

# Implementierung einer Grundlast-Wärmepumpe zur Kälte- und Wärmenutzung in der Schokoladeproduktion von Mars Austria

K. Paar, K. Kreuter, R. Zweiler

*Güssing Energy Technologies GmbH, 7540 Güssing, Österreich*

M. Flamisch

*Mars Austria OG, 7091 Breitenbrunn, Österreich*

## **ABSTRACT:**

Mars Inc. is one of the largest food companies all over the world. Mars Austria OG manufactures in Breitenbrunn (confectionery) and Bruck/Leitha (pet food). With the SIG (Sustainable in a Generation) initiative Mars Inc. has set the goal to produce CO<sub>2</sub>-free and without the use of fossil fuels by 2040.

In the chocolate factory in Breitenbrunn Mars and GET are working in close cooperation since 2007 to improve the energy efficiency. The following article shows a part of this work: the implementation of a base load heat pump for combined use of cooling and heating energy.

The basis input for the implementation of the project were measured data on the energy requirements of the factory. The annual load curve shows a high base load for the heat energy and a cliffy course of cooling energy caused by ambient conditions. The evaluation of the measured data shows that the baseload heat pump can cover about half of the cooling energy and more than 60% of the heat energy.

To use the better part of the shown potential, temporal and quantitative factors as well as temperature levels of the hot and cold water systems have to fit to the system. The temperature level of chilled water circuits stayed at 5 °C, the temperature level of the hot-water circuits could be reduced to max. 63 °C.

The implementation of the project was marked by a lengthy optimization phase. The base load heat pump extracts the return flow of cold water line 1 and line 4 water to cool it in the evaporator. In the condenser energy is discharged to the hot water circuits. For power grading at stage shifts and short-term failures of the heat pump a 3 m<sup>3</sup> buffer tank was installed.

The base load heat pump operates since October 2014. The first results from 2015 showed that almost the whole demand of heat energy can be covered by the base load heat pump through the high cooling demand in summer, while in winter the heat cover drops due to the lower cooling requirements. The annual energy situation showed that the base load heat pump saved about 50 % of natural gas consumption while the electrical energy demand increased only slightly.

---

## 1. EINLEITUNG

Mars Inc. ist einer der größten Nahrungsmittelkonzerne weltweit. Mars Austria OG hat Produktionsstätten in Breitenbrunn (Süßwaren) und Bruck/Leitha (Tiernahrung). Mit der SIG (Sustainable in a Generation) Initiative hat sich Mars Inc. das Ziel gesetzt, bis 2040 CO<sub>2</sub> frei und ohne den Einsatz fossiler Energieträger zu produzieren.

In der Mars Fabrik in Breitenbrunn werden Süßwaren hergestellt, wobei Mars und GET seit 2007 in enger Kooperation an der Verbesserung der Energieeffizienz und somit der Erreichung der SIG Ziele arbeiten. Im folgenden Beitrag soll ein Teil dieser Arbeit, die Implementierung einer Grundlastwärmepumpe zur Kälte- und Wärmenutzung, näher erläutert werden.

## 2. PROJEKTBE SCHREIBUNG

Das Projekt gliedert sich in fünf Abschnitte, die hier näher beschrieben werden. Im ersten Schritt wurden Daten des tatsächlichen Wärme- und Kältebedarfs erhoben und analysiert. Der zweite Schritt umfasste diverse Änderungen am Gesamtsystem, um die Voraussetzungen für den Einsatz einer Wärmepumpe zu schaffen. Die nächsten Schritte waren Detailplanung, Implementierung und Inbetriebnahme. Im letzten Abschnitt werden die bisherigen Betriebserfahrung sowie die Auswirkungen auf die Energiesituation der Fabrik erläutert.

### 2.1 DATENGEWINNUNG

Als Basis für die Umsetzung des Projektes dienen Messdaten über die energetischen Anforderungen der Fabrik. Abb. 1 zeigt die Energieversorgung der Fabrik vor Implementierung der Grundlastwärmepumpe.

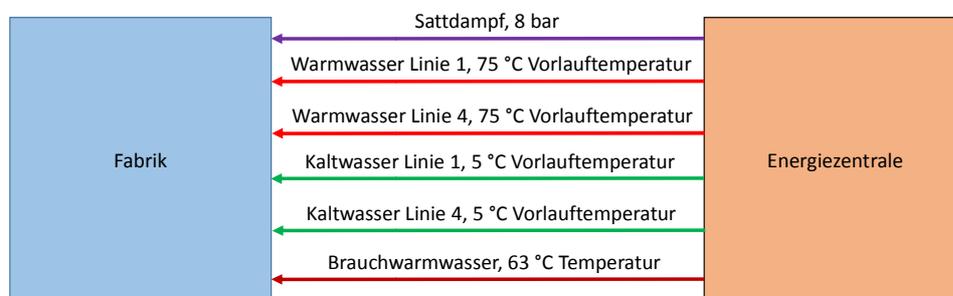


Abb. 1: Energieversorgung der Fabrik

In der Energiezentrale befand sich ein erdgasbefuerter Dampfkessel mit einer Leistung von 3,2 MW. Eine Dampfleitung mit 8 bar Sattdampf führte in die Fabrik. In der Energiezentrale waren außerdem zwei Dampfumformer zur Versorgung der beiden Warmwasserhauptleitungen für Linie 1 und Linie 4 (Vorlauftemperatur 75 °C) angeordnet sowie ein Dampfkondensator im Brauchwarmwasserspeicher.

