zur Verfügung. Als Ergebnis erhält man die Wärmeproduktion des Heizkessels, den Brennstoffverbrauch und den zugehörigen Jahresnutzungsgrad.

- Stromproduktion

Hier stehen verschiedene Kraftwerkstypen zur Verfügung, die für die Vergleichsrechnung berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich um ein Steinkohle- und ein Erdgas-GuD-Kondensationskraftwerk und einen mittleren Kraftwerksmix (repräsentative Mischung verschiedener Kraftwerkstypen zur Stromerzeugung) aus Österreich und zwei aus Deutschland. Diese Kraftwerkstypen sind mit den entsprechenden Daten zum Brennstoffeinsatz und zu den Emissionen für die Stromgewinnung hinterlegt.

Energiebilanz

Aus den Angaben zur gekoppelten und getrennten Wärmeerzeugung erstellt das Programm eine Energiebilanz der eingesetzten Brennstoffe für beide Systeme.

5.4 Erlöse aus der Stromproduktion

Im Dialogfeld Erlöse aus der Stromproduktion können die Preisregelungen für den Strombezug, die Stromeinspeisung und den Reststrombezug (= Zusatzstrombezug) eingegeben werden. Dabei kann eine Aufschlüsselung in Leistungs- und Arbeitspreis vorgenommen werden. Beim Leistungspreis kann zusätzlich zwischen Sommer- und Wintertarif unterschieden werden. Der Arbeitspreis kann nach Sommer- und Wintertarifen und zusätzlich für beide Tarifzeiten nach Hoch- und Niedertarif differenziert werden.

Obwohl in der Literatur [13] und [52] eine genaue Differenzierung der Tarifzeiten gefordert wird, ist in der neuesten Version des Programms auch eine Angabe von durchschnittlichen Strompreisen für den Bezug und die Einspeisung in [€/kWh] möglich. Als Ergebnis erhält man die Erlöse für vermiedenen Strombezug und die Erlöse für die Stromeinspeisung.

5.5 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die wesentlichen Eingaben bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung sind die

- Angaben zu den Investitionen: Investitionskosten und Nutzungsdauer der einzelnen Anlagenteile, Kalkulationszinssatz und Angabe von Zuschüssen bzw. Zinsreduktionen bei der BHKW-Installation.
- Angaben zu den Betriebskosten: Instandhaltungskosten, Kosten für Personal, Versicherung und Verwaltung.
- Angaben zu den Brennstoffkosten.
- Angaben zur Mineralölsteuerrückerstattung und einer möglichen Stromsteuer für den Verbrauch von eigenerzeugtem Strom.

sowohl für die gekoppelte als auch für die getrennte Erzeugung.

Als Ergebnis werden die Jahreskosten (= Gesamtkosten) für die getrennte und gekoppelte Erzeugung und die Ergebnisse aus Kapitel 5.4 ausgewiesen. Für die kombinierte Erzeugung werden von den Jahreskosten der Wert der Eigenstromerzeugung und mögliche steuerliche Vergünstigungen abgezogen. Aus den jährlichen Wärmeerzeugungskosten werden schließlich die spezifischen Wärmeerzeugungskosten für beide Systeme nach den Methoden aus Kapitel 4 berechnet.

BHKW-Plan weist zudem auch die spezifischen Stromerzeugungskosten für das BHKW aus. Dazu wird die Differenz aus den Jahreskosten des BHKW-Systems und den Jahreskosten des Vergleichssystems gebildet, und dieser Betrag (gegebenenfalls abzüglich steuerlicher Vergünstigungen) wird durch die gesamte, vom BHKW erzeugte Strommenge dividiert. Die spezifischen Stromerzeugungskosten sind vor allem dort von Bedeutung, wo das Ziel des BHKW-Betriebs die Strombereitstellung ist. Sie können folglich mit den Preisen einer anderweitigen Stromversorgung verglichen werden.

Als zweites Wirtschaftlichkeitskriterium berechnet das Programm die dynamische Amortisationsdauer. Dabei wird eine Dauer mit und ohne Berücksichtigung von Energiesteuern (Stromsteuer, Mineralölsteuerrückerstattung) ausgewiesen.

KWK-Erzeugung		Heizung	
Kosten		Kosten	
Kapitalkosten :	3267 €/a	Kapitalkosten :	411 €/a
Betriebskosten:	1272 €/a	Betriebskosten:	112 €/a
Brennstoffkosten:	7123 €/a	Brennstoffkosten:	6593 €/a
Gesamtkosten:	11662 €/a	Gesamtkosten:	7115 €/a
Einnahmen		spez. Wärmekosten:	0.0711 €/kWh
Einspeisung:	0 €/a	Vergleich	
verm. Strombezug:	5510 €/a	- Kosten KWK :	11662 €/a
Gesamteinnahmen:	5510 €/a	+ Gesamteinnahmen:	5510 €/a
Steuern		+ Kosten Heizung:	7115 €/a
Rückerstattung der Mineralölsteuer für die BHKWs:		Überschuß:	964 €/a
587 €/a		Überschuß nach Energiesteuern:	1551 €/a
Stromsteuer ab 700 kW zu zahlen:		spezifische Wärmegestehungskosten nach einer Stromgutschrift:	
0 €/a		0.056 €/kWh th	
Amortisationszeit:		spezifische Stromgestehungskosten nach einer Wärmegutschrift:	
ohne Energiesteuern:	9.9 a	0.093 €/kWh el	
mit:	8.3 a	Hilfe OK	

Bild 47: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnung ²¹

5.6 Emissionsberechnung

Über das Dialogfeld „Emissionen berechnen“ gelangt man zur Darstellung der Ergebnisse der Emissionsberechnung. Darin werden die direkten Emissionen der Energiewandlung ohne die vorgelagerten Prozesse für die gekoppelte und getrennte Erzeugung ausgewiesen. Das Programm berücksichtigt die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO), Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxid (NO_x) und Staub.

5.7 Berichtswesen

Mit dem Berichtswesen können die Ergebnisse der vorangegangenen Berechnungen oder auch einzelne Tabellen und Graphiken ausgedruckt werden.

5.8 Beurteilung des Programms

Das Programm *BHKW-Plan* richtet sich nach Angaben des Herstellers an Energieversorger, Ingenieurbüros, Hersteller und Betreiber von BHKW und Heizungsplaner. Im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts wurde nach grundlegenden Tests mit der Demoversion des Programms die Vollversion für die Planungen (siehe Kapitel 6) angeschafft. Daher sollen hier einige Stärken und Schwächen, die sich aus der Arbeit mit dem Programm herauskristallisiert haben, aufgezeigt werden.

Die Benutzeroberfläche des auf *Excel* basierenden Programms ist sehr ansprechend gestaltet, und die graphische Menüführung erleichtert das Navigieren zwischen den einzelnen Bereichen.

Die Schwierigkeit, die bei der Planung von Blockheizkraftwerken immer wieder auftritt und geäußert wird, ist das Erstellen einer korrekten Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs. Dabei wird vielfach auf Erfahrungswerte und Abschätzungen zurückgegriffen. Darüber hinaus ist eine stündliche Bilanzierung des Strom- und Wärmebedarfs, wie sie in der Literatur gefordert wird, ohne EDV-Unterstützung nahezu unmöglich. Hier liegen die entscheidenden Vorteile einer Simulationssoftware wie *BHKW-Plan*.

BHKW-Plan ermöglicht das rasche Erstellen einer Jahresdauerlinie auf Basis von Gebäude- und Klimadaten. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs auf Basis von Gebäuden, die in der Gebäudedatenbank anhand tatsächlicher Objektdaten gänzlich neu angelegt werden, kann allerdings problematisch sein. Der Grund dafür ist, dass eine Vielzahl von Daten notwendig ist, die oft nicht im entsprechenden Detaillierungsgrad vorliegen. Die umfangreiche Gebäudedatenbank schafft hier aber durch eine große Auswahl an verschiedensten Gebäuden Abhilfe. Es erwies sich als sehr zweckmäßig, auf bestehende Gebäude zurückzugreifen und folgende Änderungen vorzunehmen: Anpassung der U-Werte, der gewünschten Raumtemperaturen und der Öffnungszeiten. Die Änderung der Wohn-/Nutzfläche – unabhängig von der Eintragung in der Gebäudedatenbank – vor der Berechnung ermöglicht eine gute Anpassung an reale Verhältnisse. Dabei wird anhand des Wärmebedarfs des Ursprungsgebäudes der Wärmebedarf neu berechnet, ohne dabei das für die Berechnung über die Gebäudehülle charakteristische Oberflächen-Volumen-Verhältnis zu ändern.

Die Simulation des Wärmebedarfs für Warmwasser über die Prozesswärme erwies sich als sehr vorteilhaft. Dadurch konnte gut auf unterschiedliche Monatsverbräuche, wie sie beispielsweise bei unterschiedlicher Auslastung von Hotels auftreten, eingegangen werden.

Der große Vorteil des Programms ist die stündliche Bilanzierung des Wärme- und des Strombedarfs, die die Grundlage für die BHKW-Simulation und die anschließende Wirtschaftlichkeitsrechnung ist. Als äußerst positiv sind die umfangreichen Datenbanken für die Verbraucher (Gebäude, Prozesswärme, Stromverbraucher) und die große Auswahl an Gebäudetypen, Prozesstypen und Stromverbrauchertypen, die die stündlichen Lastganglinien bestimmen, zu werten. Hier besteht auch die Möglichkeit, sowohl Verbraucher als auch Verbrauchertypen an gegebene Verhältnisse anzupassen oder durch eigene Messdaten gänzlich neu anzulegen.

Bei der Berechnung der Wärme- und Stromerzeugung müssen vier Simulationen durchgeführt werden. Dabei konnten folgende Vor- und Nachteile festgestellt werden. Die Auswahl der Betriebsweise und eines BHKW-Moduls zusammen mit einem Pufferspeicher und einem Spitzenkessel erlaubt eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten. In den Datenbanken ist

eine große Auswahl an BHKW und Heizkessel mit einem breiten Leistungsspektrum und mit verschiedenen Brennstoffen gegeben. Auch hier besteht wiederum die Möglichkeit, BHKW und Kessel sowohl zu editieren als auch neu anzulegen. Die stündliche Simulation der Erzeugung und der damit verbundene Abgleich mit dem stündlichen Bedarf, der auch in der Literatur [13] und [52] gefordert wird, ist sicherlich die große Stärke des Programms. Als nachteilig hat sich das relativ starre Konzept der Betriebsweisen erwiesen. Bei den vorgegebenen Betriebsweisen besteht keine Möglichkeit, darauf Einfluss zu nehmen, zum Beispiel durch Eintragung von Zeiten, in denen das BHKW nicht laufen soll oder durch Wechseln der Betriebsweise innerhalb eines Jahres.

Weiters ist wichtig anzumerken, dass das Programm keine Vorschläge für die Auswahl eines BHKW liefert, das der thermischen und elektrischen Energiesituation am besten entspricht. Es wird keine Optimierungsrechnung durchgeführt, sondern es bleibt Aufgabe des Planers, ein passendes BHKW – auch mit Hilfe der nachfolgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung – auszuwählen. Allerdings können durch die umfangreichen Datenbanken sehr rasch Vergleiche zwischen einzelnen BHKW hergestellt werden.

Die Möglichkeit zur Eingabe von durchschnittlichen Strompreisen für den Strombezug und die Einspeisung in der neuesten Version des Programms erleichtert die Arbeit gerade bei Berechnungen für eine erstmalige Einschätzung des BHKW-Betriebs.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung des Programms erwies sich bei den Planungen als nicht sehr zweckmäßig. Dies ist auf mehrere Gründe zurückzuführen. Zunächst weist die Aufschlüsselung der anfallenden Investitionskosten einen sehr hohen Detaillierungsgrad auf. Darüber hinaus beinhaltet das Programm in Bezug auf eine etwaige Besteuerung elektrischer Energie, in Bezug auf die Mineralölsteuerrückerstattung und Eintragung von Zuschüssen und Förderungen ein Schema, das auf deutsche Verhältnisse und Regelungen abgestimmt ist. Die Betriebskosten sind hingegen auf Grund der Vorgaben aus der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7 leichter zu bestimmen. Insgesamt ist im Verhältnis zu den erzielbaren Ergebnissen ein relativ großer Aufwand zur Ermittlung der Daten notwendig, die für die in der Software integrierte Wirtschaftlichkeitsrechnung benötigt werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist nur auf den Vergleich eines BHKW-Systems mit einem Energieversorgungssystem bestehend aus einem Heizkessel und Strombezug über das Stromnetz ausgerichtet.

Das Programm eignet sich nicht für Auslegungen von BHKW für den Inselbetrieb. Es besteht zwar die Möglichkeit, eine stromgeführte Betriebsweise zu simulieren und somit den ganzen elektrischen Energiebedarf durch das BHKW abzudecken, aber der Einfluss des für einen Inselbetrieb notwendigen Batteriesystems kann nicht berücksichtigt werden.

Insgesamt kann *BHKW-Plan* als sehr positiv bewertet werden. Es ist sehr umfangreich und deckt alle Einflussfaktoren ab, die für eine technische Auslegung und einen Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einem konventionellen Heizungssystem mit Strombezug aus dem Netz notwendig sind. Die Nachplanungen der österreichischen Objekte mit bestehenden BHKW lieferten zudem Ergebnisse, die in guter Näherung die tatsächlichen Verhältnisse widerspiegeln. Die Komplexität einer BHKW-Auslegung erfordert allerdings eine intensive Auseinandersetzung mit dem Programm selbst und auch mit der zu Grunde liegenden Theorie.

6 Planungen im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts

6.1 Allgemeine Beschreibung

Am Beginn des Projekts „Renewable Energy Systems and Micro Combined Heat and Power in Rural Lodges“ stand die Erhebung von so genannten „Green Lodges“. Von jedem Projektpartner (siehe Kapitel 1) wurden anschließend mindestens 10 Betriebe für eine genauere Analyse der Energiesituation ausgewählt. Die dabei durchgeführten Audits beinhalteten eine Analyse der spezifischen Konstruktionscharakteristika, des Energieverbrauchs und der eingesetzten Energiesysteme. Jede Partnerorganisation musste schließlich drei Betriebe auswählen, die für den Einsatz von Blockheizkraftwerken in Frage kommen würden und für die eine technische und ökonomische Berechnung durchgeführt wurde.

6.2 Ermittlung der Inputdaten

Um einen möglichst umfassenden Überblick über die Energiesituation bei den ausgewählten Objekten zu erhalten, wurde ein Fragebogen (siehe Anhang A.4) erstellt, der an die Projektpartner verschickt wurde. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erwähnt, sind zahlreiche Informationen notwendig, um eine korrekte Planung durchführen zu können. Der Fragebogen baut daher auf der Analyse des Programms *BHKW-Plan* auf und soll die Auslegung mit Hilfe des Programms ermöglichen. Bei der Erstellung des Fragebogens galt es, die richtige Balance zwischen Umfang des Fragebogens und der Genauigkeit der benötigten Daten zu finden. Folgende Inputdaten wurden mit dem Fragebogen abgefragt:

- Allgemeine Informationen und Angaben zum Objekt: Lage, Gebäudeart, Baujahr, Nutzfläche, Öffnungszeiten, Zahl der Übernachtungen.
- Objektdaten: Angaben zu Flächen und bauphysikalischen Eigenschaften, durchgeführte Sanierungen, gewünschte Gebäudeinnentemperaturen, Warmwasserverbrauch.
- Strom: Jahresstromverbrauch, monatlicher Stromverbrauch, Angaben zur maximalen und minimalen benötigten elektrischen Leistung und Zeitpunkt ihres Auftretens, Angaben zu den Strombezugspreisen und Einspeisetarifen.
- Angaben zum installierten Heizungssystem: Kesselleistung, Baujahr, Laufzeit.
- Angaben bezüglich der Errichtung und Einbindung: Anschluss an die öffentlichen Versorgungsnetze, Brennstofflagerräume, Warmwasserspeicher.
- Brennstoffverbrauch: Eingesetzte Brennstoffe, Jahres- und Monatsverbrauch.
- Brennstoffkosten.
- Steuern und Förderungen.

Der Fragebogen wurde im Dezember 2005 an die Projektpartner – ausgenommen der Projektleitung - versandt und mussten bis 31.01.2006 retourniert werden. Die Fragebogen wurden von allen beteiligten Projektpartnern - in unterschiedlicher Qualität - ausgefüllt und an die *Österreichische Energieagentur* zurückgesandt. Danach erfolgte die Planungsphase.

6.3 Annahmen bei der Planung

Die Schwierigkeit bei den Planungen lag vor allem darin, dass die Daten nicht selbst vor Ort aufgenommen werden konnten, und die Auslegungen rein mit Hilfe der Informationen aus den Fragebögen durchgeführt wurden. Daher war es notwendig, einige Arbeitsschritte bei allen Planungen identisch auszuführen, beziehungsweise die gleichen Annahmen zu treffen.

- Die für die Berechnung notwendigen Klimadaten wurden entsprechend den Angaben zur geografischen Lage der Objekte von *Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung* bezogen.
- Der Fragebogen, mit dem die Inputdaten für die Planungen eruiert wurden, zielte darauf ab, die Gebäude anhand der angegebenen Objektdaten vollkommen neu in der Datenbank anzulegen. Auf deren Basis sollte die Auslegung durchgeführt werden. Das erwies sich aber bereits zu Beginn der Planungen als problematisch. Die Gründe dafür waren einerseits die große Zahl an Objektdaten, die notwendig sind und oft nicht im entsprechenden Detaillierungsgrad angegeben werden konnten, und andererseits, dass Unstimmigkeiten bei den Angaben vorlagen. Daher wurde, wie bereits vorhin erwähnt, auf bestehende Gebäude zurückgegriffen und folgende Änderungen vorgenommen: Anpassung der U-Werte, der gewünschten Raumtemperaturen und der Öffnungszeiten, Änderung der Wohn-/Nutzfläche unabhängig von der Eintragung in der Gebäudedatenbank.
- Der Heizkessel des Vergleichssystems wurde auf den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Objektes ausgelegt.
- Bei den Planungen wurde davon ausgegangen, dass das BHKW in die bestehenden Heizungsräumlichkeiten eingebaut werden kann, und daher keine baulichen Maßnahmen notwendig sind.
- Weiters wurde bei den Planungen auf die bestehende Brennstoffinfrastruktur zurückgegriffen.
- Vorhandene Heizkessel wurden als Spitzenkessel eingeplant, wenn noch eine ausreichende Nutzungsdauer gegeben war.

Wie in der Beurteilung des Programms bereits erwähnt, erwies sich die im *BHKW-Plan* integrierte Wirtschaftlichkeitsberechnung als nicht sehr zweckmäßig für die Planungen, weil sie einerseits sehr detailliert ist, und andererseits nur ungenügend auf die unterschiedlichen Verhältnisse in den Ländern der Partnerorganisationen eingegangen werden konnte. Daher wurden eigene *Excel*-Tabellen zur Erlös- und Wirtschaftlichkeitsberechnung auf Basis der VDI-Richtlinie 2067 erstellt, in denen die Ergebnisse des *BHKW-Plan* hinsichtlich Strombedarf, Reststrombezug und Stromeinspeisung und hinsichtlich Brennstoffverbrauch und Wärmebedarf verwendet werden (siehe Anhang A.5). Somit können die verschiedenen Rahmenbedingungen besser berücksichtigt werden. Folgende Vereinfachungen und Annahmen wurden dabei bei den Berechnungen der jährlichen Wärmeerzeugungskosten bzw. den spezifischen Wärmeerzeugungskosten und der dynamischen Amortisationsdauer (nach Kapitel 4) berücksichtigt.

- Obwohl in der Literatur eine genaue Differenzierung der Strompreise gefordert wird, wurde die Erlösberechnung aus der Stromproduktion auf Basis durchschnittlicher Strompreise durchgeführt, so wie es auch in der neuesten Version des *BHKW-Plan*

möglich ist. Das erwies sich als sehr vorteilhaft, da von den Projektpartnern teilweise die genauen Tarifregelungen nicht angegeben wurden und auch nicht zu eruieren waren.

- Bei den Investitionen wurden die Ausgaben für das BHKW-Modul und gegebenenfalls für einen Spitzenkessel und Pufferspeicher berücksichtigt. Da weitere Kosten für jedes einzelne Projekt schwer zu ermitteln waren, wurde auf Erfahrungswerte aus der Literatur zurückgegriffen.

Neben den Modulkosten sind noch Einbindungs- und Planungskosten zu berücksichtigen. Die Planungskosten betragen dabei rund 10 % der Investitionskosten. Die Kosten für die Systemeinbindung (Strom, Gas, Wärme) können mit ca. 15 – 25 % der Gesamtinvestition angenommen werden [1]. Hinsichtlich der Kosten für die alleinige Einbindung eines Heizkessels beim Vergleichssystem wurde die Hälfte des Prozentsatzes für die BHKW-Einbindung angenommen.

- Für die Nutzungsdauer des BHKW und der Kessel wurden die in der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7 angegebenen Werte von 15 bzw. 20 Jahren verwendet. Die Investitionen für Planungen und die Einbindung wurden auf dieselbe Nutzungsdauer wie für das BHKW beziehungsweise den Heizkessel verteilt.
- Als Kalkulationszinssatz wurde der von den Projektpartnern angegebene Zinssatz für Fremdfinanzierungen angenommen.
- Die Instandhaltungskosten für das BHKW wurden entsprechend der *ASUE*-Studie [14] mit ca. 0,03 [€/kWh_e] für einen Vollwartungsvertrag angenommen. Für die Instandhaltung des Spitzen- bzw. Heizkessels wurde der entsprechende Wert aus der VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7 übernommen, siehe [52].

6.4 Planungen

Von allen Partnerorganisationen wurden jeweils drei Gebäude für einen möglichen Einsatz eines Blockheizkraftwerkes bestimmt. Inklusiv der drei österreichischen Objekte galt es, für 24 Objekte eine technische und wirtschaftliche Auslegung und Planung vorzunehmen. Die Gebäude teilten sich folgendermaßen auf die nachstehenden Kategorien auf.

- 6 Hotels
- 5 Seniorenheime
- 3 Ferienhäuser
- 3 Klöster / Kirchliche Zentren
- 2 Landwirtschaftliche Tourismusbetriebe
- 2 Herbergen
- 2 Schutzhütten
- 1 Hotel + Gaststätte

Im Rahmen dieser Arbeit werden 3 Fälle beispielhaft dargestellt. Beim ersten Objekt handelt es sich um ein Hotel mit angeschlossener Gaststätte in Wien, das auf Grund seines Wärmebedarfs einen typischen Anwendungsfall für ein BHKW darstellt und bei dem auch eine Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden konnte. Die zweite Planung untersucht eine Jugendherberge im Norden Spaniens, die einen Grenzfall darstellt. Sie würde sich aufgrund

des Energiebedarfs für den Einsatz eines BHKW eignen, eine Wirtschaftlichkeit ist aber gerade nicht gegeben. Der dritte Fall ist die Planung für ein Ferienhaus im Süden Spaniens, das aus mehreren Gründen für den Einsatz eines BHKW nicht geeignet ist. Bei allen Planungen wurde eine Auslegung eines BHKW-Systems und eines Vergleichsheizungssystems vorgenommen. Da die Amortisationsdauer nach wie vor als eines der wesentlichen Kriterien bei einer Investitionsentscheidung gilt, wurde bei den in dieser Diplomarbeit behandelten Fallstudien zudem noch eine Sensitivitätsanalyse der Amortisationsdauer vorgenommen. Eine Grafik gibt abschließend noch einen Überblick über alle durchgeführten Planungen.

6.4.1 *Schneider-Gössl, Österreich (AEA)*



Bild 48: Hotel/Restaurant *Schneider-Gössl*,
Quelle: *Österreichische Energieagentur*

Beim Objekt *Schneider-Gössl* handelt es sich um ein Hotel mit angeschlossenen Heurigen bzw. Restaurant. Der Betrieb wird ganzjährig bewirtschaftet, und es stehen 9 Gästezimmer zur Verfügung. Im Jahr 2004 konnten insgesamt 3.500 Nächtigungen verzeichnet werden. Das Objekt befindet sich im 13. Wiener Gemeindebezirk und ist teils sehr dicht von anderen Objekten umgeben. Die Außenwände bestehen aus Vollziegel, an denen bisher noch keine weiteren Dämmmaßnahmen vorgenommen wurden. Im ausgebauten und beheizten Teil des Dachbodens befinden sich Gästezimmer. Der Rest des Dachbodens und auch der Keller sind unbeheizt [55].

Technische Planung

Im Jahr 2003 wurde eine Erneuerung des Warmwasser-Heizungssystems durchgeführt, der 27 Jahre alte Heizkessel wurde ersetzt. Aufgrund des erhöhten Wärmebedarfs durch den Hotel- und Restaurantbetrieb und gleichzeitigen Bedarfs an Strom und Wärme entschied man sich für den Einsatz eines BHKW. Ein BHKW der Firma *SenerTec* wurde angeschafft, und zur Abdeckung der thermischen Lastspitzen wurde ein Gas-Niedertemperaturheizkessel installiert. Die wesentlichen technischen Kenndaten des BHKW und des Heizkessels sind in Tabelle 20 angeführt. Ein Warmwasserspeicher mit einem Volumen von 1.000 [l] wurde ebenfalls vorgesehen.

Tabelle 20: Technische Daten – BHKW und Spitzenkessel, *Schneider-Gössl*

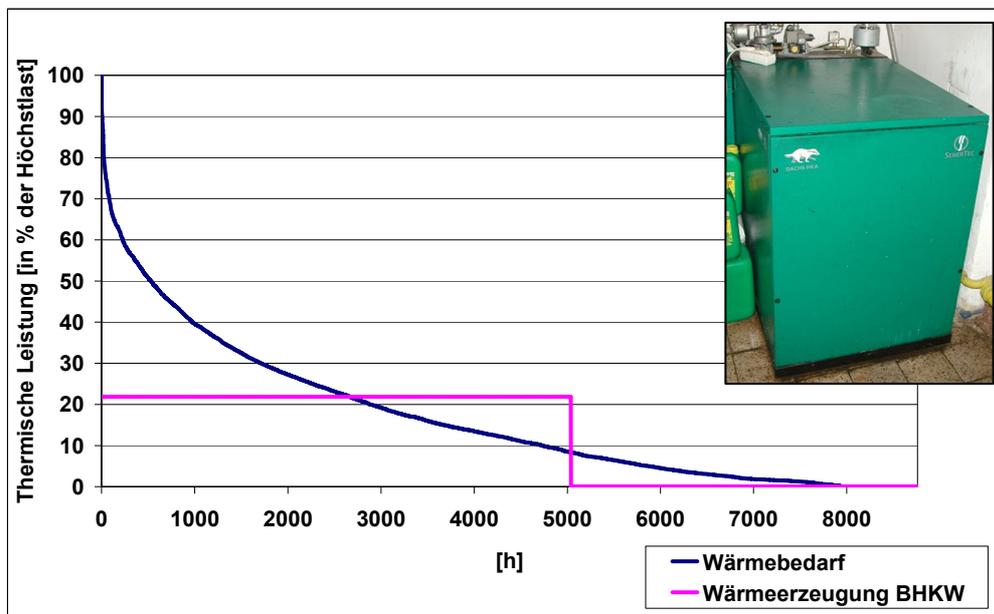
Senertec Dachs Heizkraftanlage G5.0		Gas-Niedertemperaturheizkessel Buderus Logano G234-44	
Brennstoffwärmeleistung	19,6 [kW]	Brennstoffwärmeleistung	47,3 [kW]
Nennwärmeleistung	12,3 [kW]	Nennwärmeleistung	44 [kW]
Elektrische Nennleistung	5 [kW]		
Thermischer Wirkungsgrad	63 [%]	Thermischer Wirkungsgrad	93 [%]
Elektrischer Wirkungsgrad	26 [%]		
Gesamtwirkungsgrad	89 [%]		
Brennstoff	Erdgas	Brennstoff	Erdgas

Bei dieser Planung handelt es sich daher um eine Nachplanung der bestehenden BHKW-Anlage. Mit Hilfe der Grundrisspläne wurde eine beheizte Nettogeschoßfläche von 484 [m²] ermittelt. Folgende, weitere grundlegende Inputparameter wurden für die Auslegung verwendet.

