Sonderdruck 6199 VWEW Energieverlag GmbH: www.vwew.de JUL-AUG 2009 7-8

EURO Heat & Power

KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG ■ NAH-/FERNWÄRME ■ CONTRACTING

Prozesswärme für die Industrie

Dampflieferung für das Fürstentum Liechtenstein

Die Schweiz ist Weltmeister in der thermischen Müllentsorgung. Insgesamt 29 Verbrennungsanlagen – in der Schweiz Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) genannt – entsorgen jährlich rd. 3,7 Mio. t Haus- und Gewerbeabfall. Betreiber dieser Kehrichtverbrennungsanlagen sind industrielle Betriebe der Großtädte, Zweckverbände der Gemeinden und ein Verein für Abfallentsorgung in Buchs SG.

Im Juni 2009 ist die Ferndampfleitung von der KVA Buchs SG zu den Industriebetrieben in Schaan und Bendern im Fürstentum Liechtenstein in Betrieb genommen worden. Bislang weisen lediglich 8 solcher Anlagen in der Schweiz einen Gesamtenergienutzungsgrad von mehr als 45 % der Brennstoffwärme für Stromerzeugung und Fernwärmeabgabe auf. Mit der Inbetriebnahme wird jetzt zusätzlich Prozesswärme aus der KVA Buchs für die Industriebetriebe Ospelt, Hilcona und Milchhof in Liechtenstein geliefert. Als ökologisch, ökonomisch und nachhaltig sinnvoll bezeichnet der Wirtschaftsminister des Fürstentums Liechtenstein, Dr. *Martin Meyer*, das Projekt.

Bereits am 26. April 2009 wurde die neue Rheinbrücke zwischen der Schweiz und Liechtenstein als Energie-, Fußgänger- und Radfahrbrücke eingeweiht (*Bild 1*). Auf der Brücke installiert sind drei Energieleitungen: eine Dampfleitung DN 350 mm, eine Kondensatleitung DN 125 mm, vom Bauherrn, dem Verein für Abfallentsorgung (VfA), Buchs, sowie eine Gasleitung DN 200 mm von der liechtensteinischen Gasversorgung.

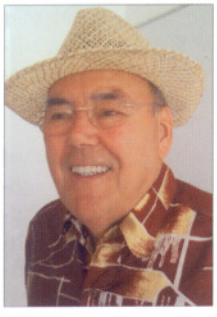
In einer Machbarkeitsstudie vom April 2007 des VfA Buchs ist das Projekt für die Lieferung von Prozessdampf umschrieben und von der Delegiertenversammlung im Mai 2007 bewilligt worden. Anfang Januar 2008 wurde ein wesentlicher Projektteil, nämlich die Energie-Radfahr- und Fußgängerbrücke über den Rhein von den Behörden bewilligt. Die gleichzeitig mit diesem Projekt zu installierende neue Entnahme-Kondensation-Dampfturbine mit einer Leistung von 10,36 MW hat ihren Betrieb im November 2008 aufgenommen.

Seit der Gründung des Vereins für Abfallentsorgung in Buchs SG ist das Fürstentum Liechtenstein mit seinen Gemeinden dem Verein angeschlossen und entsorgt über die KVA Buchs seine Siedlungsabfälle in der Schweiz. Der Verein für Abfallentsorgung betreibt seit 1974 eine Kehrichtverbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung. Außerhalb der Großstädte war der VfA damals der Pionier für die Kehrichtverbrennung mit Wärmeverwertung und Kraft-Wärme-Kopplung.

Der VfA ist heute mit seinem Entsorgungspreis für Abfälle in der Schweiz Spitzenreiter. Mit der Realisierung der Prozessdampfleitung werden jährlich rd. 125 000 t Dampf entsprechend einer Wärmemenge von rd. 85 000 MWh an die Firmen Hilcona und Ospelt geliefert. Die Liniendichte dieses Fernwärmeprojektes beträgt rd. 17 000 MWh/(a · km), rd. 9 Mio m^3 Erdgas werden jährlich substituiert. Dies entspricht einer Reduktion des CO_2-Ausstoßes von rd. 13 000 t/a. Die Substituion macht somit rund ein Drittel des liechtensteinischen Reduktionsziels für die CO_2-Emissonen aus. Der thermische Wirkungsgrad in der KVA verbessert sich von rd. 36 % auf rd. 50 %.