Für die Kälteversorgung waren 5 Kältemaschinen im Einsatz, welche die beiden Kaltwasserhauptleitungen für Linie 1 und Linie 4 (Vorlauftemperatur 5 °C) versorgten.

Die Analyse der zeitlichen Auflösung der Kälte- und Wärmeenergieversorgung zeigt folgendes Bild:

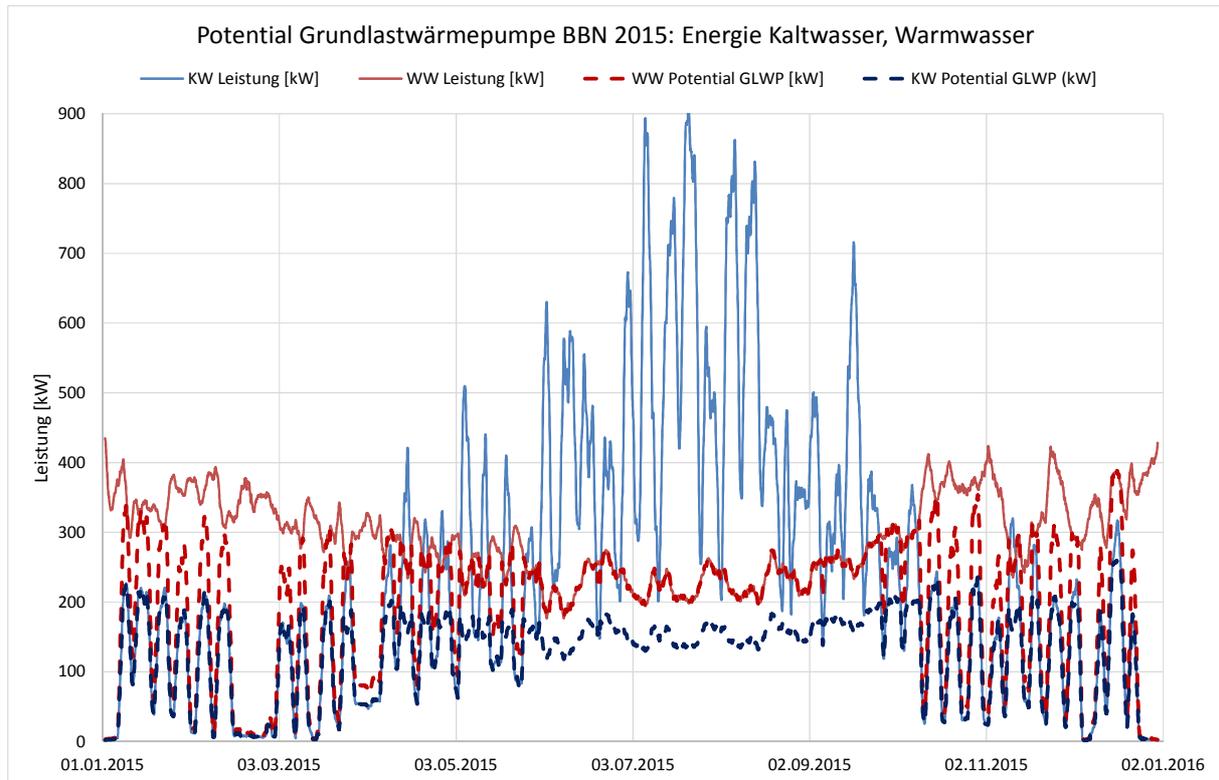


Abb. 2: Potential Grundlastwärmepumpe – Summe Leistung der Warm- und Kaltwassersysteme

Durch Ordnung der Warm- und Kaltwasserleistungen nach Größe wird eine Jahresdauerlinie erstellt, die das Potential etwas deutlicher darstellt:

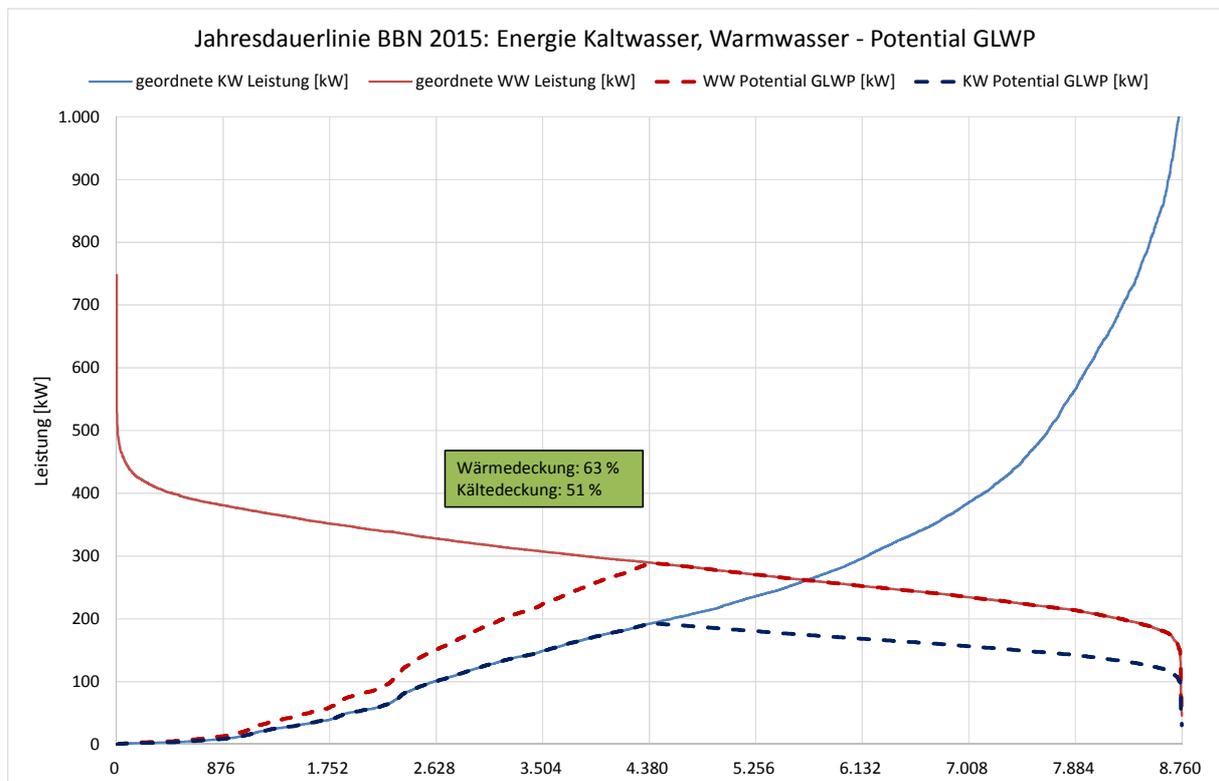


Abb. 3: Geordnete Jahresdauerlinie zur Visualisierung des Potentials der Grundlastwärmepumpe

Die Jahresdauerlinie zeigt einen durch eine hohe Bandlast bedingten flacheren Verlauf für die Wärmeenergie und einen durch die Wetterabhängigkeit steileren Verlauf der Kälteenergie. Die Flächen unter den Kurven stellen die Energiemengen dar, die strichlierten Linien zeigen das Energiedeckungspotential der Grundlastwärmepumpe für Warm- und Kaltwasser. Das Diagramm zeigt, dass durch den Einsatz einer Grundlastwärmepumpe etwa die Hälfte der Kälteenergie und mehr als 60 % der Wärmeenergie gedeckt werden können.

## 2.2 VORBEREITENDE MASSNAHMEN

Um das in Abb. 3 dargestellte Potential zum großen Teil auch nutzen zu können, müssen nicht nur zeitliche und quantitative Faktoren zusammenpassen, sondern auch die Temperaturniveaus der Kalt- und Warmwassersysteme. Das Vorlauftemperaturniveau der Kaltwasserkreise ist mit 5 °C festgelegt. Eine genauere Analyse der Warmwasserkreise sowie der Dampfverbraucher zeigte, dass bis auf ein paar Ausnahmen das höchste benötigte Vorlauf-temperaturniveau der Wärmeverbraucher 65 °C betrug. Dieses Temperaturniveau ist mit am Markt erhältlichen Standardkältemaschinen bzw. Wärmepumpen (R134 a, Schraubenverdichtern), erreichbar. Um eine möglichst hohe Deckung der Lasten mit der Grundlastwärmepumpe zu erreichen, sollten die bestehenden Warm- und Kaltwassersysteme (Kältemaschinen und Gaskessel) in Serie nach der Wärmepumpe eingebunden werden.

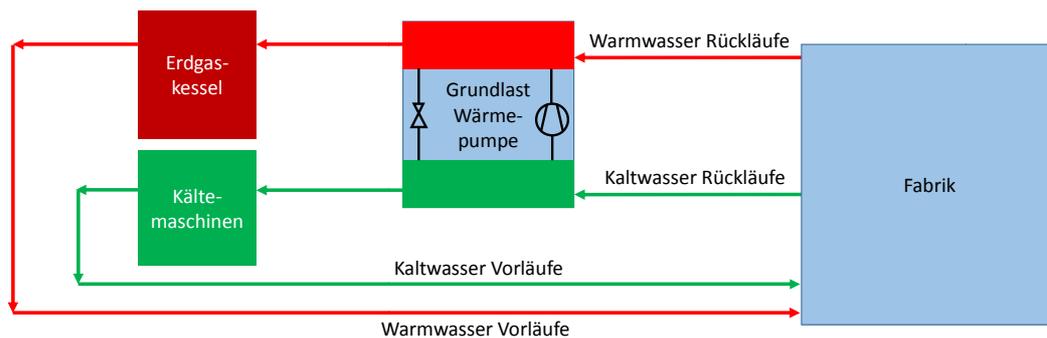


Abb. 4: schematische Darstellung der Grundlastwärmepumpen-Einbindung

Abb. 4 zeigt die schematische Darstellung der Einbindung der Grundlastwärmepumpe in das Gesamtsystem: Die aus der Fabrik kommenden Rückläufe für Warm- und Kaltwasser werden zuerst über die Grundlastwärmepumpe geführt. Diese liefert dann, je nach Energienachfrage auf der Warm- und Kaltwasserseite entsprechend Energie in die Warm- und Kaltwassernetze. Die für die Erreichung der Vorlauftemperaturen notwendige Restenergie wird dann vom bestehenden Erdgaskessel bzw. den bestehenden Kältemaschinen gedeckt.