Tabelle 21: Inputdaten, *Schneider-Gössl*

Klimadaten	Wien, Österreich Seehöhe: 171 m	
Beheizte Nettogeschoßfläche	484	m ²
Durchschnittlicher Warmwasserverbrauch	800	l/Tag
Strombedarf	65.000	kWh/a

Der Heizwärmebedarf wurde über die Gebäudedaten und das Klimagebiet Wien simuliert, und der Wärmebedarf für Warmwasser über die Prozesswärme berechnet. Das installierte BHKW und der Spitzenkessel waren in den Datenbanken vorhanden und konnten entsprechend ausgewählt werden. Als Vergleichssystem wurde ein Gasheizkessel ausgewählt, der die thermische Spitzenlast und den gesamten Wärmebedarf decken kann.

Bild 49: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, *Schneider-Gössl*

Das BHKW ist nicht modulierbar und wird wärmegeführt betrieben. Bild 49 zeigt die Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs, in der die Jahresdauerlinie der Wärmeproduktion des BHKW eingetragen ist. Die nachfolgende Tabelle 22 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Simulation zusammen.

Tabelle 22: Ergebnisse der Berechnung, *Schneider-Gössl*

Wärmebedarfsberechnung	Ergebnis	Einheit
Gesamter Wärmebedarf	82,8	MWh
Maximaler Wärmeleistungsbedarf	56	kW
BHKW Daten		
Wärmeerzeugung BHKW	61,98	MWh/a
KWK-Deckungsanteil an der Wärme	74,9	%
Stromerzeugung BHKW	25,19	MWh/a
Laufzeit BHKW	5.039	h

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Da der alte Heizkessel nach 27 Jahren das Ende seiner Lebensdauer erreicht hatte, musste über die weitere Energieversorgung entschieden werden. Dieses Objekt eignet sich daher sehr gut für die Gegenüberstellung von gekoppelter und getrennter Erzeugung im Falle einer Neuinstallation. Es werden alle Kosten für das BHKW und den Spitzenkessel mit jenen der getrennten Wärme- und Strombereitstellung verglichen. Ergänzend zu den Annahmen aus Kapitel 6.3 wurden entsprechende Einflussfaktoren wie folgt berücksichtigt:

- Durchschnittliche Strombezugskosten wurden aus den Stromrechnungen ermittelt.
- Für eine etwaige Rückspeisung überschüssigen Stroms gibt es keine Vergütung seitens des EVU.
- Der Kalkulationszinssatz wurde mit dem in Österreich durchschnittlichen Zinssatz von 4 % für Fremdfinanzierungen im gewerblichen Bereich angesetzt.²²
- Es wurde eine Förderung von 30 % für die umweltrelevanten Investitionskosten berücksichtigt, die die *Kommunalkredit Public Consulting* im Rahmen der betrieblichen Umweltförderung im Inland für energieeffiziente Maßnahmen - wie sie z. B. eine Kraft-Wärme-Kopplung darstellt - gewährt. Siehe dazu Kapitel 7.1.2.2. Der Förderungsbeitrag wurde näherungsweise aus den Modul- und Einbindungskosten berechnet.
- Die Mineralölsteuerrückerstattung wurde entsprechend den österreichischen Regelungen berücksichtigt, siehe auch Kapitel 7.1.2.3.

Anhand der folgenden Grafiken sollen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung erläutert werden. Die Berechnung der jährlichen Wärmeerzeugungskosten nach Kapitel 4.2.1 führt zu folgendem Ergebnis.

Tabelle 23: Wirtschaftlichkeitsberechnung, *Schneider-Gössl*

		BHKW-System	Heizungssystem
Kapitalkosten	[€/a]	1.783,03	735,76
Betriebskosten	[€/a]	848,16	97,50
Brennstoffkosten	[€/a]	5.829,07	4.333,45
Jahreskosten	[€/a]	8.460,26	5.166,71
Mineralölsteuerrückerstattung	[€/a]	377,93	
Vermiedener Strombezug	[€/a]	3.237,76	
Erlöse	[€/a]	3.615,69	
Jährliche Wärmeerzeugungskosten	[€/a]	4.844,56	5.166,71
Spezifische Wärmeerzeugungskosten	[€/kWh _{th}]	0,0585	0,0624
Spezifische Stromerzeugungskosten	[€/kWh _{el}]	0,1157	

In Bild 50 sind die jährlichen Wärmeerzeugungskosten für das BHKW-System und ein konventionelles Heizungssystem dargestellt. Dabei ist sehr gut ersichtlich, wie die Jahreskosten durch die Erlöse vermindert werden. Insgesamt ist ein leichter Kostenvorteil für das BHKW-System zu erkennen.

²² Telefonat: Hr. Gruber, *Raiffeisenbank St. Marien*, 13.03.2006.

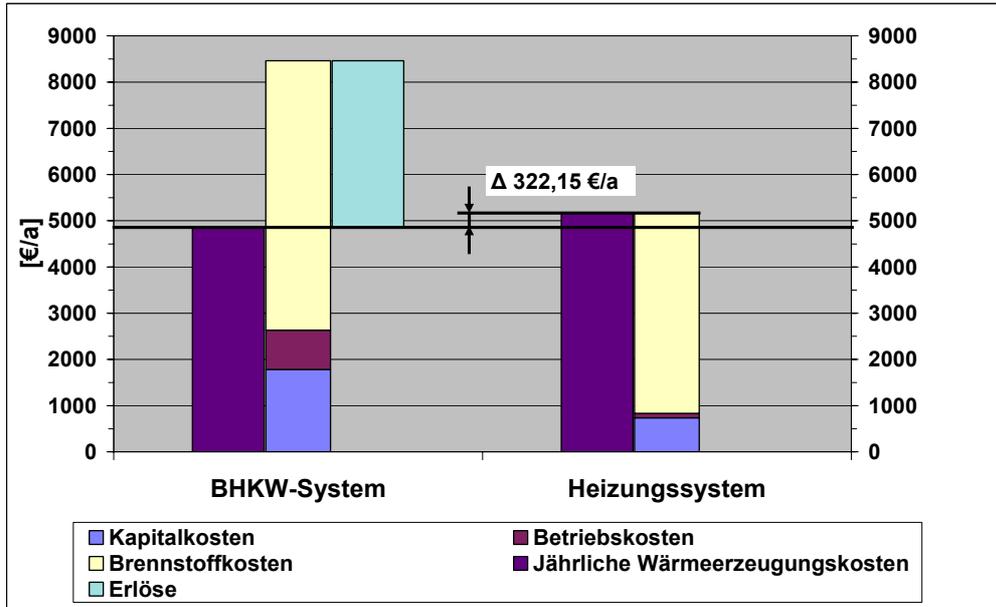


Bild 50: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, *Schneider-Gössl*

Die Division der jährlichen Wärmeerzeugungskosten durch die gesamte bereitgestellte Wärmearbeit führt zu den spezifischen Wärmeerzeugungskosten, Bild 51.

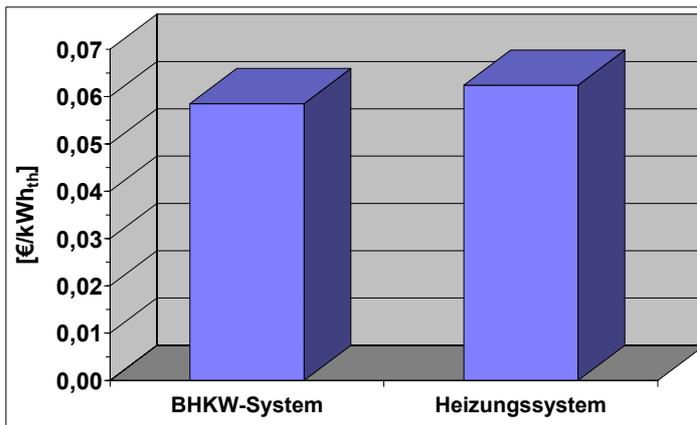
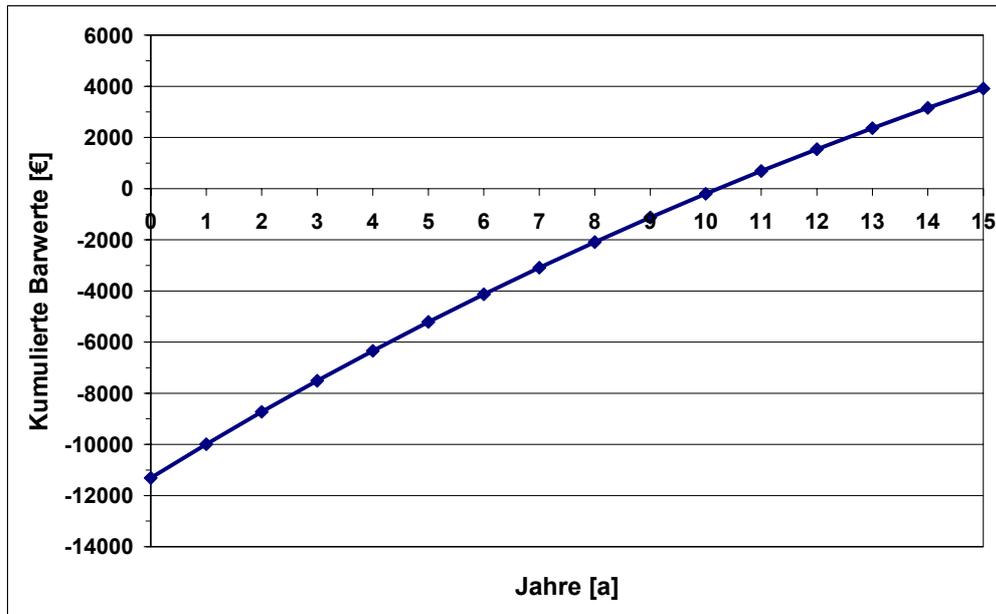
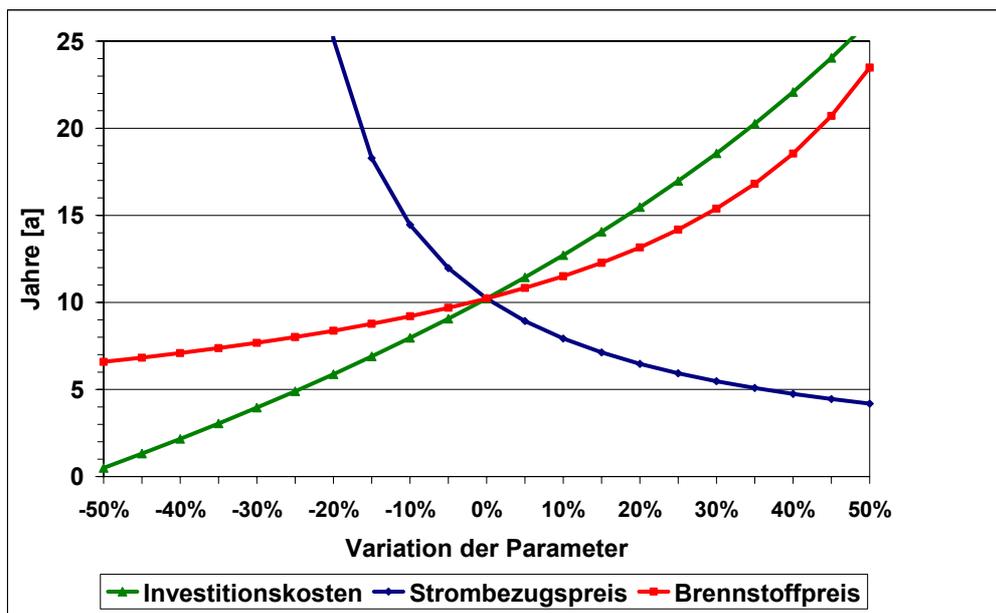


Bild 51: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, *Schneider-Gössl*

Zur Berechnung der Amortisationsdauer wurde die dynamische Rechenmethode verwendet. Gegenüber einem Heizungssystem ergeben sich bei diesem Projekt Mehrinvestitionen für das BHKW-System in der Höhe von 11.310 [€]. Diese Mehrinvestition muss durch verminderte, laufende Kosten aus dem BHKW-Betrieb gegenüber einem konventionellen Heizkessel zurück gewonnen werden. Dazu wurde die in Kapitel 4.3 beschriebene Vorgehensweise angewandt. Die Berechnung ergibt eine dynamische Amortisationsdauer von 10,2 Jahren, siehe auch Bild 52.

Bild 52: Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer, *Schneider-Gössl*

Die Amortisationsdauer wurde schließlich noch einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Dabei wurde untersucht, wie stabil die Lösung in Bezug auf die Variation folgender Parameter ist: Investitionskosten, Strombezugspreis und Brennstoffpreis.

Bild 53: Sensitivitätsanalyse, *Schneider-Gössl*

Aus der Grafik sind die Auswirkungen der Parametervariation ersichtlich. Die Amortisationsdauer zeigt sich relativ elastisch gegenüber dem Erdgaspreis. Hier ist eine Steigerung um bis zu ca. 30 % möglich, um trotzdem noch eine Amortisation innerhalb der Nutzungsdauer des BHKW zu erreichen. Viel sensibler sind die Strombezugspreise, es bleibt nur ein geringer Spielraum nach unten. Bereits bei einer Verringerung des durchschnittlichen Strombezugspreises von derzeit 0,13 [€/kWh] um 10 % stößt man an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit. Die Variation der Investitionskosten macht den Einfluss der Förderung deutlich. Würden die Investitionen bei gleich bleibendem Strombezugs- und Brennstoffpreisen um etwas mehr als 15 % steigen, z. B. durch Kürzung oder Wegfall der Förderung, dann würde bereits die kriti-

sche Amortisationsdauer erreicht werden. Eine weitere Verringerung der Investitionskosten würde die Amortisationsdauer zusätzlich verbessern.

Schlussfolgerung

Das BHKW-System erweist sich im tatsächlichen Betrieb als gute, technische Lösung. Beim berechneten Wärmebedarf erzielt das BHKW eine ansprechende Laufzeit, und auf Basis der Simulationsrechnung können rund 38 % des Strombedarfs durch Eigenerzeugung gedeckt werden. Die beiden durchgeführten Investitionsrechnungen belegen auch eine Wirtschaftlichkeit der Anlage. Ausschlaggebend dafür sind die Strombezugspreise in Österreich, das Ausmaß des vermiedenen Strombezugs, die vorhandene Investitionsförderung und die Möglichkeit der Mineralölsteuerrückerstattung. Auf Grund der Sensitivitätsanalyse kann die Wirtschaftlichkeit als relativ stabil bezeichnet werden.

6.4.2 Albergue El Florian, Spanien (ENERNALON)

Dieses Objekt ist eine Jugendherberge in Asturien, Nordspanien. Sie wurde im Jahr 2004 erbaut und ist ganzjährig geöffnet. Die Herberge bietet eine Übernachtungsmöglichkeit für bis zu 110 Personen. Das Klima in Nordspanien wird wie folgt beschrieben. „Die atlantische Klimazone Asturiens zeichnet sich durch ein feuchtes und mildes Klima mit gemäßigten Temperaturen aus. Im Hochgebirge herrscht ein alpines Klima mit entsprechenden winterlichen Frostperioden.“²³

Technische Planung

Die Wärme für Heizung und Warmwasser wird von 2 Ölheizkesseln mit einer thermischen Leistung von 81 bzw. 32 [kW_{th}] bereitgestellt, und ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 1000 [l] steht zur Verfügung. Bei der Planung wurde auf die Tatsache Rücksicht genommen, dass das Gebäude und die vorhandenen Installationen erst kürzlich errichtet wurden. Bei der gekoppelten Erzeugung wird der vorhandene, größere Heizkessel als Spitzenkessel weiterverwendet, und es wird auf die bestehende Brennstoffinfrastruktur zurückgegriffen. Folgende grundlegende Eingabegrößen wurden für die Auslegung herangezogen.

Tabelle 24: Inputdaten, *Albergue El Florian*

Klimadaten	Oviedo, Spanien Seehöhe: 273 m	
Beheizte Nettogeschoßfläche	1.400	m ²
Wärmebedarf für Warmwasser	14,53	MWh/a
Strombedarf	39.686	kWh/a

Der Heizwärmebedarf wurde über die Gebäudedaten und das Klimagebiet Oviedo (Asturien, Spanien) berechnet und der Wärmebedarf für Warmwasser in Abhängigkeit der Auslastung simuliert.

²³ Cantabrico e. V. - Vereinigung zur Förderung der deutsch-nordspanischen Zusammenarbeit: Grunddaten Asturien.
<http://www.cantabrico.info/ferienhaus-spanien/asturien/asturias/index.html> (Mai 2006).

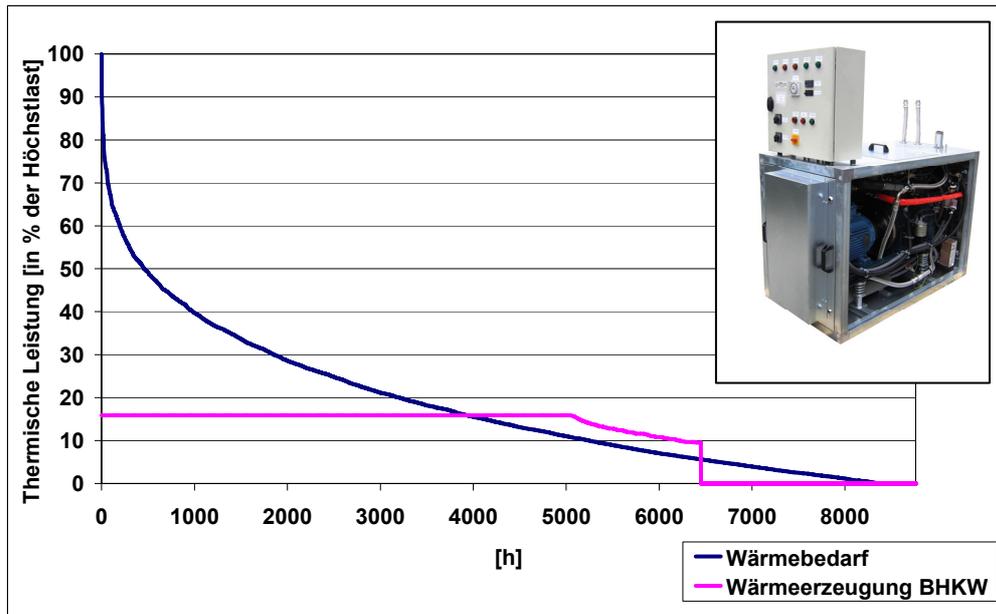


Bild 54: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, *Albergue El Florian*

Für den berechneten Wärmebedarf wurde ein BHKW der Firma *GIESE* (7,5 [kW_{el}] / 15 [kW_{th}]) ausgewählt. Es ist in einem Leistungsbereich von 60 bis 100 % modulierbar und wurde wärmegeführt ausgelegt. Als Spitzenkessel wurde ein Niedertemperatur-Ölheizkessel mit der entsprechenden Leistung des vorhandenen Kessels aus der Datenbank berücksichtigt. Die nachfolgende Tabelle 25 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Simulation zusammen.

Tabelle 25: Ergebnisse der Berechnung, *Albergue El Florian*

Wärmebedarfsberechnung	Ergebnis	Einheit
Gesamter Wärmebedarf	150,4	MWh
Maximaler Wärmeleistungsbedarf	94	kW
BHKW Daten		
Wärmeerzeugung BHKW	91,53	MWh/a
KWK-Deckungsanteil an der Wärme	60,9	%
Stromerzeugung BHKW	45,77	MWh/a
Laufzeit BHKW	6.450	h

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde die Neuwertigkeit der Installation folgendermaßen berücksichtigt. Die gekoppelte Erzeugung, bestehend aus dem BHKW und dem vorhandenen Heizkessel als Spitzenkessel, wurde mit der derzeitigen Wärmeversorgung durch die Heizkessel verglichen. Dabei wurden für die bereits installierten Kessel keine Kapitalkosten berechnet. Diese Vorgehensweise wird durch die Literatur gedeckt, siehe [1] und [13].

Ergänzend zu den Annahmen aus Kapitel 6.3 wurden weitere Parameter aus der Beantwortung des Fragebogens wie folgt berücksichtigt.

- Für die Rückspeisung von Strom aus dem BHKW besteht ein Einspeisetarif von durchschnittlich 0,1739 [€/kWh].
- Es gibt keine finanzielle Unterstützung für die Anschaffung eines BHKW.
- Es besteht keine Möglichkeit auf Mineralölsteuerrückerstattung für den in Kraft-Wärme-Kopplungen eingesetzten Brennstoff.

Bild 55 zeigt die grafische Darstellung der Kosten für die gekoppelte und getrennte Erzeugung. Bei den jährlichen Wärmeerzeugungskosten ergibt sich ein Vorteil für die Wärmebereitstellung durch die Heizkessel.

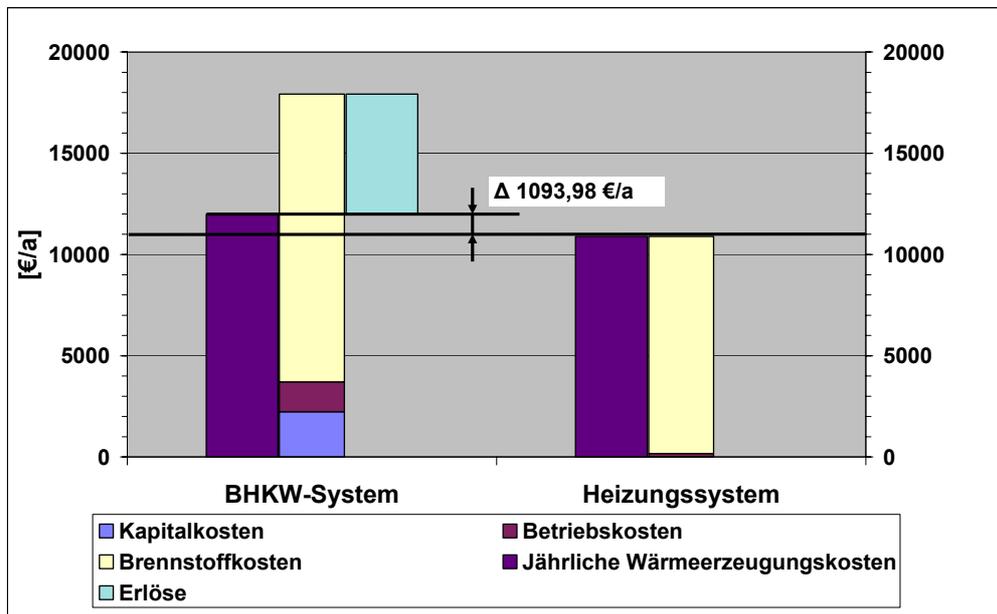


Bild 55: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, *Albergue El Florian*

Folglich weisen die Heizkessel ebenfalls geringere spezifische Wärmeerzeugungskosten auf.

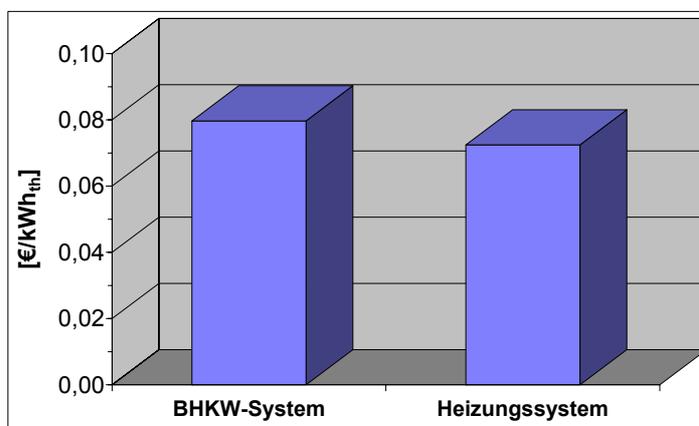


Bild 56: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, *Albergue El Florian*

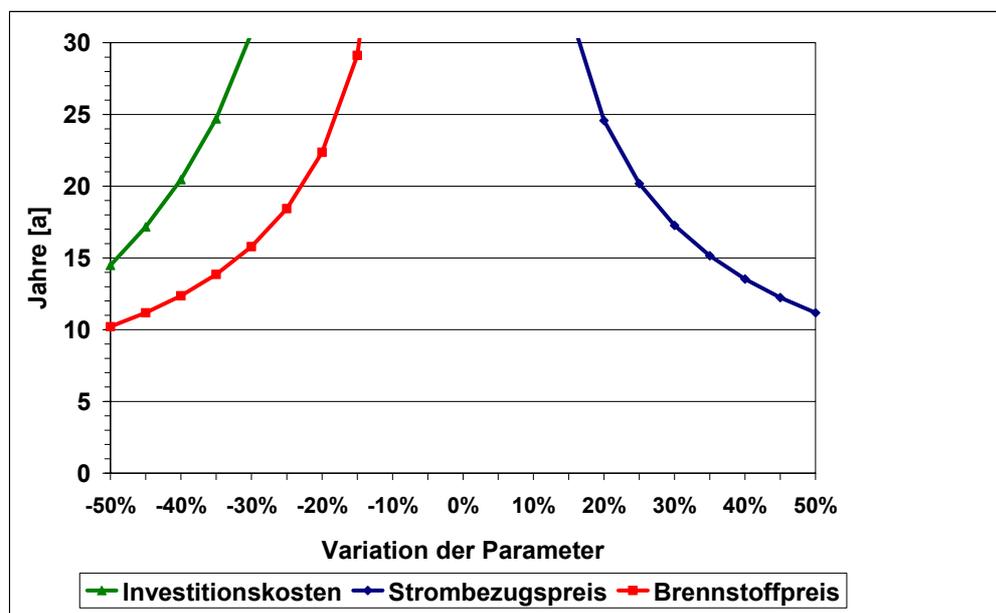
Zur Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer wurde wiederum das in Kapitel 4.3 beschriebene Schema angewandt, siehe Tabelle 26. Die Investitionen für die Installation eines BHKW wurden mit 20.350 [€] berechnet.

Tabelle 26: Bilanzierung für die dynamische Amortisationsdauer, *Albergue El Florian*

Investition in BHKW-System	[€]	20.350
Investition in Heizungssystem	[€]	0
Mehrinvestition	[€]	20.350
Betriebskosten – BHKW-System	[€/a]	-1.475
Brennstoffkosten – BHKW-System	[€/a]	-14.209
Betriebskosten – Heizungssystem	[€/a]	172
Brennstoffkosten – Heizungssystem	[€/a]	10.721
Erlöse aus der Stromeinspeisung	[€/a]	2.844
Vermiedener Strombezug	[€/a]	3.088
Cash Flow	[€/a]	1.140

Das finanzmathematische Verfahren bei der Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer führt dazu, dass trotz eines positiven Cash Flows keine Amortisationsdauer gegeben ist. Der jährliche Überschuss ist zu gering.

Durch eine Sensitivitätsanalyse soll wiederum der Einfluss der Parameter Investitionskosten, Strombezugspreis und Brennstoffpreis untersucht werden. Weiters soll gezeigt werden, ab wann eine Amortisation dieses Investitionsvorhabens gegeben wäre.

Bild 57: Sensitivitätsanalyse, *Albergue El Florian*

Aus der Grafik erkennt man, dass ab einer Erhöhung des Strombezugspreises von derzeit durchschnittlich 0,105 [€/kWh] um 35 % eine Amortisation innerhalb der Nutzungsdauer des BHKW erreicht werden würde. Im Gegensatz dazu müsste der Brennstoffpreis um mindestens 35 % sinken, um akzeptable Amortisationszeiten zu erhalten. Bei gleich bleibenden Strombezugs- und Brennstoffpreisen wäre eine massive Verringerung der Investition, zum Beispiel durch Förderungen, notwendig, um eine Wirtschaftlichkeit der Anlage zu erreichen.

Schlussfolgerung

Auf Grund der Größe und Art des Objektes ergibt sich ein Wärmebedarf, der für den Einsatz eines BHKW passend wäre. Bei der Abdeckung der Wärmegrundlast würde das BHKW eine Laufzeit von ca. 6.500 Stunden erreichen und der dabei erzeugte Strom würde rund 75 % des Strombedarfs decken. Trotzdem ist im Vergleich zum konventionellen Heizungssystem keine Wirtschaftlichkeit bei diesem Projekt gegeben. Hauptursache dafür sind die vergleichsweise niedrigen Strombezugstarife und die Verwendung von Heizöl als Brennstoff. Die Sensitivitätsanalyse zeigt aber, dass eine Amortisation innerhalb der Lebensdauer möglich wäre, wenn die Strompreise steigen. Ein finanzieller Anreiz für die Investition in eine Kraft-Wärme-Kopplung in Form von Förderungen würde zum Beispiel bei gleichzeitig höheren Strompreisen ebenfalls einen wirtschaftlichen Betrieb eines BHKW ermöglichen.

