

Micro-Trigeneration: Strom und Kälte aus (Ab)Wärme geringer Qualität

Hermann Edtmayer, Evelyn Lang, Martin Schloffer

4ward Energy Research GmbH, Reinighausstrasse 13a/EG/17, Graz, Österreich
+43 664 889 29 638, hermann.edtmayer@4wardenergy.at, www.4wardenergy.at

Kurzfassung:

In diesem Projekt wird eine neue Technologie für die kostengünstige Bereitstellung von Strom und Kälte aus Wärmequellen geringerer Qualität im Leistungsbereich von 5 bis 100 kW entwickelt. Diese basiert auf einer Mikro-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) unter Verwendung der Schukey Technologie, hat einen geringen Wartungsaufwand, ist benutzer- und umweltfreundlich, kostengünstig und kann einfach in bestehende Anlagen nachgerüstet werden, z. B. zur Solarverstromung oder Abwärmenutzung aus Blockheizkraftwerken (Röben, 2001; Dittmann, 1995). Die Nutzung von transienter Solar- oder Abwärme als Energiequelle für das Schukey System ist neu und noch nicht getestet. Wesentlich ist, dass dabei nicht nur eine theoretische Entwicklung sondern auch Laborversuche und ein Testbetrieb im vorgesehenen Einsatzbereich durchgeführt werden. Kurzfristig liegt der Fokus auf spezifischen Stromgestehungskosten im Bereich der Netzparität, langfristig sollen diese darunter liegen. Um die Technologie zu einer einsatzfähigen Mikro-KWKK-Anlage weiter zu entwickeln, sind F&E-Arbeiten im Bereich der Technologieoptimierung und Integration in das überlagerte System, sowie eine Analyse möglicher Einsatzszenarien und den daraus folgenden Anforderungen erforderlich.

Keywords: Schukey Motor, Solar Heat to Power, Waste Heat Recovery, Wärmerückgewinnung

1 Einleitung

Technologien für den Niedrigtemperatur-Wärmebereich (z. B. zur Abgaswärmerückgewinnung oder zur direkten Nutzung der Sonnenenergie) zur kombinierten Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte stehen in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Rahmenbedingungen und Endanwender/Markt im Kontrast zu jenen im hohen Leistungsbereich (mehr als 1 MW). Derzeit ist im kleinen Leistungsbereich keine wirtschaftliche KWKK-Technologie verfügbar. Bislang eingesetzte Technologien arbeiten zusätzlich sehr oft nicht auf Basis erneuerbarer Energieträger. Somit besteht ein Bedarf an neuen Lösungen für den unteren Leistungsbereich.

2 Die Schukey Technologie

Das Funktionsprinzip der Schukey-Technologie basiert auf einer rotierenden Arbeitsmaschine. Zwei sich gegenüber stehende, ineinander greifende Flügelräder bilden dabei acht Kammern

für das Arbeitsmedium. Die Rotationsbewegung der Flügelräder wird durch ein Getriebe derart geführt, dass sich die Umlaufgeschwindigkeiten zueinander relativ verändern. Daher rührt auch die ursprüngliche Bezeichnung des Erfinders – „Delta Omega Maschine“ (Schukey, 1999). Daraus resultiert eine Kompression und Expansion des Arbeitsgases in den Flügelzellen. Als Einlässe und Auslässe der Kammern dienen Schlitze im Gehäuse, welche direkt durch die Flügelräder geöffnet und geschlossen werden.