Um einen möglichst hohen Energiedeckungsgrad der Grundlastwärmepumpe zu erreichen, ist eine hohe Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf-temperatur der Kalt- bzw. Warmwasserkreise von Vorteil. Aus diesem Grund wurden die Warm- bzw. Kaltwasserkreisläufe im Laufe der Implementierung auch hydraulisch optimiert. Abb. 5 zeigt beispielsweise die Umrüstung der bestehenden Umlenkschaltungen mit 3-Weg Ventil auf Drosselschaltungen. Bei der Umlenkschaltung wird das nicht vom Verbraucher benötigte Vorlaufmedium direkt in den Rücklauf geleitet, was zu hohen Volumenströmen und geringen Temperaturspreizungen führt. Durch den Einsatz einer differenzdruckgeregelten Hauptpumpe können die Umlenk- auf Drosselschaltungen umgebaut werden. Dazu wird entweder das 3-Weg Ventil auf ein 2-Weg Ventil getauscht, oder der Bypass versperrt (mittels Kugelhahn bzw. Absperrklappe oder mit Hilfe einer Scheibe in der Verschraubung des Bypasses am 3-Weg Ventil).

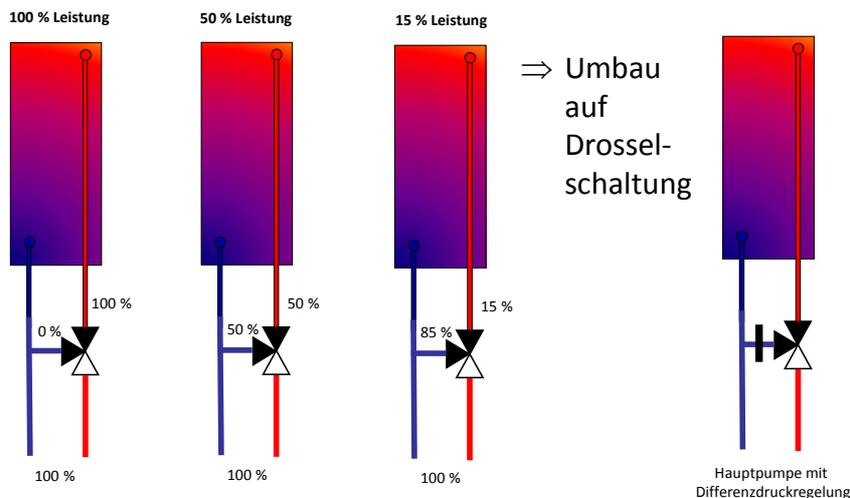


Abb. 5: Umrüstung Umlenkschaltung auf Drosselschaltung

Mit Hilfe dieser Umrüstungen wurden deutliche Verbesserungen im Bereich Volumenstrom, Spreizung und Rücklauftemperaturen erreicht, wie in Tab. 1 zu sehen ist.

Tab. 1: Mittelwerte von Vor- und Rücklauftemperaturen, Spreizung sowie Volumenstrom in den Jahren 2013 bis 2015

Jahr	Vorlauf-temperatur	Rücklauf-temperatur	Spreizung	Volumen- strom
	[°C]	[°C]	[°C]	[m <sup>3</sup> /h]
2013	66,3	64,9	1,4	38,9
2014	63,6	57,2	6,4	16,5
2015	63,4	52,2	11,2	3,2

### 2.3 DETAILPLANUNG UND IMPLEMENTIERUNG

Bei der Wahl der Wärmepumpe spielten neben technischen Daten auch viele andere Faktoren, wie zum Beispiel Wartung, Betriebssicherheit, usw. eine wichtige Rolle. Schlussendlich wurde eine Carrier Kältemaschine mit der Option auf hohe Kondensationstemperaturen gewählt, deren maximale Vorlauftemperatur 63 °C beträgt.



Abb. 6: Carrier 30 HXC Kältemaschine mit zwei Schraubenverdichtern (Carrier GmbH, 2012)

### Technische Daten im Nennbetriebspunkt

Kälteleistung:	332 kW
Wärmeleistung:	489 kW
Antriebsleistung:	165 kW
Nenn COP <sub>Kalt/Warm</sub> :	2,01/3,01
Kaltwassertemperaturen:	4/10 °C
Warmwassertemperaturen:	50/63 °C
Verdichterbauart:	Schraubenverdichter
Anzahl der Verdichter:	2
Anzahl der Leistungsstufen:	6

Zur Optimierung des Deckungsgrades der Grundlastwärmepumpe musste der Einbindungspunkt der Abwärme der Druckluftkompressoren verlegt werden. Die Druckluftkompressoren werden im Auslegungspunkt über Wasser mit einer Temperatur von 50/70 °C rückgekühlt. Da hier das Temperaturniveau höher ist als das der Grundlastwärmepumpe, wurde die Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren in Serie nach der Grundlastwärmepumpe eingebunden. Dabei wird der Austritt aus der Wärmerückgewinnung der Kompressoren, der mit 65 bis 70 °C das höchste Temperaturniveau der Abwärmequellen besitzt, dazu verwendet, die Zirkulationsverluste des Brauchwarmwassersystems zu decken, welches wiederum bei den Wärmesenken das höchste Temperaturniveau darstellt.

### 2.4 INBETRIEBNAHME

Die Umsetzung des Projektes war durch eine länger dauernde Optimierungsphase geprägt. Abb. 7 und Abb. 8 zeigen die GLT Ansicht der Grundlastwärmepumpe und allen zugehörigen Komponenten.