Erschwerend für die Anschaffung eines BHKW kommt bei dieser Fallstudie hinzu, dass die Heizungsanlage neuwertig ist, und der mögliche Einsatz eines BHKW nicht schon beim Bau in Betracht gezogen wurde. Einer der eben erst installierten Kessel wäre beim Betrieb eines BHKW nicht mehr notwendig.

6.4.3 El Cercadillo, Spanien (AGENER)

Die dritte Fallstudie behandelt ein Ferienhaus im Süden Spaniens, in Andalusien. Es hat eine Wohnfläche von 250 [m²], 17 Gästebetten und ist das ganze Jahr geöffnet. Dieses Beispiel soll dazu dienen, die Grenzen eines BHKW-Einsatzes auf Grund zu geringen Wärmebedarfs aufzuzeigen.

Andalusien gilt als eine der wärmsten Regionen Europas. Das gemäßigte Mittelmeerklima ist verantwortlich für trockene, heiße Sommer und milde Winter mit vereinzelt Niederschlägen.²⁴

Technische Planung

Es ist wichtig anzumerken, dass in dem Gebäude kein zentrales Heizungssystem vorhanden ist. Das Objekt wird elektrisch beheizt, es stehen insgesamt 18 Elektroradiatoren mit einer Gesamtleistung von 15,4 [kW] zur Verfügung. Das Warmwasser wird ebenfalls elektrisch geheizt. Folgende grundlegende Eingabeparameter wurden für die Auslegung verwendet.

Tabelle 27: Inputdaten, *El Cercadillo*

Klimadaten	Jaen, Spanien Seehöhe: 600 m	
Beheizte Nettogeschoßfläche	250	m ²
Durchschnittlicher Warmwasserverbrauch	300	l/Tag
Strombedarf	18.250	kWh/a

Der Heizwärmebedarf wurde über die Gebäudedaten und das Klimagebiet Jaen (Andalusien, Spanien) berechnet, und der Wärmebedarf für Warmwasser über den durchschnittlichen Verbrauch simuliert. Für den BHKW-Betrieb ist natürlich ein Verteilungssystem zur Nutzung der Abwärme unerlässlich. Daher wurde hier für Planungs- und Auslegungszwecke die Annahme getroffen, dass ein zentrales Heizungssystem in dem Gebäude vorhanden ist, das einerseits mit konventionellen Brennstoffen befeuert werden kann und an das das BHKW

²⁴ *Turismo Andaluz S. A.*: Natur, Klima und Landschaft in Andalusien.
<http://www.andalucia.org/modulos.php?modulo=ConozcaAndalucia&grupo=1&cat=6> (Mai 2006).

angeschlossen werden kann. Der Stromverbrauch wurde entsprechend um den Bedarf für die elektrische Heizung vermindert.

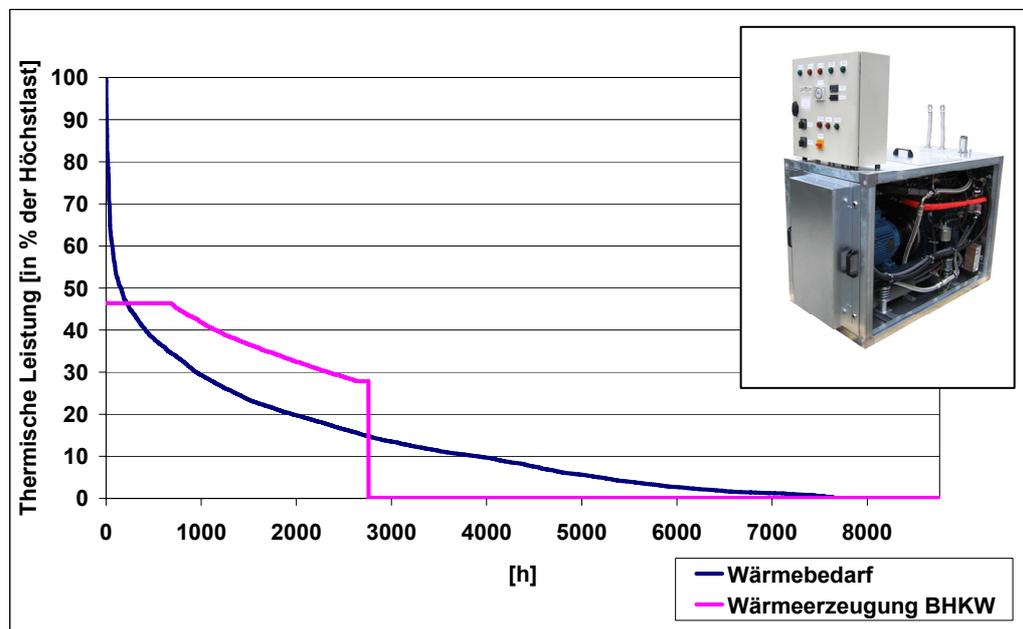


Bild 58: Jahresdauerlinie und Kennlinie der BHKW-Wärmeerzeugung, *El Cercadillo*

Für den berechneten Wärmebedarf wurde eines der kleinsten, verfügbaren BHKW ausgesucht, das entweder mit Heizöl oder Biodiesel betrieben werden kann und modulierbar ist. Es handelt sich dabei um ein Produkt der Firma *GIESE* und weist eine elektrische Leistung von 4,5 – 7,5 [kW] und eine thermische Leistung von 9 – 15 [kW] auf. Das entspricht einer Modularität im Leistungsbereich von 60 bis 100 %. Der vorhandene Warmwasserspeicher mit einem Volumen von 300 [l] wurde ebenfalls in die Planung miteinbezogen.

Um die höchstmögliche Ausnutzung des eingesetzten Brennstoffs zu erzielen, wurde für diese Anlage wiederum eine wärmegeführte Betriebsweise in Betracht gezogen. Obwohl ein sehr kleines BHKW ausgewählt wurde, kann es nicht auf die Grundlast ausgelegt werden. Die thermische Leistung des BHKW deckt bis zu 46 % der Wärmehöchstlast ab, und daher arbeitet das BHKW unter den gegebenen Bedingungen bereits nach ca. 700 Stunden im Teillastbetrieb. Trotz der Modularität erreicht es auf Grund des fehlenden Wärmebedarfs nur eine Laufzeit von 2.759 Stunden.

Zur Abdeckung der thermischen Spitzen wurde noch ein Niedertemperatur-Ölheizkessel aus der Datenbank als Spitzenkessel berücksichtigt. Das BHKW kann zwar den Wärmebedarf fast zur Gänze abdecken, aber nur rund ein Drittel des eigenerzeugten Stroms kann innerhalb des Objektes verwendet werden. Der Rest muss zu einem sehr niedrigen Tarif eingespeist werden. Die nachfolgende Tabelle 28 fasst die wesentlichen Ergebnisse der Simulation zusammen.

Tabelle 28: Ergebnisse der Berechnung, *El Cercadillo*

Wärmebedarfsberechnung	Ergebnis	Einheit
Gesamter Wärmebedarf	23,1	MWh
Maximaler Wärmeleistungsbedarf	22	kW
BHKW Daten		
Wärmeerzeugung BHKW	22,63	MWh/a
KWK-Deckungsanteil an der Wärme	98	%
Stromerzeugung BHKW	12,45	MWh/a
Laufzeit BHKW	2.759	h

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Da die Existenz eines zentralen Verteilungssystems angenommen wurde, erfolgte wiederum ein Vergleich der BHKW-Anlage mit einem konventionellen Heizkessel. Damit sollte auch untersucht werden, wie die Wirtschaftlichkeit eines BHKW unter den gegebenen Bedingungen – niedrige maximale Wärmelast, geringer Wärmebedarf – bewertet werden kann. Für beide Systeme wurde Heizöl als Brennstoff vorgesehen, wobei erwähnt werden muss, dass das BHKW und auch die Kessel – bei entsprechender Adaptierung – mit Biodiesel betrieben werden können.

Ergänzend zu den Annahmen aus Kapitel 6.3 wurden weitere Parameter aus der Beantwortung des Fragebogens wie folgt berücksichtigt.

- Für die Rückspeisung von Strom aus KWK mit einer Leistung kleiner als 1 [MW] besteht ein Einspeisetarif von 0,06 [€/kWh].
- Es gibt eine finanzielle Unterstützung für die Anschaffung eines BHKW.
- Für den eigenproduzierten Strom muss eine Stromsteuer von 0,0039 [€/kWh] bezahlt werden.
- Es besteht keine Möglichkeit auf Mineralölsteuerrückerstattung für den in Kraft-Wärme-Kopplungen eingesetzten Brennstoff.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgte nach dem bereits bekannten Schema. Bild 59 zeigt die grafische Darstellung der Kosten für das BHKW-System und ein konventionelles Heizungssystem. Bei den jährlichen Wärmeerzeugungskosten bzw. den spezifischen Wärmeerzeugungskosten ergibt sich ein klarer Nachteil für das BHKW-System.

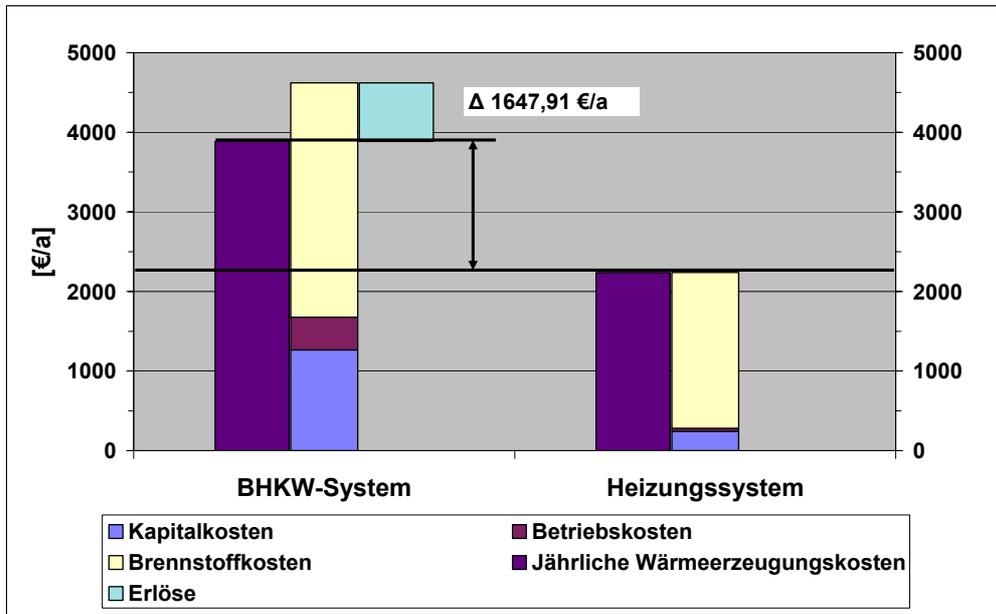


Bild 59: Jährliche Wärmeerzeugungskosten, *El Cercadillo*

Wie aus der Grafik gut ersichtlich ist, sind die Erlöse aus dem vermiedenen Strombezug bzw. der Stromeinspeisung auf Grund der geringen Laufzeit zu gering, um auf die jährlichen Wärmeerzeugungskosten entscheidenden Einfluss zu nehmen. Folglich sind auch die spezifischen Wärmeerzeugungskosten für das BHKW-System höher.

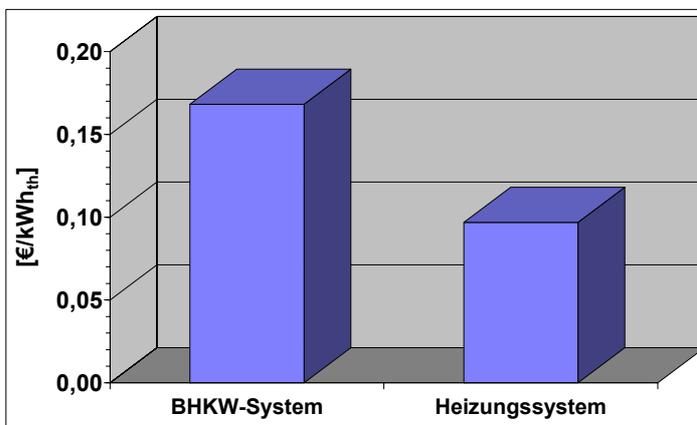


Bild 60: Spezifische Wärmeerzeugungskosten, *El Cercadillo*

Zur Bestimmung der dynamischen Amortisationsdauer wurde die bereits bekannte Methode angewandt.

Tabelle 29: Bilanzierung für die dynamische Amortisationsdauer, *El Cercadillo*

Investition in BHKW-System	[€]	13.563
Investition in Heizungssystem	[€]	3.037
Mehrinvestition	[€]	10.525
Betriebskosten – BHKW-System	[€/a]	-410
Brennstoffkosten – BHKW-System	[€/a]	-2.943
Betriebskosten – Heizungssystem	[€/a]	39
Brennstoffkosten – Heizungssystem	[€/a]	1.955
Erlöse aus der Stromeinspeisung	[€/a]	506
Vermiedener Strombezug	[€/a]	261
Stromsteuer	[€/a]	-33
Cash Flow	[€/a]	-624

Die Aufstellung der für die Amortisationsdauer maßgeblichen Auszahlungen und Einzahlungen führt zu einem negativen Cash Flow. Daher amortisiert sich eine Mehrinvestition in ein BHKW gegenüber einem Heizkessel bei diesem Projekt nicht.

Durch eine Sensitivitätsanalyse wurde wiederum die Stabilität des Ergebnisses untersucht. Dabei führen weder eine Verdreifachung des Strombezugspreises noch eine Halbierung des Brennstoffpreises und der Investitionskosten zu einer Wirtschaftlichkeit. Zusätzlich wurde der Einfluss des Einspeisetarifs untersucht. Auch hier ergibt sich durch eine Steigerung um bis zu 100 % keine Verbesserung.

Schlussfolgerung

Das Fehlen eines zentralen Heizungssystems stellt eine große Barriere für den BHKW-Einsatz dar. Dieses Objekt ist aber auch aus anderen Gründen dafür ungeeignet. Aufgrund der geografischen Lage und des vorherrschenden Klimas ist nur ein sehr geringer Heizwärmebedarf gegeben. Obwohl eines der kleinsten verfügbaren BHKW, das modulierbar ist, in Betracht gezogen wurde, wird nur eine geringe Laufzeit erzielt. Dies führt in Folge zu niedrigen Erlösen aus dem vermiedenen Strombezug bzw. der Stromeinspeisung. Zusätzlich haben die sehr niedrigen Strombezugspreise von durchschnittlich 0,06 [€/kWh] und die angegebenen Heizölpreise von 0,55 [€/l] (exklusive Steuern) maßgeblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Erfahrungen und Empfehlung aus der Literatur. Geht man von den kleinsten verfügbaren BHKW aus, so muss ein maximaler Wärmebedarf von 50 bis 90 [kW] vorliegen, um entsprechende Laufzeiten zu erzielen und um das BHKW wirtschaftlich betreiben zu können [13].

Für dieses Projekt und die gegebene Energiebedarfsstruktur muss von einem BHKW abgeraten werden.

6.4.4 Zusammenfassung der Planungen

Im Rahmen des „Green Lodges“-Projekts wurden 24 Objekte auf einen möglichen Einsatz eines BHKW untersucht. Die Bandbreite der Planungen war dabei sehr groß. Sie reichte einerseits von Inselanlagen im alpinen Gebiet bis hin zu Berechnungen für Hotels im heißen

Süden Spaniens, andererseits von einem wirtschaftlichen Vergleich gegenüber ein neu zu installierendes Heizungssystem bis zu einem Vergleich gegenüber ein bereits installiertes Energieversorgungssystem bestehend aus einer Solarthermieanlage und einem Biomasseheizkessel. Die Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung, der BHKW-Auslegung und der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden den Projektpartnern in Form eines Kurzberichtes zur Verfügung gestellt. Bild 61 gibt einen Überblick über die durchgeführten Planungen. Darin sind die Region, in der sich die Gebäude befinden, und die Gebäude mit den entsprechenden Kategorien eingetragen.

Die drei in dieser Arbeit beschriebenen Planungen sollen die unterschiedlichen Gegebenheiten beim Einsatz von Blockheizkraftwerken im Netzparallelbetrieb, der den Schwerpunkt der Untersuchungen bildete, repräsentieren. Die wesentlichen Erkenntnisse aus den durchgeführten Planungen können folgendermaßen zusammengefasst werden.

Das Hauptaugenmerk wurde auf die wärmegeführte Betriebsweise gelegt, denn nur sie garantiert die höchst mögliche Brennstoffausnutzung und den maximalen ökologischen Nutzen einer Kraft-Wärme-Kopplung. Durch den Einsatz von Pufferspeicher kann die Wärme- und Stromerzeugung zeitlich ein wenig entkoppelt werden.

Damit eine Auslegung auf die Wärmegrundlast möglich ist, muss ein entsprechender Wärmebedarf vorhanden sein. Die wesentlichen Einflussfaktoren für den Heizwärmebedarf sind

- die klimatischen Bedingungen am Standort. Dabei gilt es auch die Höhenlage zu berücksichtigen, da sich Standorte mit sehr großen Höhenunterschieden klimatisch deutlich voneinander unterscheiden, auch wenn sie sehr knapp aneinander liegen.
- das Gebäude. Dabei kann zwischen den Gebäudeparametern - wie Baujahr, durchgeführte Renovierungen, Sanierungen und Dämmungen, Gebäudegröße (bzw. beheizte Nettogeschosßfläche) - und der Nutzung des Gebäudes unterschieden werden. Beispielsweise führten die gewünschten höheren Raumtemperaturen in den Seniorenheimen zu einer deutlichen Anhebung der Jahresdauerlinie.

Zusätzlich zum Heizwärmebedarf beeinflusst auch der Prozesswärmebedarf die Laufzeit des BHKW. Darunter versteht man den Wärmebedarf für Warmwasser, in Produktionsprozessen oder für andere Anwendungen wie beispielsweise Wärme für Absorptionskälteanlagen. Der Prozesswärmebedarf bestimmt maßgeblich das untere Ende der Jahresdauerlinie und somit die Grundlast. Eine möglichst ganzjährige thermische Grundlast ist zur Erreichung hoher Volllaststunden ausschlaggebend. Bei den untersuchten Gebäuden hatten insbesondere der erhöhte spezifische Warmwasserverbrauch in Hotels im Vergleich zu Wohngebäuden und zusätzlicher Bedarf im Restaurantbetrieb Einfluss auf die Auslegung.

Dort, wo ein BHKW zur Abdeckung der Wärmegrundlast geeignet ist, müssen aber schließlich noch die Rahmenbedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb stimmen. Das BHKW wird nicht nur nach seinem ökologischen Nutzen beurteilt sondern soll zudem zu Einsparungen bei den Energiekosten für Strom und Wärme führen. Der Einfluss der wesentlichen Parameter wurde in den Fallstudien mittels der Sensitivitätsanalyse untersucht.

Neben einem möglichst gleichzeitigen Bedarf an Wärme und Strom müssen für die Wirtschaftlichkeit eines BHKW ein entsprechender Strombedarf und eine möglichst hohe Eigenutzung des erzeugten Stroms gegeben sein. Der Anteil des eigenerzeugten Stroms am Gesamtstromverbrauch des Objekts sollte möglichst hoch sein, weil hier einerseits der vermiedene Strombezug mit den Bezugstarifen bewertet wird und somit die Einsparungen aus

dem BHKW-Betrieb generiert werden, und weil andererseits durch fehlende oder sehr niedrige Einspeisevergütungen die Wirtschaftlichkeit eines BHKW gefährdet ist.

Die Höhe des Strombezugspreises ist von entscheidender Bedeutung. Die Planungen in den unterschiedlichen Ländern haben gezeigt, dass ein wirtschaftlicher Betrieb – bei entsprechender Eigennutzung – umso leichter erreicht werden kann, je höher das Preisniveau für den Strom ist. Niedrige Elektrizitätsbezugpreise begünstigen das Vergleichssystem aus Wärmeerzeugung und Strombezug über das Netz. Einspeisevergütungen oder Zuschläge zum marktüblichen Preis für den eingespeisten Strom ermöglichen zusätzliche Erlöse, da es bei wärmegeführtem Betrieb in der Regel immer zu Rückspeisungen in das öffentliche Netz kommt.

Die Brennstoffkosten stellen in der Regel den größten Kostenfaktor dar, dementsprechend entscheiden sie auch über die Wirtschaftlichkeit. Je niedriger die Brennstoffkosten sind, desto kleiner wird die Differenz bei diesen Kosten zwischen dem BHKW-System und dem Vergleichsheizungssystem, und desto eher stellt das BHKW auch eine ökonomische Alternative dar. Darüber hinaus gilt es bei den Brennstoffkosten auch, die großen Schwankungen, wie sie insbesondere bei fossilen Energieträgern in den letzten Jahren aufgetreten sind, zu berücksichtigen.

Das – auf den Heizwert bezogen – etwas billigere Erdgas weist günstigere Voraussetzungen auf als das vergleichsweise teurere Heizöl. Durch eine mögliche Mineralölsteuerrückerstattung können zusätzlich Einsparungen beim BHKW-Betrieb erzielt werden.

Alternative Energieträger wie beispielsweise Biodiesel oder Pflanzenöl ermöglichen je nach Verfügbarkeit zwar Einsparungen bei den Brennstoffkosten, jedoch muss beachtet werden, dass dabei höhere Investitionskosten – insbesondere für die Tauglichkeit eines Spitzenkessels im BHKW-System – als auch für die Lagerung des Brennstoffs anfallen können.

Blockheizkraftwerke weisen höhere Investitionskosten als ein gewöhnlicher Heizkessel auf. Die Höhe der Mehrinvestition ist dabei auch abhängig von der verwendeten Technologie und deren Verbreitung. Die in den Planungen betrachteten BHKW mit Verbrennungsmotoren haben den höchsten Entwicklungsstand und auf Grund der Vielzahl an Herstellern ist hier auch ein starker Wettbewerb gegeben. Dennoch konnte bei einigen Planungen trotz sehr guter technischer Eignung keine Amortisation der Mehrinvestition erzielt werden. In diesem Fall könnten Förderungen, vergünstigte Kredite oder andere finanzielle Unterstützungen für die Investitionen helfen, einerseits Anreize für den effizienten Energieeinsatz in Kraft-Wärme-Kopplungen zu liefern und andererseits den Betreibern einen wirtschaftlichen Betrieb im Vergleich zu einem konventionellen Heizungssystem zu ermöglichen.

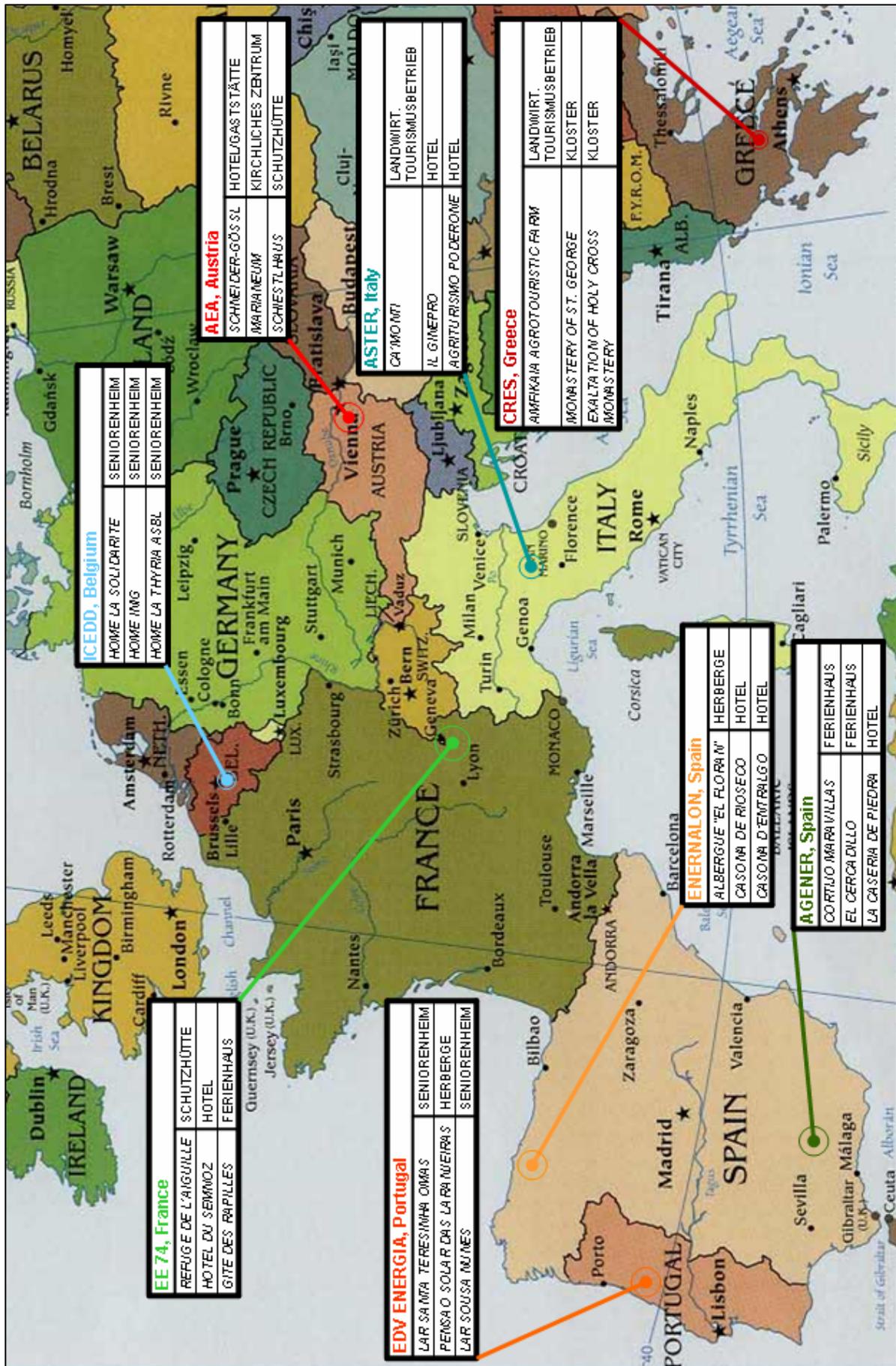


Bild 61: Übersichtskarte – Planungen

7 Rahmenbedingungen und Barrieren für Blockheizkraftwerke

Nach einem kurzen Überblick über die gemeinschaftsrechtlichen Vorgaben in Europa hinsichtlich Kraft-Wärme-Kopplungen wird hier speziell auf die Rahmenbedingungen in Österreich eingegangen. Parallel dazu sollen mögliche Barrieren für die weitere Umsetzung der Technologie im Bereich Mini- und Mikro-BHKW dargestellt werden.

7.1 Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen und Barrieren

7.1.1 Europäische Gesetzgebung

Gesetzliche Rahmenbedingungen sind immer auch in einem europäischen Kontext zu sehen, die einzelnen Mitgliedsstaaten müssen die von der *Europäischen Union* erlassenen Richtlinien in nationales Recht umsetzen. Dabei wurden im Energie- und Umweltbereich tief greifende Maßnahmen beschlossen. Die wesentlichen Dokumente, die in Zusammenhang mit Energieeffizienz und erneuerbaren Energieträgern im Leistungsbereich bis 1.000 [kW_{el}] von Bedeutung sind, sind nachfolgend angeführt: [56].

- Richtlinie 2003/54/EG über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt.
- Richtlinie 2001/77/EG zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt [62].
- Richtlinie 2003/96/EG zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom [63].

Ziel dieser Richtlinie sind gemeinschaftliche Mindeststeuersätze für Energieerzeugnisse, die als Kraft- oder Heizstoff verwendet werden, sowie für elektrischen Strom. Darin wird den Mitgliedsstaaten auch die Möglichkeit eingeräumt, Steuerbefreiungen und Steuerermäßigungen für Maßnahmen im Interesse des Umweltschutzes (Reduzierung der Emissionen) und für eine höhere Energieeffizienz zu gewähren [56].

- Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [64].

