

Abschlussbericht

zum Vorhaben

Energetische Optimierung einer Flaschenreinigungsanlage durch Prozessintegration einer Hochtemperaturwärmepumpe

Projektnummer: 3310

Zuwendungsempfänger/-in

Brauerei Aying Franz Inselkammer KG

Umweltbereich

Ressourcen, Klimaschutz

Laufzeit des Vorhabens

21.12.2017 – 30.06.2019

Autoren

Dr.-Ing. Georg F. Schu, Dipl.-Ing. Matthias Kern

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Datum der Erstellung

01.08.2019

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 90030/120	Projekt-Nr.: 3310
Titel des Vorhabens: Energetische Optimierung einer Flaschenreinigungsanlage durch Prozessintegration einer Hochtemperaturwärmepumpe	
Autor/-en (Name, Vorname): Dr. Schu, Georg; Kern, Matthias	Vorhabenbeginn: 21.12.2017
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 30.06.2019
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Brauerei Aying Franz Inselkammer KG Münchener Str. 21 85653 Aying	Veröffentlichungsdatum: Oktober 2019
	Seitenzahl: 56
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Bei der Entwicklung von Flaschenreinigungsmaschinen (FRM) ist die Einsparung von Frischwasser begrenzt durch die maximale Flaschenabgabetemperatur. Hier werden die Nachbehandlungszonen in der FRM gekühlt, so dass der Wasserbedarf zur Rückkühlung der Flaschen erheblich abgesenkt werden kann. Die Kühlung erfolgt über eine Hochtemperaturwärmepumpe (HTWP). Um gleichzeitig den Wärmebedarf der FRM zur Beheizung des Hauptlaugebeckens decken zu können, wird der Wärmepumpe als weitere Wärmequelle Abwärme aus einer bestehenden KWK-Anlage mit Energiespeicher zur Verfügung gestellt. Neben der Wassereinsparung kann auch der Wärmebedarf erheblich reduziert werden.	
Schlagwörter: Brauerei, Flaschenreinigungsmaschine, Hochtemperaturwärmepumpe, Wassereinsparung, Wärmeeinsparung, Reduktion Primärenergieeinsatz	
Anzahl der gelieferten Berichte: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Süddeutsche Zeitung, Fachzeitschrift „Brauwelt“ Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: www.igs-eu.de

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 90030/120	Project–No.: 3310
Report Title: Energetic optimization of a bottle cleaning system through process integration of a high temperature heat pump	
Author/Authors (Family Name, First Name): Dr. Schu, Georg; Kern, Matthias	Start of project: 21.12.2017
	End of project: 30.06.2019
Performing Organisation (Name, Address): Brauerei Aying Franz Inselkammer KG Münchener Str. 21 85653 Aying	Publication Date: October 2019
	No. of Pages: 56
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): In the development of bottle washing machines (BWM), the saving of fresh water is limited by the maximum bottle delivery temperature. Here the aftertreatment zones in the BWM are cooled, so that the water requirement for re-cooling the bottles can be lowered considerably. Cooling takes place via a high-temperature heat pump (HTHP). In order to be able to meet the heat demand of the BWM for heating the main lavatory, the heat pump is provided as a further heat source waste heat from an existing cogeneration plant with energy storage available. In addition to saving water, the heat requirement can be significantly reduced.	
Keywords: Brewery, bottle washing machine, high temperature heat pump, water saving, heat saving, reduction of primary energy use	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	5
1.2. Ausgangssituation	5
2. Vorhabenumsetzung.....	6
2.1. Ziele des Vorhabens	6
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	7
2.3. Umsetzung des Vorhabens	12
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	13
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	13
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms	18
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	18
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung.....	18
3.2. Stoff- und Energiebilanz	18
3.2.1. Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn ohne WP	18
3.2.2. Betrieb ohne WP (mit BHKW)	19
3.2.3. Betrieb mit WP (mit BHKW)	20
3.2.4. Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn mit WP.....	22
3.3. Umweltbilanz.....	24
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	25
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	27
4. Übertragbarkeit	28
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	28
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)	32
5. Zusammenfassung	33
5.1. Einleitung	33
5.2. Vorhabenumsetzung	33
5.3. Ergebnisse.....	33
5.4. Ausblick.....	35
6. Summary	35
6.1. Introduction.....	35

