



Verbundprojekt
Entwicklung eines zuverlässigen und verschleißbeständigen Gegenkolbenmotors für Blockheizkraftwerke mit elektrischen Leistungen von 2 kW bis 20kW
– Elektro-Power –

Energy Consulting Mai GmbH
Sonnentallee 1
31636 Linsburg

Schlussbericht des Teilprojektes:
Entwicklung Steuerung und Systemintegration

Förderkennzeichen: 03ET1153B

Bewilligungszeitraum: 01.05.2013 bis 30.04.2016

Berichtszeitraum: 01.05.2013 bis 30.04.2016

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) Eckard Mai

Hauptsächlich beteiligte
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Eckard Mai
Dipl.-Ing. (FH) Frank Segin
Dipl.-Ing (FH) Georg Seidler
Torsten Möhring
Christian Breitmann
Michael Dettmer
Tim Duffe
Markus Hormann
Ralf Bartling

Externe Bearbeiter: Ingenieurbüro Alexander Hammermeister

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundtages.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

DATUM: 28.10.2016

UNTERSCHRIFT:

Vorwort

Der vorliegende Abschlussbericht ist bei der Energy Consulting Mai GmbH - Bereich Forschung und Entwicklung – mit Sitz in Meinkingsburg, im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung eines zuverlässigen und verschleißbeständigen Gegenkolbenmotors für Blockheizkraftwerke mit elektrischen Leistungen von 2 kW bis 20kW“ entstanden.

Der Verfasser dieses Berichts bedankt sich an dieser Stelle für die Zusammenarbeit im Bereich der Verbundpartner bei dem Fraunhofer -Institut für Werkstoffmechanik IWM – Herr Dr. Kailer und Mitarbeiter, bei der Firma Golle Motor GmbH – Herrn Golle und deren Mitarbeiter, bei der Firma Eisenmenger GmbH – Herrn Eisenmenger und deren Mitarbeiter und bei der Firma Huss Maschinenbau GmbH – Herrn Huss und deren Mitarbeiter. Ein Dank gilt natürlich auch den eigenen Mitarbeitern der Firma Energy Consulting Mai GmbH.

Weiterhin gilt ein besonderer Dank dem Projektträger Jülich – Herrn Dr. Börner der für die fachliche Betreuung und Frau Gödde-Hurtz die für die administrative Betreuung zuständig war. Ohne die finanzielle Unterstützung des Projektträger Jülich (Projektträger für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) wäre es der Energy Consulting Mai GmbH nicht möglich an solch einem Forschungsvorhaben mitzuarbeiten. Hierfür nochmals recht herzlichen Dank.



Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Kurze Darstellung | 4 |
| 1.1 | Aufgabenstellung..... | 4 |
| 1.2 | Ausgangslage und Motivation | 6 |
| 1.3 | Planung und Ablauf..... | 7 |
| 1.4 | Wissenschaftlicher und technischer Stand..... | 8 |
| 1.5 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 10 |
| 2 | Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse | 11 |
| 2.1 | Erfüllung der Ziele | 11 |
| 2.2 | Lastenheft und Pflichtenheft | 11 |
| 2.3 | Normen und Richtlinien | 12 |
| 2.4 | Einzelkomponenten | 14 |
| 2.4.1 | Gegenkolbenmotor..... | 14 |
| 2.4.2 | Generator | 14 |
| 2.4.3 | Steuerung und Regelung vom Mikro-BHKW..... | 17 |
| 2.4.4 | Wärmeauskopplung | 19 |
| 2.4.5 | Peripherie | 20 |
| 2.5 | Demonstration, Öffentlichkeitsarbeit | 22 |
| 2.6 | Voraussichtliche Nutzen..... | 22 |
| 2.6.1 | Allgemein:..... | 22 |
| 2.6.2 | Nutzen für Energy Consulting Mai GmbH | 23 |
| 2.6.3 | Bekannt gewordener Fortschritt..... | 23 |

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Um die Nutzung von Blockheizkraftwerken (BHKW) weiter ausbauen zu können, müssen effiziente Anlagen im unteren Leistungsbereich für den Einsatz in Ein- oder Mehrfamilienhäusern entwickelt werden, die zuverlässig sind und kostengünstig installiert und betrieben werden können. Den Leistungsdaten verschiedener Anbieter⁴ für herkömmliche Ottomotoren ist zu entnehmen, dass Motoren mit kleiner elektrischer Leistung einen ungünstigen Wirkungsgrad haben, wobei dieser umso schlechter wird (teilweise nur 25%), je kleiner der Motor ist (Bild 1). Die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer kleiner Motoren sind aufgrund von Verschleiß der Kolben-Zylinder-Gruppe unbefriedigend. Hinzu kommt, dass die Anschaffungs- und Betriebskosten kleinerer Motoren deutlich höher sind. Die Entwicklung eines Motors mit hoher Leistungsdichte und Lebensdauer sowie zuverlässige Mini- und Mikro-BHKW mit elektrischen Leistungen zwischen 2 und 20 kW ist somit von ökologischem und ökonomischem Interesse.

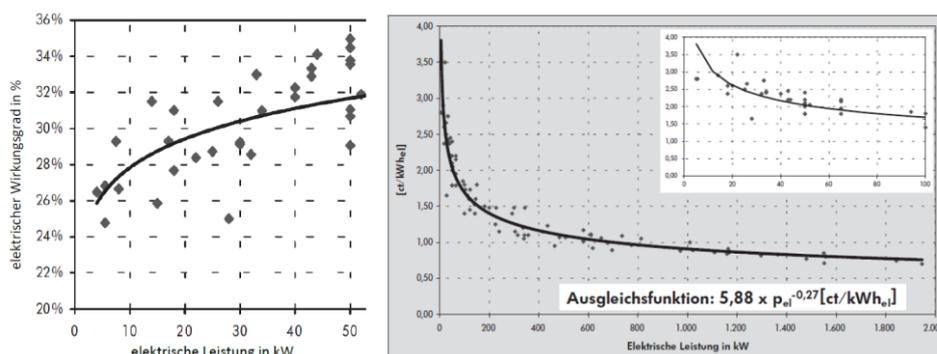


Abbildung 1,2: Kenndaten zum elektrischen Wirkungsgrad von Mini- und Mikro-BHKW-Motoren nach ASUE (links) und Wartungskosten über Anlagengröße (rechts) nach ASUE (BHKW-Kenndaten 2005)

Die Aufgabenstellung ist im Verbundprojekt gemeinsam mit den Verbundpartnern Golle Motor GmbH, Fraunhofer -Institut für Werkstoffmechanik IWM, Eisenmenger GmbH und Huss Maschinenbau GmbH die Entwicklung eines zuverlässigen und verschleißbeständigen Gegenkolbenmotors für Blockheizkraftwerke mit elektrischen Leistungen von 2kW bis 20kW.

Die Aufgabe der Energy Consulting Mai GmbH ist die „Entwicklung Steuerung und Systemintegration“.

Weiterhin gilt es die Technischen Voraussetzungen z.B. Technische Anschlussbedingungen der Netzbetreiber sowie die Normen und Richtlinien einzuhalten.