Dieser Richtlinie, die bis Anfang des Jahres 2006 umgesetzt werden musste, kann eine wichtige Rolle für die Anwendung von Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien zukommen. Darin sind die Mitgliedsstaaten unter anderem aufgefordert sicherzustellen, dass bei neuen Gebäuden mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1.000 [m²] die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit alternativer Systeme – wie KWK, Fern-/Blockheizung oder Fern-/Blockkühlung – vor Baubeginn berücksichtigt wird.

- Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt [65].

Da die Richtlinie, die bis zum Februar 2006 in nationales Recht umzusetzen war, explizit auf Kraft-Wärme-Kopplungen abgestellt ist, wird im nachfolgenden Kapitel näher darauf eingegangen.

7.1.1.1 Richtlinie 2004/8/EG

Die Kraft-Wärme-Kopplung wird als wichtiges Mittel zur Erhöhung der Energieeffizienz und der damit verbundenen Reduktion der Treibhausgasemissionen gesehen. Die Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt, siehe [65], zielt darauf ab, gemeinsame und transparente Rahmenbedingungen zu schaffen, um den Bau und Betrieb von am Nutzwärmebedarf orientierten, hocheffizienten (im Sinne der Richtlinie) Kraft-Wärme-Kopplungen zu fördern und zu erleichtern. Weiters haben die Mitgliedsstaaten Analysen über das nationale Potenzial für den Einsatz von hocheffizienter KWK zu erstellen. Die Potenzialstudie für Österreich ist bereits erstellt worden, siehe dazu die Quelle [56].

Die Richtlinie beinhaltet jedoch keine bindenden Ausbauziele und keine Verpflichtung zur Förderung für KWK-Energie. Es bleibt den Mitgliedsstaaten überlassen, ob sie eine Förderung von KWK-Anlagen einführen oder weiterführen. Die Förderung in bestehenden und zukünftigen Anlagen hat sich lediglich an den Vorgaben der Richtlinie (u. a. hocheffiziente KWK, Nutzwärmebedarf, Primärenergieeinsparungen) zu orientieren. Die Vereinheitlichung der Definition von KWK-Strom und die einheitliche Berechnung der Energieeinsparung (für hocheffiziente KWK) sind als wesentliche Punkte der Richtlinie zu sehen [16], [57].

Diese Richtlinie definiert auch KWK-Kleinstanlagen mit einer Höchstkapazität von weniger als 50 [kW_e] und KWK-Kleinanlagen mit einer installierten Kapazität unter 1 [MW_e]. Die Erzeugung in Klein- und Kleinstanlagen, die Primärenergieeinsparungen erzielen, kann als hocheffizient gelten. Die Richtlinie sieht auch vor, dass die Mitgliedsstaaten insbesondere den Netzzugang für Strom aus hocheffizienten KWK-Klein- und Kleinstanlagen erleichtern können.

Barrieren

Die verschiedenen Förderregelungen auf europäischer Ebene sind derzeit schlecht abgestimmt. Sie zeigen zum Teil divergierende Zielsetzungen und es fehlt die Setzung eindeutiger Prioritäten. Hinsichtlich der Förderung von KWK-Anlagen bestehen in den einzelnen Mitgliedsstaaten teilweise sehr große Unterschiede, beispielsweise bei der Einbindung von KWK-Anlagen in die Energieplanung, die Regelung der Abnahmepflichten, die Förderhöhen, die Festlegung von förderungswürdigen Anlagen und die Dauer der Förderungen [56].

7.1.2 Gesetzliche und finanzielle Rahmenbedingungen in Österreich

7.1.2.1 Ökostromgesetz

Hinsichtlich der gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich ist das Ökostromgesetz [66] von wesentlicher Bedeutung. Dieses Gesetz, mit dem die Richtlinie 2001/77/EG zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt umgesetzt wurde, wurde im Jahr 2002 beschlossen. Im Mai 2006 wurde eine umfassende Novellierung des Ökostromgesetzes vom österreichischen Gesetzgeber angenommen, siehe [67].

Das Ökostromgesetz regelt neben der Förderung von Strom auf Basis erneuerbarer Energieträger auch die Förderung von Kraft-Wärme-Kopplungen. Dabei muss beachtet werden,

dass Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungen nach den Bestimmungen über die Förderung von Strom, der auf Basis erneuerbarer Energieträger erzeugt wird, unterstützt werden.

Die Erzeugung elektrischer Energie wird bei bestehenden oder modernisierten KWK-Anlagen, die nicht mit regenerativen Energieträgern befeuert werden, nur dann gefördert, wenn deren Betrieb der öffentlichen Fernwärmeversorgung dient und eine Einsparung des Primärenergieträgereinsatzes und der CO₂-Emissionen im Vergleich zu getrennter Strom- und Wärmeerzeugung erzielt wird. Den Betreibern der KWK-Anlagen werden unter Berücksichtigung der Strom- und Fernwärmeerlöse die im Vergleich zum Marktpreis anfallenden Mehrkosten ersetzt [56].

Eine Änderung hat sich durch die Novellierung des Ökostromgesetzes ergeben. Es werden auch neue KWK-Anlagen mit einer elektrischen Engpassleistung über 2 [MW] in Form von Investitionszuschüssen gefördert. Eine Förderung ist – neben oben genannten Bedingungen (öffentliche Fernwärmeversorgung, Energieeinsparung) – auch dann zulässig, wenn die KWK-Anlagen der Erzeugung von Prozesswärme dienen. In beiden Fällen müssen die Anlagen für den Förderungsanspruch ein bestimmtes Effizienzkriterium (bzw. bei bestehenden oder modernisierten Anlagen zusätzlich ein Heizwertkriterium) erfüllen. Für KWK-Strom besteht im Gesetz keine Abnahmepflicht.

Biomasse-KWK werden nach den Biomassebestimmungen im Ökostromgesetz gefördert. Biomasse wird per Definition als CO₂-neutral eingestuft und trägt daher nicht zur CO₂-Emissionsverringerung beim Vergleich der energetischen Nutzung in einer gekoppelten und getrennten Erzeugung bei, wie es die KWK-Förderregelungen vorsehen. Somit besteht also für solche Anlagen keine Doppelförderung [56], [57].

Blockheizkraftwerke, die mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden, müssen als Ökostromanlage anerkannt werden, um die Vergütung für eingespeisten Strom (Einspeisetarife) zu erhalten. Die Anerkennung als Ökostromanlage erfolgt auf Antrag des Betreibers durch Bescheid vom jeweiligen Landeshauptmann.

Die Ökostromgesetz-Novelle bezieht sich ausschließlich auf neu zu errichtende Anlagen und sieht einen Beginn für die Inanspruchnahme der Förderungen bis 2011 vor. Für anerkannte Ökostromanlagen besteht mit der Novelle nicht mehr eine unbedingte Abnahme- und Vergütungspflicht sondern nur mehr nach Maßgabe der für Ökostromanlagen zur Verfügung stehenden Fördermittel, die anhand eines gegebenen Verteilungsschlüssels auf die unterschiedlichen Anlagenkategorien aufgeteilt werden. Bis zur Ausschöpfung des vorhandenen Unterstützungsvolumens gilt für die Abnahme des Stroms das „First-come-first-serve“-Prinzip. Das heißt, dass die Förderungen nach dem Zeitpunkt des Einlangens der Anträge vergeben werden.

Eine Abnahmepflicht für Ökostrom besteht nur mehr dann, wenn die gesamte aus einer Ökostromanlage in das öffentliche Netz abgegebene Energie mindestens 12 Monate lang an die für den An- und Verkauf von Ökoenergie zuständige Ökostromabwicklungsstelle abgegeben wird, wobei der Eigenverbrauch (aus einer Ökostromanlage anfallende elektrische Energie für den Bedarf des Inhabers) abzuziehen ist. Neu in Betrieb gehende Anlagen auf Basis von fester Biomasse müssen Maßnahmen zur Vermeidung von Feinstaubbelastung aufweisen, ansonsten besteht keine Abnahmepflicht.

Die Einspeisetarife für Ökostrom aus neu zu errichtenden Anlagen werden mit einer neuen Verordnung auf Basis der Gesetzesnovelle festgesetzt und in Abhängigkeit der eingesetzten

Primärenergieträger festgelegt. Eine Differenzierung nach der Engpassleistung oder Jahresstromproduktion der Ökostromanlagen und eine Differenzierung innerhalb der Anlagenkategorien nach Energieträgern und Substraten sowie nach anderen technischen Spezifikationen sind zulässig. Neu in der Ökostromgesetz-Novelle ist, dass für die Vergütungspflicht für Ökostrom auch Energieeffizienzkriterien vorgesehen sind. Bei Neuanlagen auf Basis von fester oder flüssiger Biomasse oder Abfall mit hohem biogenen Anteil, auf Basis von Biogas sowie bei Mischfeuerungsanlagen ist in der Einspeisetarifverordnung jedenfalls ein Brennstoffnutzungsgrad von mindestens 60 % vorzusehen. Diese Neuregelung bedeutet, dass auch die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme in bestimmtem Maße tatsächlich genutzt werden muss.

Barrieren

Die Voraussetzungen für die Förderung von KWK werden in der Regel von Blockheizkraftwerken in einem elektrischen Leistungsbereich bis zu 1.000 [kW_{el}], die auf Basis fossiler Energieträger betrieben werden, nicht erfüllt. Die Novelle enthält nun auch Investitionsförderungen für neue KWK-Anlagen - auch für industrielle Anlagen, die der Erzeugung von Prozesswärme dienen - jedoch erst ab einer elektrischen Engpassleistung von 2 [MW_{el}].

Für fossile Kraft-Wärme-Kopplungen im kleinen Leistungsbereich sind stromseitig keine unterstützenden Maßnahmen vorgesehen. Es besteht keine Abnahme- und Vergütungspflicht. In Österreich wird der überschüssige Strom aus Blockheizkraftwerken, der in das Netz eingespeist wird, im günstigsten Fall mit dem durchschnittlichen Marktpreis abgegolten. Eine Vergütung des eingespeisten Stroms über dem durchschnittlichen Marktpreis kann aber je nach Bedarfs- und Erzeugungsstruktur einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit eines BHKW darstellen. Wie unterschiedlich die Förderung in Europa gehandhabt wird, soll am Beispiel Deutschland anhand des Gesetzes für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKMod-Gesetz) aufgezeigt werden.

Unter das Gesetz fallen alle KWK-Anlagen auf Basis fossiler Energieträger, wobei sämtliche Technologien erfasst werden. Die Netzbetreiber sind verpflichtet, KWK-Anlagen an ihr Netz anzuschließen und den erzeugten Strom abzunehmen. Die Betreiber von KWK-Anlagen erhalten zum Preis für den abgenommenen Strom, der zwischen Netz- und KWK-Betreiber vereinbart wird, Zuschlagszahlungen. Kommt keine Einigung über den Preis zustande, so gilt der durchschnittliche Baseload-Strompreis an der europäischen Strombörse in Leipzig. Anspruch auf die Zuschlagszahlungen besteht insbesondere auch für neue KWK-Anlagen im Leistungsbereich bis 2 [MW_{el}], wobei bei den Zuschlägen noch zwischen Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 50 [kW_{el}] und Anlagen bis 2.000 [kW_{el}] differenziert wird [13].

Für Biomasse-KWK ist in Österreich die Anerkennung als Ökostromanlage notwendig, um eine Vergütung des eingespeisten Stroms nach der Einspeisetarifverordnung zu erhalten. Dazu sind die im Gesetz enthaltenen Bedingungen für die Abnahme- und Vergütungspflicht zu beachten, und es ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass nicht mehr eine unbeschränkte Anzahl an Ökostromanlagen gefördert wird. Über die Abnahme und Vergütung entscheidet lediglich die zeitliche Reihung der Anträge, die Anlagengröße oder der Anteil des Stromeigenverbrauchs ist nicht maßgeblich dafür.²⁵

²⁵ Telefonat: Fr. MMag. Lackner, *E-control GmbH*, 28.06.2006.

Ob sich durch die Energieeffizienzkriterien verstärkte Chancen und Möglichkeiten für kleinere, am Nutzwärmebedarf orientierte BHKW, die mit fester, flüssiger oder gasförmiger Biomasse betrieben werden, gegenüber großen Erzeugungsanlagen ergeben, kann aufgrund der Aktualität des Gesetzes und der noch nicht vorhandenen Daten und Literatur nicht beurteilt werden.

7.1.2.2 Investitionsförderung

Im Rahmen der Umweltförderung der Republik Österreich, die durch die *Kommunalkredit Public Consulting*²⁶ abgewickelt wird, besteht die betriebliche Umweltförderung im Inland. Bei dieser gibt es unter bestimmten Voraussetzungen Investitionsförderungen für Kraft-Wärme-Kopplungen, sowohl auf Basis fossiler Brennstoffe als auch auf Basis erneuerbarer Energieträger.

Durch die Förderung von fossilen KWK sollen geeignete Anreize geschaffen werden, um den Einsatz fossiler Brennstoffe so effizient wie möglich zu gestalten und die wirtschaftliche Attraktivität der gemeinsamen Erzeugung von Strom und Wärme zu verbessern. Dabei werden – unabhängig von der eingesetzten Technologie - mit Erdgas oder Flüssiggas befeuerte Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit einer maximalen thermischen Leistung von 2 [MW_{th}] gefördert, die überwiegend zur kombinierten Strom- und Wärmeversorgung von Betrieben eingesetzt werden. Die wesentlichen Voraussetzungen und Auflagen sind: [18], [20].

- Förderwerber sind natürliche und juristische Personen, die unternehmerisch tätig sind. Auch Energieversorgungsunternehmen können die Förderung beanspruchen. Weiters zählen konfessionelle Einrichtungen und gemeinnützige Vereine zur Zielgruppe dieser Förderung.
- Der elektrische Jahresnutzungsgrad der Anlage muss mindestens 25 % und der Jahresnutzungsgrad der Gesamtanlage muss mindestens 75 % betragen.
- Einhaltung vorgeschriebener Schadstoffemissionswerte.
- Die gesamten umweltrelevanten Investitionskosten müssen mindestens 10.000 [€] betragen.

Hinsichtlich der Förderung wird zwischen einer „de-minimis“-Förderung²⁷ und jener über der „de-minimis“-Grenze unterschieden. Diese weisen eine unterschiedliche Förderungsbasis auf, der maximale Fördersatz beträgt aber in beiden Fällen 30 % der gesamten umweltrelevanten Investitionskosten in Form eines nicht rückzahlbaren Investitionszuschusses. Nicht förderungsfähig sind der Gasanschluss, Gaskessel und die Übergabestation und ein möglicher Flüssiggastank.

Innerhalb der betrieblichen Umweltförderung im Inland gibt es auch Investitionsförderungen für Biomasse-KWK-Anlagen. Zielgruppe für diese Förderung sind wiederum die oben genannten natürlichen und juristischen Personen. Ausgenommen davon sind Projekte, die bereits durch andere Förderungssysteme, insbesondere der Landwirtschaftsförderung, unterstützt werden. Landwirtschaftliche Biomasse-KWK werden aus dem Österreichischen

²⁶ *Kommunalkredit Public Consulting GmbH*: Umweltförderungen - Bundesförderungen. <http://www.public-consulting.at/de/portal/umweltforderungen/bundesforderungen/> (Juni 2006).

²⁷ Ausdruck für geringfügige Förderung. Die Förderungsgewährung zugunsten eines Unternehmens bis zum Betrag von 100.000 [€] innerhalb von drei Jahren wird nicht als staatliche Beihilfe angesehen und unterliegt damit auch nicht der Anmeldepflicht gemäß EG-Vertrag [1].

Programm für die Entwicklung des ländlichen Raumes, der landwirtschaftlichen Investitionsförderung sowie durch Förderungen der Bundesländer gefördert [19]. Hinsichtlich des Fördersatzes wird für Biomasse-KWK-Anlagen wiederum zwischen Projekten über und unter der „de-minimis“-Grenze unterschieden, wobei der maximale Fördersatz ebenfalls 30 % der gesamten umweltrelevanten Investitionskosten beträgt. Bei der Berechnung der Förderungsbasis wird zwischen netzgekoppelten Anlagen und Anlagen zur Eigenversorgung differenziert.

Für eine Investitionsförderung in der maximalen Höhe muss bei Biomasse-KWK-Anlagen die gesamte jährlich verfügbare Wärme genutzt werden. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, erfolgt eine proportionale Kürzung des Fördersatzes. Als Voraussetzung, um überhaupt eine Förderung beanspruchen zu können, müssen die umweltrelevanten Investitionskosten mindestens 10.000 [€] betragen, und mindestens 30 % der jährlich verfügbaren Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung müssen genutzt werden [19].

Sowohl für fossil als auch für regenerativ befeuerte KWK-Systeme, die in Wohnbauten installiert werden, kann die Möglichkeit bestehen, Investitionsförderungen in Form eines nicht rückzahlbaren Zuschusses über die Wohnbauförderungen der einzelnen Bundesländer zu erhalten [58]. Als Beispiel sei hier auf die burgenländische Wohnbauförderung hingewiesen, siehe [120].

Barrieren

Anhand der Auslegungsbeispiele wurde gezeigt, dass die Investitionsförderungen – gerade bei Kleinstanlagen – einen wesentlichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit einer Anlage liefern können. Die oben angeführten Darstellungen zu den Investitionsförderungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie sollen lediglich die Möglichkeiten in diesem Bereich aufzeigen. So bestehen bei der betrieblichen Umweltförderung im Inland für erneuerbare Energieträger weitere Förderungsmaßnahmen wie beispielsweise für Biomasse-Nahwärmenetze (inklusive maschineller Anlagen). Im Bereich der Landwirtschaft gibt es ebenfalls umfangreiche Förderinstrumente. Es ist darauf hinzuweisen, dass die betriebliche Umweltförderung keine Förderung für Privatpersonen vorsieht. Die Wohnbauförderung wiederum ist Sache der einzelnen Bundesländer, in denen unterschiedliche gesetzliche Regelungen gelten. Diese Beispiele zeigen, dass prinzipiell für einen großen Personenkreis (Unternehmen, natürliche Personen im Rahmen des Wohnbaus, landwirtschaftliche Betriebe) die Möglichkeit besteht, Investitionsförderungen zu bekommen.

Doch gerade bei Projekten mit verhältnismäßig geringen Investitionssummen kann es allerdings ohne die Inanspruchnahme professioneller Unterstützung aufgrund von Informationsmangel zu der Schwierigkeit kommen, dass die in Frage kommenden Förderungen zunächst bestimmt und die einzelnen Bestimmungen und ihre Abhängigkeiten untereinander nachvollzogen werden können [13].

7.1.2.3 Besteuerung der Energieträger

Bei der Energieerzeugung in KWK-Anlagen gilt hinsichtlich der Besteuerung der Energieträger folgende Regelung. Für jenen Anteil des Brennstoffs, der auf die Stromerzeugung entfällt, wird die Steuer auf Antrag rückvergütet. Der Brennstoffanteil für die Wärmeerzeugung wird besteuert. Dies gilt sowohl für die Erdgasabgabe als auch für die Mineralölsteuer, in der unter anderem die Besteuerung von Heizöl und Flüssiggas geregelt ist [58].

Bei der gekoppelten Erzeugung ist für eine Rückvergütung der Energieabgabe jener Brennstoffanteil nachzuweisen, der auf die Erzeugung elektrischer Energie entfällt. Kann ein derartiger Nachweis nicht erbracht werden, weil zum Beispiel der Wärmeoutput nicht gemessen wird, dann besteht die Möglichkeit, die für die Stromerzeugung eingesetzte Brennstoffmenge abzuschätzen. Die Berechnung der Brennstoffmenge (in Kilowattstunden), die für die Stromproduktion aufgewendet wird und für die die Energieabgabe rückvergütet wird, beruht auf einer vereinfachenden Annahme eines elektrischen Wirkungsgrades von 44 % bei ausschließlicher Stromproduktion. Dazu wird die Nettostromerzeugung durch 0,44 dividiert. Weitere Möglichkeiten, die zur Bestimmung der Rückvergütung angewandt werden können, sind die „Pauschalierung“ und der „exakte Nachweis“ [56].

Biogene Treibstoffe, die unvermischt eingesetzt werden, sind steuerfrei, unabhängig davon, wo sie zur Anwendung kommen. Die Vermischung mit energieabgabepflichtigen Brennstoffen ist hinsichtlich der Steuerbefreiung mengenmäßig beschränkt [58].

Der Verbrauch von selbst hergestellter elektrischer Energie unterliegt der Elektrizitätsabgabe unabhängig davon, welche Primärenergieträger für seine Erzeugung eingesetzt werden. Von der Abgabe befreit sind jene Elektrizitätserzeuger, die Strom für den Eigenbedarf produzieren, wenn die Erzeugung und der Verbrauch pro Jahr nicht mehr als 5.000 [kWh] betragen [58]. Die Lieferung von elektrischer Energie an Elektrizitätsversorgungsunternehmen und an sonstige Wiederverkäufer, soweit die elektrische Energie zur Weiterlieferung bestimmt ist, unterliegt nicht der Elektrizitätsabgabe.

Barrieren

Wenn für die Energieabgabenvergütung die 44 %-Regelung herangezogen wird, dann sind Anlagen mit einem höheren elektrischen Wirkungsgrad gegenüber jenen mit einem geringeren Wirkungsgrad besser gestellt. Kann für die Rückvergütung der exakte Nachweis jenes Brennstoffanteils, der auf die Erzeugung elektrischer Energie entfällt, nicht erbracht werden, so nimmt die Besteuerungspraxis keine Rücksicht auf die technische Verschiedenheit von KWK-Anlagen [56].

7.2 Technische Rahmenbedingungen und Barrieren

Netzzugang und Netznutzung

Angestoßen durch die europäische Gesetzgebung wurde beginnend mit dem Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EiWOG 1998) der österreichische Elektrizitätsmarkt schrittweise geöffnet. Damit erfolgte die organisatorische Entflechtung (Unbundling) der Bereiche Erzeugung, Übertragung und Verteilung (Übertragungs- und Verteilernetze) sowie Stromhandel (Vertrieb). Durch die Liberalisierung des Strommarktes bot sich erstmalig auch für unabhängige Marktteilnehmer die Möglichkeit, Netzzugang zu erhalten und den erzeugten Strom anzubieten [60].

Der Zugang zum Elektrizitätsnetz beinhaltet den Anschluss einer Anlage des Netzbenutzers und die Einspeisung bzw. Entnahme elektrischer Energie. Für den Netzzugang im Allgemeinen und im betrachteten Fall des Netzparallelbetriebs von Blockheizkraftwerken ist ein Netzzugangsvertrag mit dem Netzbetreiber notwendig. Der Netzbetreiber verpflichtet sich darin, dem Netzbenutzer gemäß seinen Allgemeinen Bedingungen für den Zugang zum Verteilernetz, den sonstigen Marktregeln, den geltenden technischen Regeln und den jeweils gelten-

den Systemnutzungstarifen den Netzzugang zu gewähren. Die sonstigen Marktregeln, die geltenden technischen Regeln und die jeweils geltenden Systemnutzungstarife sind auf der Homepage der österreichischen Regulierungsbehörde *E-control*²⁸ veröffentlicht [61].

Für den Netzparallelbetrieb sind insbesondere die technischen und organisatorischen Regeln für Betreiber und Benutzer von Netzen (TOR) und die sonstigen Marktregeln von Bedeutung. Die technischen und organisatorischen Regeln sind die Grundlage für die technischen Bedingungen und Betriebsanweisungen für den Parallelbetrieb von Stromerzeugungsanlagen. Von besonderer Relevanz ist dabei der Teil D mit dem Hauptabschnitten D2 und D4. Der Hauptabschnitt D2 stellt die Richtlinie für die Beurteilung von Netzzurückwirkungen (Oberschwingungen, Spannungsanhebungen, etc.) dar. Der Hauptabschnitt D4 geht auf den Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen mit Verteilernetzen ein. Darin sind auch die für den Parallelbetrieb erforderlichen Schutzeinrichtungen angeführt. In den technischen und organisatorischen Regeln sind die für den Betrieb von Elektrizitätsversorgungsnetzen und die Errichtung von elektrischen Anlagen wesentlichen österreichischen Bestimmungen für die Elektrotechnik und ÖNORMEN eingearbeitet.

Zur Einspeisung (ganz allgemein auch für die Entnahme) von elektrischer Energie muss der Betreiber die Netznutzung – allenfalls gemeinsam mit dem Antrag auf Netzanschluss – beim Netzbetreiber beantragen. Die Bedingung für die Netznutzung ist die Zugehörigkeit zu einer Bilanzgruppe. Für die Stromeinspeisung bedeutet das, dass der Betreiber eine Liefervereinbarung mit einer Stromvertriebsgesellschaft benötigt, wodurch er mittelbar jener Bilanzgruppe zugeordnet wird, der die Stromvertriebsgesellschaft angehört. Diese Liefervereinbarung wird – gerade bei Kleinanlagen – in der Regel mit dem lokalen Elektrizitätsversorgungsunternehmen abgeschlossen.

In der Praxis treten im Allgemeinen keine Hemmnisse auf, dass der Überschussstrom auch abgenommen wird. Jedoch wird für Strom aus fossil befeuerten Blockheizkraftwerken – abhängig von der Charakteristik der Einspeisung – im günstigsten Fall der durchschnittliche Marktpreis der Strombörsen bezahlt.²⁹

Bei Ökostromanlagen besteht der Unterschied, dass eine Abnahme- und Vergütungspflicht nach den in Kapitel 7.1.2.1 dargestellten Kriterien besteht. Die Abnahme- und Vergütung erfolgt durch die Ökostromabwicklungsstelle, und die Ökostromanlagen werden in der Ökobilanzgruppe zusammengefasst.

Genehmigung der Anlage

Die Genehmigungen, die in Österreich für die Errichtung von Stationärmotoren erforderlich sind, sind in Tabelle 30 dargestellt. Die Kompetenzen sind dabei je nach Errichtungsort des Blockheizkraftwerkes auf verschiedene Behörden verteilt. Für die Errichtung von BHKW in Österreich ist in erster Linie das Genehmigungsverfahren nach der Gewerbeordnung 1994 relevant. Im Zuge des gewerbebehördlichen Genehmigungsverfahrens müssen die Emissionen von Luftschadstoffen jedenfalls nach dem Stand der Technik begrenzt werden [1]. Für den Bereich der öffentlichen Gebäude und Wohnhäuser stellt die Bauordnung die rechtliche Grundlage dar.

²⁸ *E-control GmbH*: Marktregeln am Elektrizitätsmarkt.

http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/STROM/MARKTREGELN (Juni 2006).

²⁹ Telefonat: Hr. Weber, *Wels Strom GmbH*, 04.07.2006.

Tabelle 30: Genehmigungsverfahren für Stationärmotoren [59]

	Genehmigung nach:	Berücksichtigung von Emissionen aus Motoren:
Gewerbliche Betriebsanlagen	Gewerbeordnung - GewO 1994	§ 77 Abs. 1 und 3
	Bauordnung	nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn
	Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen (LRG-K) (in GewO-Verf. mitangew.)	nur mit Abhitzekeessel
	EIWOG der Länder	teilweise subsidiär zu GewO, teilweise über Nachbarschutz
Öffentliche Gebäude, Wohnhäuser	Bauordnung	nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn
Energieversorgungsunternehmen	GewO 1994, wenn gewerblich (siehe § 74 Abs. 5)	§ 77 Abs. 1 und 3
	EIWOG	teilweise subsidiär zu GewO, teilweise über Nachbarschutz
	Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen (LRG-K)	nur mit Abhitzekeessel
	Bauordnung	nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn
Krankenhäuser, Altenheime	Krankenanstaltengesetz (KAG)	keine Emissionsvorschriften
	Bauordnung	nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn
Deponien	Gewerbeordnung - GewO 1994	§ 77 Abs. 1 und 3
	Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) Deponie Verordnung	Anwendung GewO, DeponieVO ... regelt Stand der Technik f. Ablagerungen
	Wasserrechtsgesetz (WRG)	subsidiär zur DeponieVO, regelt Anpassung bestehender Anlagen an DeponieVO
Klärgasanlagen	Wasserrechtsgesetz (WRG)	WRG regelt nur Abwasseremissionen
Landwirtschaftl. Betriebe	Bauordnung	nur indirekt über Immissionsschutz für Nachbarn

Die Zuständigkeit verschiedener Behörden und die Genehmigungen, die bei der Errichtung eines BHKW zu beachten sind, können den administrativen Aufwand beträchtlich erhöhen und potenzielle Anwender abschrecken.