Die Grundlastwärmepumpe entnimmt aus den beiden Rückläufen von Kaltwasser Linie 1 und Linie 4 Wasser, um dieses im Verdampfer abzukühlen. Im Kondensator wird die Energie an den Warmwasserkreis abgegeben. Ein 3 m<sup>3</sup> großer Pufferspeicher dient zur Leistungsglättung bei Stufenumschaltungen und kurzfristigen Ausfällen der Kältemaschine.

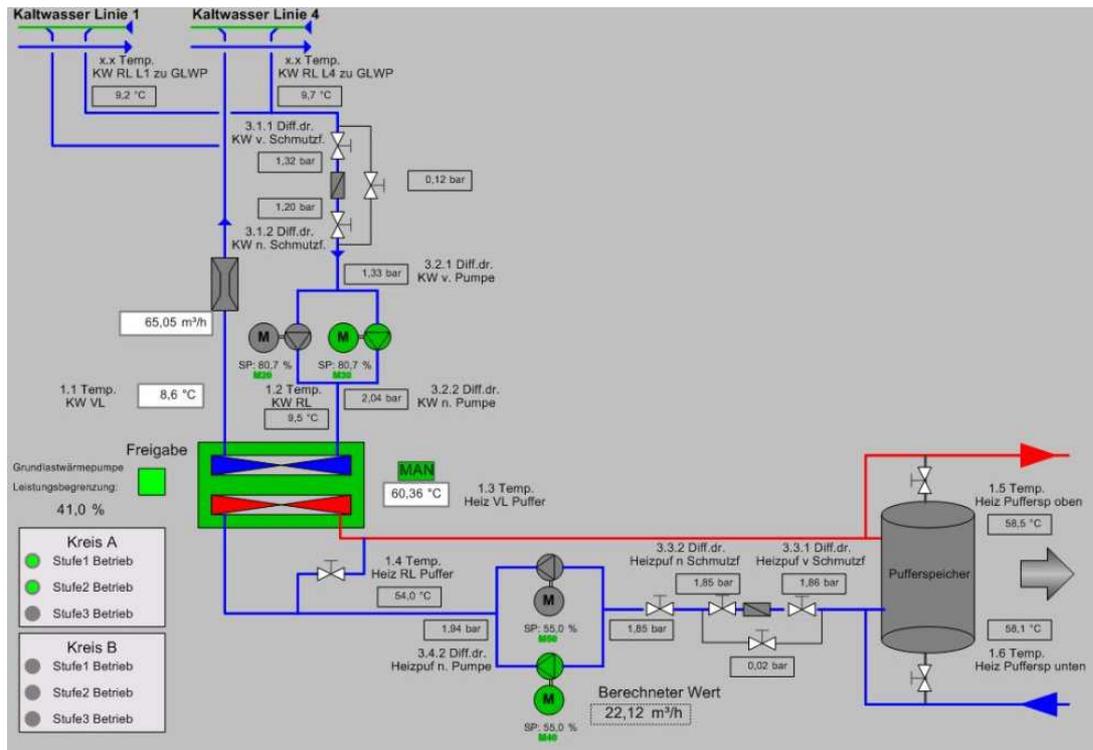


Abb. 7: Screenshot der GLT Einbindung der Grundlastwärmepumpe, Seite 1

Auf der zweiten Seite ist die Warmwasserverteilung auf die Kreise Linie 1 und Linie 4, sowie den nur im Winter betriebenen Radiatorenkreis und die Brauchwarmwasservorwärmung zu sehen. Hier erfolgt auch die Einbindung der Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren.