Während der Projektlaufzeit gilt es Zwischenberichte anzufertigen, die auch die Basis dieses Abschlussberichtes sind.

1.2 Ausgangslage und Motivation

In Deutschland wurde 2009 etwa 13% der elektrischen Energie durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugt.¹ Obwohl dieser Energieanteil zu diesem Zeitpunkt doppelt so hoch wie der durch Windenergie erzeugte Strom (ca. 6.5 %²) war, liegt Deutschland im Vergleich mit anderen EU-Staaten nur leicht über dem Durchschnitt (11 %) und ist noch weit von dem im Energieprogramm der Bundesregierung³ definierten Ziel entfernt, den Anteil der durch KWK erzeugten elektrischen Energie bis 2020 auf 25% zu erhöhen. Während bei Windenergie und Photovoltaik wesentliche Steigerungen der Kapazitäten nur mit großem Aufwand realisiert werden können, ist eine Erweiterung des Anteils an KWK-Strom vergleichsweise einfach.

Zur Stromerzeugung mit KWK erweisen sich Verbrennungsmotoren zurzeit als sehr effizient.⁴ Verbrennungsstoffe sind Gase (Erdgas, Biogas, Klärgas, Deponiegas, Grubengas) oder Öle (Heizöl, Pflanzenöl). Während der elektrische Wirkungsgrad bei größeren Motoren (> 500 kW) bereits bei $\eta_{el} = 48,7 \%$ liegen kann, sind kleinere Anlagen mit Leistungen bis 30 kW mit elektrischen Wirkungsgraden zwischen 25 % und 32 % noch weniger effizient. Außerdem sind die Installationskosten für kleine Anlagen, die für Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignet sind, noch sehr hoch. In der Regel werden dafür erdgasbetriebene Ottomotoren eingesetzt.

Somit besteht nicht nur im Interesse der Hersteller von BHKW, sondern auch der (zukünftigen) Betreiber und letztlich der Gesellschaft ein dringender Entwicklungsbedarf für neue Konzepte für Mini- und Mikro-BHKW mit hohem elektrischem Wirkungsgrad. Dabei müssen Verschleiß und Reibungsverluste noch deutlich reduziert sowie die Brennverfahren verbessert werden, um die Effizienz und Lebensdauer bei geringen Emissionen zu steigern. Trotz dieser notwendigen technischen Verbesserungen darf der Herstellungsaufwand nicht wesentlich erhöht werden, damit nachfolgende Produktentwicklungen konkurrenzfähig sind.

Seit 2009 begleitet die Energy Consulting Mai GmbH die Entwicklung der erneuerbaren Energien und gehört seither zu den erfolgreichsten Energiesystemanbietern für die Gewinnung von umweltfreundlichem Strom. Das Unternehmen berät, plant und installiert Energieversorgungslösungen für Privatkunden, Unternehmen und Kommunen.

ECM bietet das komplette Produkt- und Leistungsspektrum rund um die Energiegewinnung aus regenerativen Ressourcen. Dazu zählen Lösungen aus den Bereichen Heiz- und Anlagentechnik, Photovoltaik und Solarthermie, Kraft-Wärme-Kopplung, Speichertechnik und Elektromobilität.

Ergänzt wird das Angebot durch eine umfangreiche Palette an Dienstleistungen wie technischem Support sowie Überprüfung und Wartung von diesen Anlagen.

¹ Quelle: Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

² Statistisches Bundesamt, Leipziger Institut für Energie, 2011

³ Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung, http://www.bmu.de/klimaschutz/nationale_klimapolitik/doc/40550.php

⁴ ASUE, BHKW-Kenndaten 2011, <http://asue.de>

Die Energiewende ist in aller Munde. Die Kosten für Strom, Warmwasser und Heizung steigen weiter und stellen für viele Verbraucher eine zunehmende finanzielle Herausforderung dar.

Somit wird das Thema Eigenproduktion und Selbstverbrauch immer interessanter. Zukünftig bietet es sich verstärkt an, „ProSument“ (=Produzent und Konsument) zu werden, insbesondere im Hinblick auf mehr Unabhängigkeit von lokalen Energieversorgern und von teuren Brennstoff- und Energie-Importen aus Krisenländern. Neue Energiekonzepte ermöglichen es uns schon heute, den Einsatz von Brennstoffen zu optimieren, die Energiekosten zu senken und einen Beitrag für den Klimaschutz zu leisten.

Um eine möglichst autarke Stromversorgung zu bekommen ist es heute möglich, durch den Einsatz von einer Photovoltaikanlage sich zu 25% autark zu machen. Wird dann noch ein Batteriespeichersystem installiert schafft man es sogar auf 60 bis 70%. Viel mehr Autarkie ist durch den Einsatz von Photovoltaik nicht möglich, da in den Wintermonaten oftmals die Leistung nicht ausreicht. Durch den zusätzlichen Einsatz eines Mikroblokheizkraftwerkes, welches in den Wintermonaten überwiegend läuft um das Gebäude zu heizen ist es möglich mit dem zusätzlich produzierten Strom bis zu 100% vom Stromanbieter autark zu sein.

Die 100%tige Autarkie die man durch ein effizientes Energiesystem in Verbindung mit einem Mikroblokheizkraftwerk erreichen kann, ist das Ziel jedes Hausbesitzers – eine Heizung die neben Wärme auch Strom produziert – dies ist die Lösung um dieses Ziel zu erreichen.

Aus diesem Grund sind wir sehr froh, an einem Verbundprojekt mit dem Ziel, solch eine Anlage zu entwickeln, mitzuarbeiten.

1.3 Planung und Ablauf

In diesem Projekt sollten hocheffiziente Gegenkolbenmotoren mit hoher Leistungsdichte und Lebensdauer entwickelt, sowie Konzepte für wirtschaftliche und zuverlässige Mini- und Mikro-BHKW mit elektrischen Leistungen zwischen 2 und 20 kW erarbeitet werden.

Um dieses Gesamtziel zu erreichen, wurde angestrebt:

- Verminderung von Reibung und Verschleiß verschiedener bewegter Bauteile, wie z.B. der Kolben-Zylindergruppe durch Verwendung temperatur- und verschleißbeständiger Werkstoffe und Veränderungen des geometrischen und thermischen Designs zur Kontrolle der Gleitspalte
- Verbesserung der Reibungs- und Verschleißigenschaften unter Mangelschmierung (bis hin zum Trockenlauf) durch Einsatz von diamantähnlichen Kohlenstoffschichten, Keramikkompositen oder nahezu berührungsfrei laufenden keramischen Kolben.
- Verbesserung des Magerbrennverfahrens durch effizientes Entflammungssystem
- Vermeidung von Emissionen durch minimierten Einsatz von Motoröl in der Kolben-Zylinder-Einheit
- Bereitstellung einer intelligenten Steuerung und Betriebsführung
- Entwicklung und Demonstration eines Konzepts für ein effizientes, zuverlässiges BHKW

1.4

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Bei den zur Zeit am Markt verfügbaren BHKW`s unterscheidet man zwischen BHKW`s mit Verbrennungsmotor (z.B. Erdgas, Biogas, Heizöl, Pflanzenöl, ...), BHKW`s mit Stirlingmotor oder BHKW`s mit Brennstoffzellen. Die BHKW`s im kleinen Leistungsbereich sind oftmals die mit Stirlingmotor oder die mit Brennstoffzellen. Der Nachteil bei diesen Anlagen ist die kurze Lebenserwartung, der schlechte Wirkungsgrad sowie der hohe Preis. Grundsätzlich sind es aber trotzdem Anlagen, die auch ohne weiteres in kleinen Leistungsbereichen erhältlich sind.