Durch die Prozesswärmeabgabe reduziert sich die Stromproduktion. Die Stromminderproduktion für die rd. 85 000 MWh Prozesswärme beträgt 24 285 MWh. Als Wärmeträger für den Anschluss der Firmen Hilcona, Ospelt und Milchhof wurde Dampf mit einem Druck von 16 bar und einer Temperatur von 230 °C festgelegt. Bei Maximallast wird die Temperatur aus der Turbine von 290 °C auf 230 °C gesenkt, da bei der tieferen Temperatur das spezifische Volumen des Dampfes kleiner ist und somit auch die Geschwindigkeit und der Druckverlust. Je nach

Bild 1. *»Energiebrücke« mit der Ferndampfleitung Liechtenstein. Rechts im Hintergrund die KVA Buchs SG* Quelle: Procolora



Ernst Dokter ist pensioniert. Er war Leiter der Caliqua AG Basel und ist Berater des VfA Buchs für Kraft-Wärme-Kopplung und das Ferndampfsystem

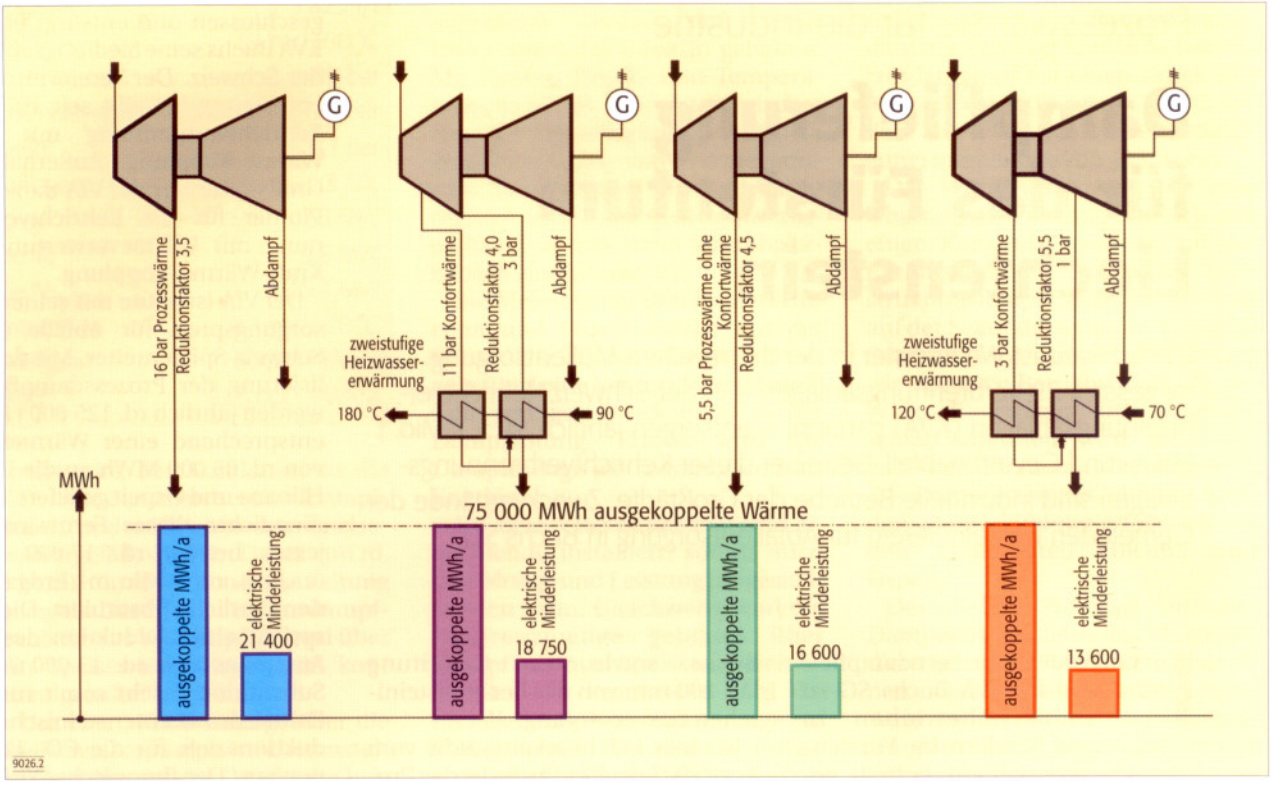


Bild 2. *Einfluss der elektrischen Minderleistung bei KVA durch Wärmeauskopplung (Frischdampfparameter: 39 bar, 390 °C; Speisewassertemperatur: 130 °C; Abdampfdruck: 0,1 bar)*

Quelle: Ernst Dokter

den Bezugsspitzen kann der Dampfdruck aus der Turbine auf 17 bar(a) angehoben werden und bei Schwachlast bis zu einer Temperatur von 275 °C.