Emissionen

In Österreich bestehen für ortsfest betriebene Stationärmotoren keine Abgasgrenzwerte, abgesehen von der Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen, in der Emissionsgrenzwerte für Kesselanlagen, die mit Abgasen aus Kolbenmaschinen betrieben werden, festgelegt sind. Im Jahr 2001 wurden daher vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit Grenzwertempfehlungen für Emissionen aus Stationärmotoren publiziert, siehe [59]. Diese sind in Tabelle 31 dargestellt. Die Grenzwerte für Heizöl extraleicht und Diesel können sinngemäß auch für Pflanzenöl angewendet werden [8].

Tabelle 31: Grenzwertempfehlungen für Stationärmotoren, Angaben in [mg/Nm³] [1]

	NO _x	CO	NMHC	Staub	H ₂ S
Heizöl extraleicht/Dieselmotoren					
< 50 kW ¹⁾	4000	650	k.A.	Bosch 3	k.A.
≥ 50 kW < 400 kW (Oxi-Kat) ²⁾	2500	650	k.A.	50	k.A.
≥ 400 kW < 1000 kW (SCR-Kat) ³⁾	400	250	k.A.	50	k.A.
≥ 1000 kW (SCR-Kat) ³⁾	250	250	k.A.	30	k.A.
Erdgas / Flüssiggas (Ottomotor)					
< 1000 kW	250	200	150	k.A.	k.A.
≥ 1000 kW	150	200	50	k.A.	k.A.
Biogas					
< 100 kW	---	650	---	k.A.	k.A.
≥ 100 kW	400	650	150	k.A.	5
Klärgas, Deponiegas ⁴⁾					
< 100 kW	---	650	---	k.A.	k.A.
≥ 100 kW (Magermotor)	500	400	150	k.A.	k.A.

1) Es gibt bereits Anbieter, die in diesem Leistungsbereich die Einhaltung eines NO_x-Grenzwertes von 2.500 mg/Nm³ garantieren. Es sind hier Fortschritte in der technischen Weiterentwicklung abzusehen.
2) Vorteilhaft zur Reduzierung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe und der Geruchsbelastung
3) Zur Einhaltung der angeführten Grenzwerte ist nach derzeitigem Stand der Technik ein SCR Katalysator erforderlich. Ein Ammoniakverlust von höchstens 5 mg/Nm³ darf nicht überschritten werden.
4) Grundsätzlich sind die übrigen Luftschadstoffe wie bei der Müllverbrennung zu begrenzen. In der Regel wird eine Rohgasreinigung erforderlich sein, siehe hierzu LRV-K 1989, BGBl Nr. 19/1989 i.d.F. BGBl II Nr. 324/1997.

In jedem Fall sind auch die Immissionsgrenzwerte gemäß Immissionsschutzgesetz – Luft einzuhalten. Darin ist festgelegt, dass Anlagen, die keiner bundesgesetzlichen Genehmigungspflicht unterliegen, jedoch erhebliche Mengen an Luftschadstoffen emittieren, einer luftreinhalterechtlichen Genehmigung bedürfen [8].

Von sehr vielen Herstellern wird auf die in Deutschland geltende Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft) verwiesen, die in Österreich jedoch nur beschränkt anwendbar ist [59].

Technologische Barrieren

Wie bereits in Kapitel 2.5 erwähnt, weisen die unterschiedlichen KWK-Technologien vor allem im Hinblick auf Kleinstanwendungen noch Unterschiede im Entwicklungsstand auf. Manche Technologien haben die Marktreife noch nicht erreicht. Hier wäre es empfehlenswert weitere Forschungssubventionen zu gewähren [57]. Andere Technologien, wie Stirling-Blockheizkraftwerke und Mikrogasturbinen-Systeme, befinden sich erst in der Markteinführungsphase. Daher gibt es dort noch wenig konkrete Erfahrungen in der Praxis über die Lebensdauer sowie den Aufwand für Wartung- und Instandhaltung und somit über die Wirtschaftlichkeit dieser Aggregate. Dies stellt noch eine gewisse Hemmschwelle für einen breiten Einsatz dieser Technologien dar [56]. Der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern zur effizienten Energieerzeugung in Mini- und Mikro-BHKW ist bei den unterschiedlichen Technologien ebenfalls noch verschieden weit fortgeschritten.

Wie bei den BHKW mit Verbrennungsmotoren dargestellt, fällt der elektrische Wirkungsgrad mit der Anlagengröße. Im Gegenzug müssen aber für kleinere Anlagen in der Regel höhere spezifische Investitionskosten und höhere spezifische Instandhaltungskosten getragen werden. Dies kann eine Barriere für die Wirtschaftlichkeit bei Mini- und Mikro-BHKW darstellen. Daher sollte gerade bei diesen Anlagen auf eine möglichst gute Anpassung an den Wärmebedarf bei gleichzeitig hoher Eigenstromnutzung geachtet werden.

7.3 Informations- und Wissensbarrieren und weitere Hemmnisse

Informationsmangel stellt generell eine Barriere für jede neue Technologie dar. Der Wissensstand über die Funktionsweise und ökologischen Vorteile von Kraft-Wärme-Kopplungen, die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bestehender und neuer KWK-Technologien ist vielfach noch zu verbessern. In der Bevölkerung im Allgemeinen und bei potenziellen Anwendern – sowohl Betrieben als auch Privatpersonen – herrscht oft ein Mangel an Wissen über Optionen der Energieversorgung und über die Möglichkeit, zumindest einen Teil der elektrischen Energie mit Blockheizkraftwerken selbst bereitzustellen [57].

Ist das nötige Wissen vorhanden, fehlt häufig die Motivation, in einem so sensiblen Bereich wie der Energieversorgung Veränderungen vorzunehmen. Das liegt auch daran, dass die gekoppelte Erzeugung in Blockheizkraftwerken mit einer höheren technischen Komplexität verbunden ist als die konventionelle Bereitstellung von Energie durch Heizkessel und Strombezug über das Netz. Darüber hinaus stellt die Errichtung eines BHKW auch eine organisatorische und administrative Herausforderung dar, die mit finanziellem und zeitlichem Aufwand verbunden ist (Einholung von Genehmigungen zur Errichtung, Antragstellungen und Verhandlungen mit Energieversorgungsunternehmen, etc.). Dies kann eine große Barriere darstellen, da die Energiebereitstellung in der Regel nicht zum Kerngeschäft eines Unternehmens gehört, insbesondere bei den in dieser Arbeit betrachteten Betrieben [56].

Als möglicher Ausweg können hier Contracting-Modelle in Frage kommen. Dabei übernimmt ein auf Energiedienstleistungen spezialisiertes Unternehmen, der Contractor, die Realisierung und die Betriebsführung einer geplanten Anlage, die über verschiedene Contracting-Formen finanziert werden. Bei BHKW im unteren Leistungsbereich wirkt sich ein hoher zeitlicher und finanzieller Aufwand für Planungen und Informationsbeschaffung besonders deutlich aus und kann somit zu einer Barriere werden.

Blockheizkraftwerke werden auch an ihrer Wirtschaftlichkeit gemessen. Betriebe stehen vor der Frage, ob sich andere Investitionen im Bereich der Energieversorgung und -effizienz oder alternative Investitionen im Kerngeschäft nicht besser rentieren als die Errichtung und der Betrieb eines BHKW. Die Überlegung, dass ein BHKW zur Aufrechterhaltung der Versorgung mit Strom und Wärme nicht zwingend erforderlich ist, sondern „nur“ der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dient, und es ansonsten möglicherweise nur einen mäßigen wirtschaftlichen Ertrag bringt, kann ebenfalls Einfluss auf diese Entscheidung haben. Oftmals werden auch zu hohe Erwartungen in die Amortisationsdauer – vor allem in der Industrie und im Gewerbe – gesetzt, die aber bei Investitionen in langlebige Infrastruktur, wie sie ein BHKW darstellt, nicht erreichbar sind [13], [56], [57].

Ein geringer Strompreis, das Fehlen von Vergütungen bzw. Zuschlägen für den eingespeisten Strom und hohe Brennstoffkosten können weitere Barrieren für einen ökonomischen Einsatz und somit für die Verbreitung von BHKW – insbesondere im kleinen Leistungsbereich – sein. Der Einfluss dieser Faktoren auf die Wirtschaftlichkeit wurde bereits im Rahmen der Planungen dargestellt, siehe Kapitel 6.4.

7.4 Blockheizkraftwerke in Österreich

Bezüglich der Verbreitung von Blockheizkraftwerken im Leistungsbereich bis 1.000 [kW_e], die auf Basis fossiler Energieträger betrieben werden, konnten mit den vorhandenen Quellen keinen absoluten Zahlen über installierte Anlagen oder deren Entwicklung in den letzten Jahren herausgefunden werden. Für fossile KWK gibt es eine zentrale Aufzeichnung nur über jene Anlagen, die unter den genannten Bedingungen einen Zuschlag zum Stromtarif erhalten.

Dennoch soll beispielhaft anhand der Referenzlisten zweier Planungs- und Installationsunternehmen die dynamische Entwicklung im Bereich von fossil befeuerten, motorischen BHKW aufgezeigt werden. Hier ist vor allem auf den Einsatz im gewerblichen Bereich und im Speziellen in Beherbergungsbetrieben hinzuweisen. Insgesamt konnten einige hundert BHKW im unteren elektrischen Leistungsbereich installiert werden, siehe Anhang A.1.4.

Diese positive Entwicklung wird auch durch Zahlen zur betrieblichen Umweltförderung im Inland untermauert. Die Förderung ist nicht auf eine bestimmte Technologie abgestellt, es handelt sich aber zum überwiegenden Teil um BHKW mit Verbrennungsmotoren.³⁰ Im Zeitraum 2002 bis 2004 sind insgesamt 92 Förderansuchen behandelt worden, davon wurden 53 bewilligt und 25 sind noch offen [17].

Für den Bereich der erneuerbaren Energieträger liegen genaue Daten über die Anzahl der Ökostromanlagen und die installierte Leistung bei der österreichischen Energieregulierungsbehörde *E-control* auf. Allerdings ist für diese Anlagen, die noch im Sinne des Ökostromgesetzes 2002 behandelt werden, keine zentrale Aufzeichnung über eine mögliche Wärmenutzung vorhanden. Eine Wärmenutzung war bei der Einführung des Ökostromgesetzes nicht verpflichtend vorgesehen, die Verstromung stand im Vordergrund.

Die Ökostromanlagen werden nach den eingesetzten Brennstoffen differenziert. Welche Technologie zur Stromerzeugung bzw. zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung verwendet wird, ist in den Anerkennungsbescheiden in den Bundesländern enthalten und somit nicht zentral verfügbar. Daher kann hier keine Aussage über die eingesetzten Techniken getroffen werden. Vor dem Hintergrund des Standes der Technik werden aber auch hier Verbrennungsmotoren beim Einsatz von Biogas, flüssiger Biomasse und Deponie- und Klärgas eine sehr wesentliche Rolle spielen.

Tabelle 32: Anzahl Ökostromanlagen (Biogas, Biomasse fest, Biomasse flüssig, Deponie- und Klärgas) [16]

	Anlagenanzahl		
	Vertragsverhältnis mit Öko-BGV per 31.12.2003	Vertragsverhältnis mit Öko-BGV per 31.12.2004	Anerkannte Anlagen per 31.03.2005
Biogas	119	159	298
Biomasse fest inkl. Abfall mit hohem biogenen Anteil	27	39	155
Biomasse flüssig	21	34	69
Deponie- und Klärgas	43	42	62

³⁰ Telefonat: Hr. DI Dr. Frühmann, *Kommunalkredit Public Consulting GmbH*, 26.01.2006.

Tabelle 32 und Tabelle 33 zeigen die Entwicklung der Anlagenanzahl und der kumulierten Engpassleistung von Ökostromanlagen. Durch den Ablauf der Fristen, die in der Einspeisetarifverordnung (in der gültigen Fassung) zum ursprünglichen Ökostromgesetz festgelegt sind, kam es Ende 2004 noch einmal zu einem sprunghaften Anstieg an anerkannten Ökostromanlagen. Zur Verteilung der Leistungsgrößen der anerkannten Anlagen, insbesondere für den in dieser Arbeit betrachteten Leistungsbereich bis 1.000 [kW_{el}], siehe [16].

Tabelle 33: Entwicklung der Engpassleistung von Ökostromanlagen [16]

Entwicklung Engpassleistung [in MW] von Ökostromanlagen jener Anlagen im Vertragsverhältnis mit Öko-BGV zum angegebenen Stichtag [vorläufige Werte, Stand Juni 2005]			
Energieträger	Vertragsverhältnis mit Öko-BGV per 31.12.2003	Vertragsverhältnis mit Öko-BGV per 31.12.2004	Anerkannte Anlagen per 31.03.2005**)
Biogas	14,97	28,36	71,31
Biomasse fest	41,07	87,54	378,84
Biomasse flüssig	1,97	6,84	18,79
Deponie- und Klärgas	22,73	20,28	29,55
Geothermie	0,92	0,92	0,92
Photovoltaik*)	14,18	15,07	27,74
Windkraft	395,59	594,56	923,79 (863,79)****)
Kleinwasserkraft bis 10 MW	858,10	851,54	1.103,41

*) bei PV-Anlagen besteht gemäß § 10 Abs 2 Ökostromgesetz eine Abnahmepflicht des Öko-BGV auch dann, wenn das 15 MW-Kontingent bereits erreicht wurde

***) bzw. bei Windkraft per Mitte August 2005, da im Juli 2005 weitere 60 MW anerkannt wurden. Bei den anderen Energieträgern bleiben die Zuwächse nach dem 1. Quartal 2005 bis Mitte August 2005 unter 3 MW und werden deshalb nicht aktualisiert.

****) Wert in Klammer per 31.03.2005, Wert vor der Klammer per Mitte August 2005

Zur Verbreitung von Pflanzenöl-BHKW wird in [8] auf eine Befragung unter Herstellern verwiesen. Demnach befanden sich mit Ende 2004 etwa 50 mit Pflanzenöl betriebene Blockheizkraftwerke in Österreich in Betrieb. Einige dieser Anlagen wurden auf Almhütten zur autarken Energieversorgung errichtet. Durch den Ablauf der Fristen in der alten Einspeisetarifverordnung hat allerdings – im Gegensatz zu Deutschland – das Interesse an Pflanzenöl-BHKW vollkommen nachgelassen [8].

Im Zuge der EU-Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung wurde eine Studie über KWK-Potenziale in Österreich erstellt, siehe [56]. Unter Berücksichtigung der bereits installierten KWK-Anlagen wurde darin aus dem technischen KWK-Potenzial das technisch noch realisierbare KWK-Potenzial ermittelt, siehe Tabelle 34.

Tabelle 34: KWK-Potenziale in Österreich [56], eigene Darstellung

Bestand (2002) KWK-Anlagen	Kleinst-KWK (< 50 kW _{el})	Klein-KWK (< 1 MW _{el})	KWK (> 1 MW _{el})	Summe
	MW _{el}	MW _{el}	MW _{el}	MW _{el}
Bestehende dezentrale KWK	1,6	44,0	1.102,0	1.147,5
Technisch realisierbares Potenzial - dezentrale KWK	3.208,1	1.573,4	2.572,0	7.353,5
Bestehende öffentliche KWK	-	-	3.103,9	3.103,9
Technisch realisierbares Potenzial - öffentliche KWK	-	284,5	4.193,9	4.478,4

Aufgrund von Überschneidungen im Bereich der Raumwärme dürfen die Ergebnisse für die technisch noch realisierbaren Potenziale dezentraler und öffentlicher KWK-Anlagen nicht addiert werden. Es ist zu beachten, dass es sich bei diesen Potenzialen um technische Potenziale handelt, bei denen andere technische Randbedingungen wie zum Beispiel Infrastrukturen (Gas- und Fernwärmenetze sowie Brennstoffverfügbarkeit) nicht berücksichtigt werden. Weiters lässt das technisch noch realisierbare Potenzial keine Aussage zu, ob es auch wirtschaftlich umgesetzt werden kann, und es können keine Aussagen über die zeitliche Umsetzung des Potenzials abgeleitet werden [56].

Es ist jedoch aus der Tabelle ersichtlich, dass gerade bei den in dieser Arbeit betrachteten Leistungsbereichen bis 50 [kW_{el}] bzw. 1.000 [kW_{el}] noch erhebliches Potenzial für Kraft-Wärme-Kopplungen im Allgemeinen – folglich auch für Blockheizkraftwerke – gesehen wird.

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll dazu dienen, die verschiedenen Aspekte im Bereich von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken zu beleuchten. Die Erstellung erfolgte in Zusammenarbeit mit der *Österreichischen Energieagentur* im Rahmen des Projekts „Renewable Energy Systems and Micro Combined Heat and Power in Rural Lodges“. Dieses Projekt, auch als „Green Lodges“-Projekt bezeichnet, soll zur Erhöhung der Energieeffizienz und Forcierung von erneuerbaren Energieträgern in Beherbergungsbetrieben und Gebäuden/Betrieben mit ähnlicher Nutzung dienen.

Zunächst wurden der Begriff des Blockheizkraftwerks und der betrachtete Leistungsbereich eingegrenzt und mögliche Brennstoffe angeführt. Danach erfolgte eine ausführliche Betrachtung des Standes der Technik. Es wurde auf den unterschiedlichen Entwicklungsstand der verschiedenen Technologien hingewiesen. Den höchsten Entwicklungsstand und die größte Verbreitung haben Blockheizkraftwerke mit Verbrennungsmotoren erreicht. Allerdings stehen bereits auch alternative und innovative Systeme wie Stirling-BHKW, Mikrogasturbinensysteme und ein BHKW mit Prozessdampfbetrieb vor der Markteinführung bzw. Kommerzialisierung. Die Arbeit beinhaltet weiters Herstellerverzeichnisse für die verschiedenen Technologien und Referenzlisten von erfolgreich realisierten Projekten. Zu beachten sind jedenfalls die unterschiedlichen Investitionskosten und die zum Teil sehr unterschiedlichen (elektrischen) Wirkungsgrade der einzelnen Technologien. Dies erfordert eine genaue Prüfung des Einsatzfalles, um zu bestimmen, welches System am besten zu den gegebenen Anforderungen passt.

„Gesamt gesehen wird es in Zukunft einen Wettlauf zwischen allen betrachteten Systemen geben, wobei sich in jedem Fall diverse Nischen ergeben werden, die das eine oder andere Produkt als zweckmäßige Lösung erscheinen lassen.“ [12].

Im Zuge des „Green Lodges“-Projekts wurden 24 Objekte auf einen möglichen Einsatz eines BHKW analysiert. Das Spektrum der Planungen reichte dabei von Hotels über Seniorenheime bis hin zu Klöstern. Anhand dieser konkreten Praxisbeispiele wurden die maßgeblichen Einflussfaktoren für den Betrieb von Mini- und Mikro-BHKW untersucht. Dabei kam eine speziell zur Auslegung von BHKW entwickelte Software zur Anwendung, die im Rahmen der Diplomarbeit ebenfalls vorgestellt wurde und deren Stärken und Schwächen analysiert wurden.

Für den Betrieb eines Blockheizkraftwerkes muss neben einem entsprechenden Wärmebedarf, um eine Auslegung des BHKW auf die Wärmegrundlast zu ermöglichen, ein möglichst gleichzeitiger Bedarf an Wärme und Strom gegeben sein. Speziell im kleinsten Leistungsbereich muss sich das BHKW am Nutzwärmebedarf orientieren und gleichzeitig zu einer hohen Deckung des eigenen Strombedarfs beitragen.

Die Wirtschaftlichkeit von Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerken beruht vorwiegend auf der Verringerung des Strombezugs, weil hier der Verbrauch von eigenerzeugtem Strom mit den Bezugstarifen bewertet wird und somit die Einsparungen aus dem BHKW-Betrieb generiert werden. Neben dem Strombezugspreis wurden für die ökonomische Vorteilhaftigkeit der Brennstoffpreis, Investitionsförderungen, die Vergütung des eingespeisten Stroms und mögliche steuerliche Vergünstigungen als wesentliche Parameter identifiziert.

Bei Klein- und Kleinstanwendungen gibt es sicherlich noch Informations- und Wissensdefizite über die Einsatzmöglichkeiten und Vorteile der KWK-Technologie zu beseitigen. Gezielte Aufklärungsarbeit kann zu einer verstärkten Verbreitung von Blockheizkraftwerken beitragen. Die Errichtung von Blockheizkraftwerken kann aber auch an möglichen organisatorischen und institutionellen sowie rechtlichen Barrieren scheitern. Die gegenwärtigen Rahmenbedingungen wurden dargestellt.

Im Zuge der EU-Richtlinie 2004/8/EG über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt mussten die Mitgliedsstaaten eine Analyse des jeweiligen nationalen Potenzials für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungen einschließlich KWK-Kleinstanlagen durchführen. Die für Österreich erstellte Potenzialstudie sieht noch beträchtliches Potenzial für Kraft-Wärme-Kopplungen, gerade in dem in dieser Arbeit betrachteten Leistungsbereich bis 50 bzw. bis 1.000 [kW_e]. Dieses Potenzial gilt es durch passende Rahmenbedingungen zu heben, denn bei geeigneten Einsatzfällen können entsprechend ausgelegte Mini- und Mikro-Blockheizkraftwerke wesentlich zu einem effizienten Energieeinsatz und zur Verringerung der Treibhausgasemissionen beitragen. Dadurch können sie auch zur Erreichung der energie- und umweltpolitischen Ziele helfen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] **Simader G. R., Ritter H., Benke G., Pinter H.:** Mikro- und Mini-KWK-Anlagen in Österreich. Österreichische Energieagentur, Wien, 2004.
- [2] **Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik – TU Graz (Hrsg.):** TechnologiePortrait Kraft-Wärme-Kopplung. Wien, 2002.
[http://energytech.at/\(de\)/pdf/techportrait_kwk_dt.pdf](http://energytech.at/(de)/pdf/techportrait_kwk_dt.pdf) (Juni 2006).
- [3] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (Hrsg.):** Mikro-KWK - Motoren, Turbinen und Brennstoffzellen. Verlag Rationeller Erdgaseinsatz, Kaiserslautern, 2001.
- [4] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V (Hrsg.):** Infodienst neue Produkte. August 2005.
http://www.transferstelle.info/images/pdf/Infodienst_August2005.pdf (Jänner 2006).
- [5] **Obernberger I., Hammerschmid, A.:** Dezentrale Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungstechnologien. dbv Verlag, Graz, 1999.
- [6] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (Hrsg.):** Dezentrale Stromerzeugung mit Erdgas in Einfamilienhäusern. Unterlagen der Internationalen Fachtagung in Essen, 23.11.2005.
- [7] **Görner K.:** Möglichkeiten dezentraler Energieerzeugung im Einfamilienhausbereich. In Dezentrale Stromerzeugung mit Erdgas in Einfamilienhäusern. Unterlagen der Internationalen Fachtagung in Essen, 23.11.2005.
- [8] **Prankl H., Krammer K., Janetschek H., Roitmeier T.:** Blockheizkraftwerke auf Pflanzenölbasis. Forschungsbericht, FJ BLT Wieselburg, 2005.
http://www.blm.bmlfuw.gv.at/vero/veroeff/0898_BHKW_Forschungsbericht46.pdf (Jänner 2006).
- [9] **Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.):** Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke. Augsburg, 2003.
http://www.bayern.de/lfu/bestell/pflanzenoel_blockheizkraftwerke.pdf (Jänner 2006).
- [10] **Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.):** Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Leitfaden. Augsburg, 2002.
http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch/ern_energie/leitfaden.pdf (Jänner 2006).
- [11] **Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.):** Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Abschlussbericht. Augsburg, 2002.
http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch/ern_energie/abschlussbericht.pdf (Jänner 2006).
- [12] **Herdin G. R.:** Stand der BHKW Technik im Vergleich zu Brennstoffzellen und Mikro-gasturbine.
http://www.etn.wsr.ac.at/pdf/stand_bhkw_technik.pdf (Jänner 2006).
- [13] **Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.):** Blockheizkraftwerke – Ein Leitfaden für den Anwender. 6. aktualisierte Auflage, TÜV-Verlag, Köln, 2005.

- [14] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (Hrsg.):** BHKW-Kenndaten 2005 – Module, Anbieter, Kosten. Verlag Rationeller Erdgaseinsatz, Kaiserslautern, 2005.
- [15] **Brautsch M.:** Technisch wissenschaftliche Grundlagen der Pflanzenöltechnik.
http://pflanzenoel.agrarplus.at/pdf/endbericht_regoel_kurzfassung.pdf (Jänner 2006).
- [16] **Energie-Control GmbH (Hrsg.):** Bericht über die Ökostrom-Entwicklung und fossile Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich – Juni 2005 mit Ergänzung der Halbjahresdaten 2005 im August 2005. Wien, 2005.
http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/OKO/DOWNLOADS/BERICHTE/OEKOSTROMBERICHT (Mai 2006).
- [17] **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.):** Evaluierung der Umweltförderung des Bundes für den Zeitraum 01.01.2002 bis 31.12.2004. Wien, 2005.
<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/Effizienzbericht%202002%20-%202004.pdf> (Jänner 2006).
- [18] **Kommunalkredit Public Consulting (Hrsg.):** Informationsblatt – Fossile Kraft-Wärme-Kopplung.
<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/Fossile%20KWK%20.pdf> (Jänner 2006).
- [19] **Kommunalkredit Public Consulting (Hrsg.):** Informationsblatt – Biomasse Kraft-Wärme-Kopplung.
<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/biomassekwk3.pdf> (Juni 2006).
- [20] **Kommunalkredit Public Consulting (Hrsg.):** Auszahlungsbedingungen und technische Auflagen 2006.
<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/neueabta.pdf> (Juni 2006).
- [21] **Lauer M.:** Anbieterpräsentation Holzgaskraftwerke - Endbericht. Graz, 2005.
http://www.noest.or.at/intern/dokumente/155_Endbericht_Anbieterpraesentation_Holzgas.pdf (Jänner 2006).
- [22] **Kleinhappl M.:** Festbett-Vergasung – Stand der Technik. In Biomasse-Vergasung - Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 24, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004.
- [23] **Bolhar-Nordenkamp M., Jörg K.:** Gasreinigung – Stand der Technik. In Biomasse-Vergasung - Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 24, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004.
- [24] **Hellat J., Wimmer A., Strasser Ch.:** Elektrizitätserzeugung aus Schwachgas – Stand der Technik aus der Motorensicht. In Biomasse-Vergasung - Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 24, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 2004.

- [25] **Projektgemeinschaft Biomassevergasung (Hrsg.):** Hersteller und Marktbetrachtung der thermo-chemischen Umwandlung von Biomasse.
http://www.hessenenergie.net/Info-Bereiche/Biomasse_Holz/Verstromung-fester-Biomasse/Biomassevergasung1-Hersteller-%20und%20Marktbetrachtung.pdf (Februar 2006).
- [26] **Hessen Energie Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbh (Hrsg.):** Mikrogasturbinen im Markt der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. 2004.
http://www.hessenenergie.de/Publikationen/2_Effiziente-ENutzung/INFOzuMGT-070704.pdf (Jänner 2006).
- [27] **Blesing A.:** Mikrogasturbinen – Eine neue Technik zur dezentralen Energieversorgung. In Gaswärme International, (50) 3/2001.
- [28] **Glatzer A.:** Erste Mikrogasturbinenanlage mit Trigeneration in Österreich. In Energy – Die Zeitschrift der Österreichischen Energieagentur, 01/2004.
- [29] **Sicre B. G.:** Nachhaltige Energieversorgung von Niedrigstenergiehäusern auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung im Kleinstleistungsbereich und der Solarthermie. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, 2004.
http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2005/0015/data/Sicre_Dissertation_2004.pdf (Jänner 2006).
- [30] **Spilling Energiesysteme GmbH (Hrsg.):** Schriftliches Informationsmaterial zu Dampfkraftmotoren. 28.01.2006.
- [31] **Senertec GmbH (Hrsg.):** Technische Daten – Dachs Heizkraftanlagen.
http://www.senertec.de/show_pdf.php?name=technisches_datenblatt (Februar 2006).
- [32] **Lackner Energietechnik GmbH (Hrsg.):** Enorme Energiekosten – Schicksal oder Chance. Vortrag im Rahmen des ÖEKV Cogeneration Seminars, September 2005.
- [33] **PowerPlus Technologies GmbH (Hrsg.):** Technische Daten – ecopower.
[http://www.ecopower.de/fileadmin/download/endkunde/Ecopower%20\(Datenblatt\).pdf](http://www.ecopower.de/fileadmin/download/endkunde/Ecopower%20(Datenblatt).pdf) (Februar 2006).
- [34] **Solo Stirling GmbH (Hrsg.):** Technische Dokumentation Solo Stirling 161 microKWK Modul. 2005.
<http://www.stirling-engine.de/kwkopplung.html> (Jänner 2006).
- [35] **Solo Stirling GmbH (Hrsg.):** Datenblatt Stirling 161 microKWK Modul. 2005.
<http://www.stirling-engine.de/kwkopplung.html> (Jänner 2006).
- [36] **Humm O.:** Blockheizkraftwerke – Mehr Leistung, weniger Emissionen.
<http://www.energie.ch/themen/haustechnik/blockheizkraftwerke/> (Jänner 2006).
- [37] **Nellen Ch., Boulouchos K.:** Aufgeladene Gasmotoren mit AGR und Dreiwege-Katalysator – der Weg zu niedrigsten Emissionen bei hohem Wirkungsgrad und großer Leistungsdichte. In MTZ Motortechnische Zeitschrift, 61 (2000) 1.
<http://www.all4engineers.com/download.php;file=m01-00-02.pdf/dir=mtz/key=f9a819550258f41cca5a1325aa34e7eb> (Februar 2006).
- [38] **Lorenz K., Gailfuß M.:** Erdgas-Modul mit Abgasrückführung.
http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/agr_modul.html (Februar 2006).