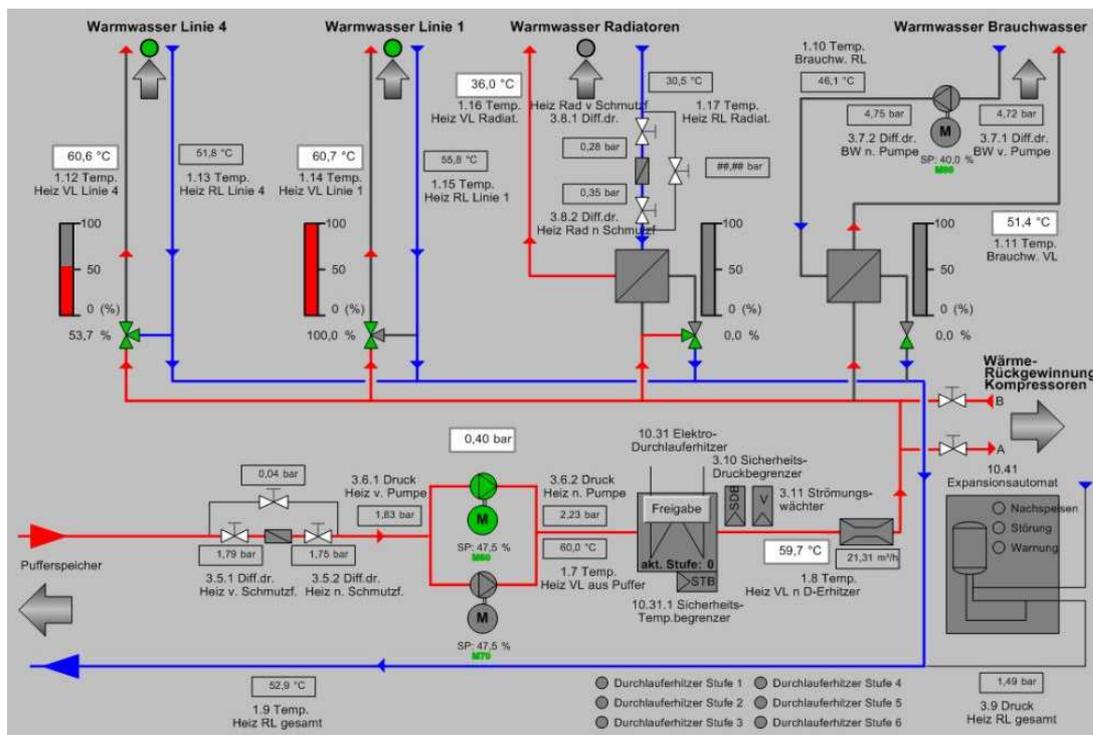


Abb. 8: Screenshot der GLT Einbindung der Grundlastwärmepumpe, Seite 2

Die Art der Pufferspeichereinbindung in diesem Projekt zeigte, dass kleine Änderungen in der Hydraulik oft große Auswirkungen auf das Gesamtsystem besitzen. Grundsätzlich gibt es zwei Arten, einen Pufferspeicher einzubinden:

#### 2.4.1 Serienschaltung

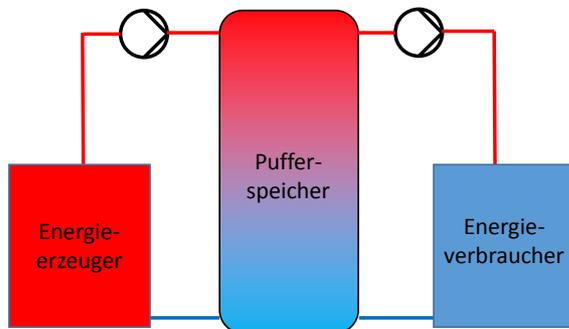


Abb. 9: Serienschaltung - Pufferspeicher als hydraulische Weiche

Hier wirkt der Pufferspeicher als hydraulische Weiche (siehe Abb. 9), eine komplette hydraulische Entkopplung von Energieerzeuger und –verbraucher ist gegeben. Durch den Puffer kommt es jedoch auch zu einer geringen zeitlichen Verzögerung, bis die vom Energieerzeuger gelieferte Energie auch beim Verbraucher ankommt. Je nach Gestaltung der Ein- und Auslässe sowie dem Puffervolumen und den zu- und abgehenden Volumenströmen kommt es teilweise zu Durchmischung von Vor- und Rücklaufmedium, da das gesamte umgewälzte Volumen durch den Pufferspeicher transportiert wird. Der Puffer wirkt jedoch auch ausgleichend, da zum Beispiel Vorlauf temperaturschwankungen des Energieerzeugers nur abgeschwächt an den Verbraucherkreis weiter gegeben werden.

#### 2.4.2 Parallelschaltung

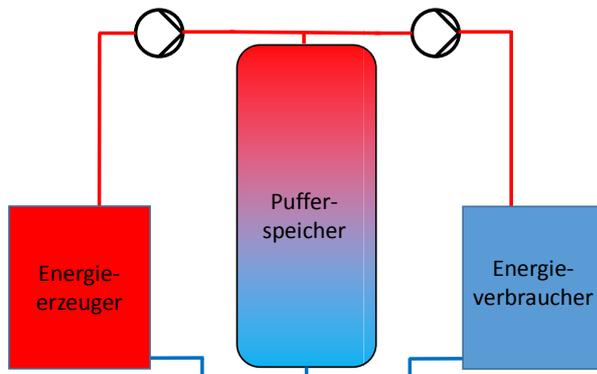


Abb. 10: Parallelschaltung - Pufferspeicher als Verbraucher

Bei dieser Schaltung (Abb. 10) wird dem Pufferspeicher nur die Differenz des Volumenstroms zwischen Energieerzeuger und –verbraucher zugeführt. Dadurch ist der Durchsatz durch den Pufferspeicher viel geringer als bei der Serienschaltung und es kommt daher auch kaum zu Mischeffekten. Bei Änderungen am Energieerzeuger kommt es dadurch auch zu keinen zeitlichen Verzögerungen und die generierte Vorlauf temperatur wird ohne Mischverluste dem Verbraucherkreis zugeführt. Eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Pumpen ist jedoch möglich, weil keine vollkommene hydraulische Entkopplung wie bei der Serienschaltung gegeben ist.

### 2.4.3 Auswirkung bei der Grundlastwärmepumpe

In diesem konkreten Fall war die Einbindung des Puffers ursprünglich in Parallelschaltung geplant, wurde jedoch von der ausführenden Firma als Serienschaltung gebaut. Dies führte zu geringen Mischverlusten, wodurch die Vorlauftemperatur im Verbraucherkreis um ca. 1 bis 2 °C tiefer lag als jene im Energieerzeugerkreis. Dies ist im Normalfall nicht weiter schlimm und wird vielleicht auch gar nicht bemerkt – bei der Grundlastwärmepumpe waren die Auswirkungen jedoch erheblich.

Da die Grundlastwärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von 62 °C extrem knapp an ihrer oberen Temperaturgrenze betrieben wird, bedeutet ein Mischverlust von 2 °C eine verbraucherseitige Vorlauftemperatur von nur mehr 60 °C (siehe auch Tab. 2). Bei durchschnittlichen Verbrauchertemperaturen von 55/63 °C bedeutet eine Vorlauftemperatur von 60 °C am Verbraucherkreis einen Deckungsgrad der Grundlastwärmepumpe von 62,5 %, bei 62 °C von 87,5 %.

