

## „Güllekühlung“

### Wärmerückgewinnung aus Gülle

In der Gemeinde Bortewitz wurde eine ehemalige Anlage zur Rinderhaltung zu einer modernen Schweinehaltungsanlage für ca. 800 Zuchtsauen umgebaut. Als besondere Innovation wurde eine „Güllekühlung“ installiert. Einen wesentlichen Bestandteil bilden dabei etwa 6,6 km Kühlleitung, die in allen Abteilen großflächig in Beton gegossen wurden. Darauf wurden die Sammelbehälter und Kanäle für die Gülle aufgebaut. Die Tiefe der Wannen beträgt 40 cm von der Sohle bis zur Unterkante der Spaltenböden. Durch zwei Wärmepumpen „Robust Eco 42“ vom Hersteller Thermia wird der Gülle nun Wärme entzogen und an einen Warmwasserspeicher abgegeben. Dieser kann bei Bedarf auch durch eine zusätzlich installierte Gastherme aufgeheizt werden. Dessen ungeachtet sind die Wärmepumpen so bemessen, dass sie die einzelnen Stallabteile über Heizrohre und die Ferkelnester über eine Fußbodenheizung ausreichend versorgen können.



**Abbildung 1:** Die Kälteleitungen wurden in den Abteilen vollflächig in Beton gegossen.

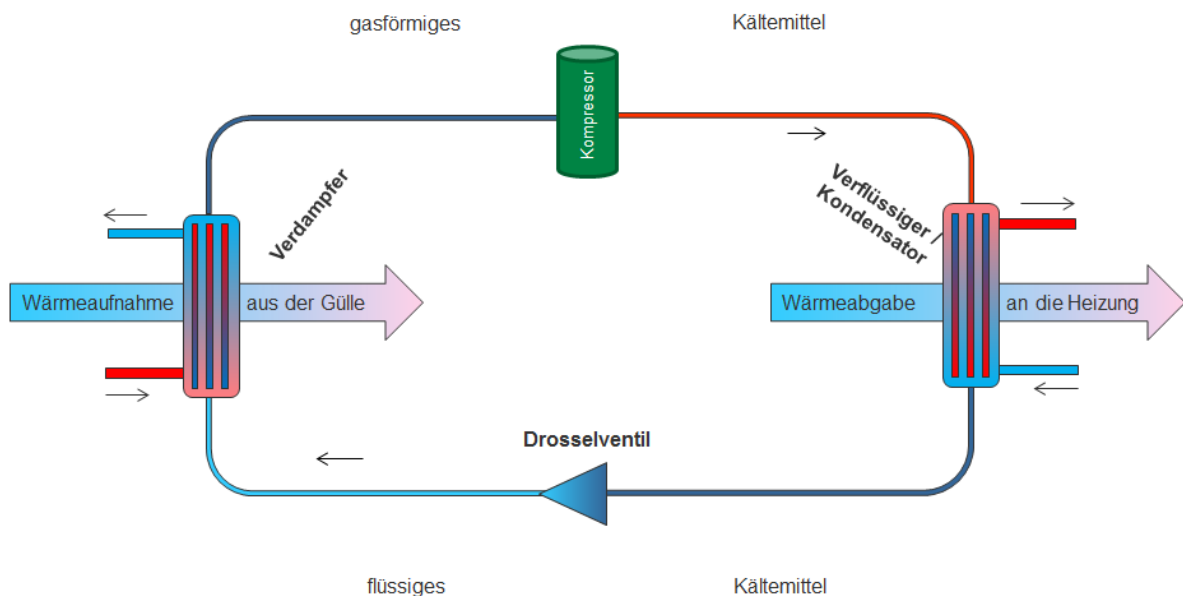
---

Bearbeiter:	René Pommer
Abteilung/Referat:	7/74 „Tierhaltung“
E-Mail:	<a href="mailto:rene.pommer@smul.sachsen.de">rene.pommer@smul.sachsen.de</a>
Telefon:	03 42 22 – 46 22 10
Redaktionsschluss:	08.06.2020
Internet:	<a href="http://www.smul.sachsen.de/lfulg">www.smul.sachsen.de/lfulg</a>

## Das Funktionsprinzip der Wärmepumpe

Die Übertragung von Energie aus einem Medium in ein anderes mit Hilfe einer Wärmepumpe funktioniert grundsätzlich folgendermaßen:

1. Die mit einem Kälteflüssigkeit gefüllten Leitungen wurden in den Boden (hier der Güllekanäle) einbetoniert. Der Kälteflüssigkeit nimmt dort die Energie aus der Umgebung (hier der Gülle) auf, wodurch die Temperatur der Flüssigkeit um einige Grad erhöht wird.
2. Die Kälteflüssigkeit wird zum Verdampfer geleitet. Hier gibt sie einen Teil seiner Energie ab an das Kältemittel, was dadurch erwärmt und schließlich zum Verdampfen gebracht wird.
3. Das aufgewärmte, gasförmige Kältemittel gelangt in den Kompressor, wo es verdichtet wird. Dadurch steigt seine Temperatur.
4. Im Verflüssiger (auch Kondensator) gibt das Kältemittel seine Wärmeenergie ab an den Wärmeträger (hier Wasser der Heizung). Durch diese Abkühlung wechselt es in den flüssigen Aggregatzustand.
5. Der Wärmeträgerkreis kann das warme Wasser nun dem Heizkreislauf zuführen.
6. Das noch warme, flüssige Kältemittel wird durch ein Drosselventil gedrückt. Dahinter expandiert es und kühlt dabei ab. Der Prozess beginnt von neuem.



**Abbildung 2:** Funktionsprinzip einer Wärmepumpe

Die Kennzahl für die Effizienz von Wärmepumpen ist die Leistungszahl COP (Coefficient of Performance). Sie stellt das Verhältnis von gewonnener zu eingesetzter Energie dar. Der Hersteller gibt für seine Wärmepumpen unter standardisierten Bedingungen eine Leistungszahl von 4,31 an. Das bedeutet, dass mit einer kWh Strom 4,31 kWh Wärme gewonnen werden. Da in der Praxis keine „Prüfstandbedingungen“ vorliegen, war hier ein niedrigerer COP zu erwarten.

## Was wurde gemessen?

Für Tierhalter stellt sich natürlich die Frage, inwieweit eine derartige Investition wirtschaftlich darstellbar ist. Deshalb wurden zwei Stromzähler und ein Wärmemengenzähler eingebaut. Die Zählerstände wurden einmal wöchentlich manuell protokolliert.

Darüber hinaus wurden die Betriebsstunden aus der Steuerung der Wärmepumpen abgelesen. In den Abteilen wurden die Temperaturverläufe aufgezeichnet. In einem Ferkelaufzuchtenteil und einem Wartestall wurde die Gülletemperatur in zwei Tiefen gemessen. Als Vergleichswert für die Außen- und Bodentemperatur wurden die Daten der agrarmeteorologischen Station Wurzen herangezogen. Aus der Buchhaltung der Agrargenossenschaft wurden die Bezugsmengen und -kosten für Flüssiggas und Strom sowie Unterhaltungsaufwendungen abgefragt. Die Mehrkosten der Herstellung wurden durch den Hauptauftragnehmer zugearbeitet (Danbauer, 2019).

Die vom Wärmepumpenvertreiber „Klimadan“ angegebene Emissionsminderung durch die Abkühlung der Gülle (Klimadan, 2018) sowie weitere Synergieeffekte waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

## Ausgewählte Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt die Abnahme des täglichen Wärmeertrages mit zunehmenden Außentemperaturen. Während im Winter bis zu 2.400 kWh täglich gewonnen wurden, ging die Wärmeerzeugung auf nahe Null im Sommer zurück.