- [39] **Austrian Bioenergy Centre GmbH (Hrsg.):** Geschäftsbericht 2003/2004.
http://www.abc-energy.at/pdfs/GB_04.pdf (Jänner 2006).
- [40] **Friedemann Z.:** Gasmotoren. 1. Auflage, Vogel Verlag, Würzburg, 2001.
- [41] **Schleder F.:** Stirlingmotoren – Thermodynamische Grundlagen, Kreisprozessrechnungen und Niedertemperaturmotoren. 1. Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, 2002.
- [42] **Schmitz K., Schaumann G.:** Kraft-Wärme-Kopplung. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [43] **Steinborn F.:** BHKW-Plan Handbuch - Wirtschaftliche Auslegung und Planung von Blockheizkraftwerken, Version 1.09.03. Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung Software-, Internet- und Medienagentur; Stuttgart, 2005.
- [44] **Suttor W., Müller A.:** Das Mini-Blockheizkraftwerk – Eine Heizung, die auch Strom erzeugt. C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1999.
- [45] **Verein Deutscher Ingenieure:** VDI 3985 - Grundsätze für Planung, Ausführung und Abnahme von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Verbrennungskraftmaschinen. Berlin, März 2004.
- [46] **Sawillion M.:** Aufbereitung der Energiebedarfsdaten und Einsatzanalysen zur Auslegung von Blockheizkraftwerken. Dissertation, Universität Stuttgart, 2002.
- [47] **Liersch K. W., Langner N.:** Bauphysik kompakt. 2. Auflage, Bauwerk Verlag, Berlin, 2006.
- [48] **Däumler K.-D.:** Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung. 11. Auflage, Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Berlin, 2003.
- [49] **Fischer E.:** Finanzwirtschaft für Anfänger. 4. Auflage, Oldenburg Verlag, München, 2005.
- [50] **Hirth H.:** Grundzüge der Finanzierung und Investition. Oldenburg Verlag, München, 2005.
- [51] **Verein Deutscher Ingenieure:** VDI 2067, Blatt 1 - Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung. Berlin, September 2000.
- [52] **Verein Deutscher Ingenieure:** VDI 2067, Blatt 7 - Berechnung der Kosten von Wärmerversorgungsanlagen – Blockheizkraftwerke. Berlin, Dezember 1998.
- [53] **Aussenegg W.:** Skriptum zur Übung Investition & Finanzierung. TU Wien, 2001.
- [54] **Seicht G.:** Investition und Finanzierung. 6. Auflage, Industrieverlag Peter Linde, Wien, 1990.
- [55] **Simader G. R., Trnka G.:** Green Lodges – Auditreport. Österreichische Energieagentur, Wien, 2005.
- [56] **E-Bridge Consulting GmbH (Hrsg.):** Studie über KWK-Potentiale in Österreich – Endbericht. Eigenverlag, Villach, 2005.
[http://www.energytech.at/\(de\)/kwk/results.html?id=4166](http://www.energytech.at/(de)/kwk/results.html?id=4166) (Juni 2006).
- [57] **Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (Hrsg.):** Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich – Perspektiven für technologische und institutionelle Reformen in Österreich und Europa. 2005.
<http://www.energytech.at/kwk/results.html?id=3944&menulevel1=6&menulevel2=3> (Juni 2006).

- [58] **Österreichische Bundesregierung (Hrsg.):** Energiebericht 2003.
<http://www.bmwa.gv.at/NR/rdonlyres/E88241D0-CD4D-4FF9-9029-9149F68F6212/0/Energiebericht2003.pdf> (Juni 2006).
- [59] **Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.):** Technische Grundlagen für die Beurteilung von Emissionen aus Stationärmotoren. Wien, 2001.
<http://www.bmwa.gv.at/NR/rdonlyres/989E24A3-326E-4A70-BB9D-837A7CBBD883/10415/BeurteilungvonBiogasanlagen2bAnhang1bis6.pdf> (Juni 2006).
- [60] **Energie-Control GmbH (Hrsg.):** Dezentrale Erzeugung in Österreich. Wien, 2005.
http://www.e-control.at/portal/page/portal/ECONTROL_HOME/INTERN/ADMINISTRATION/DATEIEN/PUBLIKATIONEN/STUDIEN/DEA_STUDIE_ECONTROL2005.PDF (Juli 2006).
- [61] **Energie AG (Hrsg.):** Allgemeine Bedingungen für den Zugang zum Verteilernetz der Energie AG Oberösterreich. 2003.
http://konzern.energieag.at/eagat/resources/284094835607631929_326145925858553478.pdf (Juli 2006).

Gesetzestexte

- [62] **Richtlinie 2001/77/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt.
<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l27035.htm> (Juni 2006).
- [63] **Richtlinie 2003/96/EG** des Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom.
<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l27019.htm> (Juni 2006).
- [64] **Richtlinie 2002/91/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über das Energieprofil von Gebäuden.
<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/l27042.htm> (Juni 2006).
- [65] **Richtlinie 2004/8/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Februar 2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG.
http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=de&type_doc=Directive&an_doc=2004&nu_doc=8 (Mai 2006).
- [66] **Bundesgesetz**, mit dem Neuregelungen auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kopplung erlassen werden (Ökostromgesetz), BGBl. I Nr. 149/2002.
- [67] **Bundesgesetz**, mit dem das Ökostromgesetz, das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz und das Energie-Regulierungsbehördengesetz geändert werden (Ökostromgesetz-Novelle 2006), BGBl. I Nr. 105/2006.

Internetquellen

- [68] **Energytech.at:** Technologieportrait – Biogas.
http://www.energytech.at/biogas/portrait_kapitel-1.html (Mai 2006).
- [69] **IET Intelligente Energie Technik GmbH:** Gasarten.
<http://www.iet-energie technik.at/deutsch/944/936/755003/liste5.html#top> (Mai 2006).
- [70] **FJ BLT Wieselburg:** Biomasse/Nachwachsende Rohstoffe – Biodiesel.
http://www.blb.bmlf.gv.at/bio_nawa/biodies.htm (Jänner 2006).
- [71] **Berufsbildungs- und Servicezentrum des Osnabrücker Handwerks GmbH:** Herstellerverzeichnis BHKW.
http://www.bhkw-zentrum.de/Testordner%20Link%FCbersicht/links_Mini-BHKW.htm (Jänner 2006).
- [72] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.:** Anbieterverzeichnis BHKW.
http://www.asue.de/ansicht/ansicht/firmen/show_entry.php?id=3 (Jänner 2006).
- [73] **BHKW-Infozentrum Rastatt:** Herstellerverzeichnis BHKW.
http://www.bhkw-infozentrum.de/li_anbit_herstel.html (Jänner 2006).
- [74] **Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung:** Herstellerverzeichnis BHKW.
<http://www.bhkw-info.de/info-bhkw/bhkw.html> (Jänner 2006).
- [75] **Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung:** Herstellerverzeichnis BHKW.
<http://www.minibhkw.de/hersteller/intro.html> (Jänner 2006).
- [76] **Steinborn innovative Gebäude-Energieversorgung:** Leistungsmodulation – ecopower BHKW.
<http://www.minibhkw.de/einfuehrung/ecopower.html> (Jänner 2006).
- [77] **Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V.:** Anbieterverzeichnis BHKW.
<http://www.bkww.de/bkww/anbieterforum/anbietersuche/> (Jänner 2006).
- [78] **Bundesverband Pflanzenöle e.V.:** Herstellerverzeichnis Pflanzenöl-BHKW.
http://www.bv-pflanzenoel.de/oel_bhkw.html (Jänner 2006).
- [79] **Berufsbildungs- und Servicezentrum des Osnabrücker Handwerks GmbH:** Anbieterverzeichnis Pflanzenöl-BHKW.
http://www.bhkw-zentrum.de/Testordner%20Link%FCbersicht/links_Pflanzenoel-BHKW.htm (Jänner 2006).
- [80] **Centrales- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N):** Anbieterverzeichnis Pflanzenöl-BHKW.
<http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/pflaoelbhkw.html> (Jänner 2006).
- [81] **Francisco Josephinum BLT Wieselburg:** Anbieterverzeichnis Pflanzenöl-BHKW.
http://www.blb.bmlf.gv.at/bio_nawa/bhkw/bhkw.htm (Jänner 2006).
- [82] **Netzwerk Ökoenergie Steiermark:** Holzgaskraftwerke – Anbieterpräsentation.
<http://noest.ecoundco.at/news/noest/article.php?id=3081&cust=4> (Jänner 2006).

- [83] **Joanneum Research:** Homepage Joanneum Research – Institut für Energieforschung.
<http://wissen.noest.or.at/noest/widb.jsp?ttSel=02.00.00.00&techID=t%3A16&domainID=d%3A11&divID=-1&keyword> (Jänner 2006).
- [84] **E-quad Power Systems GbR:** Produktblatt - C30 Mikrogasturbine.
http://www.microturbine.de/PDF/C30_dt.pdf (Jänner 2006).
- [85] **E-quad Power Systems GbR:** Einsatzgebiete von Mikrogasturbinen.
http://www.microturbine.de/Produkte_Einsatzgebiete.html (Jänner 2006).
- [86] **Toyota Turbine and Systems Inc.:** Toyota Mikrogasturbinen.
<http://www.toyota-turbine.co.jp/> (Jänner 2006).
- [87] **Toyota Turbine and Systems Inc.:** Toyota Mikrogasturbinen.
http://www.toyota.co.jp/en/more_than_cars/new_business/company/energy01.html (Jänner 2006).
- [88] **Verdesis Suisse SA:** Technologiebeschreibung – Mikrogasturbinen.
www.verdesis.ch (Jänner 2006).
- [89] **Joanneum Research:** Strom aus Biomasse mittels Stirlingmotor.
http://www.joanneum.at/de/umwelt_energie/projekte_detail.php?p_iid=IEF&p_pid=261 (Jänner 2006).
- [90] **Bios Bioenergiesysteme GmbH:** Beschreibung der Biomasse-KWK auf Basis Stirlingmotor.
<http://www.bios-bioenergy.at/bios01/bios.html> (Jänner 2006).
- [91] **Stirling.dk Ltd.:** Homepage Stirling.dk.
www.stirling.dk (Jänner 2006).
- [92] **Solo Stirling GmbH:** Homepage Solo Stirling.
<http://www.stirling-engine.de> (Jänner 2006).
- [93] **Whisper Tech:** Homepage Whisper Tech.
<http://www.whispergen.com> (Jänner 2006).
- [94] **BHKW-Infozentrum Rastatt:** Whispergen - der Whispertech-Stirlingmotor als Mini-BHKW.
http://www.bhkw-infozentrum.de/innovative/stirlingmotor_whispertech.html (Jänner 2006).
- [95] **Microgen Energy Limited:** Presseinformationen zu Microgen.
<http://www.microgen.com/pressreleases.asp> (Februar 2006).
- [96] **Honda Motor Europe (North) GmbH:** Ecowill BHKW.
http://www.honda.de/content/news/17506_30135.html (Februar 2006).
- [97] **Deutsche Energie-Agentur GmbH:** Mini-BHKW für Einfamilienhäuser.
http://www.thema-energie.de/article/show_article.cfm?cid=1370&id=4613 (Jänner 2006).

- [98] **Bund der Energieverbraucher e.V.:** Honda Kleinkraftwerk.
http://www.energienetz.de/index.php?itid=1075&&org_search_str=honda&search_or_and=1&search_choice=1#cont_id_2232 (Jänner 2006).
- [99] **PowerPlus Technologies GmbH:** Beschreibung Leistungsmodulation.
<http://www.ecopower.de/Leistungsmodulation.25.0.html> (Juli 2006).
- [100] **OTAG Vertriebs GmbH & Co. KG:** Produktinformation zu lion Powerblock.
http://www.otag.de/download/OTAG_Lion_Kurzinfo.pdf (Jänner 2006).
- [101] **OTAG Vertriebs GmbH & Co. KG:** Unternehmensinformationen OTAG.
<http://www.otag.de/aktuelles.htm> (Juni 2006).
- [102] **Turbec S.p.A.:** Homepage Turbec.
www.turbec.com (Jänner 2006).
- [103] **Turbec S.p.A.:** Produktdatenblatt – T100 PH.
http://www.turbec.com/pdf/Turbec%20brochure%202005%20eng_Email%20version.pdf (Juli 2006).
- [104] **General Electric Jenbacher:** Kraft-Wärme-Kopplungen mit Gasmotoren.
http://www.jenbacher.com/shared/download/gasm_bhkw_de.pdf (Februar 2006).
- [105] **General Electric Jenbacher:** Eigenschaften verschiedener Gasarten.
http://www.ge-energy.com/prod_serv/products/ recip_engines/de/gas_types/index.htm (Jänner 2006).
- [106] **Sunmachine Vertriebsgesellschaft mbH:** Produktinformationen zur sunmachine.
<http://www.sunmachine.com/faq.htm> (Juli 2006).
- [107] **Sunmachine Vertriebsgesellschaft mbH:** Prospekt – sunmachine.
http://www.sunmachine.com/download/prospekte/sunmachine_2006_pellets.pdf (Februar 2006).
- [108] **Sunmachine Vertriebsgesellschaft mbH:** Datenblatt – sunmachine.
http://www.sunmachine.com/download/datenblatt/datenblatt_sm.pdf (Februar 2006).
- [109] **Stirling Power Module Energieumwandlungsges mbH:** Homepage Stirling Power Module.
<http://www.stirlingpowermodule.com> (Februar 2006).
- [110] **Senertec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH:** Produktbeschreibungen – Dachs HKA.
<http://www.senertec.de/deutsch/frames.php?urlname=dachs.php> (Juli 2006).
- [111] **Senertec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH:** Datenblatt – 3-phasiges Inselnetz mit Dachs-WRA.
http://www.senertec.de/show_pdf.php?name=dachs_wra (Mai 2006).
- [112] **PowerPlus Technologies GmbH:** Produktbeschreibung – ecopower Mini-BHKW.
<http://www.ecopower.de/ecopower-Mini-BHKW.9.0.html> (Juli 2006).

- [113] **Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.:** Homepage Strom erzeugende Heizung.
www.stromerzeugende-Heizung.de (Mai 2006).
- [114] **Umweltbundesamt:** Einsatz von Flüssiggas.
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/verkehr/kraftstoffe/fluessiggas/> (Mai 2006).
- [115] **Menag Energie AG:** ENX55 Stirlingmotor.
<http://www.menag-group.ch/de/inh1230.asp> (Jänner 2006).
- [116] **Menag Energie AG:** ENX55 Stirlingmotor.
http://www.menag-group.ch/de/1/ENX55__861.asp (Jänner 2006).
- [117] **Stirling Systems AG:** Feldtests mit Stirling Energy Module.
<http://www.stirling-systems.com/news/news6.html> (Jänner 2006).
- [118] **BBT Thermotechnik GmbH:** Vorentwicklungsstudie eines stromerzeugenden Heizgeräts.
http://www.bbt-thermotechnik.de/sixcms/media.php/2511/PI%201002_BBT_Stirling.pdf (Jänner 2006).
- [119] **Peter Fette:** Stirlingmotor Forschung und Programmentwicklung.
<http://home.arcor.de/peterfette/histo.htm> (Juni 2006).
- [120] **Amt der Burgenländischen Landesregierung:** Wohnbauförderung für Eigenheime.
<http://www.e-government.bgld.gv.at/wbf/basisinfo/alternativenergie.htm> (Juni 2006).

Weiterführende Literatur

- [121] **Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V., Institut für Energetik und Umwelt (Hrsg.):** Biomasse-Vergasung – Der Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Band 24, Landwirtschaftsverlag, Münster, 2004.
- [122] **Erol S.:** Thermodynamische und wirtschaftliche Bewertung von Block-Heiz-Kraftwerk-Anlagen. Diplomarbeit, TU Wien, 1997.
- [123] **Kreisler K.:** Mikro- und Mini-Blockheizkraftwerke auf Basis erneuerbarer Energieträger. Diplomarbeit, FH Kapfenberg, 2005.
- [124] **Simader G. R., Rakos Ch.:** Klimatisierung, Kühlung und Klimaschutz - Technologien, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Reduktionspotenziale. Österreichische Energieagentur, Wien, 2005.
- [125] **Spilling Energiesysteme GmbH:** Schriftliches Informationsmaterial zu PowerTherm BHKW. 28.01.2006.
- [126] **Oberdorfer Kraft-Wärme-Kopplung GmbH:** Schriftliches Informationsmaterial. Mail, 02.02.2006.
- [127] **Bayrisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.):** Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Teil 1. Augsburg, 2002.
http://www.bayern.de/lfu/luft/veroeffentlich/umweltforsch/ern_energie/teil1.pdf (Jänner 2006).

- [128] **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.):** Umweltförderungen des Bundes 2004.
<http://www.public-consulting.at/blueline/upload/Umweltfoerderungsbericht%202004.pdf>
(Jänner 2006).
- [129] **Krapf G.:** Betriebserfahrung mit Biomasse-Heizwerken und kleinen Biomasse-Heizkraftwerken – Technik, Markt, Potenziale.
<http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/vortraege/kleineheizkraftwerke03.pdf> (Jänner 2006).
- [130] **Lettner F.:** Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen. Vortrag im Rahmen der Anbieterpräsentation Holzgaskraftwerke, Graz, 21.06.2005.
http://noest.ecoundco.at/news/docs/1285_Lettner_TU.pdf (Jänner 2006).
- [131] **Grünberg F.:** Kraftwerk im Keller. In Technology Review, 12/2005.
<http://www.heise.de/tr/artikel/66364/1> (Jänner 2006).
- [132] **Spilling Energiesysteme GmbH:** Informationsbroschüre PowerTherm BHKW.
www.powertherm.de (Jänner 2006).
- [133] **Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.):** Kälteversorgung mit KWKK. In profi info, 11/98.
<http://www.bhkw-infozentrum.de/download/binekwkk.pdf> (Jänner 2006).
- [134] **Buderus Heiztechnik GmbH:** Kälteerzeugung mit Buderus-BHKW.
http://www.heiztechnik.buderus.de/sixcms/media.php/1166/Kaelteerzeugung_BHKW.pdf (Jänner 2006).
- [135] **Lorenz K.:** Globale Implementierung von BHKWs mit AGR-Technologie (Abgasrückführung) – Laufende Resultate aus dem Betrieb (Stand Jan. 2004).
http://www.menag-group.ch/downloads/Swissmotor_KLo_150.pdf (Jänner 2006).

A Anhang

A.1 BHKW mit Verbrennungsmotoren

A.1.1 Herstellerverzeichnis

Hersteller	Leistungsbereich der Modellreihe [kW _{el}] / Anmerkungen	Modellreihe / Modelle	Brennstoff
Senertec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH Carl-Zeiss-Straße 18 97424 Schweinfurt Tel: +49 9721/651-0 www.senertec.de	5,0 – 5,5	Dachs HKA	Erdgas Flüssiggas Heizöl bzw. Biodiesel
PowerPlus Technologies GmbH Fasaneninsel 20 07548 Gera Germany Tel: +49 365 / 830403-00 www.ecopower.de	1,3 – 4,7 (modulierend)	Ecopower	Erdgas Flüssiggas
Spilling Energie Systeme GmbH Werftstraße 5 20457 Hamburg Tel: +49 40 789 175 – 0 www.powertherm.de	7 – 20 (modulierend)	PowerTherm	Erdgas Flüssiggas Bogas, Klärgas
EC Power A/S Samsøvej 25 DK-8382 Hinnerup Danmark Tel: +45 8743 4127 www.ecpower.de	4 – 13 (modulierend)	XRGI 13	Erdgas
	4 – 17 (modulierend)	XRGI 17	Diesel
Buderus Austria Heiztechnik GmbH Karl-Schönher-Straße 2 4600 Wels Tel:+43 7242 29850 http://www.buderus.at	18 – 238	Loganova	Erdgas
Oberdorfer Kraft-Wärme-Kopplung GmbH Bahnhofstrasse 10 A-9711 Paternion Tel: +43 (0) 4245 2419 www.oberdorfer.at	70 – 245		Erdgas
	70 – 250		Propangas
	70 – 250		Bio-, Klär-, Deponie-gas
GE Jenbacher Achenseestraße 1-3, A-6200 Jenbach Tel: +43 5244 600-0 www.jenbacher.com	330	Baureihe Type 2	Erdgas, Propangas Biogas
	525 – 1065	Baureihe Type 3	Erdgas, Propangas Biogas
	1413	Baureihe Type 4	Erdgas, Propangas Biogas

	1644 - 3047	Baureihe Type 6	Erdgas, Propangas Biogas
Zeppelin Österreich GmbH Zeppelinstraße 2 2401 Fischamend Tel: +43 2232 790 www.zeppelin-cat.at	188 – 5950		Erdgas
	199 – 1090		Grubengas
	173 – 2090		Biogas
	190 – 930		Propangas
KraftWerk Kraft-Wärme-Kopplung GmbH Zur Bettfedernfabrik 1 30451 Hannover Tel: +49 511 262 9970 www.kwk.info www.kraftwerk-bhkw.de	25 29 Kontinuierliche Leistungsregelung im Bereich von 33 – 100%	Mephisto G16 Mephisto G18	Erdgas, Flüssiggas Klär-, Biogas bei Modell Mephisto G16
	24 34 Kontinuierliche Leistungsregelung im Bereich von 33 – 100%.	Mephisto G26 Mephisto G34	Erdgas, Flüssiggas Klär-, Biogas bei Modell Mephisto 26.
Energiewerkstatt Gesellschaft für rationelle Energie mbH & Co. KG Bartweg 16 D-30453 Hannover Tel: +49 511 / 949 740 www.energiewerkstatt.de	18 Leistungsregelung von 5 – 18 kW _{el.}	BHKW ASV 18/43	Erdgas, Flüssiggas Einsatz von Biogas, Klärgas ebenfalls möglich.
Reindl Maschinenbau GmbH Steinhausen 20 D-85625 Glonn Tel: +49 8093 / 90 38 – 0 www.reindl-mb.de	6,3	BHKW BK 07/H	Heizöl RME
Heinke Döring Energie GmbH Fischbach 15 35418 Buseck – Gewerbegebiet Ost Tel:+49 6408-504 684 www.heinke-doering.de	9	BHKW 9/16,5	Diesel Ausführungen für den Einsatz von Gas oder Rapsöl können nach Absprache gefertigt werden.
	22	BHKW 22/40	
	37	BHKW 37/66	
KW Energie Technik e.K. Neumarkter Str. 157 D-92342 Freystadt/Rettelloh Tel: +49 9179 / 96 434 0 www.kw-energietechnik.de	8 – 25		Pflanzenöl
	8 – 43		Erdgas, Flüssiggas, Biogas
	10 – 75		Diesel, Heizöl
Pro2-Anlagentechnik GmbH Schmelzerstraße 25 D-47877 Willich Tel: +49 2154 / 488-0	191 – 1703		Deponiegas, Biogas, Klärgas
	212 – 2014		Erdgas, Grubengas

www.pro-2.net			
Communa Metall GmbH Uhlandstraße 17 32051 Herford Tel.: +49 5221 9151- 0 www.comuna-metall.de	52	BHKW Typ 2725	Erdgas, Flüssiggas, Klärgas, Biogas
	112	BHKW Typ 5450	Erdgas, Flüssiggas, Klärgas, Biogas
SOKRATHERM GmbH & Co. KG Energie- und Wärmetechnik D-32120 Hiddenhausen, Milchstr. 12 Tel: +49 5221.9621-0, www.sokratherm.de	50 – 383	Modellreihe GG	Erdgas
	38 – 345	Modelreihe FG	Faulgas
	104 – 345	Modellreihe BG	Biogas
EAW Energieanlagenbau GmbH Oberes Tor 106 98631 Westenfeld Tel: +49 36948 84132 www.eaw-energieanlagenbau.de	5,3 - 170		Heizöl Umrüstung auf Biodiesel (RME) auf Anfrage möglich.
	5,5 – 238		Erdgas Umrüstung auf Biogas auf Anfrage möglich.
Kuntschar + Schlüter GmbH Unterm Dorfe 8 34466 Wolfhagen-Ippinghausen Tel: +49 05692 98 80-0 www.kuntschar-schlueter.de	78 – 585	Biogas BHKW	Biogas
	18 – 228	Erdgas Lambda 1 BHKW	Erdgas
	40 – 1280	Mager Erdgasbetrieb	Erdgas
	16 – 580	BHKW Mager Klärgasbetrieb	Klärgas
Emslandstrom GmbH & Co. KG Am Deverhafen 2 26871 Papenburg (Germany) Tel: +49 49 61 - 66 92 93 www.emslandstrom.de	311 – 1942		Erdgas, Biogas
2G Energietechnik GmbH Benzstr. 10 48619 Heek Tel: +49 25 68 / 9 60 33 www.2-g.de	105, 230 (Zündstrahlmotor)		Biogas
	100, 180, 340, 526 (Otto-Gas-Motoren)		Biogas
IET Intelligente Energie Technik GmbH Chromstrasse 2 9500 Villach Tel: + 43 424 33223 www.iet-energietechnik.at	30 – 346		Biogas
	35 – 380		Erdgas

Köhler & Ziegler Anlagen- technik Auweg 10 c 35457 Lollar Tel: +49 64 06/91 03-0 www.koehler-ziegler.de	65 – 1010		Erdgas
	53 – 800		Klärgas, Biogas
DEUTZ Power Systems GmbH & Co. KG Carl-Benz-Str. 1 68167 Mannheim Tel: +49 621 384 0 http://www.deutzpowersystems.com	240 – 4000		Erdgas
Menag Energie AG Bachmatten 5 CH-4435 Niederdorf Schweiz Tel: +41 61 956 2500 http://www.menag-group.com/de/	25 – 3916		Erdgas
	25 – 1696		Klärgas, Biogas
ETW Energietechnik GmbH Ferdinand-Zeppelin-Straße 19 47445 Moers Tel: +49 2841 99 90-0 http://www.etw-energie.de/downloads.htm	130 – 1560		Erdgas
	110 – 1370		Biogas
GIESE Energie- und Regel- technik GmbH Huchenstr. 3 82178 Puchheim bei Mün- chen Tel: + 49 89 / 800 653-00 www.energator.de	5 – 63		Heizöl / Diesel / RME
	7,5 – 35		Pflanzenöl
	5,5 - 63		Erdgas/Flüssiggas/ Biogas
Höfler Blockheizkraftwerke Ladestraße 26 88131 Lindau Tel: +49 8382 25057 www.hoefler-bhkw.de	22 – 1030		Gas
	21 – 142		Biogas
SCHMITT-ENERTEC GmbH Kottenheimer Weg 37 56727 Mayen, Germany Tel: +49 2651.409310 www.schmitt-enertec.de	105 – 812		Erdgas
	20 – 771		Biogas
SEF Energietechnik GmbH & Co. KG Lessingstraße 4 08058 Zwickau Tel: +49 375 54 1608 www.sef-energietechnik.de	25	G3000A	Erdgas