6.2. Project implementation	35
6.3. Project results.....	35
6.4. Prospects	36
7. Literatur	37
8. Abbildungsverzeichnis.....	37
9. Tabellenverzeichnis.....	38
10. Anhang	39
Anhang 1: Abkürzungen und Maßeinheiten	39
Anhang 2: Balkenplan inhaltliche und zeitliche Umsetzung	41
Anhang 3: Messdaten zum Betrieb ohne WP	42
Anhang 4: Grafische Darstellung zum Betrieb ohne WP.....	48
Anhang 5: Messdaten zum Betrieb mit WP	49
Anhang 6: Grafische Darstellung zum Betrieb mit WP.....	52
Anhang 7: Messdaten zum Laugeaufheizen mit WP.....	53
Anhang 8: Grafische Darstellung zum Laugeaufheizen mit WP.....	56

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die Brauerei wurde 1876 von Johann Liebhard gegründet. Innerhalb eines Jahres wurde die Brauerei aufgebaut, am 02.02.1878 wurde das erste Bier ausgeschenkt. Der erste Telefonanschluss erfolgte in 1904, elektrischer Fremdstrom gab es erst ab 1911. Der erste Weltkrieg und die anschließende Weltwirtschaftskrise konnten nur schwer gemeistert werden. Erst ab 1926 wurde Flaschenbier abgefüllt. Der Ausstoß betrug 1930 bereits 16.000 hl Bier. Bedingt durch den zweiten Weltkrieg und die Nachkriegszeit sank der Ausstoß bis 1951 auf 13.000 hl Bier. Bis 1972 stieg der Ausstoß auf 160.000 hl Bier pro Jahr. 1999 wurde die neue Brauerei fertiggestellt. Seit 2010 ist Franz Inselkammer III. in der Geschäftsleitung.

Kreativität, Qualität, Regionalität und Innovation sind die 4 Säulen, auf denen alle Entscheidungen getroffen werden.

Heute liegen die Umsatzerlöse bei > 15 Mio €/a. Etwa 70 Mitarbeiter sind beschäftigt. Die Rechtsform ist eine KG.

Weitere Projektbeteiligte sind:

Krones AG, Neutraubling: Generalunternehmer und Lieferant der Flaschenreinigungsmaschine (FRM), verantwortlich für die Umbaumaßnahmen und Erweiterungen/Anpassungen rund um die FRM. Krones übernimmt auch den Zukauf und die Implementierung aller erforderlichen Maschinen und Komponenten.

IGS Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik, Hallbergmoos: Dr. Georg Schu ist Inhaber und eingetragener Energieberater bei der KfW-Bank und dem BAFA. IGS ist verantwortlich für die Konzeption des Verfahrens, die Antragsbearbeitung und Koordinierung der Maßnahmen.

1.2. Ausgangssituation

Die FRM, in der die rückgeführten Schmutzflaschen gereinigt werden (Mehrweggebinde), ist in die Jahre gekommen und erfordert zunehmend Investitionen in Reparaturen und den Erhalt. Durch die Ausstoßsteigerung der letzten Jahre ist der Wasserbedarf der Brauerei entsprechend angestiegen. Die Förderung von Brauwasser aus eigenen Brunnen ist aber limitiert, weshalb dringend Wassereinsparungen erfolgen müssen. Nachdem die bestehende FRM bisher den größten Wasserverbraucher darstellt, besteht hier auch das größte Einsparpotenzial. Neben der Frischwassereinsparung kommt es auch zu einer erheblichen Einsparung an Brennstoff am zentralen Kessel. Es ist ein erklärtes Ziel des Unternehmens, langfristig den Energiebedarf zu senken und die Umwelt zu schonen. Die Geschäftsleitung ist dabei sehr offen gegenüber innovativen Ideen und Verfahren.