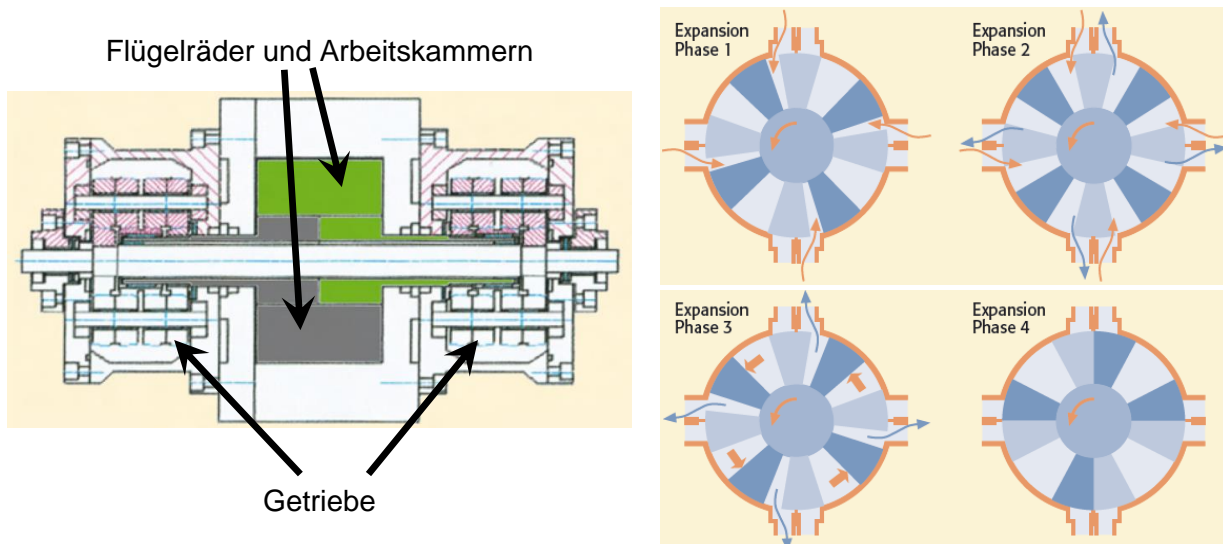


Abbildung 1: Querschnitt Schukey-Maschine (links) und die Funktionsweise der Schukey-Maschine als Wärmekraftmaschine (rechts), (Bergholter, 2009)

In Abbildung 1 sind links ein Querschnitt durch die Schukey-Maschine und rechts die vier Phasen des Arbeitsprozesses als achtzellige Wärmekraftmaschine dargestellt. In der ersten Phase gelangt das Arbeitsgas über die Einlasskanäle in die vier Expansionskammern. Während der Phase 2 öffnet die Auslassseite, wobei die Einlassseite gerade schließt. In Phase 3 erfolgen die Gasexpansion in den vier frisch gefüllten Arbeitskammern und die Abgabe der geleisteten Arbeit. Gleichzeitig wird das verbrauchte Arbeitsmedium der anderen vier Kammern durch den Auslass ausgeschoben. In Phase 4 sind Einlass und Auslass geschlossen und der Kreisprozess beginnt von neuem. Bei Verwendung von Heißdampf mit mindestens 120 °C und 1,2 bar wird dabei dem Arbeitsmedium durch die Expansion thermische Energie entzogen und in mechanische Energie gewandelt. Diese Energie kann z.B. in einem elektrischen Generator in Strom weiter verarbeitet werden.

Wenn der Schukey-Motor extern mechanisch angetrieben wird, kehrt sich der Kreisprozess um und Umgebungsluft als Arbeitsmedium kann, über einen Zwischenkühler, in zwei Stufen direkt abgekühlt und wieder abgegeben werden. Es ist daher keine Form von Kühlmittel, wie in gewöhnlichen Kältekompressoren, zur Wärmeübertragung notwendig. Abbildung 2 zeigt die Laboreinheit einer Schukey-Maschine mit den Ein- und Auslasskanälen in blau (links) und dem Versuchsaufbau am Prüfstand (rechts).

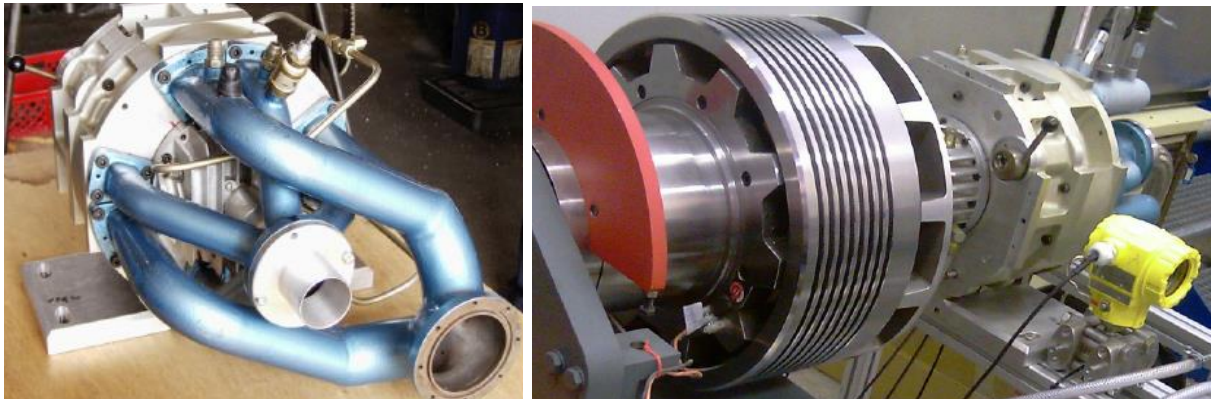


Abbildung 2: Laboreinheit Schukey-Motor im ausgebauten Zustand (links) und am Prüfstand (rechts), (Bergholter, 2009)

3 Das Projekt Micro-Trigeneration

Das Projekt „Micro-TRIGENERATION: Ökonomische und ökologische Mikro-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) basierend auf der neuen Schukey-Technologie“ mit einem Projektvolumen von ca. 1,5 Mio. EUR, wird im 7. EU-Rahmenprogramm „Research for the benefit of SMEs“ durch die Europäische Kommission im Ausmaß von 1,1 Mio. EUR gefördert. Der Projektstart erfolgte am 1.10.2013 und die Laufzeit beträgt 30 Monate.