Henkelhausen GmbH & Co. KG Hafenstraße 51 47809 Krefeld Tel: +49 2151 574 – 207 www.henkelhausen.com		BHKW mit Deutz Motoren	Heizöl Biogas
MWB Motorenwerke Bremerhaven AG Barkhausenstraße 27568 Bremerhaven Postfach 120352 27517 Bremerhaven Tel: +49 3631 918-325 www.mwb.ag	150 - 335		Pflanzenöl Heizöl Erdgas Schwachgasen
FIMAG Finsterwalder Maschinen- und Anlagenbau GmbH Grenzstraße 41 03238 Finsterwald Tel: +49 3531 5080 www.fimag-finsterwalde.de	bis 2000		Erdgas, Klärgas, Heizöl
HAASE Energietechnik AG Gadelander Straße 172 24531 Neumünster Tel: +49 4321 878-0 http://www.haase-energietechnik.de		Container BHKW	Erdgas Biogas Klär-, Deponiegas
		Stationäre BHKW	Erdgas Biogas Klär-, Deponiegas
	171 - 1703	Kompakt BHKW	Biogas
SEnergie GmbH Neuer Weg 1 79423 Heitersheim Deutschland Tel: +49 7634 - 50569-0 www.senergie.de	50 - 280		Klärgas, Biogas und Erdgas.
PEWO Energietechnik GmbH Geierswalder Straße 13 02979 Elsterheide Tel: +49 3571 4898-0 www.pewo.de	26 – 386	pewoGS	Erdgas
	32 – 347	pewoBGS	Biogas
WILHELM SCHMITT Robert Bosch Str.5 Industriegebiet Ost 1 56727 Mayen Tel: +49 2651/9887-30 www.schmitt-mayen.de	40, 50, 65		Erdgas
MDE Dezentrale Energiesysteme Dasinger Str. 11	119 – 386	ME	Erdgas

86165 Augsburg Tel: +49 821 / 7480-0 www.mde-online.com MDE Dezentrale Energiesysteme wurde von MTU Friedrichshafen übernommen.	116 – 323	ME	Erdgas
	192, 370	MB	Biogas, Klärgas
Ochtruper Energietechnik Feldevert Deipenbrook 31 48607 Ochtrup Tel: +49 02553 / 80907 www.oet.de	8 – 50	OET	Gas Alternativ: Pflanzenöl, Biogas, Grubengas
	8 – 50	OET	Heizöl Alternativ: Pflanzenöl, Biogas, Grubengas
	Weitere Modelle bis 1000 kW Für gewerblichen Einsatz vorwiegend mit Biogasbetrieb.		
Mothermik GmbH Industriestr. 3 56291 Pfalzfeld/Hunsrück Tel +49 6746 / 8003-0 www.mothermik.de	100 – 3000		Heizöl EL, RME
	Spezielle Zweistoff-MHKW-Anlagen		Erdgas, Klärgas, Biogas, Grubengas, Holzgas oder sonstige Schwachgase in Verbindung mit Heizöl EL oder RME als Zündstrahl.
SES Service Energiesysteme GmbH Kömmlitzer Straße 5 D-04519 Rackwitz Germany Tel: +49 34294 8360 www.ses-energiesysteme.com	25 – 100	UNIT HPC Anschlussfertige Kompaktmodule	Erdgas
	194 – 1974	BHKW in den Bauformen Anlagenbau und Containerinstallation.	Erdgas, Biogas, Klärgas
tvp-energysystems GmbH Lange Zeile 112 7311 Neckenmarkt AUSTRIA Tel: +43 2610 423 54 www.tvp-austria.com	100 – 20000		Gas Biodiesel
ABL-Energietechnik GmbH Mühlberger Str. 6 83527 Moosham Tel: +49 0 8072 3747 04 www.abl-energietechnik.de	30 – 340		Biogas Magerbetrieb
	35 – 340		Erdgas Magerbetrieb
	70 – 300		Heizöl und Pflanzenölbetrieb.
Honda Motor Europ (North) GmbH Kundenzentrale Postfach 200222 D – 63077 Offenbach	1	Ecowill	Erdgas

A.1.2 Herstellerverzeichnis – Pflanzenöl-BHKW

Hersteller	Leistungsbereich der Modellreihe [kW _{ei}] / Anmerkungen	Modellreihe / Modelle	Brennstoff
BioEnergieTann GmbH Eiberger Straße 2 84367 Zimmern Deutschland Tel: +49 8572 96060	11 – 500		Pflanzenöl
	Alle Pflanzenöl BHKW sind auch für Biogas-/Zündstrahl-Einsatz lieferbar. 170, 230		Biogas, Deponiegas
Hoepfl Thomas Elektrounternehmen Hauptstr. 39 D-94336 Hunderdorf / Ndby Tel: +49 9422 / 85 21 - 0 www.block-heiz-kraft-werk.de	6 – 15		Heizöl / RME Rapsöl kalt gepresst mit Umrüstsatz.
Hubert Tippkötter GmbH Velsen 49 48231 Warendorf Tel: +49 2584 9302-0 www.tippkoetter.de	13 – 160	Öko Vario	Heizöl
	229 – 415		Heizöl
	8 – 1000		Pflanzenöl
EUROENERGIE Billstrasse 28 D-20539 Hamburg Tel: +49 40 819 78 466 www.euroenergie.info EUROENERGIE Generalvertretung Österreich TERRAEVIS Energieerzeugung A-5020 Salzburg Tel: +43 662 832680	10 – 500		Pflanzenöl
Neue Energie Technik NET Moosstraße 195 A-5020 Salzburg Tel: +43 662 828729 www.neue-energie-technik.net www.sbgenergy.net	8 – 144		Diesel/Heizöl/RME/AME/Frittierölen, ...
	Vielstoff-BHKW 12 – 30		Pflanzenöl
	8 – 30		Gas
	6 – 20		Diesel
Nutz GmbH Rudolfstraße 121 f 8010 Graz Tel: +43 0316 30156 www.nutz-gmbh.at	12 – 20		Pflanzenöl
	Kundenspezifisch ausgelegte Anlagen. 120 Kundenspezifisch ausgelegte Anlagen.		Pflanzenöl

Johann Söllinger Ökotec Straß im Attergau 34 4881 Straß im Attergau Tel: + 43 7667 7205-0 www.soellinger.at www.oekotec.at	8 – 25		Pflanzenöl Biodiesel
Öko-Energiesysteme GmbH Hauptstraße 8 37355 Deuna Tel: +49 36076 51313 www.energie-as.de	8,2 – 35		Pflanzenöl Heizöl
	52 – 320		Erdgas Biogas
StarmoTec Energie Systeme Rosenstraße 1 86495 Eurasburg bei Augsburg Tel: + 49 8208 9599511 http://www.starmotec.de	5,5 – 11		Diesel/Heizöl, Pflanzenöl
	BHKW für Netzparallelbetrieb. 3 – 8 BHKW für Inselbetrieb.		
KW Energie Technik e.K Neumarkter Str. 157 D-92342 Freystadt/Rettelloh Tel: +49 9179 / 96 434 0 www.kw-energie technik.de	8 – 25		Pflanzenöl
GIESE Energie- und Regeltechnik GmbH Huchenstr. 3 82178 Puchheim bei München Tel: +49 089 800 653-00 www.energator.de	7,5 – 35		Pflanzenöl
MWB Motorenwerke Bremerhaven AG Barkhausenstraße 27568 Bremerhaven Postfach 120352 27517 Bremerhaven Tel: +49 3631 918-325 www.mwb.ag	150 - 335		Pflanzenöl
ABL-Energetechnik GmbH Mühlberger Str. 6 83527 Moosham Tel: +49 0 8072 3747 04 www.abl-energetechnik.de	70 – 300		Heizöl und Pflanzenölbetrieb.

A.1.3 Holzvergasung

A.1.3.1 Forschungseinrichtungen in Österreich

<p>Renewable Energy Network Austria Sprecher und wissenschaftliche Leitung: Univ.-Prof. Dr. Hermann Hofbauer</p> <p>Sitz der ARGE: Institut f. Verfahrens-, Umwelttechnik u. techn. Biowissenschaften der TU Wien Getreidemarkt 9/166 A-1060 Wien</p> <p>Tel.: +43 1 58801 – 15970 www.renet.at</p>	<p>Kompetenzknoten Wr. Neustadt: Ing. Josef Penz EVN AG</p> <p>EVN Platz A-2344 Maria Enzersdorf</p> <p>Tel: +43 2236 200 – 12481</p>
<p>Institut für Wärmetechnik, TU Graz Inffeldgasse 25B 8010 Graz</p>	<p>Arbeitsgruppe Thermische Energieanlagen Nutzung von Biomasse, Holzvergasung, Anlagensicherheit</p> <p>Tel: +43 316 873–7811</p> <p>http://wt.tu-graz.ac.at</p>
<p>JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH Steyrergasse 17 A-8010 Graz, Austria</p>	<p>Tel: +43 316 876-0</p> <p>www.joanneum.at</p>
<p>Austrian Bioenergy Centre GmbH Inffeldgasse 21b A-8010 Graz</p> <p>Tel: +43 316 873-9201 www.abc-energy.at</p>	<p>Gesellschafter der Austrian Bioenergy Centre GmbH HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg BLT (Biomass – Logistics – Technology) Technische Universität Graz BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH Technische Universität Wien Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH</p>

A.1.3.2 Hersteller

<p>Kuntschar + Schlüter GmbH Unterm Dorfe 8 34466 Wolfhagen-Ippinghausen</p>	<p>Tel: +49 (0) 56 92 / 98 80-21</p> <p>www.kuntschar-schlueter.de</p>
<p>Mothermik GmbH Fossile & regenerative MHKW-Anlagentechnik Industriestr. 3 56291 Pfalzfeld/Hunsrück</p>	<p>Tel: +49 6746 / 8003-0</p> <p>www.mothermik.de</p>
<p>A.H.T. Pyrogas Vertriebs GmbH Friedrich-Ebert-str. Technologie Park D - 51429 Bergisch Gladbach</p>	<p>Tel: + 49 02204 842130</p> <p>www.pyrogas.de</p>

<p>ecosystems GmbH & Co. KG Technologie Park Bergisch Gladbach Friedrich - Ebert – Strasse D - 51429 Bergisch Gladbach</p> <p>Kooperation der Firmen A.H.T. Pyrogas, als Inhaber des zugehörigen Patents des Vergasungsverfahrens, sowie der Maschinen und Anlagenbau GmbH Bremen, ein Unternehmen der Metz Gruppe, zu Marketing und Vertriebszwecken.</p>	<p>Tel: +49 2204 842130</p> <p>www.ecosystems.name</p>
<p>ABL-Energietechnik GmbH Mühlberger Str. 6 83527 Moosham Deutschland</p>	<p>Tel: +49 8072 3747 04</p> <p>www.abl-energietechnik.de</p>
<p>dasag Renewable Energy AG Birchstrasse 6 CH-8472 Seuzach</p>	<p>Tel: +41 52 338 07 73</p> <p>www.dasagren.ch</p>

A.1.4 Referenzlisten

A.1.4.1 Referenzliste Lackner Energietechnik GmbH

<p>Lackner Energietechnik GmbH Untere Klaus 183 8970 Schladming</p> <p>Tel: +43 3687/23191-0 www.lackner-bhkw.at</p>	<p>Planung, Installation und Betreuung von Blockheizkraftwerken.</p> <p>Verfügbare und installierte Anlagen - unter anderem - der Hersteller <i>SenerTec (Dachs)</i>, <i>Spilling (PowerTherm)</i>, <i>PowerPlus (ecopower)</i>, <i>Oberdorfer</i> und <i>Buderus</i> und des österreichischen Anbieters <i>IET Intelligente Energietechnik</i>.</p>
--	--

DACHS HEIZKRAFTANLAGEN

Betreiber	Standort	Inbetriebnahme	Anzahl Module	HKA Typ
Alpenpension Sperling	Gröbming	Nov 97	2 Stk.	Heizöl
Toferer Ernst	Altenmarkt	Feb 98	1 Stk.	Heizöl
Dafert Stefan	Radstadt	Mrz 98	1 Stk.	Heizöl
Pension Sonnhof	Radstadt	Apr 98	1 Stk.	Heizöl
Freizeitzentrum Unken	Unken	Mai 98	4 Stk.	Flüssiggas
Selmer GmbH	Seekirchen	Mai 98	1 Stk.	Heizöl
Apotheke Handl	Wien	Mrz 02	1 Stk.	Heizöl
Hotel Sportalm	Zauchensee	Jul 98	3 Stk.	Heizöl
Muhr Gertrude	Bad Aussee	Aug 98	1 Stk.	Heizöl
Hotel Alte Post	Bad Hofgastein	Okt 98	4 Stk.	Heizöl
Mück Reinhard	St. Peter/Kbg.	Okt 98	2 Stk.	Heizöl
Küchl Michael	Kirchberg/T.	Okt 98	1 Stk.	Heizöl
Niederseer Hannes	Saalbach	Nov 98	1 Stk.	Heizöl
Gasthof Mitteregger	Kaprun	Nov 98	4 Stk.	Erdgas
Japanisches Restaurant Fujjya	Salzburg	Juli 04	1 Stk.	Erdgas
Walchhofer – Hotel Zauchenseehof	Zauchensee	Nov 98	1 Stk.	Heizöl
ÖAV Hollhaus	Tauplitzalm	Nov 98	2 Stk.	Heizöl
Ferienhaus Bliem	Rohrmoos	Dez 98	1 Stk.	Heizöl
Hotel Bergland	Tux	Dez 98	3 Stk.	Heizöl
Wirtshaus zum Jochberg	Finkenberg	Dez 98	1 Stk.	Flüssiggas
Rettensteiner	Hollenstein	Dez 98	2 Stk.	Heizöl
Hotel Pyrkerhöhe	Bad Hofgastein	Jän 99	2 Stk.	Heizöl
Pension Rosengarten	Lanersbach	Jän 99	1 Stk.	Heizöl
Hotel Neuhintertux	Hintertux	Mrz 99	3 Stk.	Heizöl
Elektro Rössler	Tamsweg	Mrz 99	1 Stk.	Heizöl
Elektro Schilchegger	Eben	Mrz 99	1 Stk.	Heizöl
Gasthof Schmied	Arnfels	Apr 99	2 Stk.	Heizöl
Schi- Lenz GmbH	Rohrmoos	Apr 99	1 Stk.	Heizöl
Hotel Selbach	Rohrmoos	Apr 99	3 Stk.	Heizöl
Accord Hotelpension	Flachau	Jul 99	1 Stk.	Heizöl

Hotel Schild	Wien	Sep 99	3 Stk.	Heizöl
Gasthof Ennsbrücke	Hall b. Admont	Nov 99	2 Stk.	Heizöl
Hotel Glemmtalerhof	Hinterglemm	Apr 00	4 Stk.	Heizöl
Rest. Kellerbauer	Vigaun	Aug 00	1 Stk.	Flüssiggas
Alpengasthof Kogelalm	Grießenkareck	Sep 00	3 Stk.	Flüssiggas
Gasthof Hunerkogel	Ramsau/ Dachstein	Sep 03	1 Stk.	Heizöl
Pension Kielhuber	Ramsau/ Dachstein	Mrz 01	3 Stk.	Flüssiggas
Gasthaus Krone	Neumarkt/W	Mai 01	2 Stk.	Erdgas
Gasthof Stegmüller	Gai/Trofaiach	Jul 01	2 Stk.	Flüssiggas
Hotel Post – Pirpamer	Vent	Nov 01	2 Stk.	Flüssiggas
Pension Goies	Ladis	Nov 01	2 Stk.	Flüssiggas
Berger	Vorderstoder	Nov 00	1 Stk.	Heizöl
Greiner Fritz	D- Burgkirchen	Mai 02	1 Stk.	Heizöl
Hotel Untersberg Ziegler OHG	Gartenau	Apr 02	3 Stk.	Erdgas
Weisser Lotus GmbH	Ostermiething	Apr 02	2 Stk.	Flüssiggas
Prix AG/Hotel Bauer	Wien	Jun 02	2 Stk.	Erdgas
Gasthof Fischl	St. Oswald	Sep 02	2 Stk.	Flüssiggas
Prix AG/Angeligasse	Wien	Sep 02	2 Stk.	Erdgas
Ponyhof	Ratten	Mai 02	4 Stk.	Flüssiggas
Hotel Tyrol	Altaussee	Sep 02	1 Stk.	Heizöl
Siebert	Obermillstatt	Sep 02	1 Stk.	Heizöl
Gasthof Digruber	Lackenhof	Sep 02	2 Stk.	Flüssiggas
Gasthof Sonnhof Hafner OEG	Hohentauern	Nov. 02	1 Stk.	Flüssiggas
Schisalettl Kraml	Rohrmoos	Dez. 02	2 Stk.	Flüssiggas
Stocker KG – Tischlerei	Schladming	Aug 03	2 Stk.	Flüssiggas
Holzweber Peter	Wien	Juni 03	1 Stk.	Erdgas
Schneider-Gössl	Wien	Juni 03	1 Stk.	Erdgas
Blumen Weingartshofer	Korneuburg	Juni 03	2 Stk.	Erdgas
Lampl Hermann	Zweinitz	Okt 03	1 Stk.	Flüssiggas
Völkl Karl	Ardning	Nov 03	1 Stk.	Flüssiggas
A-Prix Hotels/Ullmannstr.	Wien	Nov 03	1 Stk.	Erdgas
Gasthof Schett	Fürth	Dez 03	1 Stk.	Erdgas
Jahn Hartmut	D- Burgkirchen	Dez 03	1 Stk.	Heizöl
Blumen Sterflinger	D- Kastl	Jan 04	1 Stk.	Heizöl
Moser	D- Kirchweidach	Mär 04	1 Stk.	Heizöl
Huber Christoph	D- Halsbach	Mär 04	1 Stk.	Heizöl
Manetsberger Josef	D- Halsbach	Mär 04	1 Stk.	Heizöl
Klingmüller Paul	Piberbach	Sep 04	1 Stk.	Heizöl
Kerschbaum Martin	Aigen	Okt 04	1 Stk.	Heizöl
Maier Herbertg	D- Burgkirchen	Aug 04	1 Stk.	Heizöl
Schmid – Htl Alte Post	St. Leonhard	Okt 04	1 Stk.	Heizöl
Merx Fliesen GmbH	D- Burgkirchen	Dez 03	1 Stk.	Flüssiggas
Koop. Millstatt	Seeboden	Dez 04	2 Stk.	Heizöl
Hotel Dietlgut	Hinterstoder	Sep 05	3 Stk.	Heizöl

Streitwieser	Pfarrwerfen	Sep 05	1 Stk.	Gas
Berglerstub'n	Wenigzell	Okt 05	1 Stk.	Heizöl
Ferner	Murau	Sep 05	1 Stk.	Erdgas
Huemer	Lambach	Okt 05	1 Stk.	Heizöl

DIVERSE BLOCKHEIZKRAFTWERKE

Betreiber	Standort	Inbetriebnahme	Anzahl Module	BHKW Typ
Hotel Lacknerhof	Flachau	Okt 97	1 Stk.	Panda 35 Heizöl
Hotel Lacknerhof	Flachau	Okt 97	1 Stk.	Panda 50 Heizöl
Hotel Lacknerhof	Flachau	Okt 97	1 Stk.	Panda 100 Heizöl
Pension Austria	Rohrmoos	Feb 99	1 Stk.	Panda 35 Heizöl
Hotel Norica	Bad Hofgastein	Apr 99	1 Stk.	Panda 100 Heizöl
Hotel Alpina	Bad Hofgastein	Jul 99	1 Stk.	Panda 100 Heizöl
Bachlehen/Scherübl	Radstadt	Okt 99	1 Stk.	Panda 50 Heizöl
Gasthof Widmoos	Wagrain	Nov 99	1 Stk.	Panda 35 Heizöl
Hotel Pichlmayrgut	Pichl-Preunegg	Dez 99	1 Stk.	Panda 100 Heizöl
Hotel Central	Altenmarkt	Jun 00	1 Stk.	Haats D 40 Heizöl
Hotel Post	Abtenau	Sep 00	1 Stk.	Haats D 40 Heizöl
Hotel Matschner	Ramsau/Dachstein	Okt 00	1 Stk.	OD G70 Flüssiggas
Scharfetter Speicherstube	Wagrain	Okt 00	1 Stk.	Panda 35 Heizöl
Hotel Knollhof	Ramsau/Dachstein	Nov 00	1 Stk.	Haats D 40 Heizöl
Hotel Edelweiß	Ramsau/Dachstein	Dez 00	1 Stk.	Haats G 40 Flüssiggas
Hotel Schelch	Trofaiach	Dez 00	1 Stk.	Haats G 40 Erdgas
Freizeitcenter Brötzner	Köstendorf	Jul 01	1 Stk.	Panda 50 Heizöl
Hotel Bokan	Graz	Aug 01	1 Stk.	OD G90 Erdgas
Pension Landauer	Rohrmoos	Dez 01	1 Stk.	OD G70 Flüssiggas
Hotel Waldheimathof	Alpl	Feb 02	2 Stk.	OD G70 Flüssiggas
Gerhardter – Breitlahn	Kleinsölk	Mai 02	1 Stk.	LDW 1204
Hallenbad Ramsau	Ramsau	Jan 03	1 Stk.	OD G70 Flüssiggas
Stanglalm	Mitterdorf	Jan 03	1 Stk.	Powertherm FG
Marianneum	Wien	Mai 03	1 Stk.	Buderus DN 20 Erdgas
Fasching OHG	Fischbach	Sep 03	1 Stk.	Buderus DN 20 FG
Wellnesresidenz Schalber	Serfaus	Jun 04	1 Stk.	IET PG80Flüssiggas
Hotel Lacknerhof	Flachau	Dez 03	2 Stk.	ODG 70 Flüssiggas
Sportpension Andi Kirschner	Jerzens	Jun 04	1 Stk.	IET PG 30 V01 FG
Herber Josef	Sattledt	Sep 04	1 Stk.	Buderus DN 50 Erdgas

Griffner Pulverbe- schichtung	Griffen	Feb 05	2 Stk.	IET PG 250/85 FG
Manuela Bliem	Schladming	Jän 05	1 Stk.	Gasaggregat 2kW
Simonyhütte	Dachstein	Okt 05	1 Stk.	LDW 47
Pichlmayrgut	Pichl – Preunegg	Nov 05	1 Stk.	ODG 70

BLOCKHEIZKRAFTWERKE „ecopower“

Betreiber	Standort	Inbetrieb- nahme	Anzahl Module	BHKW Typ
Hotel Urisee – Kuzmiak	Reutte	Okt 04	1 Stk.	Ecopower - Flüssiggas
Schi Lenz	Rohrmoos	Nov 04	1 Stk.	Ecopower - Flüssiggas
Berau Comfortcamping	St. Wolfgang	Mai 05	2 Stk.	Ecopower - Erdgas
Hauptschule Wennis	Wennis	Sep 05	2 Stk.	Ecopower - Flüssiggas
Gasthof Hochlantsch	Breitenau	Dez 05	1 Stk.	Ecopower - Erdgas

BLOCKHEIZKRAFTWERKE „ Power – Therm“

Betreiber	Standort	Inbetrieb- nahme	Anzahl Module	BHKW Typ
Pecile Club Kitzsteinhorn	Zell am See	Dez 04	1 Stk.	Powertherm - Erd- gas
Hotel Laderhof	Ladis	Feb 05	1 Stk.	Powertherm – Flüs- siggas
Maier – Arbachmühle	Mannersdorf	Jun 05	1 Stk.	Powertherm - Flüs- siggas
Hintsteiner GmbH	Mürzhofen	Nov 05	1 Stk.	Powertherm - Flüs- siggas
Hotel Tyrol – Wilhelm	Pfunds	Nov 05	1 Stk.	Powertherm - Flüs- siggas

A.1.4.2 Referenzliste Oberdorfer Kraft-Wärme-Kopplung GmbH

Oberdorfer Kraft-Wärme-Kopplung GmbH Bahnhofstrasse 10 A-9711 Paternion Tel: +43 4245 2419 www.oberdorfer.at	Neben der Herstellung und dem Vertrieb eigener Anlagen (siehe Anhang A.1.1) vertreibt <i>Oberdorfer</i> auch Blockheizkraftwerke der Firma <i>Senertec (Dachs)</i> .
--	--

Erd- und Propangas Projekte				
<i>Projekt</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Standort</i>	<i>kW</i>	<i>Treibgas</i>
Krankenhäuser / Sanatorien / Altenheime				
Klinik Althofen	Krankenhaus / Klinik	Althofen, A	2 x 90	Erdgas
EVU - Assling	Krankenhaus / Klinik	Assling, A	2 x 90	Propangas
Kur- u. Altenheim Feistritz	Altenwohnheim	Feistritz-Drau, A	1 x 60	Erdgas
Hotels				
Biohotel Stanglwirt	Hotel	Going a. W. Kaiser, A	3 x 60	Propangas
Hotel Ramsau	Hotel	Ramsau, A	2 x 70	Propangas
Hotel Lärchenhof	Hotel	Erpfendorf, A	3 x 70	Propangas
Hotel Matschner	Hotel	Ramsau, A	2 x 70	Propangas
Hotel Wiesenhof	Hotel	Pertisau, A	1 x 70	Erdgas
Falkensteiner Hotel	Hotel	Katschberg, A	1 x 60	Propangas
Hotel Sunny	Hotel	Kirchberg, A	2 x 100	Erdgas
Hotel Peternhof	Hotel	Kössen, A	2 x 60	Propangas
Hotel Sonnenalpe/Wulfenia	Hotel	Naßfeld, A	2 x 90	Erdgas
Hotel Venedigerhof	Hotel	Neukirchen, A	1 x 60	Propangas
Kaltschmied Hotelbetriebe	Hotel	Seefeld, A	5 x 70	Erdgas
Hotel Maximilian	Hotel	Bad Griesbach, D	2 x 70	Erdgas
Parkhotel	Hotel	Bad Griesbach, D	1 x 90	Erdgas
Fürstenhof	Hotel	Bad Griesbach, D	2 x 70	Erdgas
König Ludwig	Hotel	Bad Griesbach, D	2 x 150	Erdgas
Industrie / Gewerbe				
Druckerei Wulfenia	Industrie/ Gewerbe	Feldkirchen, A	1 x 60	Erdgas
Wech Geflügel	Industrie/ Gewerbe	Glanegg, A	1 x 90	Erdgas
Anstoss	Industrie/ Gewerbe	Wien, A	1 x 70	Erdgas

Öffentliche Einrichtungen / Projekte					
Biowärme	Glödnitz	öffentliche Einrichtung	Glödnitz, A	1 x 60	Propangas
HTL	Ferlach	Schule	Ferlach, A	1 x 70	Propangas
Hallenschwimmbad	- Ellmau	Sportanlagen	Ellmau, A	2 x 60	Propangas
Hallenschwimmbad	- Zell a. See	Sportanlagen	Zell a. See, A	2 x 60	Erdgas
Einkaufszentren & Anderes					
EKZ	Zentrum Nord Klagenfurt	Shopping Center	Klagenfurt, A	1 x 70	Erdgas
Welle	Wien	Shopping Center	Wien	3 x 70	Erdgas
Marcher	Norbert	Fleischzerlegebetrieb	Villach	1 x 150	Erdgas

Klär-, Deponie- und Biogas Projekte					
<i>Projekt</i>	<i>Beschreibung</i>		<i>Standort</i>	<i>kW</i>	<i>Treibgas</i>
Klärgas					
ARA	Montafon	Abwasserverband	Montafon, A	2 x 70	Klärgas
Kläranlage	Baden	Kläranlage	Baden, A	1 x 70	Klärgas
Abwasserverband	Region	Projekt ARA Bludenz	Bludenz, A	2 x 70	Klärgas
Kläranlage	Leoben	Kläranlage	Leoben, A	2 x 150	Klärgas
Kläranlage	Kitzbühel	Kläranlage	Kitzbühel, A	1 x 150	Klärgas
Stadtwerke	Schwaz	Kläranlage	Schwaz, A	1 x 150	Klärgas
ARA	Stainz	Kläranlage	Stainz, A	1 x 70	Klärgas
ARA	Weiz	Kläranlage	Weiz, A	1 x 53	Klärgas
Höyrytys Oy		Kläranlage YIT Environment	Riihimäki, FI	1 x 150	Klärgas
Deponiegas					
Summerlease	Re-generation Ltd	Deponie Walpole	GB	1 x 90	Deponiegas
Summerlease	Re-generation Ltd	Deponie Woodley	GB	1 x 150	Deponiegas
Summerlease	Re-generation Ltd	Deponie Morley	GB	1 x 150	Deponiegas
Summerlease	Re-generation Ltd	Deponie Shaw Cross	GB	2 x 150	Deponiegas
Summerlease	Re-generation Ltd	Deponie Woodley	GB	1 x 150	Deponiegas
Haase	Energie-technik	Herzo-Werke	BRD	1 x 70	Deponiegas
ETech	Process AS	LF - ETech	N	1 x 150	Deponiegas