2. Vorhabenumsetzung

Die theoretische Betrachtung des Verfahrens, auf die hier Bezug genommen wird, wurde bereits veröffentlicht.¹

2.1. Ziele des Vorhabens

Ressourceneffizienz Wasser

Ziel: Reduzierung des Wasserbedarfs um 84 % von 825 ml/FI auf 132 ml/FI bzw. um 37 % von 210 ml/FI bei der neuen FRM ohne HTWP auf 132 ml/FI bei der FRM mit HTWP.

Energieeffizienz thermisch

Ziel: Reduzierung des Primärenergiebedarfs im laufenden Betrieb um ca. 90 %. Durch die Reduzierung des Wasserbedarfes sinkt der Energiebedarf bereits von 42,2 auf 34,4 kJ/FI. Über den KWK-Speicher werden durch das Nachheizen der Wärmequelle mittels Abwärme der KWK nur noch ca. 3,5 kJ/FI (8,0 kJ/FI x η_{therm}) an Primärenergie beigesteuert. Das ist eine Reduzierung des Primärwärmebedarfs um ca. 92 % ($= 1 - (3,5/42,2)$ kJ/FI).

Energieeffizienz elektrisch

Ziel: Die Technologie erfordert zusätzlich ca. 5,5 Wh/FI für den Antrieb der HTWP und die zugehörige Peripherie. Der Strombedarf wird aber hocheffizient über Eigenstrom aus der KWK gedeckt.

CO₂-Einsparung

Im Jahr 2015 wurden in der Brauerei Aying ca. 16 Mio Flaschen abgefüllt. Da jede FRM aus regelungstechnischen Gründen überdimensioniert sein muss, ergibt sich die tatsächliche Stundenleistung < Nennleistung. Um die Berechnungen zu erleichtern, wird hier nur mit Volllaststunden gerechnet. Theoretisch ergibt sich dann eine Volllaststundenzahl für die FRM von nur 696 h/a. Zusätzlich kann die HTWP weitere 624 h/a betrieben werden, um die FRM nach Stillständen wieder auf Betriebstemperatur aufzuheizen.

Nach den vorläufigen Berechnungen aus dem theoretischen Teil des Projektes sollen CO₂-Einsparungen von knapp 162 t/a an CO₂ gegenüber der Bestands-FRM in Summe eingespart werden.

¹ Schu, G.; Kern, M.; Zweigardt, A.; Iwan, H.-J. : Neue Flaschenreinigungsmaschine mit Hochtemperaturwärmepumpe. Brauwelt Nr. 31-32, 2018

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

In einer FRM durchlaufen die Schmutzflaschen verschiedene Zonen, in denen sie chemisch, thermisch und mechanisch gereinigt werden. Man kann grob folgende Zonen unterscheiden:

- Flaschenaufgabe
- Vorweiche
- Hauptlaugebad
- Nachlaugespritzung
- Warmwasser 2-Spritzung
- Warmwasser 1-Spritzung
- Kaltwasser-Spritzung
- Frischwasser-Spritzung

Die Zonen können linear hintereinander angeordnet sein (Zweierendmaschinen) oder innerhalb der Maschine wieder zur Vorderseite zurückgeführt werden (Einendmaschinen).

Die Flaschen werden in Flaschenträgern nebeneinander mittels einer Transportkette durch die Zonen gefördert. Die Anzahl von Flaschen in einer Reihe (Maschinenbreite) ist abhängig von der gewünschten Ausbringung (Flaschen pro Stunde). Die Flaschen müssen am Austritt frei von Etiketten und inneren und äußeren Schmutzanhaftungen sein, sie müssen hygienisch sauber und frei von Rückständen der verwendeten Reinigungsmittel sowie ausreichend weit rückgekühlt sein.

