

Abschlussbericht

für den

**Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz
badenova AG & Co. KG**

für das Projekt

**ZukunftsTech
Innovative Techniken an den Gewerbeschulen II und III
Projektnummer 2003-12**

**Projektleitung
Wolfram Schmidt / Martin Barnsteiner**



Inhaltsverzeichnis

1	Projektbeschreibung.....	3
1.1	Einführung	3
1.2	Beschreibung der Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen im Schulungsheizraum	3
2	Hydraulische Einbindung	4
2.1	Pellets- und Hackschnitzelkessel.....	4
2.2	Klein-BHKWs und Stirlingmotor.....	5
2.3	Pufferspeicher.....	6
3	Bilder der Anlage.....	7
3.1	Pellets- und Hackschnitzelkessel.....	7
3.2	Pellets- und Hackschnitzellager	7
3.3	Klein-BHKWs und Stirlingmotor.....	8
3.4	Pufferspeicher und Hauptverteiler.....	9
3.5	Schulungsraum	10
4	Reduzierungspotenzial von Klima schädigenden Stoffen und Luftschadstoffen	11
4.1	Reduzierung der CO ₂ -Emission bei der Kraft-Wärme-Kopplung.....	11
4.2	Reduzierung der CO ₂ -Emission durch den Pellets- und Hackschnitzelkessel	11
5	Betriebsergebnisse und Ausblick in die Zukunft.....	12

1 Projektbeschreibung

1.1 Einführung

badenovaWÄRMEPLUS betreibt in ca. 50 der insgesamt über 140 Wärmeerzeugungsanlagen Blockheizkraftwerke zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom. Ferner betreibt badenovaWÄRMEPLUS mehrere Pellets- und Hackschnitzelanlagen, die teilweise in Nahwärmenetze eingebunden sind.

Im Rahmen einer EU-Ausschreibung hat badenovaWÄRMEPLUS von der Stadt Freiburg den Auftrag erhalten, die Richard-Fehrenbach- und Walter-Rathenau Gewerbeschule vom Heizkraftwerk Stadttheater über das Fernwärmenetz der Innenstadt zu versorgen und hierfür die bestehende Wärmeversorgung in der Gewerbeschule entsprechend umzubauen. Neben der Fernwärmeversorgung wurde auch der Bau und Betrieb des Schulungszentrums für unterschiedliche Wärme- und Stromerzeugungsanlagen von badenovaWÄRMEPLUS übernommen.

Das Ziel des Projektes ist es, diese neue Technologie zu testen, Erfahrungen im Betrieb zu sammeln und die Betriebsergebnisse den Schülern und einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Auch die Handwerksinnung soll das Schulungszentrum zur Fort- und Weiterbildung nutzen. Das allgemeine Interesse an den innovativen Anlagen ist sehr hoch.

1.2 Beschreibung der Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen im Schulungsheizraum

Das Schulungszentrum für umweltfreundliche Technologien wurde im Sommer 2006 in den Gewerbeschulen Walter-Rathenau und Richard-Fehrenbach in Freiburg in dem ehemaligen Heizraum errichtet.

In dem hierfür speziell gestalteten Heizraum sind zwei mit Erdgas betriebene Klein-BHKWs, ein Stirlingmotor auf Erdgasbasis, ein Pellets- und ein Holzhackschnitzelkessel installiert. Im Folgenden sind die technischen Daten kurz zusammengestellt:

Anlage	th. Leistung	el. Leistung	Hersteller	Typ
Stirlingmotor	8,0 – 22,0 kW	2,0 – 7,5 kW	Solo	Solo161
Klein-BHKW	12,5 kW	5,5 kW	Senertec	Dachs
Klein-BHKW	4,0 – 12,5 kW	1,3 – 4,7 kW	PowerPlus	Ecopower
Pelletsessel	7,5 – 25,0 kW		HDG	Pelletmaster 25
Hackschnitzelkessel	30,0 – 100,0 kW		HDG	Compact 100

Die Anlagen sind im Dauerbetrieb und mit dem Wärmenetz der Schulen verbunden. Ca. 15 % des Wärmebedarfs der Schulen werden durch die Anlagen im Schulungsraum gedeckt, der Rest kommt über die Fernwärme vom Heizkraftwerk Stadttheater.