- Neben der Thermodynamik limitieren hohe **Reibverluste und Vibrationen** den elektrischen Wirkungsgrad von Kleinmotoren auf weniger als 30%. Der höchste Anteil dieser Reibverluste wird durch die Kolben-Zylinder-Bewegung verursacht. Vibrationen verursachen außerdem Geräusche und verringern die Lebensdauer des Motors sowie vieler Anbauteile.
- **Eingeschränkte Lebensdauer:** Ein möglichst wartungsfreier Einsatz über mehrere Jahre erfordert den Einsatz verschleißbeständiger und zuverlässiger Systeme. Im Vergleich zu der Laufdauer eines PKW-Motors von 3.000 bis 5.000 Stunden ist die erforderliche Laufdauer eines BHKW-Motors mit bis zu etwa 80.000 Stunden um ein mehrfaches höher. Am stärksten ist auch hier die Kolben-Zylindergruppe aufgrund von Verschleiß betroffen.
- **Emissionen:** Neben CO₂, Wasser und kraftstoffbedingter Emissionen entstehen in einem Verbrennungsmotor organische Verbrennungsprodukte vor allem dadurch, dass das zur Schmierung der Kolben-Zylinder-Einheit benötigte Motoröl unvollständig zersetzt wird. Eine Verminderung dieser Emissionen ist nur durch eine deutliche Reduzierung von bzw. Verzicht auf Schmierstoffe erreichbar.
- Zusätzliche **Energieverluste** entstehen im System (Kurbeltrieb, Generator, Leistungselektronik) und müssen hier durch wirkungsgradsteigernde Maßnahmen insbesondere am Verbrennungsmotor kompensiert werden.

Die Gegenkolbenmotoren (GKM) sind als Industriemotoren insbes. von der Firma Junkers-Dessau für stationäre und mobile Zwecke gefertigt worden, aber auch als Großgasmotoren für die Hüttenindustrie. Bekannt und berühmt wurden diese 2-Takt-Motoren als Junkers Flugdieselmotoren Jumo 204-207 mit Kennwerten, die heutigen Viertaktmotoren ebenwürdig sind. Bei vergleichsweise niedrigen Drehzahlen wurden Leistungen bis 90 kW je Liter Hubraum und Drehmomente bis 320 Nm je Liter Hubraum erreicht.

Diese Ergebnisse resultieren aus

- der Längsspülung im Motorzylinder,
- den größeren Öffnungsquerschnitten für Spülung und Auslass (über dem gesamten Zylinderumfang),
- dem verbrennungsgünstigen Brennraum als glatte Zylinderscheibe und
- dem möglichen Ladungsdrall in Verbindung mit einer Ladungsschichtung beim Verbrennungsvorgang.

Ein großer Vorteil von GKM ist auch der hervorragende Massenausgleich, womit die Zylinderanzahl verringert und eine für BHKW günstige Einbauweise erreicht wird. Trotz dieser Vorzüge werden GKM – wie alle 2-Taktmotoren – bis auf besondere Anwendungen (Klein- und Rennmotoren) nicht mehr eingesetzt. Die Zylinderschmierung ist problematisch, die Lebensdauer zu gering und der Partikelaustritt zu hoch.

Grundlagen zum Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk produziert in erster Linie Strom über einen Generator, der von einem Motor angetrieben wird. Dieser Motor muss gekühlt werden. Die anfallende Abwärme wird zum Beheizen von z.B. Wohn-, Gewerbe- oder Industriebauten genutzt. Die anfallende Wärme kann aber auch als Prozesswärme genutzt werden. Mit überschüssiger Wärme ist es sogar möglich beispielsweise über Adsorptionskälteanlagen auch Kälte im Temperaturbereich zwischen 6°C und 12°C zu erzeugen. Weiterhin kann mit überschüssiger Wärme auch wieder Strom z.B. über ORC-Anlagen (ORC=Organic Rankine Cycle) erzeugt werden.

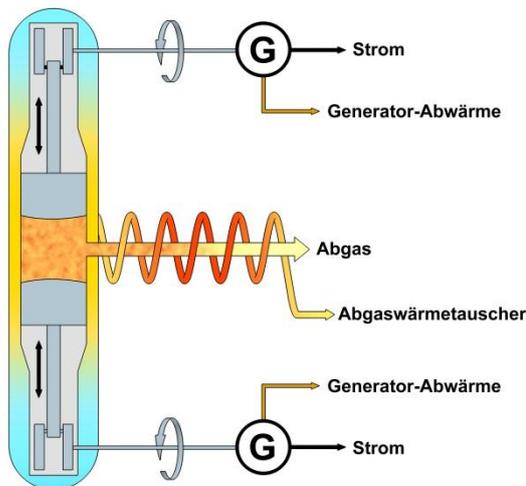


Abbildung 3: Funktion eines BHKW

Die bedeutendsten Vorteile durch die gemeinsame Erzeugung von Strom und Wärme aus einem z.B. mit Erdgas betriebenen Verbrennungsmotor sind die geringen CO₂-Emissionen sowie der geringere Primärenergieeinsatz.

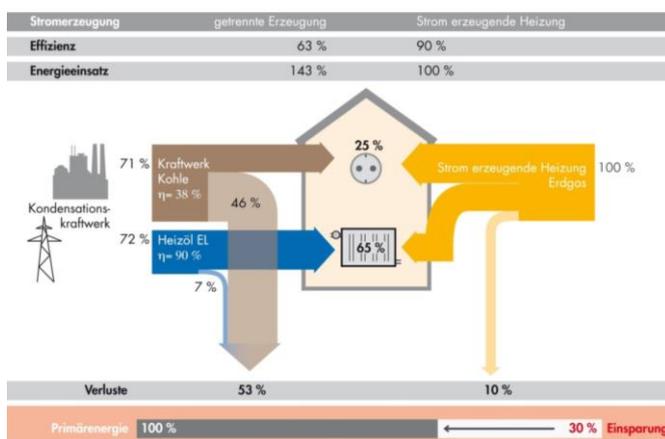


Abbildung 4: Energieverteilung BHKW Quelle: ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

1.5

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Um die in diesem Projekt gestellte Entwicklungsaufgabe ein BHKW als komplexes System zu bewältigen, waren die Aspekte entlang der Systementwicklung von einzelnen Partnern zu vertreten bzw. zu bearbeiten. Die Motorauslegung wurde zunächst von der Golle Motor GmbH und später von Huss Maschinenbau GmbH geleistet, die spezifische Werkstoffauswahl von lebensdauer- und verschleißrelevanten Bauteilen von Fraunhofer IWM, die Komponentenfertigung zunächst durch die Eisenmenger GmbH und später durch die Huss Maschinenbau GmbH und die integrale Systementwicklung durch die Energy Consulting Mai GmbH.