Zur Erreichung dieser Ziele müssen Energie und Wasser in entsprechender Höhe zur Verfügung stehen.

Bei der Bestandsmaschine handelt es sich um das Fabrikat KHS aus dem Jahr 1990. Die Nennleistung liegt bei 31.000 FI/h, die Maschine wird aber nur mit einer Leistung von 16.000 FI/h betrieben. Der spezifische Frischwasserbedarf wurde mit 825 ml/FI bestimmt und der spezifische Wärmebedarf zu 182,5 kJ/FI. Hinzu kommt noch der Wärmebedarf zum Aufheizen der Maschine vor Beginn des Betriebes. Dieser ist davon abhängig, wie lange die Maschine zuvor außer Betrieb war. Insbesondere wenn die Lauge in der Maschine verbleibt, kühlt diese über die Umgebungsflächen ab und gibt die Wärme als Abstrahlung an den Aufstellraum ab. So kann auch im Winter die Abfüllhalle über mehrere Tage ohne sonstige Beheizung frostfrei gehalten werden. Übers Wochenende geht die Abkühlung viel weiter als von einem auf den anderen Tag. Diese Wärmeverluste müssen vor Beginn der Abfüllung

entsprechend ersetzt werden, so dass das Laugebad, aber auch die sonstigen Auf-
fangwannen auf ihre Betriebstemperatur kommen. Die Maschine arbeitet mit einer
Betriebstemperatur in der Hauptlauge von 82 °C. Die Betriebstemperatur soll in der
neuen FRM auf 78 °C gesenkt werden können.

Die neue FRM der Fa. KRONES AG hat eine Nennausbringung von 25.300 FI/h. Sie
verfügt über ein isoliertes Laugebad und eine Wärmerückgewinnung zwischen 2
Spritzzonen. Die Betriebstemperatur der Lauge liegt bei 78 °C.



Abbildung 1: Ein- und Auslaufseite der FRM

In der bereits optimierten Ausführung liegen die Verbrauchswerte wie folgt:

Spezif. Wasserbedarf:	210 ml/FI (25,5%)
Spezif. Wärmebedarf:	42,2 kJ/FI (23,1 %)

In Klammer ist ersichtlich wie hoch der heutige Bedarf im Vergleich zur Bestandsmaschine ist.

Eine weitere Reduzierung des Frischwasserbedarfes ist bei herkömmlicher Technik nicht möglich, da dann die Abgabetemperatur der sauberen Flaschen unzulässig ansteigt. Insbesondere in Ländern mit hohen Außentemperaturen und möglicherweise hohen Frischwassertemperaturen gibt es Probleme bei der Einhaltung der gewünschten Flaschenabgabemperaturen. Hier wurde in der Vergangenheit bereits über eine Aufbereitung von Abwasser aus der Flaschenreinigung zur Wiederverwendung und über eine künstliche Kühlung des aufbereiteten Wassers nachgedacht.

Die Aufgaben der Frischwasserspritzung sind:

- Vollständiges Freispülen der Glasoberflächen innen und außen von Rückständen der vorgelagerten Spritzungen (Lauge, Additive)
- Kühlen der Flaschen

Wenn man die Aufgabe der Rückkühlung zunächst zurückstellt, dann muss man feststellen, dass man nur für das Freispülen mit viel weniger Wasser, z.B. mit 50 ml/Fl, auskommt.²

Üblicherweise sind in der Frischwasserzone bis zu 3 Spritzrohre hintereinander angeordnet. Das letzte Spritzrohr in Richtung des Flaschendurchsatzes muss auf jeden Fall mit Frischwasser betrieben werden.