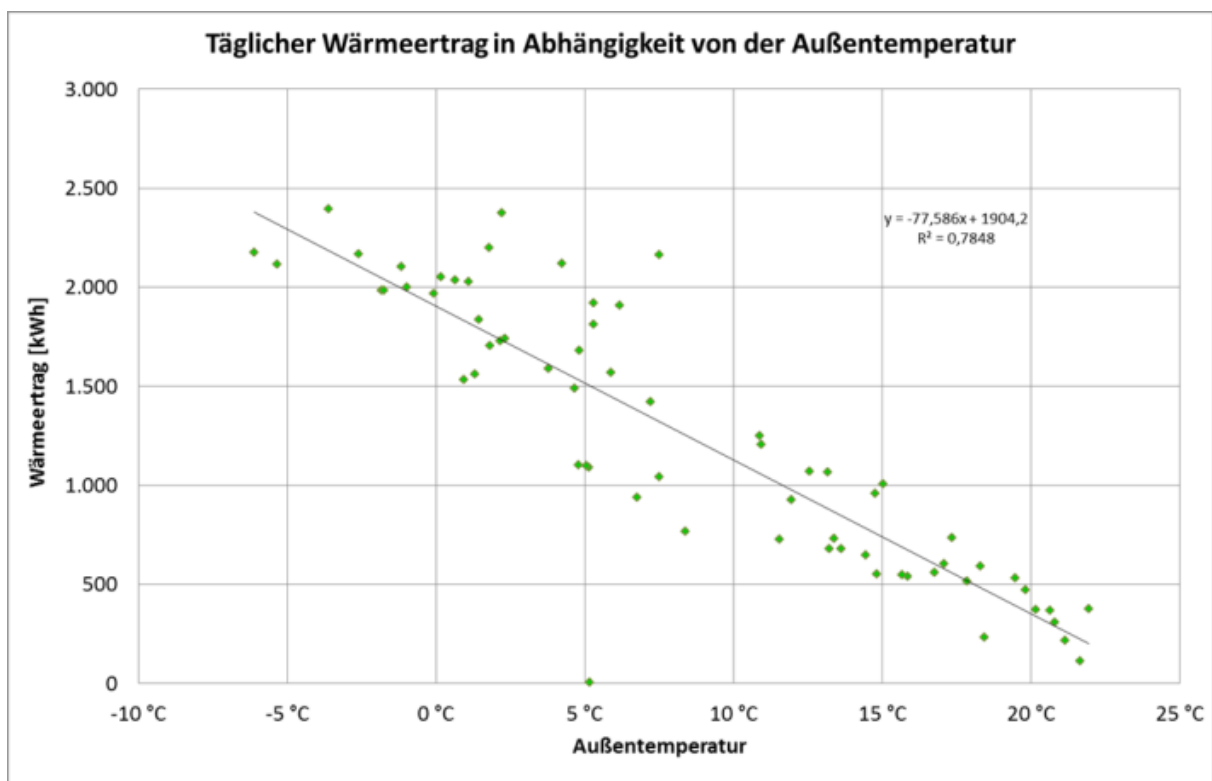
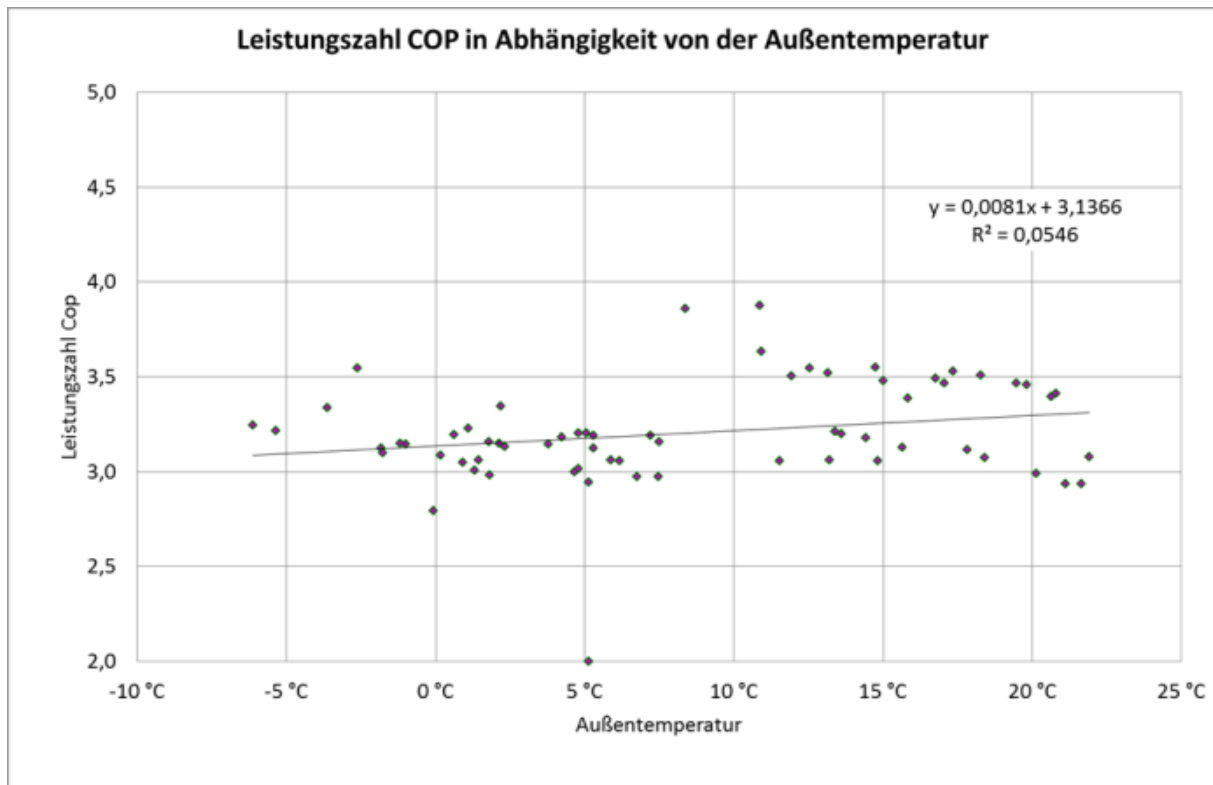