2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

2.1 Erfüllung der Ziele

Ein besonderer Schwerpunkt lag aufgrund von fehlenden Parametern zum Motor in der Entwicklung der Steuerung. Für die Systemintegration konnte mit einem Ersatzmotor gearbeitet werden.

Eine Auswahl der wichtigsten Ergebnisse in den verschiedenen Arbeitspaketen des Projekts wird in den Abschnitten 2.3 bis 2.4 beschrieben.

- Bereitstellung einer intelligenten Steuerung und Betriebsführung
 - Wurde von ECM geleistet
- Auslegung/Auswahl sowie Modifizierung eines passenden Generators
 - Wurde von ECM geleistet
- Auslegung der einzelnen Systemkomponenten
 - Wurde von ECM geleistet
- Testung der beiden BHKW Typen
 - Konnte aufgrund der nicht fertiggestellten BHKW-Motoren nicht erfolgen
- Entwicklung von einem BHKW Teststand
 - Entsprechende Prüf- und Messgeräte dafür sind angeschafft worden bzw. waren auch im Vorfeld vorhanden

2.2 Lastenheft und Pflichtenheft

- Konzept, Entwicklung und Montage von 2 BHKW-Typen: 2 kW elektrisch und 15-20 kW elektrisch ✓
- Entwicklung von BHKW-Steuerungen für beide BHKW-Typen (Fremdleistung) ✓
- Testung der BHKW-Typen nacheinander, mit erster Baustufe beginnend - verändertes Konzept
- Entwicklung eines Prüfstands für BHKW ✓
- Zustandsüberwachung zur Früherkennung von Verschleiß - verändertes Konzept
- Aufbau eines Demonstrators, Bewertung des Gesamtsystems ✓

2.3

Normen und Richtlinien

Die Anlage muss nach den derzeit gültigen Normen und Richtlinien sowie nach den derzeit gültigen Regeln der Technik und den anerkannten sicherheitstechnischen Regeln konstruiert und gebaut werden.

Richtlinien , Verordnungen und Gesetze

| | |
|---|------------------|
| EG-Maschinenrichtlinie | 2006/42/EG |
| Niederspannungsrichtlinie | 2006/95/EG |
| Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit | 2004/108/EG |
| Bundes-Immissionsschutz-Verordnung | BImSchV |
| Muster-Feuerungsverordnung bzw. Länder FeuVo | MFeuVo |
| Landesbauordnung der Bundesländer | LBO |
| Steuerentlastung für die Stromerzeugung und die gekoppelte Erzeugung von Kraft und Wärme | EnergieStG §53 |
| Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung | KWKModG |
| Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform | Ökosteuergesetz |
| Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden | EnEV |
| Gesetz zur Einsparung von Energie mit den dazu erlassenen Verordnungen Heizungsanlagen-Verordnung | EEG und HeizAnIV |

Grundlegende Normen

| | |
|---|--------------------|
| Sicherheit von Maschinen; elektrische Ausrüstung von Maschinen | DIN EN ISO 60204-1 |
| Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe; allgemeine Gestaltungsgrundsätze | DIN EN ISO 12100 |
| Sicherheit von Maschinen; Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefahrenstellen mit den oberen und unteren Gliedmaßen | DIN EN ISO 13857 |
| Sicherheit von Maschinen; Not-Halt – Gestaltungsleitsätze | DIN EN ISO 13850 |
| Ergonomie der thermischen Umgebung; Bewertungsverfahren für menschliche Reaktionen bei Kontakt mit Oberflächen | DIN EN ISO 13732 |
| Sicherheit von Maschinen; Körpermaße des Menschen | DIN EN 547 |
| Sicherheit von Maschinen; Zweihandschaltungen | DIN EN 574 |
| Sicherheit von Maschinen; Ergonomische Gestaltungsgrundsätze | DIN EN 1614 |
| Sicherheit von Maschinen; Reduzierung der Gesundheitsrisiken durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen | DIN EN 626 |
| Sicherheit von Maschinen; Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteile | DIN EN 894 |

| | |
|--|-------------------|
| Sicherheit von Maschinen; Trennende Schutzeinrichtungen, Allgemeine Anforderungen an Gestaltung und Bau von feststehenden und beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen | DIN EN 953 |
| Sicherheit von Maschinen; System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale | DIN EN 981 |
| Sicherheit von Maschinen; Vermeidung von unerwartetem Anlauf | DIN EN 1037 |
| Explosionsfähige Atmosphären; Explosionsschutz, Teil 1: Grundlagen und Methodik | DIN EN 1127-1 |
| Heizsysteme in Gebäuden – Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen | DIN EN 12828 |
| Heizungsanlagen in Gebäuden | DIN EN 12831 |
| Sicherheit von Maschinen; Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen | DIN EN 13847 |
| Heizungsanlagen in Gebäuden | DIN EN 14336/2005 |
| Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe | DIN EN 14868/2003 |
| Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) | DIN EN 60529 |
| Sicherheit von Maschinen; Anzeigen, Kennzeichen und Bedienen, Teil 2: Anforderungen an die Kennzeichnung | DIN EN 61310-2 |

Produktabhängige Normen:

| | |
|---|------------------|
| Hubkolben-Verbrennungsmotoren; grafische Symbole | ISO 8999 |
| Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme | DIN EN ISO 13407 |
| Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Brandschutz | DIN EN ISO 6826 |
| Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren | DIN ISO 8528 ff. |
| Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Sicherheit, Teil 1: Dieselmotoren | DIN EN 1679-1 |
| Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Sicherheit | DIN EN 12601 |
| Technische Regeln für Trinkwasserinstallationen TRWI | DIN 1988 |
| Gas- Druckregelgeräte für Eingangsdrücke bis 100 bar | DIN 3380 |
| Filter in Gas-Innenleitungen | DIN 3386 |
| Druckwächter für gasförmige Stoffe; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung | DIN 3398-3 |
| Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden | DIN 4701 |
| Zentrale Wassererwärmungsanlagen | DIN 4708 |
| Heizwasserbetriebene Fernwärmeanlagen | DIN 4747 |
| Sicherheitstechnische Ausrüstung von Heizungsanlagen mit Vorlauftemperaturen bis 110°C | DIN 4751 |
| Stromerzeugungsaggregate; Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren, Teil 14: Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Hubkolben-Verbrennungsmotoren; Grundlagen, Anforderungen, Komponenten, Ausführung und Wartung | DIN 6280-14 |

Sonstige grundlegende Verordnungen

| | |
|---|--------|
| Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz | BGV A3 |
|---|--------|