Neuerung 1:

Für eine Reduzierung des Frischwasserbedarfs können 1 oder 2 Spritzrohre mit aufbereitetem Wasser betrieben werden, das letzte mit Frischwasser. Vom aufgefangenen Wasser der 3 Spritzrohre kann ein Teil aufbereitet werden, der Rest läuft über in die vorgelagerte Spritzzone (WW 2). Auch durch die notwendige Überlaufmenge wird die Frischwassereinsparung limitiert. Es muss ein Minimum im Gegenstrom zum Flaschentransport überlaufen, damit keine zu starke Laugenverschleppung bis in den Bereich der Frischwasserspritzung erfolgt.

Ein großer Vorteil liegt in der Anordnung einer möglichen Wasseraufbereitung. In der letzten Spritzzone ist das aufgefangene Wasser bereits relativ sauber, weshalb der Aufwand für die Aufbereitung relativ gering ist. Man könnte eine Feinfiltration und eine Umkehr-Osmose-Anlage (UOA) einfügen. Im vorliegenden Fall könnte der Frischwasserbedarf sowohl um 1/3 oder auch 2/3 reduziert werden, indem 1 oder 2 Spritzrohre statt mit Frischwasser mit aufbereitetem Wasser betrieben werden.

² Dr.-Ing. Tobias Voigt: Temperaturreduzierung bei der Flaschenreinigung, 19. Flaschenkellerseminar, TUM, 2012

Man hat sich darauf verständigt, dass die Reduzierung von Frischwasser nur in Höhe von 37 % erfolgt. Eine Feinjustierung ist über den Spritzdruck möglich. Auf eine Wasseraufbereitung konnte hier komplett verzichtet werden, da das Mischwasser ausreichend sauber ist, um in der ersten Spritzung wiederverwendet zu werden.

Bleibt das Problem der Kühlung: Durch die Reduzierung des Frischwasserbedarfs würden die Temperaturen in den Spritzzonen bis hin zur Flaschenabgabe erheblich ansteigen.

Neuerung 2:

Es wird eine Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP) eingesetzt. Die Kühlleistung, die durch Reduzierung des Frischwassereinsatzes verloren geht, muss durch die HTWP aufgebracht werden, wenn die gleiche Flaschenabgabetemperatur erreicht werden soll wie bisher.



Abbildung 2: Ansicht Wärmepumpe (WP)

Der WP-Prozess wird so ausgelegt, dass die Kondensationstemperatur ausreichend über der Laugensolltemperatur liegt. Damit wird eine Beheizung des Laugenbades möglich. Die HTWP ermöglicht überhaupt erst eine weitere Wassereinsparung, indem die Aufgabe der Kühlung durch Frischwasser weitgehend von der HTWP übernommen wird. Die gewonnene Wärmeenergie wird durch die HTWP angehoben auf ein nutzbares Temperaturniveau. Der Wärmebedarf zur Beheizung des Laugenbades wird teilweise oder sogar vollständig gedeckt. Gemeinsam mit der Kühlenergie

aus der FRM wird die elektrische Antriebsenergie des Kompressors über den Heizkreis dem Laugebad in Form von Wärmeenergie zugeführt.

Um die Temperaturstufung in den Spritzzonen beibehalten zu können, darf die Kühlung nicht punktuell erfolgen, sondern es müssen entsprechend dem niedrigeren Wasserdurchsatz alle Zonen mit ausreichend hoher Temperatur gekühlt werden. Der Kühlkreislauf wird nacheinander über die einzelnen Wärmetauscher in den Druckleitungen zu den Spritzungen geführt.



Abbildung 3: Wärmetauscher zur Kühlung der Nachbehandlungszonen

Der Wärmeaustausch erfolgt über drei oder vier in Reihe geschaltete Wärmeübertrager. Aus den Temperaturen der einzelnen Auffangbecken und dem Volumenstrom des Kühlkreises kann die abzuführende Wärmeleistung berechnet werden.