Tab. 2: Auswirkung der Mischverluste auf den Energiedeckungsgrad

Auswirkung der Mischverluste auf den Energiedeckungsgrad	ohne	mit	
	Mischverluste		
Vorlauftemperatur Nach GLWP	62	60	°C
Ø Rücklauftemperatur Verbraucher	55	55	°C
Vorlauftemperatur Verbraucher	63	63	°C
mögliche Temperaturerhöhung GLWP	7	5	°C
Energiedeckungsgrad GLWP	87,5	62,5	%

## 2.5 BETRIEBSERFAHRUNGEN UND ENERGIEMESSUNGEN

Die Grundlastwärmepumpe wurde Ende 2014 in Betrieb genommen. Bis Mitte 2015 wurden noch viele Optimierungsarbeiten vorgenommen, um den Deckungsgrad zu erhöhen und das Regelverhalten zu verbessern. Die ersten Ergebnisse aus dem Jahr 2015 zeigen, dass das Konzept wie geplant aufgegangen ist.

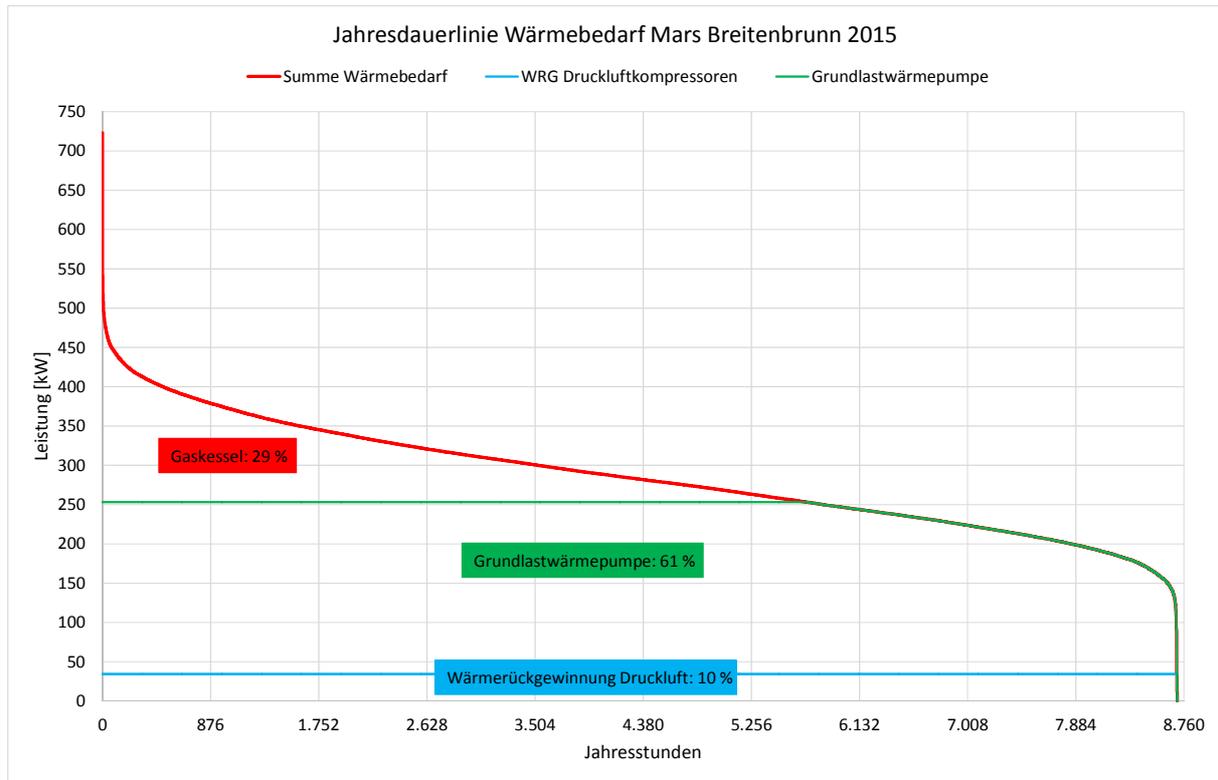


Abb. 11: Jahresdauerlinie und Deckung Wärmebedarf im Jahr 2015

Wie in Abb. 11 zu sehen, beträgt die Wärmedeckung der Grundlastwärmepumpe 61 %. Das theoretische Potential auf Basis der Messdaten beträgt 63 %, sodass deutlich wird, dass fast das gesamte theoretische Potential mit der realen Anlage gedeckt werden kann. In Kombination mit der Energie aus der Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren kann eine Deckung von 71 % des gesamten Wärmebedarfs durch Abwärmequellen erreicht werden. Dies ist das Ergebnis von detaillierter Planung und Optimierung der Anlage nach Inbetriebnahme.

In Abb. 12 ist die reale Deckung des Wärmebedarfs ohne Ordnung der Werte zu sehen. Hier wird deutlich, dass durch den hohen Kältebedarf im Sommer fast die gesamte Wärmeenergie durch die Grundlastwärmepumpe gedeckt werden kann, während im Winter aufgrund des geringeren Kältebedarfs die Wärmedeckung zurückgeht.