Zwei Pufferspeicher mit jeweils 4.000 ltr. Volumen können die Wärme der einzelnen Wärmeerzeuger aufnehmen und erlauben ein Testen und Vermessen, auch wenn in diesem Moment keine Wärmeabnahme im Gebäude vorhanden ist.

Die Anlagen sind mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet und können von den Schülern vermessen werden. Anhand der Aufzeichnungen werden Auswertungen vorgenommen und die Betriebsweise der einzelnen Anlagen optimiert.

Im nebenan liegenden Schulungsraum, der auch für Besichtigungsgruppen, Vorträge und Schulunterricht genutzt wird, sind entsprechende Monitore, Rechner, Schautafeln und ein Beamer für Präsentationen vorhanden.

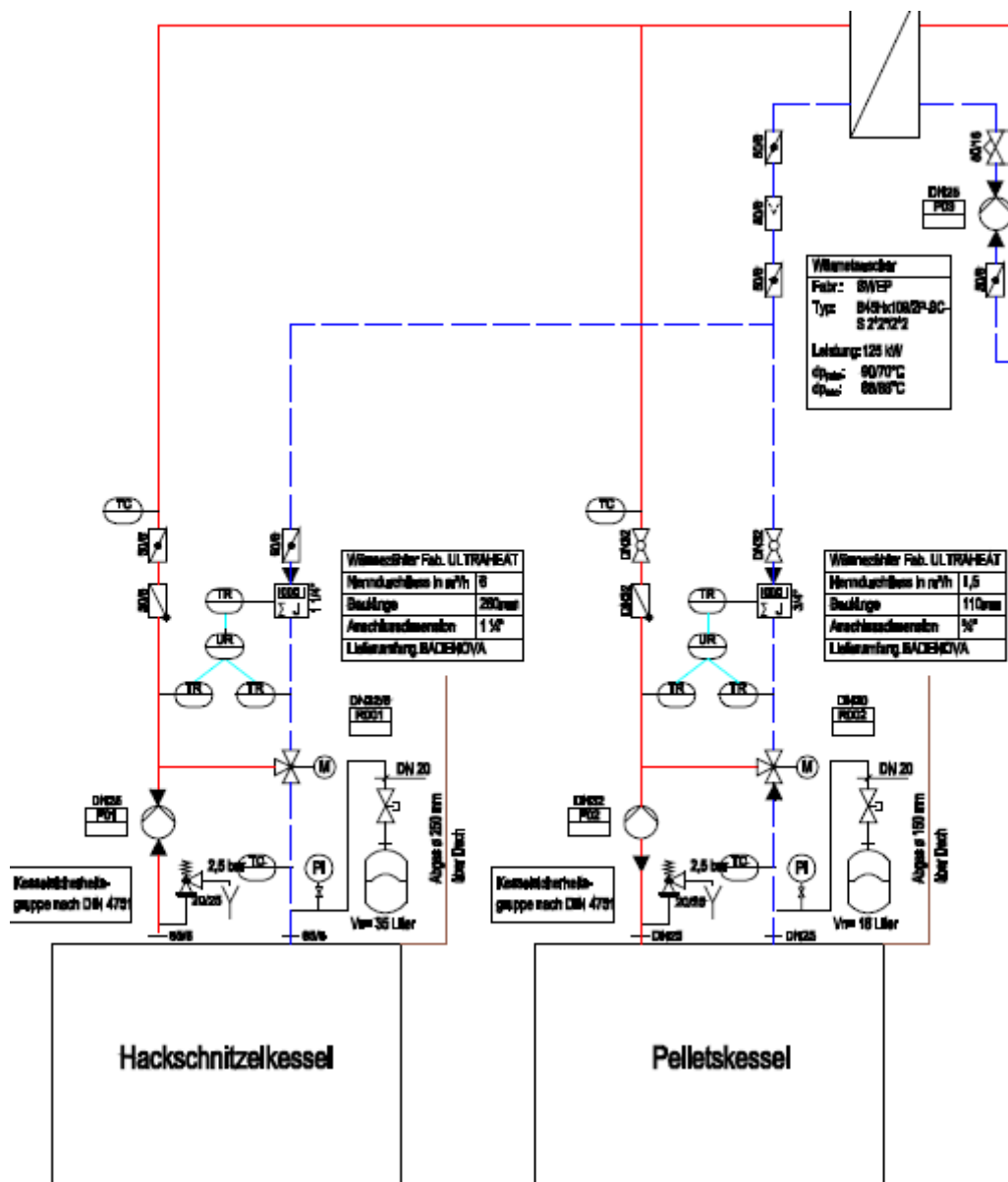
2 Hydraulische Einbindung

Die Anlage wurde vom Ingenieurbüro Meier aus Kirchzarten geplant und von der Fa. Imtech, Niederlassung Freiburg gebaut. Die Fernwärmeleitung vom Heizkraftwerk Stadttheater wurde von der Fa. Klumpp aus Offenburg gebaut.