Abbildung 3: Täglicher Wärmeertrag in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Die aus den Messungen berechneten Leistungszahlen in Abhängigkeit von der Außentemperatur (Abbildung 4) liegen fast ausschließlich zwischen knapp unter 3,0 und etwas über 3,5. Ein Zusammenhang der Leistungszahl mit der Außentemperatur oder der GÜlletemperatur konnte anhand der vorliegenden Messreihe nicht nachgewiesen werden.



**Abbildung 4:** Leistungszahl in Abhängigkeit von der Außentemperatur

## Ökonomische Bewertung

Tabelle 1 zeigt die Bilanzierung der Energieströme für ein Jahr. 369.803 kWh gewonnener Wärme stehen 115.184 kWh aufgewendeter Elektroenergie gegenüber. Daraus ergibt sich eine Leistungszahl COP von 3,21 im Jahresdurchschnitt.

**Tabelle 1:** Energieerzeugung und -verbrauch im Jahr 2017

	<b>Stromverbrauch Wärmepumpe 1 kWh</b>	<b>Stromverbrauch Wärmepumpe 2 kWh</b>	<b>Wärmeerzeugung kWh</b>
kWh je Tag	186	129	1.013
kWh pro Jahr	68.040	47.144	369.803
<b>Leistungszahl COP</b>			<b>3,21</b>

Die konventionelle Alternative zur WRG wäre die Flüssiggasheizung. Der Ersatz von 3,21 kWh Wärme aus Flüssiggas durch eine kWh Strom für den Betrieb der Wärmepumpen ergibt - kalkuliert mit betrieblichen Energiepreisen des Jahres 2017 - **einen Überschuss von 7.515 EUR** (Tabelle 2). Dieser Betrag

steht für die Deckung der Unterhaltungsaufwendungen und die Amortisation der Investition zur Verfügung. Gleichzeitig ist der Ersatz von Flüssiggas mit einer rechnerischen **Einsparung von ca. 32 t CO<sub>2</sub>** verbunden.

**Tabelle 2: Kalkulation der jährlichen Einsparung**

	kWh/a	EUR/kWh	EUR netto	CO <sub>2</sub> -Äquivalente	kg CO <sub>2</sub>
Stromeinsatz IST	115.185	0,19	21.885 €	0,474*	54.597
ersetztes Flüssiggas	369.803	0,08	29.400 €	0,234**	86.534
<b>Einsparung</b>			<b>7.515 €</b>		<b>31.936</b>

\* UBA (2019), \*\* LfU Brandenburg (2018)

Der Hauptauftragnehmer bezifferte die Mehrkosten für die Anschaffung der beiden Wärmepumpen sowie die Verlegung der Kühlleitungen auf 67.300 EUR (Danbauer, 2019). Eine detailliertere Abgrenzung der Einzelkosten war nicht möglich. Da bislang keine verallgemeinerungswürdigen Informationen über Nutzungsdauer und Unterhaltungsaufwand vorliegen, wurde für diese Kosten eine Mischkalkulation angesetzt (Tabelle 3). Dafür wurden übliche Annahmen für „bauliche Anlagen“ und „Maschinen“ unterstellt.