Vorrangiges Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Anwendung einer kompakten Test-Kombianlage für die Produktion von Strom, Wärme und Kälte im kleineren Leistungsbereich. Über das internationale Konsortium, bestehend aus 2 Forschungseinrichtungen und 3 Klein- und Mittelbetrieben, soll die Schukey-Technologie zur Marktreife gebracht werden.

Projektpartner sind: 4ward Energy Research GmbH, Hochschule Hannover, THERMODYNA Maschinen- und Anlagen GmbH, LEA GmbH, Energy Changes Projektentwicklungs GmbH.

3.1 Zielsetzung

Es soll eine einfache, standardisierbare, wirtschaftliche und praxisgerechte Lösung erarbeitet werden. Weiters zielt das Projekt darauf ab, dass kurzfristig spezifische Stromgestehungskosten im Bereich der Netzparität erreicht werden, langfristig sollen diese darunter liegen. Schließlich sollen auch Handlungsempfehlungen für Weiterentwicklungs- und Verbesserungsmöglichkeiten, Barrieren sowie Probleme abgeleitet werden.

- Einfacher technischer System-Lösungsansatz für die Realisierung und Integration von Mikro-KWKK-Anlagen auf Basis der Schukey-Technologie.
- Entwickelte / adaptierte Komponenten und Steuerprogramme.
- Schnittstellenkonformität zwischen den eingesetzten Komponenten / Technologien und den übergeordneten Systemen.
- Erste Testanwendungserfahrungen inklusive Barrieren, Erfolgsfaktoren und Handlungsempfehlungen.

3.2 Methodik

Für die effiziente Erreichung der geplanten Ziele wird auf eine inhaltlich solide und multidisziplinäre Methodik gesetzt. Anfänglich erfolgt die Ermittlung der Ausgangssituation (Benutzeranforderungen, Technologie-bezogene Rahmenbedingungen und Marktfragen unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus früheren Projekten), um eine zuverlässige Basis mit Schwerpunkt auf den Markt für die weitere Projektarbeit zu erreichen. Anschließend wird ein sicheres technisches Konzept und Design erarbeitet, um optimierte Verfahren für die Demonstration zu garantieren. Adressiert werden alle technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekte in Bezug auf die Demonstration der Mikro-Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung und der anschließenden Validierung. Begleitend erfolgt eine Überwachung durch Methoden der Leistungsbewertung für Qualitätssicherungsmaßnahmen und die Integration der Ergebnisse aus Demo-Sites in die weitere Entwicklung des Produktes.

3.3 Geplante Ergebnisse

- Einfacher technischer System-Lösungsansatz für die Realisierung und Integration von Mikro-KWKK-Anlagen auf Basis der Schukey-Technologie.
- Entwickelte / adaptierte Komponenten und Steuerprogramme.
- Schnittstellenkonformität zwischen den eingesetzten Komponenten / Technologien und den übergeordneten Systemen.
- Erste Testanwendungserfahrungen inklusive Barrieren, Erfolgsfaktoren und Handlungsempfehlungen

4 Konzeptionierung des Schukey Motors als Micro-KWKK

4.1 Einsatzszenarien

Grundsätzlich kann der Schukey-Motor als Wärmekraftmaschine sowie als Kühleinheit eingesetzt werden. Das Antriebsmedium für ersteren Einsatz (überhitzter Dampf) kann von allen stationären und instationären Wärmequellen von über 120 °C bereitgestellt werden (z.B.: durch Vakuum-Röhrenkollektoren, Abwärme aus Abgasen, Heizungsanlagen etc.). Damit ist der Betrieb eines elektrischen Generators oder einer zweiten Schukey-Maschine als Kühleinheit möglich. Betrieben mit einem Elektromotor oder einer anderen mechanischen Energiequelle, fungiert der Schukey-Motor als Kälteerzeuger für die direkte Kühlung der Umgebungsluft. Mögliche Einsatzszenarien könnten sein:

- BHKW: Abwärmenutzung aus Kolbenmaschinen oder Gasturbinen, wobei die Effizienz von Gasturbinen hiermit um ein Wesentliches gesteigert werden kann.
- Mobile Anwendungen: Abgaswärmeverstromung in Schiffen, Diesellokomotiven oder LKWs. Nutzung der elektrischen Energie für Zusatzantrieb, Bordnetz oder Kühlcontainer möglich, Kühlung in Fahrzeugen wie Zuggarnituren oder PKW.
- Solare Kraft-Wärme-Kopplung: Mit Solaranlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern, mit Überschusswärme aus Heizwerken mit Solarunterstützung.