2.1 Pellets- und Hackschnitzelkessel

Aufgrund der Gebäudehöhe der Schule ist ein Anlagendruck von 3,5 bar erforderlich. Der maximal zulässige Betriebsdruck für die Holzessel beträgt aber nur 2,5 bar. Aus diesem Grund wurden die beiden Holzessel über einen Platten-Wärmetauscher (im Schema oben rechts dargestellt) hydraulische vom restlichen Netz des Gebäudes getrennt. Die hydraulische Trennung erfordert auf der Sekundärseite des Wärmetauschers eine Pumpe, die das Heizungswasser zu den beiden Pufferspeichern fördert.

Um mögliche Korrosionsschäden, verursacht durch eine Abgaskondensation im Heizkessel, zu vermeiden, verfügen beide Heizkessel über eine Rücklaufanhebung mittels Drei-Wege-Ventil.

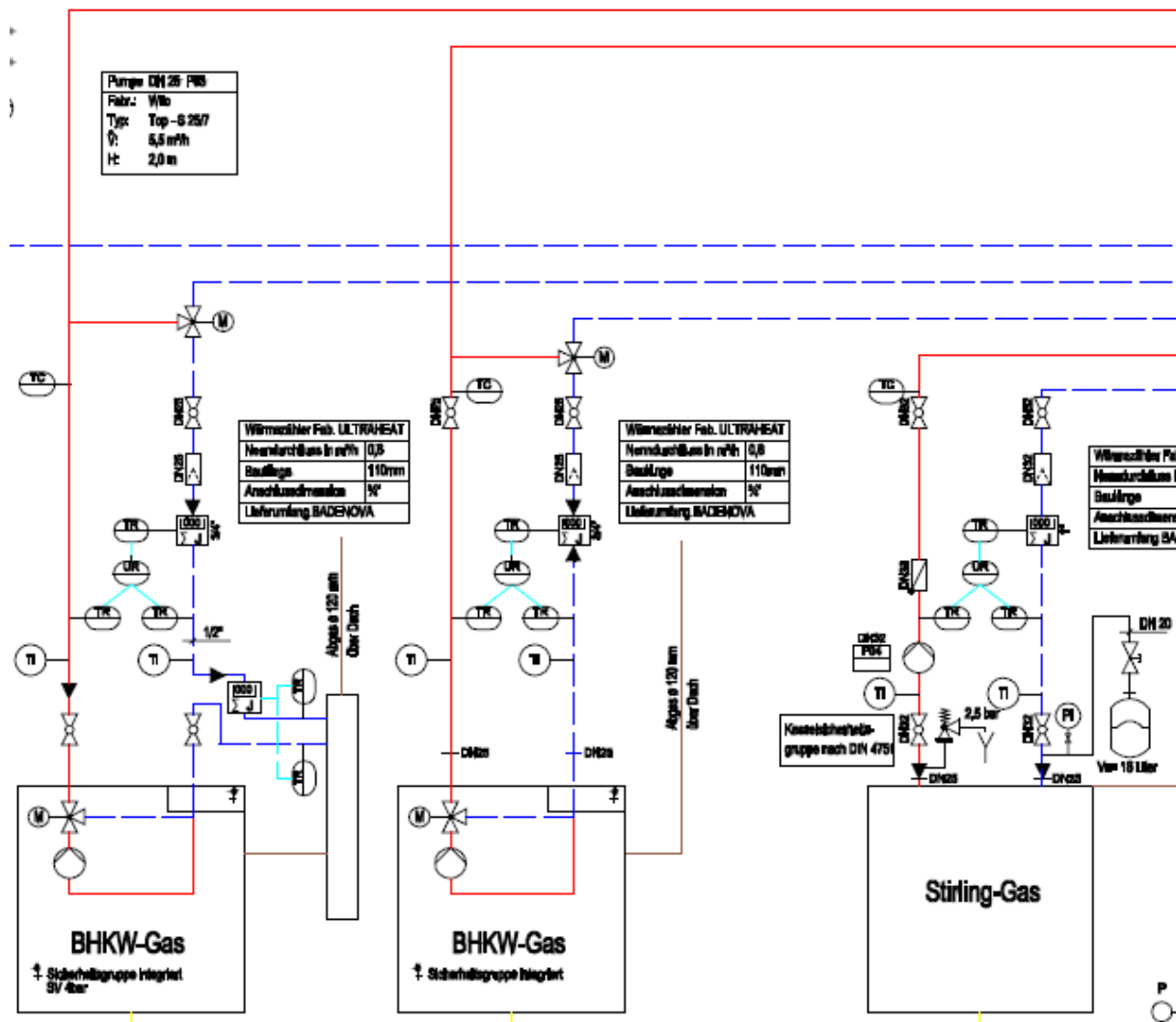


2.2 Klein-BHKWs und Stirlingmotor

Bei den drei BHKWs ist ein Betriebsdruck von 4 bar möglich, wodurch sie direkt in das Heizungsnetz des Gebäudes eingebunden werden konnten. Sie sind parallel an die beiden Pufferspeicher angeschlossen.

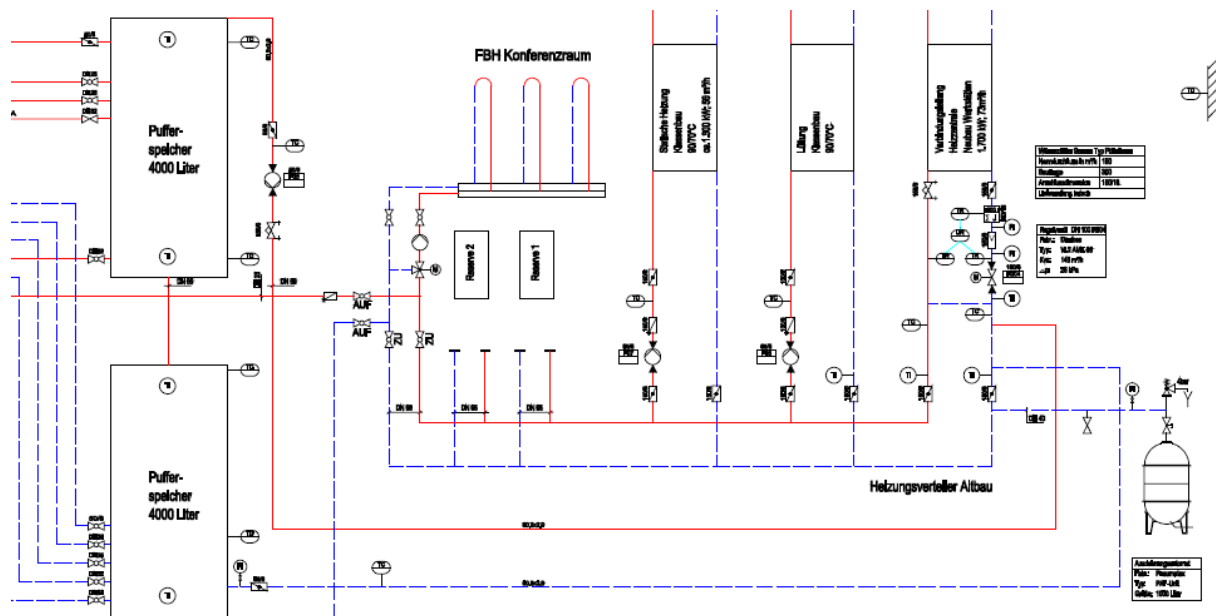
Zur Simulation des Teillastverhaltens wurde beim Senertec- und Ecopower-BHKW extern jeweils eine Rücklaufanhebung installiert. Durch Vorlaufbeimischung über ein Drei-Wege-Ventil kann die Rücklauftemperatur manuell angehoben werden.