Die Länge der Leitungen bis zur Firma Ospelt beträgt rd. 5 km. Druckverlustberechnungen haben die wirtschaftliche Dimension (Nennweite 350 mm) bestimmt. Über die rd. 2,5 km lange Dampfleitung bis zur Firma Hilcona liegt bei der Extremlast von total 44 t/h ein Druckverlust von rd. 1,5 bar vor. Bis zur Firma Ospelt (Nennweite 250 mm) über nochmals 2,5 km ist ein weiterer Druckverlust des Dampfes von 1,25 bar zu berücksichtigen.

Dieser Primär-Dampfparameter ist so festgelegt, dass die neue Turbine Turbogruppe 4 den Dampf von 39 bar und 390 °C zunächst bis auf 16 bar in Strom umwandeln kann. Der nicht für die Dampffernleitung benötigte Dampf strömt in der Turbine weiter, bis auf den Vakuum–Kondensationszustand des Luftkondensators von rd. 0,1 bar bei einer Temperatur von rd. 45 °C. Im Kondensator wird der Dampf kondensiert und wieder dem Wasserkreislauf zugeführt.

Die 3 Abnehmer des Dampfes, die Firma Hilcona wie auch die Firma Ospelt und der Milchhof, benötigen für ihre Prozesse Dampf von 11 bar(a) = 10 bar(ü) = 184 °C, also Sattdampf, resp. 8 bar(ü). Aufgrund der Empfehlungen der Gewerbeaufsichtsämter wird für den Bereich Lebensmittel-, Pharmabetriebe, Kliniken usw. eine Trennung von Primärdampf, etwa aus Biomasse-Kraftwerken und KVA, und Sekundärdampf der Verbraucher bei Fernleitungslängen größer als 1 km angeregt.

Der Primärdampf von der KVA wird in speziellen Umlaufverdampfern bei den Kunden in Sekundärdampf von 10 bar(ü) umgewandelt. Das anfallende heiße Kondensat wird in einem nachgeschalteten Wärmeübertrager von 196 °C auf 122 °C mittels Speisewasser von 102 °C abgekühlt. Eine weitere Unterkühlung erfolgt in einem 3. Wärmeübertrager, in der das Zusatzspeisewasser für das Speisewassergefäß vorgewärmt wird und gleichzeitig das Kondensat auf 90 °C abgekühlt wird.

Das Anfahren der Leitung erfolgt automatisch, in dem an den Tiefpunkten Wasserabscheider, hauptsächlich im Nebenschluss, angeordnet sind, welche das beim Aufheizen der Dampfleitung anfallende Kondensat auffangen können. Wenn die Leitung vom Kaltstart nach rd. 2 bis 3 h auf Druck gefahren ist, wird das Kondensat teils nachverdampfen und teils in die Kondensatleitung zurückgespeist. Nach der Geometrie des Leitungsverlaufs sind 10 Entwässerungsschächte entlang der 5 km langen Trasse angeordnet.

Bei Austrittstemperaturen von bis zu 275 °C in der KVA wird die Leitung bis zur Firma Hilcona über 2 500 m praktisch mit überhitzten Dampf gefahren werden. Dennoch sind aus Anfahrgründen an den Tiefpunkten Wasserabscheider angeordnet.

In der Leitung von der Hilcona bis zur Firma Ospelt über 2 500 m wird die Leitung weitgehend als Sattdampfleitung betrieben, d. h. während dem Betrieb fällt entsprechend dem Wärmeverlust Wasser an, welches in die Kondensatbehälter ausgeschieden und über den anstehenden Druck in die Kondensatleitung geführt wird.

Der Dampf-Kondensat-Kreislauf in der Ferndampfleitung ist geschlossen. Dies erlaubt einen Anfahr-, Dauer- und Abfahrbetrieb ohne Handentwässerung. Diese Notwendigkeit ergibt sich schon des-

halb, weil ein stark intermittierender Betrieb zu erwarten ist, indem sich die Dampfleitung bei kleinen Durchflussmengen bis auf Sattdampftemperatur abkühlt. Die Dehnungskompensation der Dampf- und Kondesatleitung erfolgt weitgehendst mittels Gelenkkompensatoren. Die Auslegungsdaten betragen:

- Dampfleitung: 22 bar(ü), 300 °C, St 35.8,
- Kondensatleitung: 22 bar(ü), 220 °C, V4A.