- Solare Kühlung in Gebäuden: Solarthermie zum mechanischen Schukey Betrieb einer Schukey Kühlung, Photovoltaik zum elektrischen Betrieb einer Schukey Kühlung.

4.2 Thermodynamische Simulation Schukey-Motor

Über eine erste thermodynamische Auslegung des Schukey-Prozesses im Simulationstool CemCAD können erste Aussagen über den möglichen thermischen Wirkungsgrad in einem ein- und zweistufigen Prozess gemacht werden. Die Randbedingungen dazu sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Randbedingungen der Simulation

Dampfmassenstrom	100 kg/h
Dampfgehalt nach der Schukey-Maschine	min. 0,90
Expansionsverhältnis	$V_{\text{aus}} / V_{\text{ein}} = 6$
Isentroper Wirkungsgrad	0,88
Einstellung Expander	adiabat

Der minimale Dampfgehalt des Arbeitsmediums am Austritt der Schukey-Maschine wurde mit 0,9 festgelegt, da noch keine tiefergehenden Betriebserfahrungen mit einem erhöhten Wassergehalt in der Maschine vorliegen. Wirkungsgrade, bei denen dieser Wert unterschritten wird, werden nicht berücksichtigt. In Abbildung 3 sind Ergebnisse der Simulation dargestellt, wobei der thermische Wirkungsgrad über die Temperatur des Prozesses aufgetragen ist und der Systemdruck variiert wird. Die Ergebnisse zeigen einen theoretischen Wirkungsgrad im einstufigen Betrieb von rund 11 bis 15,5 % und bei zweistufigem Betrieb von rund 19,5 bis 24 %. Diese Werte sind noch als grobe Anhaltspunkte zu betrachten und werden vorerst für überschlägige Systembetrachtungen verwendet. Für genauere Daten wird auf die Ergebnisse der im Projektverlauf noch folgenden Prüfstanduntersuchungen verwiesen.

Zu erkennen ist, dass die Veränderung der Mediumtemperatur einen wesentlich deutlicheren Einfluss auf den Wirkungsgrad ausübt, als der Systemdruck. Dadurch können erste wichtige Erkenntnisse für die Konzeption des Systems abgeleitet werden. In der Auslegung ist demnach eine hohe Prozesstemperatur einem hohen Systemdruck vorzuziehen. Bei der technischen und wirtschaftlichen Gegenüberstellung der Systemkomponenten kann daraus in weiterer Folge ein Kosten / Nutzen Optimum erarbeitet werden.

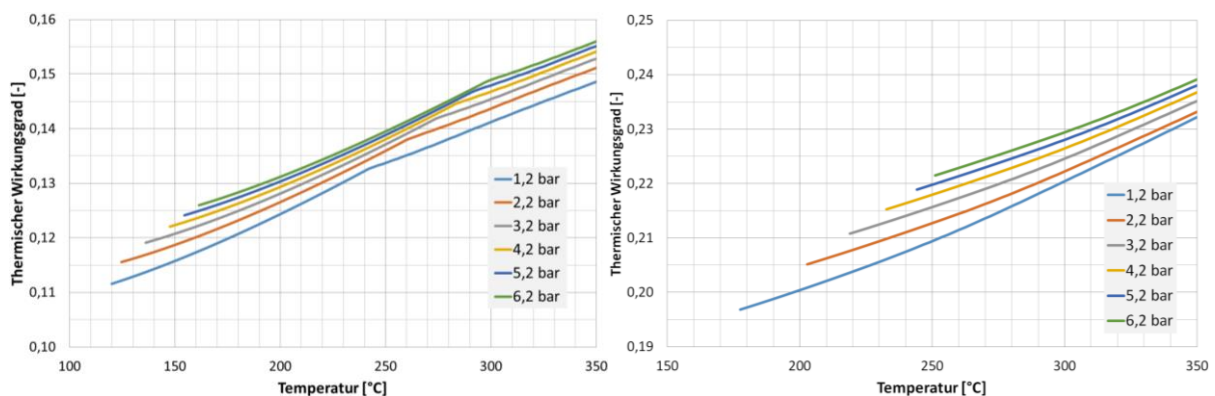


Abbildung 3: CemCAD Simulation: Einfluss der Temperatur auf den thermischen Wirkungsgrad bei Variation des Systemdrucks, einstufiger (links) und zweistufiger Betrieb (rechts)