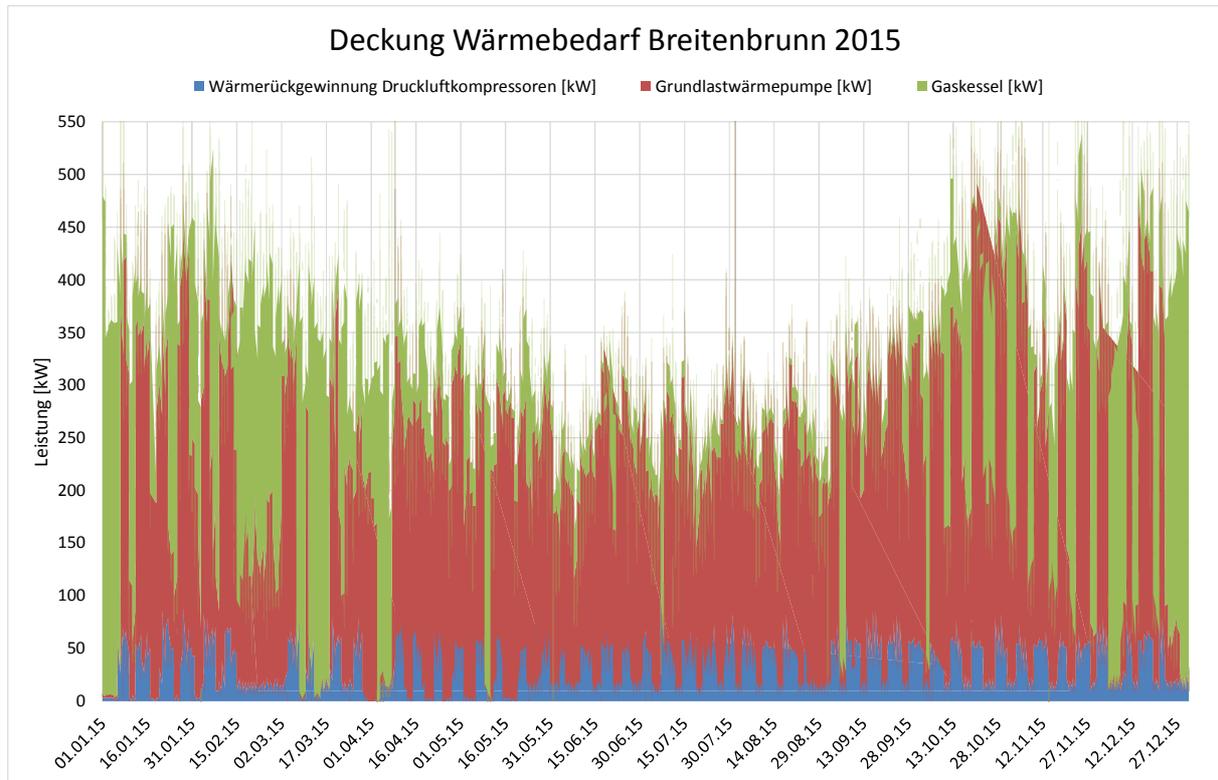


Abb. 12: Deckung des Wärmebedarfs über Wärmerückgewinnungsquellen und Gaskessel

Die Energiebilanz in Tab. 3 zeigt die Jahresenergiesituation im Vergleich mit bzw. ohne Grundlastwärmepumpe. Deutlich ist zu sehen, dass ca. 50 % Erdgas eingespart werden können, wobei der elektrische Energiebedarf nur geringfügig ansteigt. Für die CO<sub>2</sub> Bilanz zeigt sich eine Verminderung der Emissionen um etwa 37 % auf Basis der von der KPC verwendeten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren. (Kommunalkredit Public Consulting GmbH, 2016)

Tab. 3: Energiesituation inkl. CO<sub>2</sub> Emissionen mit/ohne Grundlastwärmepumpe

Energiesituation mit/ohne Grundlastwärmepumpe	ohne	mit	
Jahresbedarf an Erdgas:	3.022	1.425	MWh/a
Jahresbedarf an elektr. Energie:	1.055	1.061	MWh/a
Gesamte CO <sub>2</sub> Emission:	1.021	639	t/a

### **3. SCHLUSSFOLGERUNG, ZUSAMMENFASSUNG**

Die Nutzung einer Industriewärmepumpe zur gleichzeitigen Versorgung von Wärme- und Kältesystemen stellt eine gute Möglichkeit dar, die Energieeffizienz zu erhöhen. Unerlässlich für einen reibungslosen Betrieb ist eine detaillierte Planung auf Basis von realen Messdaten. Folgende Voraussetzungen sollten für eine sinnvolle Implementierung gegeben sein:

- ganzjähriger Kälte- und Wärmebedarf und 3 bzw. 4 schichtiger Betrieb
- passende Temperaturniveaus auf der Wärme- und Kälteseite
- gute hydraulische Implementierung
- laufende Optimierung während/nach der Inbetriebnahme

### **LITERATUR**

Carrier GmbH (2012): „Wassergekühlte Flüssigkeitskühler mit Schraubenverdichter“.

Kommunalkredit Public Consulting GmbH (2016): „Betriebliche Umweltförderung Förderungsberechnung“

### **Kontakt Daten Autor(en):**

Klaus Paar

Wiener Straße 49

7540 Güssing

Email: [k.paar@get.ac.at](mailto:k.paar@get.ac.at)