Technische Regeln Flüssiggas
Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen
Technische Maßnahmen zur Vermeidung des Legionellenwachstums
Einleitung von Kondenswasser aus gas- und ölbetriebenen Feuerungsanlagen in öffentliche Abwasser- und Kleinkläranlagen, Ausgabe Nov. 199, GFA Verlag für Abwasser und Gewässerschutz
Wasseraufbereitung für Heizungsanlagen

TRF 1996
DVGW-Arbeitsblatt W 551
DVGW-Arbeitsblatt W 552
ATV-Arbeitsblatt A251
VDI 2035

2.4 Einzelkomponenten

2.4.1 Gegenkolbenmotor

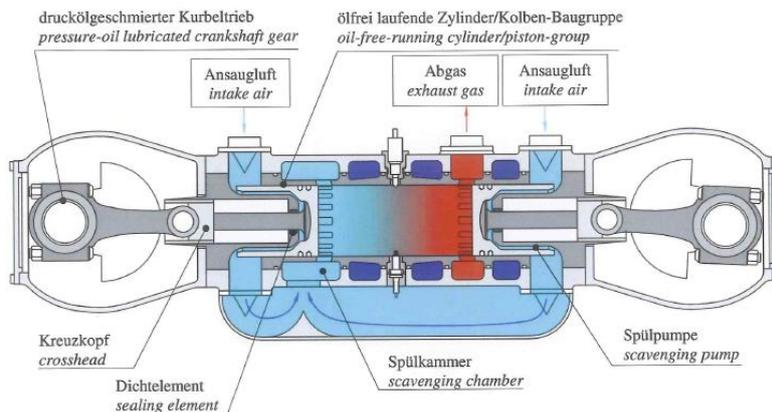


Abbildung 5: Gegenkolbenmotor, Quelle: Golle-Motoren GmbH

2.4.2 Generator

Der Generator der von der Fa. Heinzmann angeschafft worden ist, ist ein Bürstenloser Elektromotor der durch seine flache Bauform sich besonders gut für den Einsatz in einem Mikro-BHKW eignet. Dadurch, dass er keine Bürsten besitzt, können Verschleiß sowie Störungen durch Bürstenfeuer oder durch Verschmutzung völlig vermieden werden. Der Generator ist wartungsfrei. Weiterhin eignet er sich besonders gut, weil er durch schnelles Hochlaufen und rasche Lastwechsel durch die Drehzahlregelung gegenüber herkömmlichen Generatoren vorteilhaft ist. Dadurch, dass die Abmessungen dieser Generatoren deutlich kleiner sind, können diese direkt auf der Antriebswelle, über die Kupplung, an den Motor angeflanscht werden.

Der 3-Phasen-Standardgenerator wurde zudem auf 6-Phasen umgebaut (60° Phasenverschiebung). Dadurch konnte mit einer 6-Phasen-Gleichrichtung ein „glatterer“ Gleichstrom erzeugt werden. Der Vorteil liegt darin, dass nun dieser Generator direkt an einen herkömmlichen Wechselrichter, der sämtliche Anforderungen auf der Wechselstromseite erfüllt, angeschlossen werden kann und somit die Anbindung an das Stromnetz sichergestellt ist. Die Drehzahlregelung ist dann durch den Wechselrichter (durch die Frequenz) über den MPP-Bereich erfüllt. Der MPP-Bereich (Maximal Power Point) ist der Arbeitsbereich des Wechselrichters. In diesem Bereich sucht sich der Wechselrichter selber immer den optimalen Arbeitspunkt. Hierdurch kann die Leistung über die Gemisch-Zuführung im Motor geregelt werden. Ein weiterer Vorteil des Betriebes über einen Wechselrichter ist der, dass der Wechselrichter sämtliche Normen und Vorschriften die für die Ankopplung am Stromnetz erforderlich sind erfüllt. Weiterhin ist der entwickelte Motor in seiner Drehzahl nicht mehr auf $n=1500$ begrenzt, was sich durch das angewandte Zweitaktprinzip positiv auf den Wirkungsgrad auswirken wird.

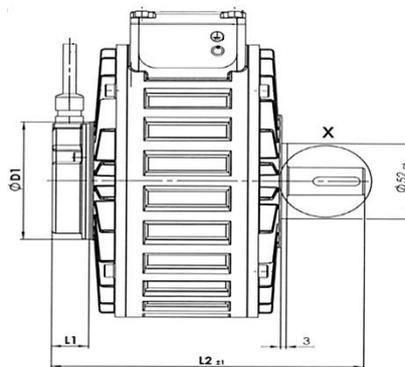
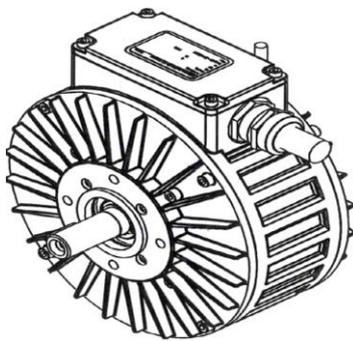


Abbildung 6,7: Generator, Quelle: Heinzmann GmbH&Co.KG

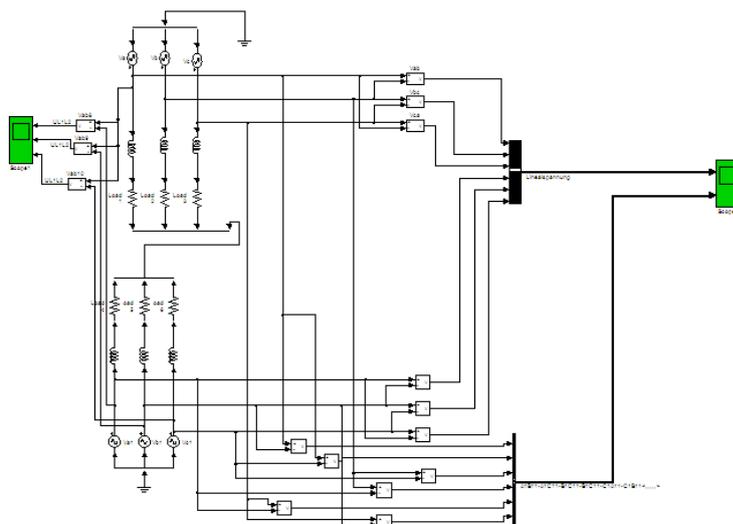
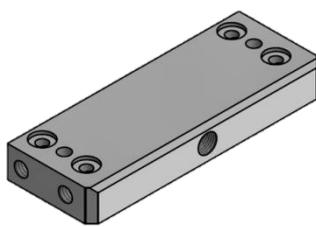


Abbildung 8: Model des 6-Phasen-Generators und Model des 6-Puls-Gleichrichters

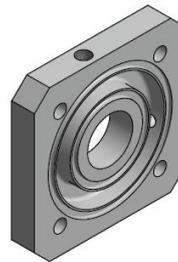
Da die Generatoren der Firma Heinzmann jedoch luftgekühlt sind, ist es erforderlich, eine Wasserkühlung anzufertigen und diese nachzurüsten. Die Auslegung der Wasserkühlung mit entsprechenden Zeichnungen wurde erstellt und angefertigt. Sie besteht aus der Motorkühlung, dem Kühlring und der Verteilerbrücke. Die ausgekoppelte Wärmeleistung bei dem 2kW Generator liegt bei max. 150Watt. Auch wenn dieser Wert doch sehr gering ist, ist es sinnvoll für die Steigerung des Gesamtwirkungsgrades, diese Energie für das Heizsystem mit zu nutzen.