4.3 Stromerzeugung durch Abgaswärmerückgewinnung

Das erste analysierte Einsatzszenario des Schukey Systems ist ein mit einer Kolbenmaschine betriebenes Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Ausgangsleistung von 400 kW. Diese ottomotorisch arbeitende Maschine wird mit Biogas betrieben und liefert ihre mechanische Leistung an einen Asynchrongenerator wobei ein Anteil von 21 % der Kraftstoffleistung über das Abgas abgegeben wird. Ein mehrstufiger Dampfgenerator mit Verdampfer und Überhitzer versorgt den Schukey Kreislauf mit überhitztem Frischdampf von 1,2 bar und 300°C. Im Schukey Motor wird diese Energie mit einem theoretischen Wirkungsgrad von 14,2 % im einstufigen Prozess in mechanische Wellenleistung umgesetzt. Ein Asynchrongenerator setzt diese mechanische Leistung in elektrischen Strom um, welche in einem geeigneten Wechselrichter in für das Versorgungsnetz passende Spannung und Frequenz gewandelt wird. Im Dampfkreislauf des Schukey Systems erfolgt die Abfuhr der Restwärme über einen Kondensator und anschließend die Druckerhöhung auf die Vorlaufbedingungen mit Hilfe einer Speisewasserpumpe. Das Systemschaltbild dieses Prozesses ist in Abbildung 4 dargestellt.

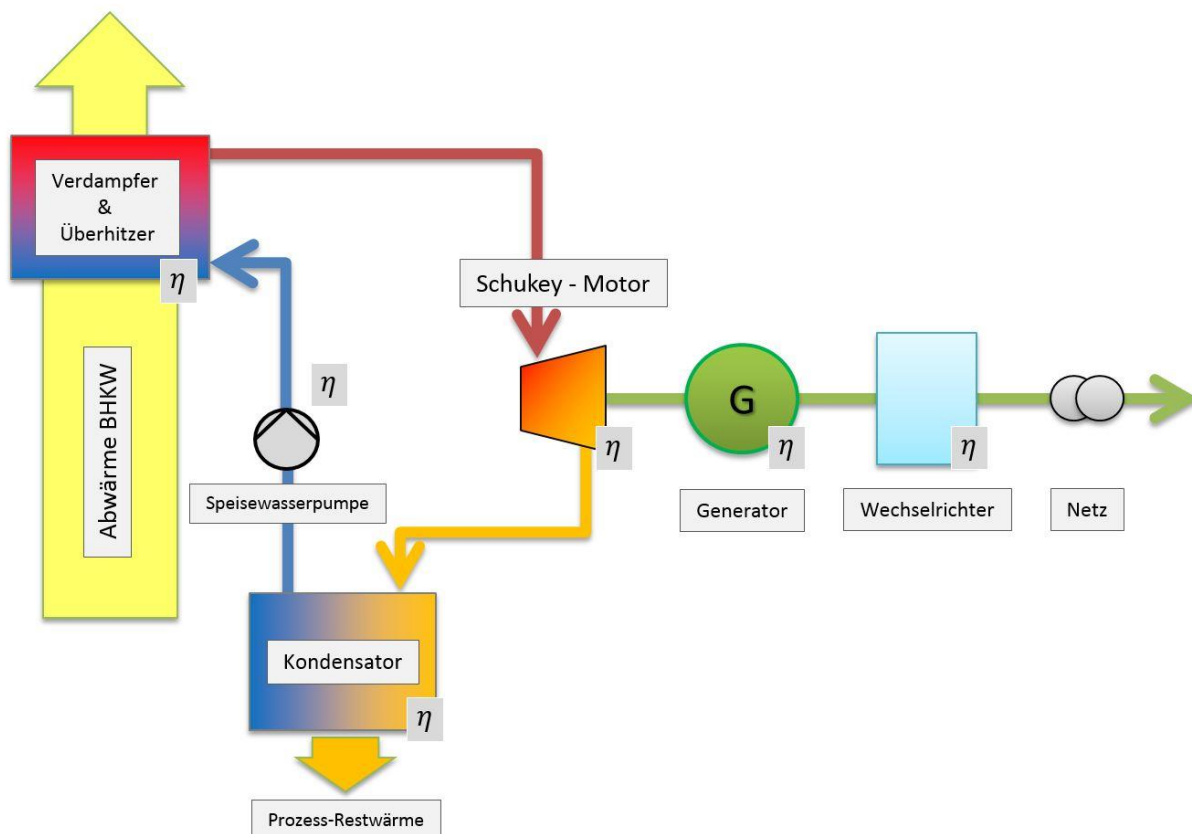


Abbildung 4: Mögliche Systemzusammenstellung für die Abgaswärmerückgewinnung in einem BHKW