ETech AS	Process	Voss	N	1 x 70	Deponiegas
Haase-technik	Energie-	Deponie Süplingen	BRD	1 x 150	Deponiegas
Haase-technik	Energie-	Deponie Dibbersen	BRD	1 x 150	Deponiegas
Göbel Umwelttechnik	Energie &	Deponie Medbach	BRD	1 x 90	Deponiegas
ETech AS	Process	Deponie Øras	N	1 x 70	Deponiegas
Biogas					
Lüthe GmbH		Projekt Gerstungen	BRD	1 x 150	Biogas
Ernst Niedrist		Projekt Niedrist	A	1 x 150	Biogas
Paier - Ökostrom KEG		Projekt Paier	A	1 x 150	Biogas
Bekon		Biogas	BRD	1 x 143	Biogas
Zuser Umweltservice	Umweltser-	Zuser Umweltservice	A	2 x 250	Biogas
Biogas System Technik GmbH	System	Biogas System Technik GmbH	A	1 x 143	Biogas
Joachim Farmer		Projekt Farmer	A	1 x 100	Biogas
Polz & Nebel Biogas GmbH		Polz & Nebel Biogas GmbH	A	2 x 143	Biogas
Aschauer Franz		Projekt Aschauer	A	1 x 100	Biogas
Bioferm / Fujikoh		Fujikoh	J	1 x 143	Biogas
Heinrich Dorn		Heinrich Dorn	A	1 x 100	Biogas
Mistelbauer Thomas	Tho-	NA.WA.ROS-TRANS. FORM KEG	A	1 x 100	Biogas
Grüne Energie Reith	Energie	Holzinger-Teuschl-Wansch	A	1 x 100	Biogas
Weißkirchner Erich		Weißkirchner Erich	A	1 x 100	Biogas
Bauer Johann		Bauer Johann	A	1 x 100	Biogas
Ing. Johann Tomitz		Ing Johann Tomitz	A	1 x 250	Biogas
Thomas Gadner		BEG Bioenergie - GADNER	A	1 x 250	Biogas
Clarke India	Energy	Vijaywada	I	1 x 150	Biogas
Riautschnig & Scheriau		ElaMa-Ökostrom BetriebsgmbH	A	1 x 250	Biogas
AHW-Öko Energie		Alois Kitzler KEG	A	1 x 100	Biogas
Assinger Wolfgang	Wolf-	Assinger Wolfgang	A	1 x 100	Biogas
Seidl Josef		Seidl Josef	A	1 x 100	Biogas
Forster sen. u. jun.	Gerhard	Forster Gerhard sen. u. jun.	A	1 x 100	Biogas

Esterbauer Tobias	Esterbauer Tobias	A	1 x 100	Biogas
Peter Niedermeier	Peter Niedermeier	BRD	1 x 100	Biogas
TRIOTECHNIK Kft.	TRIOTECHNIK Kft.	HU	1 x 109	Biogas
Ploner Simon	Ploner Simon	A	1 x 143	Biogas

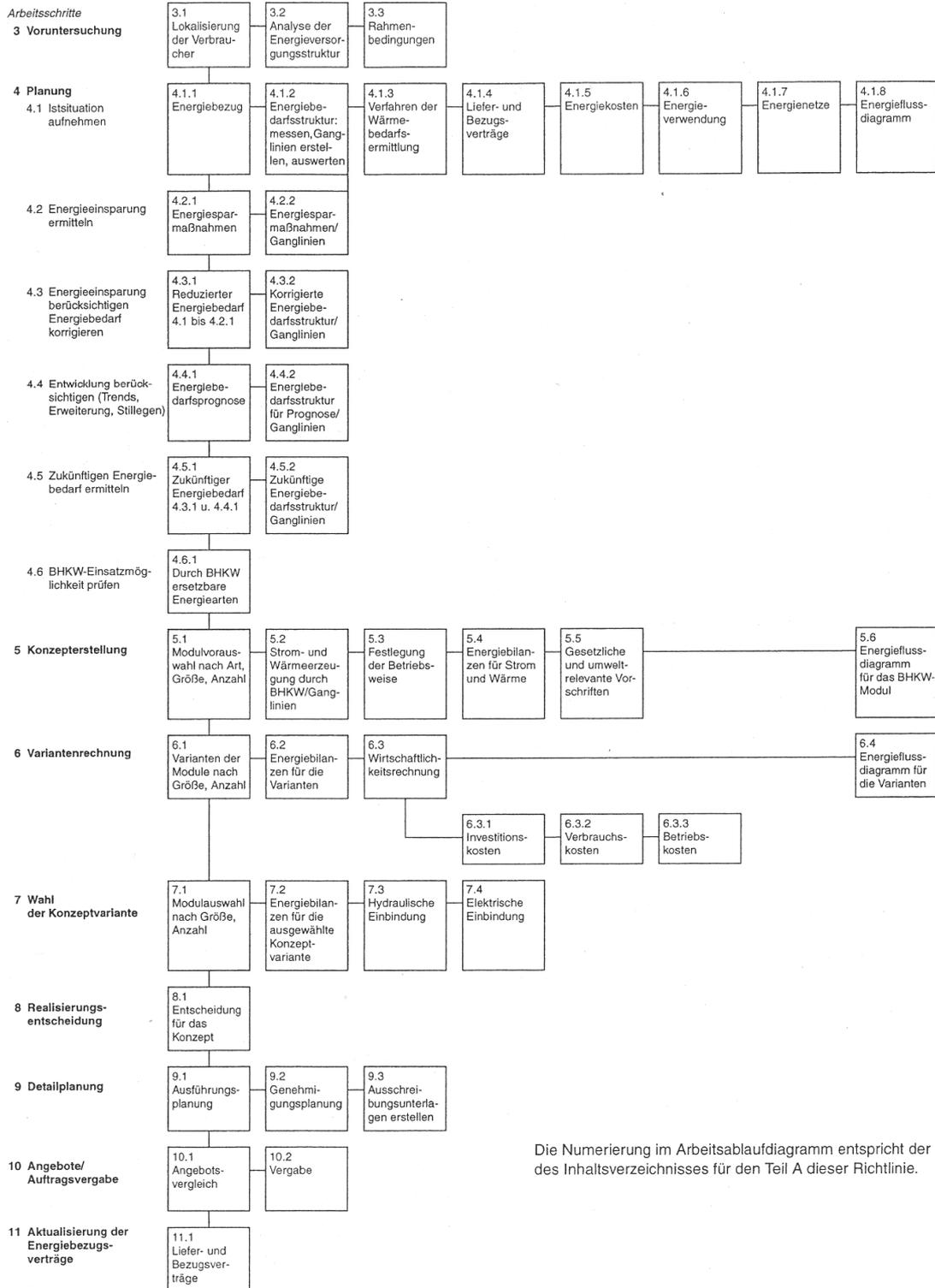
A.2 VDI 3985 – Arbeitsablaufdiagramm

– 52 –

VDI 3985

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

Anhang D Arbeitsablaufdiagramm mit allen im Text verwendeten Tabellen als Arbeitsblättern



Die Numerierung im Arbeitsablaufdiagramm entspricht der des Inhaltsverzeichnis für den Teil A dieser Richtlinie.

Bild D1. Arbeitsablaufdiagramm – Arbeitsschritte zur Voruntersuchung, Planung von BHKW und Auftragsvergabe

A.3 VDI 2067, Blatt 7 – Formblatt Wirtschaftlichkeitsrechnung

Wärmeerzeugungskosten einer Heizzentrale bzw. eines Blockheizkraftwerks

	Berechnung nach Abschnitt	Heizzentrale	BHKW
		DM/a	DM/a
A Jährliche kapitalgebundene Kosten	4.2.1		
KWK-Anlage		–	
Kesselanlage			
Wärmezentrale			
Stromeinspeisung		–	
Baulicher Teil			
Summe A			
B Jährliche verbrauchsgebundene Kosten	4.2.2		
Brennstoffkosten			
– KWK-Anlage		–	
– Kesselanlage			
Hilfsenergiekosten			
Summe B			
C Jährliche betriebsgebundene Kosten	4.2.3		
Persónalkosten			
Instandhaltungskosten			
– KWK-Aggregat		–	
– Kesselanlage			
– Wärmezentrale			
– Stromeinspeisung		–	
– Bauliche Anlagen			
Sonstige Kosten	4.2.4		
Summe C			
D Jahreskosten	4.2		
Summe A + B + C			
%. Wert der Eigenstromerzeugung	4.3	–	
Jahreskosten der Wärmeerzeugung			
		DM/MWh	DM/MWh
Spezifische Wärmeerzeugungskosten			

A.4 Fragebogen zur Ermittlung der Inputdaten

1 GENERAL INFORMATION ABOUT THE LODGE

Name of the lodge	
Address	
Post code	
State	
Height above sea level Specification of the height above sea level, which the lodge is situated at.	[m]

2 GENERAL DATA OF THE BUILDING

Type of building Please tick the appropriate type of building (x).	<input type="checkbox"/> Hotel
	<input type="checkbox"/> Hostel
	<input type="checkbox"/> Senior home
	Other:
	<input type="checkbox"/> very massive
	<input type="checkbox"/> massive
	<input type="checkbox"/> light
Year of construction	
Heated net floor area Specification of the heated net floor area.	[m ²]
Average room ceiling height	[m]
Number of guestrooms	
Average number of beds	

3 INFORMATION ABOUT DIMENSIONS, AREAS AND WINDOWS

Perimeter of the building	[m]
External wall area	[m ²]
Total area of the external walls without the area of the windows (External walls, which border to heated internal space).	
Roof area Either area of the roof, which borders to heated internal space (at attic rooms) or area of the attic.	[m ²]
Area of the building Specification of the total area of the building, which borders to unheated internal space or to soil (including those parts of the external walls under the ground).	[m ²]

Figure for determining the roof area and the area of the building

Attic room: → black bar is equivalent to the roof area

Attic: → black bar is equivalent to the roof area

Heated cellar: → double hatched bar is equivalent to the area of the building

Unheated cellar: → double hatched bar is equivalent to the area of the building

living area

4 INSULATION AND REFURBISHMENT OF THE BUILDING

Please provide details either of the heat transfer (→ go on to 4.1) or of measures of insulation (→ go on to 4.2).

4.1 Heat transfer through the envelope construction

Coefficient of heat transfer through the external wall	[W/(m ² ·K)]
Coefficient of heat transfer through the roof	[W/(m ² ·K)]
Coefficient of heat transfer through the attic	[W/(m ² ·K)]
Coefficient of heat transfer through the area of the building	[W/(m ² ·K)]
Coefficient of heat transfer through the windows	[W/(m ² ·K)]

2

1

¹ Qualitative estimate of the type of construction, which has influence on the heat capacity and depends on the materials used and on the wall thickness (e. g. for a rough estimate wall thickness > 50 cm → very massive, wall thickness < 20 cm → light).

4.2 Measures of insulation

Please provide details of measures of insulation of those envelope constructions, whose initial state has been changed.

4.2.1 Insulation of the external walls

Year of refurbishment	
Insulation material used Type of insulation material.	
Thickness of insulation	[cm]

4.2.2 Insulation of the roof

Year of refurbishment	
Insulation material used Type of insulation material.	
Thickness of insulation	[cm]

4.2.3 Insulation of the attic

Year of refurbishment	
Insulation material used Type of insulation material.	
Thickness of insulation	[cm]

4.2.4 Insulation of the ceiling in the cellar

Year of refurbishment	
Insulation material used Type of insulation material.	
Thickness of insulation	[cm]

4.2.5 Information about the windows

Age of the windows	
Further information about the windows:	

5 TEMPERATURES AND DOMESTIC HOT WATER

Room temperature Desired room temperature from 06.00 - 22.00.	[°C]
Room temperature during the night Desired room temperature from 22.00 – 06.00.	[°C]
Room temperature outside the opening time Desired room temperature when the lodge is completely closed.	[°C]
Consumption of domestic hot water Average consumption of domestic hot water in the lodge, stated in litre per day.	[l/day]
Heat required for domestic hot water Specification of the heat required for providing domestic hot water, stated in kWh/year per person, if available.	[kWh/a] per person

Further information about temperatures:

Describe in own words (Need of cooling during the summer, type of air condition system, etc.).

6 INFORMATION ABOUT THE ACCOMMODATION

6.1 General information about the accommodation

Opening time Period, when the lodge is opened (e. g. March – September).	
Number of employees Number of employees, who are in the lodge, on average.	
Kind of lodge's facilities: Describe in own words special facilities of the lodge (e. g. wellness area, indoor pool, sauna, ...).	

6.2 Overnight stays

6.2.1 Total number of overnight stays

Please provide details of the overnight stays within a year. The available data for the most recent, full period is **urgently required**. Information about further years, if available.

Number of overnight stays in the year:	
Number of overnight stays in the year:	

6.2.2 Monthly figures of overnight stays

Please provide details of the most recent, monthly figures of overnight stays, if available.

Year:					
January	April	July	October	November	December
February	May	August			
March	June	September			

7 ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION

7.1 Total consumption of electric energy

Please provide details of the total consumption of electric energy within a year. The available data for the most recent, full period is **urgently required**. Information about further years, if available.

Total consumption of electric energy in the year:				[kWh]
Total consumption of electric energy in the year:				[kWh]

7.2 Division of electric energy consumption

Please provide details of the most recent, monthly figures of the electric energy consumption, if available.

Year:					
January	July	August	September	October	November
February	August	September	October	November	December
March	September	October	November	December	
April	October	November	December		
May	November	December			
June	December				

7.3 Maximum and minimum need of electric power

Average maximum of electric power Specification of the average maximum of electric power and time of day when it occurs.	[kW]
Average minimum of electric power Specification of the average minimum of electric power and time of day when it occurs.	[h]
	[kW]
	[h]

8 Supply of electric energy

Connection to the electric transmission and distribution system Is the building connected to the electric transmission and distribution system? Please tick (X).	YES → go on to 8.1
	NO → go on to 8.2

8.1 Information about electric energy prices

8.1.1 Average prices for electric energy supply including all taxes

Name of utility	
Name of tariff model	
Price differentiation within a year Is there a price differentiation for electric energy in the tariff model between the summer and winter period? Please tick (X).	YES →
	NO
Price differentiation within a day Is there a price differentiation in the tariff model within a day? Please tick (X).	YES →
	NO
	Summer - HP
	Winter - HP
Average peak-price Price for the electric power peak, stated in €/kW for summer and winter, if such a price exists in the tariff model.	Summer [€/kW]
	Winter [€/kW]
Average kilowatt-hour price Stated in €/kWh for summer and winter. Differentiation between high-priced and low-priced period within a day, if existing.	Summer - HP [€/kWh]
	Summer - LP [€/kWh]
	Winter - HP [€/kWh]
	Winter - LP [€/kWh]

8.1.2 Information about the prices for electric energy feeding-in including all taxes
Specification of a tariff model, which can probably be chosen for the electric energy feeding-in from a combined heat and power unit in a power range up to 50 kW.

Name of utility	
Name of tariff model	
Average peak-price Price for the electric power peak, stated in €/kW for summer and winter, if such a price exists in the tariff model.	Summer [€/kW]
	Winter [€/kW]
Average kilowatt-hour price Stated in €/kWh for summer and winter. Differentiation between high-priced and low-priced period within a day, if existing.	Summer - HP [€/kWh]
	Summer - LP [€/kWh]
	Winter - HP [€/kWh]
	Winter - LP [€/kWh]

8.1.3 Further information about electric energy prices

Further information in case of country specific issues:

8.1.4 Bonus payment for electric energy feeding-in from cogeneration

Bonus payment Is there a bonus payment for electric energy feeding-in from cogeneration? Please tick (X).	YES → go on to 8.1.4.1
	NO

8.1.4.1 Information about the bonus payment

Please provide details of the conditions for the bonus payment to be granted.

Limits or ranges of installed electric power:

Further regulations:
(e.g. fuels used, etc.)

Amount of bonus payment	[€/kWh]
-------------------------	---------

8.2 Isolated operation

Please provide details of the power generation.

Generator Brand, model, year of manufacture or installation.	
Electric power Electric power of generator. If it is mutable, specify the range ($P_{max,el}$ and $P_{min,el}$).	[kW _{el}]
Electric efficiency	[η _{el}]
Operating time Average operating time within a year.	[h/a]
Fuel Type of fuel used (Diesel, natural gas, other fuel).	
Fuel consumption Average fuel consumption for power generation, stated in litre/year or kWh/year. ²	[l/a]
Dimensions (l/b/h) Specification of the dimensions, if available.	[cm]

Further information in case of other electric energy supply systems including detailed information:

9 HEATING SYSTEM

Central heating system Is there a central heating system in the lodge? Please tick (X).	YES
	NO

9.1 Boiler room

Area of the boiler room	[m ²]
Height of the boiler room	[m]
Size of storage room	[m ³]

² Consumption stated in kWh, based on the lower heating value LHV.

Size of storage room if existing (e.g. room for heating oil tank).	
Connection to the natural gas network Is the building connected to the natural gas network? Please tick (X).	YES
If no, is there a possibility of connection? Please tick (X).	NO → YES NO

9.2 Hot water tank

Description
Brand, year of manufacture or installation, type of installation (upright, lying). (model if available)

Volume
Volume, stated in litre or m³.

[l]
[m ³]

9.3 Boilers

Please provide details of the boilers used.

Description Brand, (model if available) Further specifications Basic load or peak load, year of manufacture or installation.	Boiler 1	Boiler 2	Further Boilers
	Fuel Type of fuel used (Heating oil, natural gas, wood, other). Thermal output If it is mutable, specify the range (P _{max, th} and P _{nom, th}). Thermal efficiency Operating time Average operating time within a year. Dimensions (lb/h) Specification of the dimensions, if available.		

9.4 Further information

Further information about the heating system:

10 FUEL CONSUMPTION FOR HEATING AND HOT WATER

Please provide details of the fuel consumption and fill in the lower heating value LHV of the fuels used. The consumption is based on the lower heating value.

10.1 Total fuel consumption within a year

Please provide details of the total consumption of those fuels, which are used in the lodge for heating and providing domestic hot water. The available data for the most recent, full period is urgently required. Information about further years, if available.

	Total consumption in the year:	Total consumption in the year:	Total consumption in the year:
Heating oil ³ LHV:	[l]		
Natural gas ⁴ LHV:	[kWh] ⁵		
Wood ⁶ LHV:	[kWh] ⁵		
Other fuel ⁷ : _____ LHV:	[kWh] ⁵		

10.2 Division of fuel consumption

Please provide details either of the most recent, monthly figures of the fuel consumption (→ go on to 10.2.1) or of the average fuel consumption in a winter and a summer month (→ go on to 10.2.2).

10.2.1 Monthly fuel consumption

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUNE	JULY	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Heating oil ³ LHV:	[l]											
Natural gas ⁴ LHV:	[kWh] ⁵											
Wood ⁶ LHV:	[kWh] ⁵											
Other fuel ⁷ : _____ LHV:	[kWh] ⁵											

10.2.2 Average fuel consumption in a winter and a summer month

	Winter month	Summer month
Heating oil ³ LHV:	[l]	
Natural gas ⁴ LHV:	[kWh] ⁵	
Wood ⁶ LHV:	[kWh] ⁵	
Other fuel ⁷ : _____ LHV:	[kWh] ⁵	

³ Specify the lower heating value LHV of the heating oil (in Austria heating oil extra light: 10 kWh/m³).

⁴ Specify the lower heating value LHV of the natural gas (in Austria natural gas: 9.5 – 10 kWh/m³).

⁵ Consumption stated in kWh, based on the lower heating value LHV.

⁶ Specify the lower heating value LHV of the wood used (in Austria wood: 1300 – 2400 kWh/m³).

⁷ Specify the lower heating value LHV of the fuel used.

10.3 Further information about the fuel consumption

Further information, if necessary:

11 INFORMATION ABOUT THE INVESTMENT

Rate of interest
Average rate of interest for loans. [%]

11.1 Information about financial support

Information about national or regional financial support schemes that could be applied for the investment:
Please specify the details of the financial support (Name of the financial support, programme, kind of support (Loans, soft loans, rates of interests, grants, subsidies, ...) etc.).

12 FUEL PRICES

Please provide details of the average prices of all fuels exclusive of all taxes.

Heating oil ⁸ LHV:	Average price Stated in €/l.	[€/l]
Natural gas ⁹ LHV:	Average peak-price Price for the natural gas peak, stated in €/kW ¹⁰ , if such a price exists in the tariff model. Average kilowatt-hour price Stated in €/kWh ¹¹ .	[€/kW] [€/kWh]
Wood ¹² LHV:	Average kilowatt-hour price Stated in €/kWh ¹¹ .	[€/kWh]
Vegetable oil ¹³ LHV:	Average price Stated in €/l.	[€/l]
Other fuel ¹⁴ ; _____ LHV:	Average kilowatt-hour price Stated in €/kWh ¹¹ .	[€/kWh]

13 TAXATION

13.1 Value added tax (VAT)

Rate of value added tax	[%]
Value added tax deduction Would the lodge be entitled to value added tax deduction for the fuel used in cogeneration? Please tick (X).	YES NO

⁸ Specify the lower heating value LHV of the heating oil (In Austria heating oil extra light: 10 kWh/m³).
⁹ Specify the lower heating value LHV of the natural gas (In Austria natural gas: 9.5 – 10 kWh/m³).
¹⁰ Price stated in €/kW, based on the lower heating value LHV.
¹¹ Price stated in €/kWh, based on the lower heating value LHV.
¹² Specify the lower heating value LHV of the wood used (In Austria wood: 1300 – 2400 kWh/m³).
¹³ Specify the lower heating value LHV of the vegetable oil (In Austria vegetable oil: 9 kWh/m³).
¹⁴ Specify the lower heating value LHV of the fuel used.

13.2 Taxation of energy products

Please provide details of the taxes on energy products.

Heating oil Tax on heating oil, stated in €/l	[€/l]
Natural gas Tax on natural gas, stated in €/kWh, based on the lower heating value LHV.	[€/kWh]

Further information about other taxes and additional charges on fuels:

13.3 Information about support at the fuel side

Information about support at the fuel side Is there any financial support (tax exemption, reduced tax, etc.) for cogeneration at the fuel side? Please tick (X).	YES NO	→ go on to 13.3.1
--	-----------	-------------------

13.3.1 Kind of support

Please specify the details of the support (Tax exemption, reduced tax, reimbursement of tax, reduced prices, rates, etc.).

Heating oil:
Natural gas:

13.4 Tax on electricity

Tax on electricity Must the tax on electric energy produced in combined heat and power units be paid? Please tick (X).	YES NO	→ go on to 13.4.1
--	-----------	-------------------

13.4.1 Details of tax on electricity

Rate of tax Stated in €/kWh.	[€/kWh]
---------------------------------	---------

Further information about tax on electricity:

Please specify details (Limits or ranges of installed electric power, reimbursement of tax, reduced tax, etc.).

14 General further information

Further information about already installed RES-systems:

(Solar thermal, Photovoltaic, Biomass, Bio fuels, Wind power, Micro hydro, Geothermal, Micro CHP)

Any other further Information:

Please feel free to add any other further information you feel necessary, especially about the lodge, energy consumption and heating requirements.

A.5 Wirtschaftlichkeitsrechnung nach VDI 2067, Blatt 7

Kalkulationszinsfuß		4,00%					
BHKW-System				Alternatives Heizungssystem			
Kapitalgebundene Kosten				Kapitalgebundene Kosten			
	Investition	Nutzungsdauer	Kapitalkosten €/a		Investition	Nutzungsdauer	Kapitalkosten €/a
BHKW1		15		Heizkessel1		20	
BHKW2				Heizkessel2			
Spitzenkessel1		20					
Spitzenkessel2							
Pufferspeicher		20		Pufferspeicher		20	
Planungskosten				Planungskosten			
oder	€ 0,00	15		oder	€ 0,00	20	
Absolutbetrag	€ 0,00	0		Absolutbetrag	€ 0,00	0	
Einbindungskosten				Einbindungskosten			
oder	€ 0,00	15		oder	€ 0,00	20	
Absolutbetrag	€ 0,00	15		Absolutbetrag	€ 0,00	20	
Sonstige Kosten				Sonstige Kosten			
Sonstige1	€ 0,00	0		Sonstige2	€ 0,00	0	
Sonstige2	€ 0,00	0		Sonstige3	€ 0,00	0	
Sonstige3	€ 0,00	0					
Förderung							
oder	€ 0,00	15					
Absolutbetrag		0					
Summe Kapitalkosten:	€ 0,00		€ 0,00	Summe Kapitalkosten:	€ 0,00		€ 0,00
Betriebsgebundene Kosten				Betriebsgebundene Kosten			
			Kosten €/a				Kosten €/a
Wartung BHKW							
€/kWhel	€ 0,03						
oder							
€/h (Betriebsstunden)	€ 0,00	Eingabe opt.					
oder							
Instandhaltung BHKW		€ 0,00					
Instandhaltung Spitzenkessel	1,50%	€ 0,00		Instandhaltung Heizkessel	1,50%	€ 0,00	
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Instandhaltung Wärmezentrale	0,00%	€ 0,00		Instandhaltung Wärmezentrale	0,00%	€ 0,00	
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Instandhaltung bauliche Anlagen	0,00%	Eingabe opt.		Instandhaltung bauliche Anlagen	0,00%	Eingabe opt.	
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Instandhaltung Stromeinspeisung	0,00%	Eingabe opt.					
oder: Eingabe in €/a							
Personalkosten	0,00%	Eingabe opt.		Personalkosten	0,00%	Eingabe opt.	
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Steuern, Versicherung und Verw.	0,00%	Eingabe opt.		Steuern, Versicherung und Verw.	0,00%	Eingabe opt.	
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Hilfsenergiekosten	0,00%			Hilfsenergiekosten	0,00%		
oder: Eingabe in €/a				oder: Eingabe in €/a			
Reserveleistungskosten							
Sonstige Betriebskosten1				Sonstige Betriebskosten1			
Sonstige Betriebskosten2				Sonstige Betriebskosten2			
Summe Betriebskosten:			€ 0,00	Summe Betriebskosten:			€ 0,00
Verbrauchsgebundene Kosten				Verbrauchsgebundene Kosten			
Brennstoffpreise				Brennstoffpreise			
Erdgas				Erdgas			
Leistungspreis	€ 0,00	[€/kW]		Leistungspreis	€ 0,00	[€/kW]	
Energiepreis		[€/kWh]		Energiepreis		[€/kWh]	
Energiesteuer		[€/kWh]		Energiesteuer		[€/kWh]	
Umsatzsteuer		[%]		Umsatzsteuer		[%]	
Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/kWh]		Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/kWh]	
Heizöl				Heizöl			
Energiepreis		[€/l]		Energiepreis		[€/l]	
Energiesteuer		[€/l]		Energiesteuer		[€/l]	
Umsatzsteuer		[%]		Umsatzsteuer		[%]	
Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/l]		Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/l]	
Sonstiges (z. B. Pflanzenöl, Flüssiggas)				Sonstiges (z. B. Flüssiggas)			
Energiepreis		[€/kWh]		Energiepreis		[€/kWh]	
Energiesteuer		[€/kWh]		Energiesteuer		[€/kWh]	
Umsatzsteuer		[%]		Umsatzsteuer		[%]	
Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/kWh]		Durchschnittlicher Arbeitspreis	€ 0,0000	[€/kWh]	
Holz	€ 0,00	[€/kWh]		Holz	€ 0,00	[€/kWh]	
Gekoppelte Erzeugung				Alternatives Heizungssystem			
	Verbrauch		Kosten €/a		Verbrauch		Kosten €/a
Erdgas				Erdgas			
Leistungsspitze	0 [kW] (Hu)			Leistungsspitze	0 [kW] (Hu)		
Menge	[kWh] (Hu)			Menge	[kWh] (Hu)		
Heizöl	0 [l]			Heizöl	0 [l]		
Sonstiges	0 [kWh]			Sonstiges	0 [kWh]		
Holz	0 [kWh]			Holz	0 [kWh]		
Summe Brennstoffkosten			€ 0,00	Summe Brennstoffkosten			€ 0,00