Verteilerbrücke



Kühlring



Motorkühlung

Abbildung 9,10,11: Einzelteile der Wasserkühlung für Generator

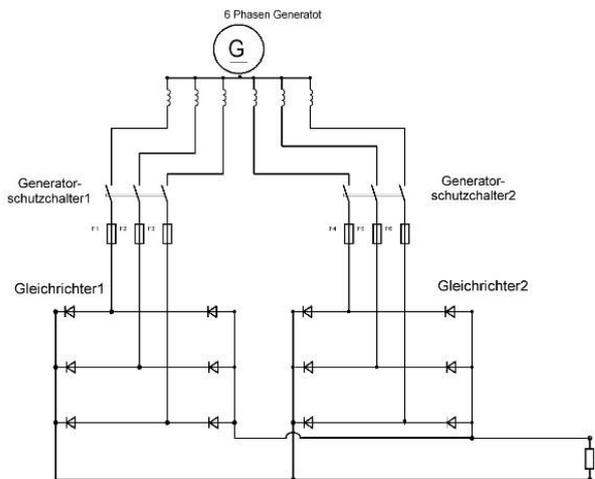


Abbildung 12: Model und Modifizierung des 6-Phasen-Generators durch 6-Puls-Brückenschaltung

Insbesondere bei den Mess- und Simulationsergebnissen zeigte sich, dass durch die Modifikation auf 6-Phasen-Gleichrichtung eine „Glättung“ des Gleichstroms erzeugt wird, bei gleichzeitiger Steigerung des Gesamtwirkungsgrades.

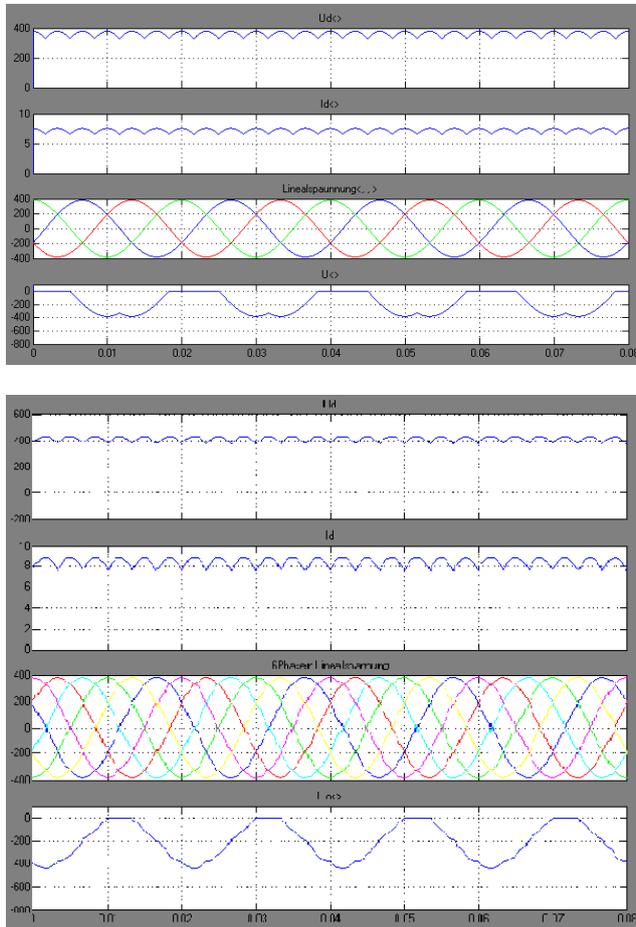


Abbildung 2: Messwerte für 3-Phasen- bzw. 6-Phasen-Generator

2.4.3 Steuerung und Regelung vom Mikro-BHKW

Die gesamte Steuerung des Micro-BHKW´s arbeitet mit einer Spannung von 24 V DC, hierzu wurde ein 24V DC-Netzteil der Fa. Wago Contact (TYP) eingesetzt. Zur Visualisierung im Testbetrieb wurde in erster Linie ein handelsüblicher PC mit entsprechender Software verwendet. Die gesamte Steuerung und Regelung des Mikro-BHKW´s wurde mit Komponenten der Fa. Wago Contact aufgebaut und mit der Herstellerspezifischen Software programmiert. Für den Serienbetrieb sollte ein LCD-Display, an dem sämtliche Betriebsdaten sowie sämtliche Informationen der Anlage dargestellt werden, Anwendung finden. Weiterhin sollte die Möglichkeit bestehen z.B. über LAN die Anlage zu überwachen und eventuelle Störmeldungen via E-Mail zu versenden. Die Funktionen sollten neben der Start-/ Stoppautomatik, der Über-

wachung des Wäre- und Stromsystems auch Statusmeldungen zum Betrieb anzeigen. Der Betrieb der Anlage soll sowohl Wärme- als auch Stromgeführt funktionieren. Auf Grund der externen Sollwertvorgaben soll die Anlage entsprechende Zustände fahren. Eine integrierte Heizungssteuerung sowie die Funktion zur Anforderung des Zusatzbrenners (Spitzenlastkessel) soll in der BHKW-Steuerung inbegriffen sein.

Der Anlauf und Auslauf des Gegenkolbenmotors wird über eine spezielle Motor Start-/Stoppeinheit von der Fa. Carlo Gavazzi (Typ: RSHR) geregelt. Um ein sanftes An- und Auslaufen des Motors zu gewährleisten fährt der Motor beim Einsatz dieser Technik eine spezielle Anlauf- und Auslauframpe ab. Ein drastischer Start und Stopp wird dadurch vermieden und der Motor wird geschont.

Die Steuerung ist wie folgt aufgebaut worden:

Startseite:

| | |
|----------------|--|
| Statusanzeigen | BHKW läuft BHKW gestoppt Warnung (z.B. Temperatur überschritten, Netzfrequenz zu hoch, ...) Info (z.B. Meldung über anstehenden Service) Benutzerebene (zeigt an welche Ebene aktiv ist, Auswahl zwischen Benutzerebene Endkunde, Fachpartner, Hersteller) |
|----------------|--|

Benutzerebene Endkunde:

| | |
|----------------------------------|--|
| Auswahl Historie Temperaturen | (Jahr – Monat – Woche – Tag) (BHKW Vorlauftemp., BHKW Rücklauftemp., Motortemp., Raumtemp., Außentemp., Speicher oben Temp., Speicher mitte Temp., Speicher unten Temp.,) |
| Fehler | Loghistorie Warnhistorie |
| Leistungen | elektrische Leistung Erzeugung elektrische Leistung Strombedarf elektrische Leistung Eigenverbrauch elektrische Leistung Einspeisung |
| Einstellungen | Heizprogramm Uhrzeit/Datum Raum Soll Temperatur Wärmegeführt (Regelung nach Außentemperatur/Speicher unten Temperatur) Stromgeführt (Regelung nach Strombedarf, aber abhängig von Wärmeabgabe) |
| Systeminfo | Eigentümerdaten Netzwerkzugangsdaten (LAN/WLAN Einstellungen) Seriennummer |
| Schornsteinfeger | Betrieb des BHKW für Abgas-Messvorgang |