Das Senertec-BHKW (im Schema links dargestellt) verfügt über einen nachgeschalteten Brennwert-Wärmetauscher in der Abgasleitung. Es wurde ein zweiter Wärmemengenzähler installiert, der den Wärmeentzug aus dem Brennwert-Wärmetauscher erfasst. Das Ecopower-BHKW (im Schema in der Mitte dargestellt) und der Stirlingmotor verfügen über interne Brennwert-Wärmetauscher.



2.3 Pufferspeicher

Hydraulisch sind die beiden Pufferspeicher in Reihe geschaltet und in den Rücklauf der Schule eingebunden. Der Heizungsrücklauf wird am Verteiler entnommen und zum Pufferspeicher mit den Rücklaufanschlüssen der Wärmeerzeuger geführt (im Schema der unten dargestellte Speicher). Der Vorlauf wird aus dem Pufferspeicher mit den Vorlaufanschlüssen der Wärmeerzeuger (im Schema der oben dargestellte Speicher) entnommen und in den Rücklauf zur Fernwärmeübergabestation geführt (im Schema rechts dargestellt).



Für die Anlagen steht dadurch immer ein möglichst niedriges Temperaturniveau zur Wärmeabgabe zu Verfügung, was für den Betrieb der Anlagen optimal ist. Sollte die obere Puffertemperatur über dem erforderlichen Vorlaufniveau am Hauptverteiler liegen, schießt ein Motorventil (im Schema rechts dargestellt) den Rücklauf zur Fernwärmeübergabestation und das heiße Wasser aus dem Pufferspeicher gelangt über einen Bypass direkt in den Vorlauf am Hauptverteiler.

Da der Volumenstrom durch die Pufferspeicher aber sehr hoch ist, wird diese Temperatur so gut wie nie erreicht und der oben beschriebene Betriebszustand tritt nicht ein. Durch diese hydraulische Einbindung wird somit in der Regel der Rücklauf der Fernwärme angehoben, was wiederum für den Betrieb des Fernwärmenetzes nicht optimal ist.