Neuerung 3:

Aufgrund der gewählten Randbedingungen kann bei Vollast der Wärmebedarf durch die HTWP nicht vollständig gedeckt werden. Das bestehende BHKW ist saisonal nicht voll ausgelastet, da im Sommer die Wärmesenke „Raumheizung“ entfällt. Die Temperaturen im Energiespeicher 1 des BHKW sind aber nicht ausreichend hoch, um die Lauge direkt beheizen zu können. Außerdem können nur solche Verbraucher bedient werden, die es möglich machen, dass das Heizwasser aus dem Speicher entsprechend „kalt“, hier mit 65 °C, zum Speicher zurückgeführt wird. Es besteht aber die Möglichkeit, Wärme aus dem Speicher zu den oben aufgeführten

Bedingungen der HTWP auf der Wärmequellenseite zuzuführen. Im vorliegenden Fall wird der Kühlkreis mit Speicherwasser um ca. 10-15 K nachgeheizt. Damit steigt der Wärmeeintrag in den Verdampfer der HTWP auf ca. 200 kW. Die elektrische Antriebsleistung liegt bei ca. 80 kW, so dass am Kondensator eine Wärmeleistung von ca. 280 kW bei Vollast abgegeben wird. Dies entspricht der benötigten Wärmeleistung der FRM nach erfolgter Reduzierung des Frischwasserbedarfs durch Einsatz der HTWP. Entsprechend der Wärmelieferung aus dem Energiespeicher des BHKW (ca. 100 kW) steigt dessen Laufzeit und die Erzeugung von Eigenstrom.

Die theoretischen Verbrauchswerte liegen wie folgt:

Spezif. Wasserbedarf:	130 ml/FI
Spezif. Primärwärmebedarf therm.:	2,6 Wh/FI

Gegenüber der Standardmaschine liegt die Einsparung beim Wasserbedarf bei 37 %, gegenüber der Bestandsmaschine bei 84 %.

Der Wärmebedarf kann vollständig über die HTWP und das BHKW gedeckt werden. In beiden Fällen handelt es sich um Abwärme, die lediglich auf ein höheres Temperaturniveau angehoben wird. Dazu ist allerdings elektrische Energie erforderlich, die wiederum aus dem KWK-Prozess stammt. Bewertet man die KWK-Abwärme über den anteiligen Brennstoffeinsatz für die Abwärmenutzung der KWK, so kann der Primärwärmebedarf mit HTWP erheblich reduziert werden.

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Die inhaltliche und zeitliche Umsetzungsplanung geht aus dem beiliegenden Balkenplan hervor (siehe Anhang 2). Dort ist die ursprüngliche Projektplanung dargestellt. In der Realität ergaben sich zeitliche Verschiebungen, v.a. aufgrund von Lieferverzögerungen. Die Einbindung der WP konnte erst im Frühjahr 2019 beginnen. Nachdem alle relevanten Messstellen nachgerüstet und in das System Datalyze eingebunden waren und das Gesamtsystem im laufenden Betrieb noch optimiert wurde, konnte im Juni 2019 mit den ersten Messauswertungen begonnen werden.

Zunächst wurde die für eine Kombination mit WP vorbereitete FRM ohne HTWP geliefert und in Betrieb genommen. Die Beheizung des Laugebeckens erfolgte zunächst ausschließlich über HDHW. Es erfolgte dann eine technisch/technologische Inbetriebnahme, damit das durch die Ausfallzeit entstandene Defizit an abgefülltem Produkt durch erhöhte Abfüllzeiten wieder aufgeholt werden konnte.