Benutzerebene Fachpartner

| | |
|-----------------|--|
| Einstellungen | Leistungskennlinie Heizkurve (Steilheit, Regelung nach Außentemperatur) LAN/WLAN E.Mail (zur Fernüberwachung) Zusatzfunktionen (Binärausgänge, Kesselsperre, Kaskade, Wärmelastzuschaltung, Pumpensteuerung) |
| Versionshinweis | (Updatefunktion über USB-Stick oder online) |
| Fehler | detaillierte Loghistorie detaillierte Warnhistorie |

Benutzerebene Hersteller

| | |
|---------------|---|
| Einstellungen | Temperaturkonfiguration (Zuweisung von Temperaturfüh- lern PT100, PT1000, KTY) Anlagenbetreiberdaten elektrische Einstellvorgaben (Anforderungen EVU, z.B. cos Phie) Passwortvergabe der Benutzerebenen Wechsel zwischen Automatikbetrieb und Handbetrieb |
| Statistik | Abrufen sämtlicher gewählten Einstellungen |
| Sprachen | Auswahl verschiedener Sprachen, je nach Aufstellland |

2.4.4 Wärmeauskopplung

Beim BHKW wird zwischen dem Primärkreislauf und dem Sekundärkreislauf unterschieden. Der Primärkreislauf ist der Motorkühlkreislauf und der Sekundärkreislauf der Heizungskreislauf. Die beiden Kreisläufe sind über einen Wärmetauscher getrennt. Die Abwärme die bei der Verbrennung von Erdgas im Motor entsteht wird über den Wärmetauscher dem Heizungskreislauf zugeführt. Bei unserem System fahren wir vom Wärmetauscher (der den Primär- vom Sekundärkreislauf trennt) zuerst in den Generator mit einer Temperatur von ca. 35-40°C. Im Generator ist nur eine sehr geringe Temperaturerhöhung von 0,5-2°C zu erwarten (abhängig vom Durchfluss – $Q=m \cdot cp \cdot \Delta T$), dies liegt an dem sehr hohen Wirkungsgrad des Generators. Danach geht es mit dem Wärmeträgermedium weiter in den Motor in dem wir eine Temperaturerhöhung von ca. 20°C erreichen. Zwischen Generator und Motor ist eine Rücklaufanhebegruppe installiert. Diese führt über einen Mischer aus dem Vorlauf zusätzlich Temperatur in den (Rücklauf) Zulauf zum Motor um im Material des Motors keine Spannungen, die evtl. zu Spannungsrissen auf Grund von zu hohen Temperaturunterschieden führen können. Die Temperaturspreizung zwischen Motor Ein- und Austritt sollte bei 20°C liegen. Da die Austrittstemperatur bei 75-80°C liegt muss entsprechend die Eintrittstemperatur bei 55-60°C liegen. Vom Motor geht es dann weiter in den Abgaswärmetauscher wo zusätzlich ca. 5°C Temperaturerhöhung erwartet werden. Dabei wird das Abgas auf eine Temperatur von unter 64°C (Kondensationstemperatur vom Brennstoff Erdgas) heruntergekühlt.

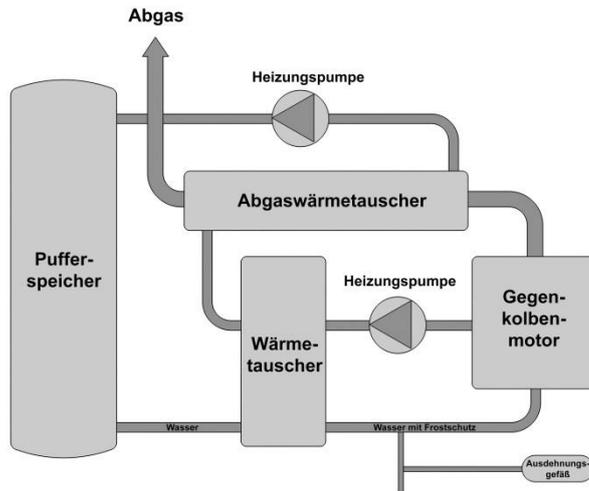


Abbildung 3: Hydraulik-
schema BHKW

2.4.5 Peripherie

Kupplung

Die Anbindung des Generators an den Motor erfolgt über eine Kupplung. Die ist so mit der Firma KTR ausgelegt worden, dass sie bei der Kraftübertragung vom Motor zum Generator über keine Verluste verfügt. Bei zu hoher Kraft z.B. durch Ausfall des Generators wird der Motor nicht beschädigt.

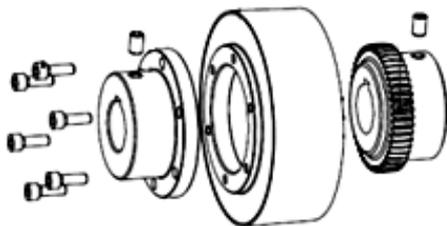


Abbildung 4: Kupplung
Fa. KTR, Typ: Bowex,
Quelle: KTR Kupplungs-
technik

Schallschutz

Die lokalen Schallmindestanforderungen sind zu prüfen. Der Schallpegel in unmittelbarer Nähe der Anlage sollte 34dB(A) nicht überschreiten. Dafür werden spezielle Schallabsorptionsplatten in das Gehäuse mit eingebaut. Weiterhin ist beim Schallschutz darauf zu achten, dass das BHKW sowie dessen Baugruppen durch entsprechende Entkopplungen von allen Gebäudeteilen getrennt ist, um die Schallübertragung an diese zu vermeiden. Es sollte ein spezieller Schwingungsdämpfer zwischen BHKW und Wand bzw. zwischen BHKW und Bodenplatte berechnet und

ausgelegt werden. Dazu müssen vorerst noch Messungen an einer installierten Anlage gemacht werden. Weiterhin kann man Körperschall eindämmen, indem man im Abgasrohr sowie in den Rohrleitungsanschlüssen (Wasser sowie Gasleitung) Kompensatoren einbaut.

Plattenwärmetauscher

Plattenwärmetauscher (gelötet), druckbeständig bis 25 bar, temperaturbeständig bis 185 Grad Celsius

Brennwertwärmetauscher/Abgaswärmetauscher

Abgaswärmetauscher in kompakter Bauweise aus Aluminium-Silizium-Guss, bestehend aus einem wassergekühlten Kammersystem. Dieses System trägt zu einer hohen Wärmeffizienz bei.