3 Bilder der Anlage

3.1 Pellets- und Hackschnitzelkessel



Links: Pelletskessel, rechts: Hackschnitzelkessel

3.2 Pellets- und Hackschnitzellager



Pelletslager



Hackschnitzelbunker

3.3 Klein-BHKWs und Stirlingmotor



Links: Stirlingmotor, Mitte: ecopower-BHKW , rechts: Senertec-BHKW

3.4 Pufferspeicher und Hauptverteiler



Links: Puffer mit Rücklaufanschlüssen, rechts: Puffer mit Vorlaufanschlüssen

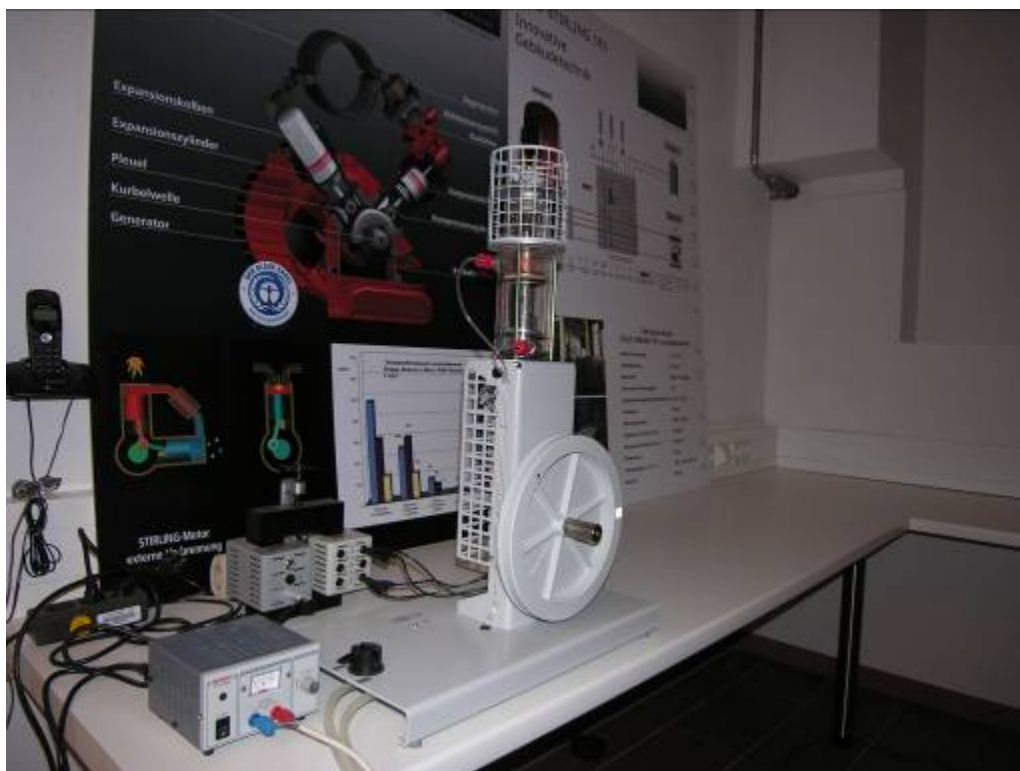


Links: Hauptverteiler, rechts: Schaltschrank

3.5 Schulungsraum



Schulungsraum



Funktionsfähiges Modell eines Stirlingmotors im Schulungsraum

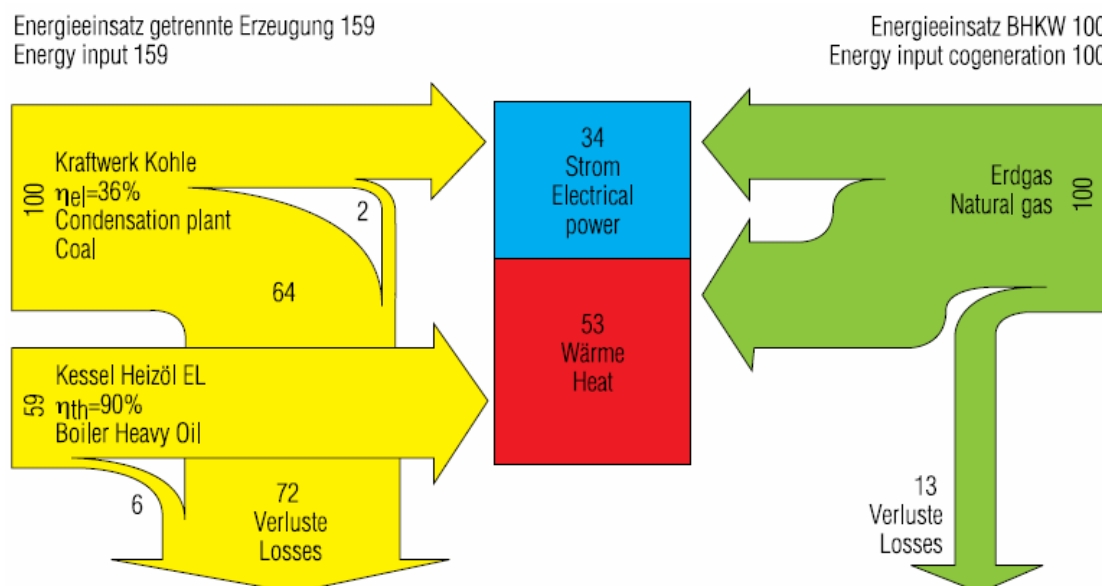
4 Reduzierungspotenzial von Klima schädigenden Stoffen und Luftschadstoffen

4.1 Reduzierung der CO₂-Emission bei der Kraft-Wärme-Kopplung

Die reine Stromerzeugung in Kraftwerken erreicht Wirkungsgrade von durchschnittlich 36 %. Beim Stromtransport zum Verbraucher entstehen zusätzliche Verluste in Höhe von ca. 2 %, d. h. nur 34 % des eingesetzten Brennstoffes kommen als elektrische Energie beim Endverbraucher an.

Ein Heizkessel arbeitet mit einem Jahresnutzungsgrad von etwa 90 %, d. h. 10 % der Energie gehen ungenutzt verloren, im Wesentlichen über das Abgas.

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die Wärme des Motors während der Stromerzeugung zu Heizzwecken genutzt. Moderne KWK-Anlagen erreichen Nutzungsgrade von 85 bis 90 % (im folgende Diagramm 87 %). Die Anlagen stehen dezentral vor Ort, wodurch der Verlust der Stromübertragung entfällt.



Um 34 Einheiten Strom und 53 Einheiten Wärme zu erzeugen müssen in der KWK-Anlage 100 Einheiten Primärenergie eingesetzt werden. Bei der getrennten Strom- und Wärmeproduktion hingegen sind es 159 Einheiten, wodurch die deutliche Primärenergieeinsparung der KWK ersichtlich wird.