Die Schwankungen im Dampfbezug der Kunden betragen heute 16 bis 32 t/h, Extremlast 44 t/h sowie über die Wochenenden nur Minimallasten von 2 bis 7 t/h. Im Abgang der KVA ist eine pneumatisch wirkende Sicherheitsarmatur mit Federrückzug angeordnet, um bei plötzlichem Druckabfall (Rohrriss) oder zu hohen Temperaturen die Dampfleitung zu schließen. Für die Dämmung sind hochwertige Dämmstoffe vorzusehen, um den Temperaturverlust bei kleinen Lasten zu minimieren. Die Berechnung ergeben:

- Dampfleitung DN 350: Dämmdicke 250 mm,
- Dampfleitung DN 250: Dämmdicke 220 mm,
- Kondensatleitung DN 125: Dämmdicke 100 mm,
- Kondensatleitung DN 80: Dämmdicke 80 mm.

Die Gesamtkosten der Ferndampfleitung, die über 90 % in einem nichtbegehbaren Ortsbetonkanal verlegt ist, betragen inklusive der Rheinbrücke und den 3 Unterstationen rd. 24 Mio. CHF.

Bild 3. *Verdampfersstation*

Quelle: procolora

Zu einem früheren Zeitpunkt wurde eine Variante überlegt, als Wärmeträger Heißwasser anzuwenden. Die Bedürfnisse beim Kunden mit 10 bar(ü) resp. 184 °C würden Heißwassertemperaturen als Vorlauftemperatur 240 °C und als Rücklauftemperatur von 200 °C bedingen.

Der Frischdampf aus den Kesseln hat einen Druck von 39 bar(a), 390 °C resp. eine zugehörige Sättigungstemperatur von 247 °C. Nachteilig ist die größere Strom-Minder-Produktion. In einem Kaskadenwärmeübertrager kann eine Vorlauftemperatur von 240 °C erreicht werden. Dieser Kaskadenwärmeübertrager diente gleichzeitig auch als Ausdehnungsgefäß. Mit einer Heißwasser-Vorlaufpumpe würde das Wasser zu den Wärmeübertragern zu den Kunden gelangen.

Bei dem angegebenen Anschlusswert von 28 MW müsste eine Heißwassermenge von 602 t/h umgewälzt werden, was eine entsprechende Dimension in der Vor- und Rücklaufleitung von DN 350 bedingen würde. Neben diesem Nachteil wäre zu berücksichtigen, dass das von der Kaskade rückströmende Wasser von 200 °C über Ausdampfflaschen in den Prozess der KVA eingespeist werden müsste. Diese Wärmeübertragervariante würde die Investition um mindestens 20 % erhöhen. Auch die Variante als Wärmeträger Frischdampf anzuwenden ist teurer, da auch hier eine Dampfleitung von mindestens DN 300 erforderlich wäre; mit einer entsprechend größeren Wanddicke, da Betriebsdruck und -temperatur wesentlich höher sind. Allenfalls würden die Wärmeübertrager bei den Kunden weniger Heizfläche benötigen, aber das Gesamtprojekt würde höhere Investitionskosten erfordern. Der wichtigste Grund gegen diese Variante ist jedoch die geringere Stromproduktion.

Wärmeübertragerstationen Hilcona und Ospelt

Der Primärdampf von der KVA wird von dem Sekundärdampf der Verbraucher Hilcona und Ospelt über Röhren-Wärmeübertrager als Umlaufverdampfer mit separater Dampftrommel getrennt. Die Grädigkeit (Temperaturdifferenz) zwischen Primär- und Sekundärdampf beträgt 12 K. Der Sekundärdampf hat einen Druck von 11 bar(a) = 10 bar(ü) entspr. 184 °C (Hilcona später 12 bar(a) = 11 bar(ü) entspr. 188 °C), sodass der Primärdampf eine Sättigungstemperatur von 196 °C entspr. einem Sättigungsdruck von 14,5 bar(a) = 13,5 bar(ü) aufweisen muss.

Der Druck in der KVA in der Entnahmedampfleitung der Turbogruppe IV wird geregelt auf 16 bar(a) = 15 bar(ü) und im Extremlastfall auf 17 bar(a). Die Wärmeübertrager haben eine Übertragungsleistung von 20 t/h (Hilcona später 22 t/h) und einen Konstruktionsdruck auf der Primärseite von 22 bar(ü), Konstruktionstemperatur 300 °C und auf der Sekundärseite von 16 bar(ü) Sattdampf.