In Tabelle 2 ist die theoretische Berechnung eines Schukey Systems in einem Abgaskreislauf eines Blockheizkraftwerks aufgelistet. Die Wirkungsgrade der beteiligten Systemkomponenten entsprechen Herstellerangaben oder Werten aus der Literatur. Bei einem BHKW mit Kolbenmotor und Biogasfeuerung werden aus 949 kW Kraftstoffleistung 400 kW elektrische Leistung erzeugt. Dabei wird 204 kW an das Abgas abgegeben und steht dem Schukey

Kreislauf als Energiequelle zur Verfügung. Bei Frischdampfbedingungen von 1,2 bar und 300°C arbeitet der Schukey Motor im einstufigen Betrieb mit einem theoretischen Wirkungsgrad von 14,2 %. Mit den Wirkungsgraden von Generator und Wechselrichter und abzüglich der für die Speisewasserpumpe benötigten elektrischen Energie, liefert das Schukey System in dieser Konfiguration eine elektrische Ausgangsleistung von 22 kW. Was eine Steigerung der Gesamtleistung der Anlage um 5,5 % zur Folge hat und eine Wirkungsgradsteigerung von rund 2,3 % bedeutet.

Tabelle 2: Berechnung des BHKW Systems

949	Kraftstoffleistung [kW]
0.44	Mechanischer Wirkungsgrad Motor [-]
420	Mechanische Motorleistung [kW]
21	Anteil in der Abgasenergie [%]
204	Anteil in der Abgasenergie [kW]
0.9	Wirkungsgrad Verdampfereinheit [-]
183.6	Dampfleistung [kW]
300	Dampftemperatur [°C]
0.142	Schukey Motor Wirkungsgrad einstufig [-]
26.0	Mechanische Leistung Schukey Motor [kW]
0.90	Wirkungsgrad Generator [-]
0.95	Wirkungsgrad Wechselrichter [-]
0.1	Elektrische Leistung Speisewasserpumpe [kW]
22.0	Elektrische Leistung Schukey - System [kW]
42,1	Elektrischer Wirkungsgrad BHKW [%]
400	Elektrische Leistung BHKW [kW]
5.5	Anteil Schukey System an der Gesamtleistung [%]
2,3	Wirkungsgradsteigerung mit Schukey System [%]

4.4 Wärme-, Kälte- und Stromgewinnung in Gebäuden

Wenn nun der Gebäudebereich als Einsatzszenario näher betrachtet wird, können verschiedene mögliche Systemkonfigurationen abgeleitet werden. Das Beispiel eines Kombinationssystems für die Wärme-, Kälte- und Stromgewinnung ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei erfolgt die primäre Energiegewinnung über eine solarthermische Anlage des Gebäudes in einem geschlossenen Kreislauf der Solaranlage, welche mit verschiedenen Flüssigkeiten wie z.B. Thermoöl betrieben werden kann. Mögliche Kollektorkonfigurationen bestehen dabei aus Flach- oder CPC Kollektoren in Kombination mit einem Parabolrinnenspiegel als Überhitzereinheit. In einem sekundären Kreislauf wird überhitzter Dampf zur Verfügung gestellt und in einer Kombination von Schukey-Motor und elektrischem Generator verstromt. Zur Klimatisierung des Gebäudes kann optional eine weitere Schukey-

Maschine als Kältegenerator an den sekundären Kreislauf gekoppelt werden. Die Kondensationsabwärme des Schukey-Prozesses wird in weiterer Folge für die Bereitstellung von Heiz- und Warmwasser im Gebäude verwendet.