Der hohe Verbrauch an Primärenergie und die damit verbundenen CO₂-Emission entsteht bei der Stromerzeugung. Je höher also bei der KWK der elektrische Wirkungsgrad ist, desto höher ist die Primärenergieeinsparung.

4.2 Reduzierung der CO₂-Emission durch den Pellets- und Hackschnitzelkessel

Bei der Verbrennung von Pellets oder Hackschnitzel entsteht zwar vor Ort eine CO₂-Emission, es wird aber lediglich die Menge an CO₂ freigesetzt, die der Baum zuvor beim Wachstum aus der Atmosphäre aufgenommen hat. Der Kohlenstoffkreislauf ist damit geschlossen.

Da bei der Herstellung der Pellets und der Hackschnitzel Energie für den Holzschlag, den Transport, die Holz Trocknung und das Herstellen der Pellets oder Hackschnitzel benötigt wird, ist die Wärmeerzeugung aus Holz nicht zu 100 % CO₂-neutral.

Laut der GEMIS-Datenbank vom Ökoinstitut liegt das CO₂-Äquivalent bei Pellets und Hackschnitzel bei ca. 32 g/kWh. Bei einer Erdgas-Brennwertheizung liegt das CO₂-Äquivalent bei 251 g/kWh, bei einer Ölheizung bei 374 g/kWh. Die CO₂-Emission reduziert sich bei der Wärmeerzeugung aus Holz also um ca. 90 %.

5 Betriebsergebnisse und Ausblick in die Zukunft

Die Anlage wurde wie geplant und im Rahmen der kalkulierten Kosten errichtet.

Die beiden Klein-BHKWs laufen in der Heizperiode nahezu ununterbrochen durch.

Beim Hackschnitzelkessel treten teilweise Problem mit der Hackschnitzelförderung auf. Größere Holzteile verkanten sich und führen dazu, dass der Motorschutzschalter der Förderschnecke auslöst. Da auch dieser Kessel in der Heizperiode nahezu mit Vollast durchläuft sind die Aschekörbe etwas zu klein und müssen sehr häufig geleert werden.

Beim Pelletskessel gibt es gehäuft Störungen durch Übertemperatur. Durch die erforderliche hydraulische Trennung mittels Wärmetauscher steigt die Temperatur im Primärkreis zu schnell und kann Störungen verursachen.

Am 19.04.2007 hat die Fa. Solo Stirling GmbH beim Amtsgericht Stuttgart den Insolvenzantrag eingereicht. Der Stirlingmotor war längere Zeit nicht in Betrieb, da eine Wartung fällig war aber nicht mehr ausgeführt werden konnte. Im Moment läuft der Stirlingmotor, da aber keine Ersatzteile mehr verfügbar sind, ist der Betrieb künftig fraglich.

Um die für die Fernwärmeversorgung ungünstige Anhebung der Rücklaufemperatur zu vermeiden wird überlegt die Anlage so umzubauen, dass die Wärme aus den beiden Pufferspeichern auch direkt in den Heizungsvorlauf der Schule eingespeist werden kann.

Im Sommer gibt es in den Schulen keinen Wärmebedarf und die Anlagen werden komplett abgestellt. Die benachbarte Gerhard-Graf-Sporthalle hat auch im Sommer einen Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung. Es wird überlegt, diesen durch die Anlagen im Schulungsraum zu decken, was aber hydraulisch nicht einfach und kostenintensiv ist.

Der Schulungsraum soll noch durch einheitlich gestaltete Schautafeln zu den einzelnen Wärme- und Stromerzeugern, zum Thema Kraft-Wärme-Kopplung und zum Brennstoff Holz ergänzt werden. Dies wird Anfang 2009 abgeschlossen sein.

Der Schulungsraum wurde in einem ebenfalls durch den Innovationsfonds geförderten Folgeprojekt im Sommer 2008 durch die Installation einer Brennstoffzelle erweitert. Anfang 2009 wird ein weiterer Stirlingmotor auf Erdgasbasis der Fa. WhisperGen zum Einsatz kommen. Das Fraunhofer ISE wird den Betrieb durch ein umfangreiches Monitoring überwachen und analysieren.