Geregelt wird der Dampfdruck auf der Sekundärseite auf 10 bar(ü), in dem primärseitig beim Verbraucher ein konstanter Betriebsdruck zur Verfügung gestellt wird. Das Signal erfolgt direkt von der Entnahme-Kondensationsturbine in der KVA über entsprechende Kabel an die Verbraucher. Bei Ausfall der Verbindung sind Primär-Regelventile beim Verbraucher installiert, die die Regelung übernehmen.

Die Regulierventile sind mit pneumatischem Antrieb vorgesehen und gehen bei Störungen oder Steuerluftausfall in Schließstellung. Im Wärmeübertragerregister wird die Verdampfungswärme des Primärdampfs übertragen. Das Kondensat fällt mit der Sättigungstemperatur von 196 °C an und wird in einem Speisewasservorwärmer auf rd. 122 °C unterkühlt. Zwischen dem Verdampfungs-Wärmeübertrager und dem Speisewasservorwärmer ist ein Niveaubehälter angeordnet. Wird mehr Primärdampf kondensiert, steigt das Niveau an und das Kondensatregelventil nach dem Speisewasservorwärmer/VE-Vorwärmer geht in Öffnungsstellung und umgekehrt. Hier erfolgt die eigentliche Leistungsregulierung der Verdampfer.

Für die Verdampferanlage sind separate Speisewasserpumpen mit Mindestmengen-Regulierventilen installiert. Das Speisewasser hat wie heute für die Kesselanlagen eine Temperatur von rd. 102 °C und wird im Speisewasservorwärmer auf rd. 180 °C erwärmt, in dem das Kondensat wie erwähnt von 196 °C auf 122 °C unterkühlt wird. Zurückge-

Anlagendaten	
• verbrannte Müllmenge:	185 t/a
• Verdampfungsziffer:	3,825 t/t
• Frischdampfsystem:	39 bar/390 °C
• Mitteldruckdampfsystem:	16 bar
• Niederdruckdampfsystem:	5 bar
• Abdampfsystem:	0,1 bar
• Ofen-Kesselanlagen:	3 Stk.
• Gesamtleistung:	65 MW
• Turbo-Gruppe III:	9,6 MW
• Turbo-Gruppe IV:	10,4 MW
• Luftkondensator:	0,1 bar / 20 °C
• Komfortwärmeabgabe:	60 000 MWh/a
• Stromproduktion:	125 000 MWh/a

speist wird das Kondensat in die KVA über den anstehenden Dampfdruck. In der KVA, vor dem Speisewassergefäß, wird ein Druck von rd. 3 bar(ü) in der Kondensatleitung geregelt. Das Niveau im Ausdampfbehälter des Verdampfers wird über ein Speisewasser-Regelventil konstant gehalten.

Um eine Mindestmenge über die Speisewasserpumpe sicherzustellen, werden auf der Druckseite beider Speisewasserpumpen Mindestmengenventile installiert und eine Rückführung in das Speisewassergefäß sichergestellt. Bei beiden Firmen beträgt auf der Sekundärseite der Verbraucher der Kondensatrückfluss zum Speisewassergefäß lediglich 20 bis 50 %. Dies gestattet es, das Kondensat zur KVA in einem Kondensatkühler weiter zu unterkühlen, in dem Weichwasser als Nachspeisewasser in das Speisewassergefäß entsprechend vorgewärmt wird. Die KVA ist daran interessiert, den gesamten Dampfbedarf der beiden Verbraucher Hilcona und Ospelt über 8 760 h im Jahr zu liefern.

Beide Firmen haben moderne Dreizug-Sattdampf-Kessel mit Gasfeuerungen installiert. Wenn größere Revisionen in der KVA notwendig sind, wird in Absprache mit den beiden Verbrauchern rechtzeitig die Lieferung des Dampfes von der KVA abgesprochen. In einem Notfall, z. B. bei einem Bunkerbrand, wenn alle 3 Dampfkessel der KVA abgestellt werden müssen, wird die Dampfversorgung der Verbraucher über die eigenen Kesselanlagen bei der Firma Hilcona und Ospelt sichergestellt. Damit diese Dampfversorgung kurzfristig durchgeführt werden kann, werden in beiden Zentralen je eine Kesselanlage über eine Warmheizschlange, welche mit Sekundärdampf zu Lasten der KVA aufgeheizt werden, auf einem Druck von 5 bis 6 bar(ü) gehalten. Mit diesem Druck- und Temperaturzustand ist ein automatischer Start der Feuerungsanlage möglich. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist der Kessel mit Warmhalteregister und Rauchgasklappe ausgerüstet, welche beim Warmhaltebetrieb geschlossen ist.