**Tabelle 3: Weitere Kosten**

Anschaffungskosten IST <i>(2 Wärmepumpen a 48 KW Heizleistung, 6,6 km einbetonierte Kühlschläuche)</i>			67.300 €
Abschreibung	15	Jahre Nutzungsdauer	4.487 €
Unterhaltung	3,0	Prozent	2.019 €
<b>Jährliche Kosten</b>			<b>6.506 €</b>

Nach Abzug der kalkulierten Kosten vom Überschuss aus der Energiebilanzierung bleibt also rein rechnerisch ein **jährlicher Überschuss von 1.009 EUR**.

Ergänzend zum Protokoll wurde vom Anlagenbetreiber berichtet, dass zeitweise eine Wärmepumpe still stand und stattdessen die Gastherme aktiv war. Als Ursache wurde eine suboptimale Einstellung der Steuerung vermutet. Wenn es durch eine Optimierung der Einstellungen gelingt, den Flüssiggasverbrauch im Wert von bislang jährlich ca. 6.000 EUR durch den Betrieb der Wärmerückgewinnungsanlage vollständig zu ersetzen, verbessert sich das Ergebnis überschlagsweise wie folgt:

$$\begin{aligned}
 6.000 \text{ EUR Flüssiggaseinkauf} & / 0,08 \text{ Ct/kWh} = 75.000 \text{ kWh} \\
 75.000 \text{ kWh (Flüssiggas)} & / \text{COP } 3,21 = 23.364 \text{ kWh (Strom)} \\
 23.364 \text{ kWh (Strom)} & \times 0,19 \text{ Ct/kWh} = 4.439 \text{ EUR}
 \end{aligned}$$

Das finanzielle **Einsparpotential beträgt demnach 1.561 EUR**.

Sollte die GÜllekühlung perspektivisch auch als emissionsminderte Maßnahme anerkannt werden, könnte das finanziell überproportional bedeutsam sein!

## Fazit

In der Schweinezuchtanlage Bortewitz wird Prozesswärme aus der Gülle gewonnen. Die Wärmetauscher erreichen dabei eine Leistungszahl von 3,21. In einem Jahr werden damit 370 MWh Wärme aus Gas durch 115 MWh Strom ersetzt. Rechnerisch wurde dafür eine Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 32 t ermittelt.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlage wird maßgeblich durch die Preise für Strom und Brennstoffe bestimmt. Je günstiger der Strom im Verhältnis zum Flüssiggas ist, desto besser schneidet die Anlage ab. Vorbehaltlich der Richtigkeit der getroffenen Annahmen für Unterhaltung und Nutzungsdauer erreicht die WRG unter gegenwärtigen Preisverhältnissen finanziell einen kleinen Überschuss.

Auf Grund suboptimaler Einstellungen wurde im Untersuchungszeitraum zusätzlich Flüssiggas im Wert von etwa 6.000 EUR pro Jahr zu Heizzwecken verbraucht. Wird die adäquate Wärmemenge künftig durch die WRG bereit gestellt, erhöht sich der Überschuss entsprechend.

Auf Grund der Tatsache, dass die Wärmerückgewinnung ein wirtschaftlich positives Ergebnis liefert, kann das Verfahren der Güllekühlung für Stallneubauten empfohlen werden. Ein nachträglicher Einbau von Kühlleitungen in den Betonboden bestehender Ställe hingegen wird im Regelfall nicht mit vertretbarem Aufwand möglich sein. Hier empfiehlt sich eine Einzelfallprüfung.

Der ausführliche Bericht zum Projekt befindet sich unter:

<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/34584>

## Literaturverzeichnis

DANBAUER (2019): persönliche Mitteilung zu Herstellungskosten, email vom 23.4.2019

KLIMADAN (2018) Firmenvideo „Slurry cooling“ (dt. „Güllekühlung“), online-Ressource unter:  
<https://www.youtube.com/watch?v=IMyh5vJdy-o> (letzter Zugriff: 12.9.219)

LfU Brandenburg (2018): CO<sub>2</sub> - Emissionsfaktoren nach Energieträgern, online-Ressource unter:  
<https://lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.523833.de> (letzter Zugriff: 6.9.2019)

UBA (2019): „CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kilowattstunde Strom sinken weiter“, online-Ressource unter:  
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-sinken> (letzter Zugriff: 6.9.2019)