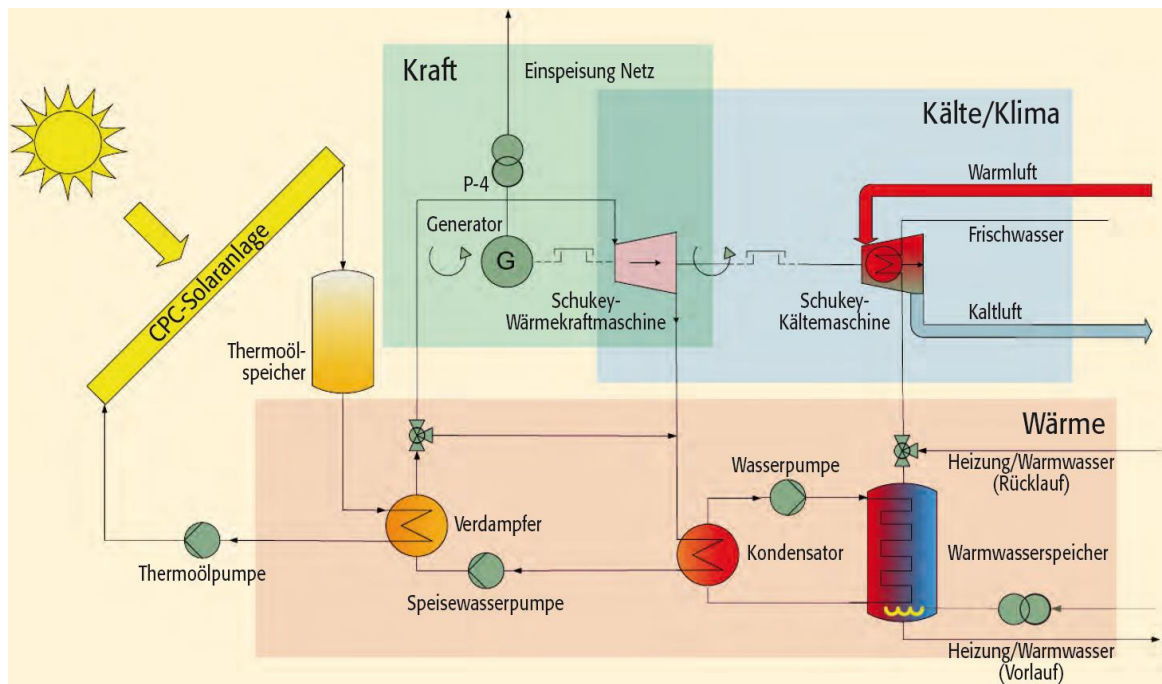


Abbildung 5: Zusammenstellungsvariante für ein solar-thermisches Kombinationssystem, (Bergholter, 2009)

Für die Region München betrug die durchschnittliche Sonnenscheindauer 1746 Stunden, gemessen in der Zeitspanne von 1981 - 2010 an der Wetterstation München Flughafen. Weiters wurde eine durchschnittliche Jahressumme der Globalstrahlung von rund 1220 kWh/m² im Raum München im Zeitraum 2009 – 2013 ermittelt. (Deutscher Wetterdienst, 2013 & 2014) Mit diesen Daten kann eine durchschnittlich solare Einstrahlungsleistung von rund 700 W/m² errechnet und für die in Tabelle 3 dargestellte Wirkungsgradaufstellung verwendet werden. Die in der thermodynamischen Simulation für einen zweistufigen Schukey Motor erstellten Wirkungsgradverläufe sind über eine polynomische Annäherung bezogen auf die Prozesstemperatur in die Berechnung eingebunden.

Tabelle 3: Berechnung des solar thermalen Systems mit Überhitzereinheit für durchschnittliche Solarstrahlung

Flachkollektor + Überhitzer	Vakuümrohrenkollektor + Überhitzer	
20	20	Solarfläche 1. Stufe [m ²]
3,5	3,5	Solarfläche 2. Stufe [m ²]
700	700	Horizontale Globalstrahlung [W/m ²]
30	30	Neigungswinkel der Kollektoren [°]
808	808	Solarstrahlung auf die Absorber [W/m ²]
100	120	Austrittstemperatur 1. Stufe [°C]
0,41	0,62	Wirkungsgrad 1. Stufe [-]
331	501	Absorberleistung 1. Stufe [kW/m ²]

300	300	Austrittstemperatur 2. Stufe [°C]
0,7	0,7	Wirkungsgrad 2. Stufe [-]
566	566	Absorberleistung 2. Stufe [kW/m ²]
8,6	12,0	Gesamte solarthermische Leistung[kW]
0,98	0,98	Wirkungsgrad Wärmetauscher[-]
8,4	11,8	Dampfleistung [kW]
0,22	0,22	Schukey-Motor Wirkungsgrad zweistufig[-]
1,86	2,59	Mechanische Leistung Schukey - Motor[kW]
0,8	0,8	Wirkungsgrad Generator [-]
0,95	0,95	Wirkungsgrad Wechselrichter [-]
1,4	2,0	Elektrische Leistung Schukey - System [kW]