In einem zweiten Schritt wurde die WP und die dazugehörige Peripherie aufgebaut und in einem dritten Schritt wurde der Umschluss durchgeführt, so dass von diesem Zeitpunkt wahlweise ohne und mit WP gefahren werden konnte.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Nach Rückfrage bei der zuständigen Genehmigungsbehörde, dem Landratsamt München, wurde zunächst festgestellt, dass keine immissionsrechtliche Genehmigung erforderlich ist, sondern lediglich eine Änderungsanzeige nach § 15 Abs. 1 BImSchG. Die Änderung der Beschaffenheit der Brauerei Aying Franz Inselkammer KG durch Austausch der Flaschenreinigungsmaschine wurde mit Datum vom 26.02.2019 als formlose Anzeige beantragt.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Im vorliegenden Fall müssen die Verbrauchsdaten der Maschine ohne und mit Einsatz der HTWP und gegenüber der Bestandsmaschine aufgezeigt werden. Bei den Verbrauchsdaten geht es um den Einsatz von Energie (Wärme und Strom) sowie den Bedarf an Frischwasser. Bei der Energie wird unterschieden in thermische und elektrische Energie. Die elektrische Energie kann aus der KWK-Anlage oder dem Netz kommen. Solange die HTWP in Betrieb ist, ist auch das vorhandene BHKW in Betrieb, weil dann auch in der Nacht der Strombedarf ausreichend hoch ist, dass das BHKW zumindest in Teillast betrieben werden kann. Tatsächlich stammte der gesamte Strombedarf der HTWP aus dem BHKW.

Bereits zu einem frühen Zeitpunkt wurde festgelegt, welche Messtechnik erforderlich ist, um eine komplette Energiebilanz erstellen zu können. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die relevanten verbauten Messstellen:

Bezeichnung Datalyze	R+I-Huber	Benennung	Anlage	Signal	Einheit
Brauerei_Aying.WP.EST.WMZDestLeistung	DS-Q-1	Wärmeleistung Deckenstrahler	DEST	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.ECO.WMZAWTLeistung	ECO-Q-1	Wärmeleistung AWT	ECO	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.ES2.WMZNachES2Leistung	ES2-Q-2	Wärmeleistung Input von ES1	ES2	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.ES2.WMZNachHWLeistung	ES2-Q-1	Wärmeleistung Nachheizen ES2 mit HDHW	ES2	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.FRMK.WMZKueLeistung	WP-Q-2	Wärmeleistung Kühlen NBZ	FRMK	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.LUVO.WMZLUVOLeistung	LUVO-Q-1	Wärmeleistung LUVO	LUVO	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.WP.WMZWPLeistung	WP-Q-3	Wärmeleistung WP Kondensator	WP	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.WPNH.WMZNachLeistung	WP-Q-1	Wärmeleistung Nachheizen Verdampfer aus ES2	WPNH	Aktuelle Leistung	kW
Brauerei_Aying.WP.WP_Leistung.Ist		elektr. Leistung WP	WP	Wirkleistung Gesamt	kW

Tabelle 1: Wärmemengenzähler und elektrische Leistung WP

Jede Wärmemengenmessung besteht aus einem Durchflussmessgerät und zwei Temperaturfühlern in Vor- und Rücklauf. Darüber hinaus sind 36 Temperaturfühler, Ventilöffnungsüberwachungen, 8 Pumpenleistungen, Durchflussüberwachungen und Anzeigen für den Ladezustand der Speicher installiert. Viele Werte werden auch aus der Datenerfassung in der FRM übernommen, wie z.B. der Flaschendurchsatz oder der Wasserverbrauch und die Wassertemperatur, die Laugentemperatur u.a.m. Alle genannten Werte und viele weitere Daten über Zustandsüberwachungen werden an das System Datalyze übermittelt und in dem bestehenden PLS ausgewertet und archiviert. Es können beliebige Messzeiträume festgelegt werden, für die die archivierten Prozessvariablen aufgerufen und in Form von Kurvenverläufen und Berichten dargestellt werden. Das Messintervall kann beliebig festgelegt werden. Im vorliegenden Fall wurden Minutenleistungswerte festgelegt. Die Daten

können in Form einer csv-Datei abgelegt und nach Excel zur weiteren Bearbeitung exportiert werden. Diese besteht darin, Leerstellen aufzufüllen mit den vorstehenden Werten. Es werden nur nach Änderungen Werte angezeigt. Bei gleichbleibenden Werten erschienen Leerstellen.