Wärmespeicher

Der Wärmespeicher sollte so ausgelegt sein, dass eine Taktzeit beim BHKW von mindestens 3 Stunden erreicht wird. Es wird ein Hygiene-Kombispeicher mit einem Wasservolumen von 150 Liter Speichervolumen pro kWh thermische Leistung empfohlen. Über solch einen Speicher ist die Warmwasseraufbereitung sichergestellt.



Abbildung 5: Aufbau
Pufferspeicher, Quelle:
STSOL GmbH

Kondensatablauf

An den tiefsten Punkten vom Abgaswärmetauscher sowie vom Abgasschalldämpfer ist ein Kondensatablauf anzuschließen. Die Kondensatmenge ist abhängig von der Rücklauftemperatur des Heizungswassers und der momentanen thermischen Leistung des BHKW's. An dem Kondensatablauf ist ein Siphon anzuschließen. Das anfallende Kondensat kann dann über eine Neutralisationsanlage direkt in die Kanalisation abgeleitet werden. Die theoretisch erzielbare Kondensatwassermenge liegt bei der Verbrennung von Erdgas bei 0,16 kg/kWh.

Katalysator

Katalysatortechnik in Form von 3-Wege-Katalysator, oxydationsbeständig, leicht zu reinigen, (regelt das Luft-Kraftstoff-Verhältnis im Zusammenspiel mit Lamda-Regelung), Schadstoffimmissionen < TA-Luft 2002, führt zu sehr geringen Schadstoffimmissionen

Sicherheitsgruppe

Sicherheitsgruppe mit Befülleinrichtung nach DIN 4751 Teil 2, druckbeständig bis 3 bar.

Gasregelstrecke

Gasregelstrecke mit elektronischem Stellantrieb und Nulldruckregler

Elektrischer Anschluss

Die gesamte Steuerung und Überwachung ist über die Wago SPS mit entsprechender Sensorik sichergestellt. Es gilt lediglich vom Installateur noch die Hauptstromleitung zur Einspeisung am Leistungsteil anzuschließen. Zur Absicherung ist ein FI vom Typ B vorgeschrieben. Weiterhin sind die technischen Anschlussbedingungen vom zuständigen Verteilnetzbetreiber einzuhalten.

2.5

Demonstration, Öffentlichkeitsarbeit

In den Jahren 2014, 2015 und 2016 erfolgte eine breite Darstellung des gesamten Projektes auf der Hannovermesse. Bei Veranstaltungen wie „Tag der offenen Tür“ wurde bei ECM dieses Projekt präsentiert. Bei verschiedenen Betriebsbesichtigungen von Kommunalpolitikern und Bundestagsabgeordnete (z.B. Meik Beermann (CDU), Herrn Knut Hallmann (SPD), ...) wurde dieses Projekt ebenso dargestellt.

Berichtet wurde von ECM über das Projekt in der lokalen Presse sowie in lokalen Fachzeitschriften (Niedersachsen).

2.6

Voraussichtliche Nutzen

2.6.1

Allgemein:

Der aktuell vom Bundeskabinett beschlossene Entwurf zur Novellierung des KWKG sieht u.a. neue Ausbauziele sowie eine Anpassung der Förderquoten vor.

Letzteres liegt darin begründet, dass die Vorteile durch die Eigenversorgung in vielen Bereichen bereits einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb ohne Förderung ermöglichen.¹

Vor diesem Hintergrund ist es unerlässlich, die Einsatzmöglichkeiten für KWK konsequent umzusetzen und noch wesentlich zu erweitern. Hierzu gehören Millionen von kleineren Haushalten mit einem Energieverbrauch von durchschnittlich 4.000kWh pro Jahr bei einer Leistung von 2-3kW im Maximum. Wenn es gelingt, Millionen kleinere KWK-Einheiten in Haushalten zu installieren, würde der Bedarf an elektrischer Leistung, die in großen Kraftwerken erzeugt und über die Stromnetze transportiert werden müsste, um mehrere Gigawatt reduziert.

2.6.2 Nutzen für Energy Consulting Mai GmbH

Die Energy Consulting Mai GmbH hat zu Beginn des Projektes in 2013 eine neue Produktionsstätte errichtet in dem in Zukunft Mikro-BHKW produziert werden sollen. Mit solch einem eigenen Produkt wird der Systemgedanke des Unternehmens vervollständigt und das Ziel der Unabhängigkeit gegenüber Stromversorger zu 100 Prozent erfüllt. Ein solches Produkt in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage und einem Batteriespeichersystem könnte als neues Energiesystem der Zukunft über den Großhandel oder direkt an den Endkunden vertrieben werden. Dadurch würden neben den vielen neuen Arbeitsplätzen auch ein komplett neuer Zweig in der Energieversorgung sowie derer Installation entstehen.

2.6.3 Bekannt gewordener Fortschritt

Für Ein- und Mehrfamilienhäuser gibt es immer noch keine befriedigenden Lösungen für Blockheizkraftwerke mit kleiner Leistung.

Wirtschaftlich rentabel und ökologisch sinnvoll wären aktuell Anlagen mit elektrischen Leistungen von 1,5-2 kW und thermischen Leistungen von max. 3-4 kW, da insbesondere die höheren thermischen Leistungen nicht sinnvoll genutzt werden könnten

Sehr Vereinzelt sind BHKW-Systeme in der Leistungsklasse für Einfamilienhäuser am Markt, z.B.:

<http://www.kirsch-homeenergy.de/produkte/kirsch-nano.html>: System für Ein- und Mehrfamilienhäuser, 2 bis 4 KW elektrisch, 8 – 12 KW thermisch, maximaler elektrischer Wirkungsgrad je nach Größe, 19% bis 25%

¹ Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Neuregulierung des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes, Berlin, 23. September 2015

<http://www.ecpower.eu/de/>: Systeme für große Einfamilienhäuser oder kleine Mehrfamilienhäuser mit elektrischen Leistungen >3 KW (thermische Leistung > 8kW) mit einem elektrischen Wirkungsgrad von ca. 25%.

Überwiegend sind die am Markt verfügbaren Anlagen größer (ab ca. 12 kW_{el}). Es wurden während des Projekts ansonsten keine wesentlichen Neuerungen der Technologien oder am Markt verfügbarer Geräte bekannt.

Z.B: <http://www.bosch-kwk.de/de/loesungen/bhkw-systeme.html>

Einen vollen Überblick über die am Markt verfügbaren Systeme liefert die Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (ASUE).¹

Hingegen wurden vereinzelt wirtschaftliche Schwierigkeiten von BHKW-Herstellern aufgrund einer unerwartet hohen Zahl von Betriebsstörungen an den Geräten im Feld bekannt. Es sind keine prinzipiellen technischen Neuerungen bekannt. Weiterhin ist nicht bekannt, wie zuverlässig diese Systeme tatsächlich funktionieren. Es gibt nach wie vor kein System, das entsprechend der in unserem Vorhaben verfolgten Technologie eine besonders emissionsarme Fahrweise (durch Vermeidung der Verbrennung von Motoröl) ermöglicht.

¹ http://asue.de/blockheizkraftwerke/broschueren/05_10_14_bhkw-kenndaten_2014-15