Tabelle 3 zeigt das Berechnungsbeispiel für ein Einfamilienhaus mit dem oben beschriebenen Mittelwert der solaren Einstrahlungsleistung für Mitteleuropa. Gegenübergestellt werden dabei Systeme mit Flach- und bzw. CPC Kollektoren mit jeweils einem Parabolrinnenspiegel als Überhitzereinheit. Für die Aufstellung der Flachkollektoren wurde die Ausrichtung Süd und eine Neigung von 30° angenommen. Für eine durchschnittliche Einstrahlungsleistung von 700 W/m², welche in etwa die Übergangszeit repräsentiert, kann bei der CPC Konfiguration am Systemausgang eine elektrische Leistung von rund 2 kW und eine thermische Restleistung von rund 10 kW erwartet werden. Das mechanische Leistungspotential der Schukey Maschine liegt dabei bei rund 2,6 kW und die elektrische Ausgangsleistung bei 2 kW.

Bei der Annahme der maximalen Einstrahlungsleistung von 1000 W/m² in den Sommermonaten ergeben sich die Werte 3,7 kW mechanisch, 2,8 kW elektrisch und 14 kW thermisch. Wird von minimalen Strahlungsleistungen im Bereich von 150 W/m² der Wintermonate ausgegangen, errechnen sich die Werte 0,56 kW mechanisch, 0,42 kW elektrisch und 2,1 kW thermisch.

5 Schlussfolgerung, Zusammenfassung

Die im Szenario mit einem Blockheizkraftwerk gezeigte, theoretisch mögliche Leistungsfähigkeit des Schukey Systems bringt eine signifikante Wirkungsgradsteigerung des BHKW's mit sich und trägt somit zu einem guten Teil zur Effizienzsteigerung dieser Anlage bei. Stromerzeuger welche mit Gasturbinen betrieben werden, könnten dadurch den Nachteil des klar geringeren Wirkungsgrades durch ein nachgeschaltetes Schukey System wieder wettmachen und die gegebenen Vorteile einer Gasturbine zur Gänze ausschöpfen.

Je nach Konzeption kann das im Gebäude-Beispiel gezeigte Schukey System für verschiedene Zielgrößen ausgelegt werden. Einerseits ist es möglich, die Anlage größer zu dimensionieren, um in den solaren Spitzenzeiten ausreichend Kälte bei gleichbleibender Stromproduktion zur Verfügung stellen zu können. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass in den Wintermonaten noch ausreichend thermische Leistung zur Verfügung steht, um das Gebäude mit Wärme zu versorgen. Andererseits kann die Anlage kostengünstiger geplant und die produzierte Leistung dabei intelligent zwischen der Stromproduktion, der Gebäudekühlung und dem Wärmebedarf geregelt werden.

Die weitere Arbeit im Projektverlauf wird zeigen, wie sich die Eigenschaften des Schukey Motors im Prüfstandbetrieb darstellen und ob das Potential dieser Technologie im realen Einsatz in Testanwendungen wiedergegeben werden kann.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern ganz herzlich für die Zusammenarbeit. Des Weiteren bei der Energy Economics Group der Technischen Universität Wien für die Organisation dieses Kongresses.



Dieses Projekt wird mit Mitteln der Europäischen Union finanziert.

Literatur

- Bergholter V.(2009): Neue Möglichkeiten für die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, EuroHeat&Power Nr.10/2009
- Deutscher Wetterdienst (2013): Sonnenscheindauer langjährige Mittelwerte 1981 - 2010, <http://www.dwd.de/>, abgerufen 05/2014
- Deutscher Wetterdienst (2014): Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland Jahressummen, <http://www.dwd.de/>, abgerufen 05/2014
- Dittmann A.(1995): Gutachten zum Projekt „Delta-Omega-Aggregat“, Technische Universität Dresden, Institut für Thermodynamik und technische Gebäudeausrüstung, 7/1995
- Röben K.W.(2001): Thermodynamische Beurteilung der D/O-Maschine zur Rest- und Solarwärmenutzung, Fachhochschule Hamburg
- Schukey J. (1999): Rotary piston machine, Patent-Nr. EP 0 945 592 A1, Europäisches Patentamt 09/1999

Kontakt Daten Autoren

DI Hermann Edtmayer

Reininghausstrasse 13a/EG/17

8020 Graz

Email: hermann.edtmayer@4wardenergy.at

DI DI(FH) Martin Schloffer

Reininghausstrasse 13a/EG/17

8020 Graz

Email: martin.schloffer@4wardenergy.at

Evelyn Lang MSc.

Reininghausstrasse 13a/EG/17

8020 Graz

Email: evelyn.lang@4wardenergy.at