Die Messung bei den Firmen Hilcona und Ospelt erfolgt auf der Sekundärseite des Wärmeübertragers über eine Venturidüse (Vorteil: sehr geringer Druckabfall) in der Dampfleitung. Erfasst wird die Dampfmenge als Leistung und als Energie.

Auf der Speisewasserseite wird eine Blende installiert, sodass auch hier Menge und Leistung dargestellt werden kann. Gleichzeitig wird die Differenzmenge gebildet über Dampf- minus Speisewasserenergie. Auf der Primärseite wird die rückfließende Kondensatmenge zur KVA gemessen. Um den Leistungsanteil der Kondensatkühler (Speisewasser- und Weichwasservorwärmer) zu bestimmen, wird die Temperatur auf der Kondensatseite vor und nach den Kühlern gemessen und somit die Leistung bestimmt. Die Gesamtleistung resp. Gesamtenergie, welche an die Verbraucher verrechnet werden, wird über 3 Rechner ausgewertet. Die Messstrecke auf der Dampfseite ist eine Venturidüse mit kalibrierten Rohren und ebenfalls die Blenden auf der Speisewasserseite und der Kondensatseite.

Auch auf der Primärseite wird über eine SKI-Sonde die Dampfmenge erfasst. Aus Primär-Dampfleistung minus Primär-Kondensatleistung wird eine zweite Messung als Plausibilitätsmessung aufgebaut. Sowohl die Venturidüse als auch die Blende sind Messeinrichtungen, die gemäß der Eichverordnung durch den Swiss-TS (Unterabteilung des SVTI) abgenommen werden und auch überprüft werden können.

Beschreibung der Wärmeübertragerstationen Milchhof Liechtenstein

Der Primärdampf von der KVA wird auch hier von dem Sekundärdampf der Verbraucher des Milchhofs über Röhren-Wärmeübertrager als Direktverdampfer getrennt. Die Grädigkeit (Temperaturdifferenz) zwischen Primär- und Sekundärdampf beträgt hier 18 K. Der Sekundärdampf hat einen Druck von 9 bar(a) = 8 bar(ü) entspr. 175 °C, sodass der Primärdampf eine Sättigungstemperatur von 193 °C hat.

Der Wärmeübertrager hat eine Übertragungsleistung von 4 t/h und einen Konstruktionsdruck auf der Primärseite von 22 bar(ü), Konstruktionstemperatur 300 °C und auf der Sekundärseite von 10 bar(ü) Sattdampf (ist also 2 bar(ü) höher wie der max. Betriebsdruck, da der Wärmeübertrager im Untergeschoss aufgestellt wird, unter begehbaren Räumen). Die Regelung des Dampferzeugers und die Kondensatunterkühlung erfolgt wie bei den Abonnenten Hilcona und Ospelt.

Der Sekundärdampf zu den Dampfverbrauchern des Milchhofs dient hier auch noch dazu, über einen weiteren Wärmeübertrager, Warmwasser für die Gebäudeheizung zur Verfügung zu stellen. Der Wärmeübertrager für die Gebäudeheizung wird zweistufig ausgeführt:

- zur Unterkühlung des Kondensats und
- zur Nachheizung mittels Dampf, wenn keine Prozessdampf benötigt wird.

Auch vom Milchhof wird das Kondensat über den anstehenden Dampfdruck in die KVA zurückgespeist. Die KVA ist daran interessiert, den gesamten Dampfbedarf sowie den Bedarf an Heizwärme des Milchhofs Liechtenstein über 8 760 h im Jahr zu liefern. Der bestehende Dampfkessel und der bestehende Warmwasserkessel mit integriertem Boiler bleibt als Notheizzentrale bestehen. Die Messung bei dem Milchhof erfolgt auf der Primärseite nach dem Wärmeübertrager auf der Kondensatseite über eine Blende sowie auf der Dampfseite über Druck- und Temperaturtransmitter, sodass die Wärmeleistung Dampfmenge gleich Kondensatmenge errechnet werden kann. Erfasst wird die Wärmemenge als Leistung und Energie. ■

www.ernst-dokter.de

weil@ernst-dokter.de