Durch die Vielzahl von Messungen aus unterschiedlichen Bereichen mit teilweise abweichendem Zeitstempel kommt es auch zu Mehrfachangaben innerhalb des Messzyklus. Überschüssige Messdaten sind aber zu entfernen, so dass pro Minute nur ein Messwert zur Verfügung steht. Andernfalls wäre eine Umrechnung von Leistung in Arbeit nicht möglich.

Eine Messung der Leistung „Nachheizung mit HDHW“ am maschineninternen WT existiert noch nicht, wird aber nachgerüstet. Es ist aber ein WMZ im Bestand vorhanden, der jedoch nicht über entsprechende Schnittstellen verfügt, um über Datalyze verarbeitet werden zu können. Hier wurden jeweils zu Beginn und Ende eines Messzeitraumes Ablesungen vorgenommen, um aus der Differenz den Wärmebedarf zu bestimmen.

Alle Messdaten stehen auch in Zukunft über Datalyze zur Verfügung, so dass auch nach Beendigung des Projektes ein Monitoring möglich ist.

Die einzelnen Bereiche des gesamten Systems einschließlich der verbauten Messstellen sind nachfolgend in Form von Fließbildern dargestellt. Es handelt sich aber um Momentaufnahmen, die nicht in einem zeitlichen Zusammenhang stehen. Somit ist den Angaben in den gelb markierten Anzeigen keine Beachtung zu schenken.

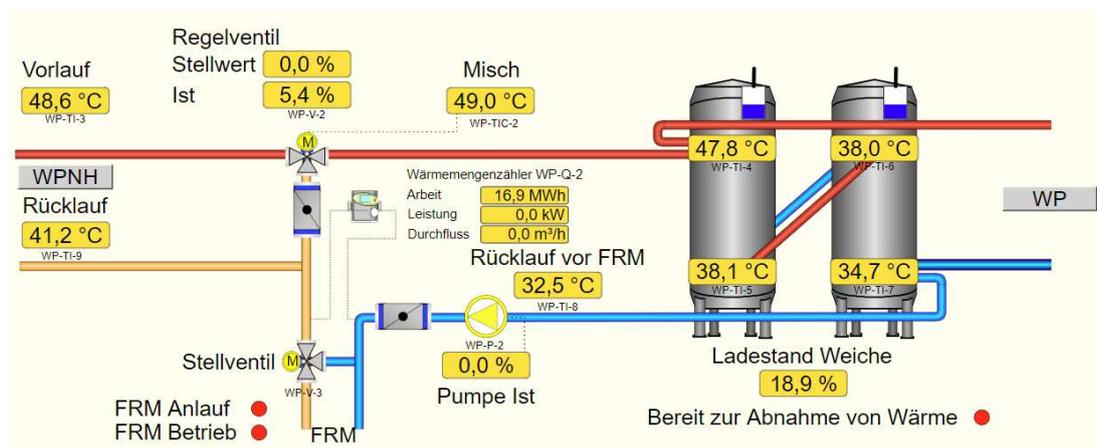


Abbildung 4: Kühlung der NBZ durch WP

Hier ist erkennbar, dass ein „kalter“ RL vom „kalten“ Ende der Doppelweiche zur FRM geführt wird. Dieser wird in den WT der Nachbehandlungszonen (NBZ) schrittweise erwärmt. Da die hier zur Verfügung stehende Wärmemenge nicht ausreicht, um über die WP eine ausreichende Kondensatorleistung zur Verfügung zu stellen, ist eine Nachheizung notwendig.

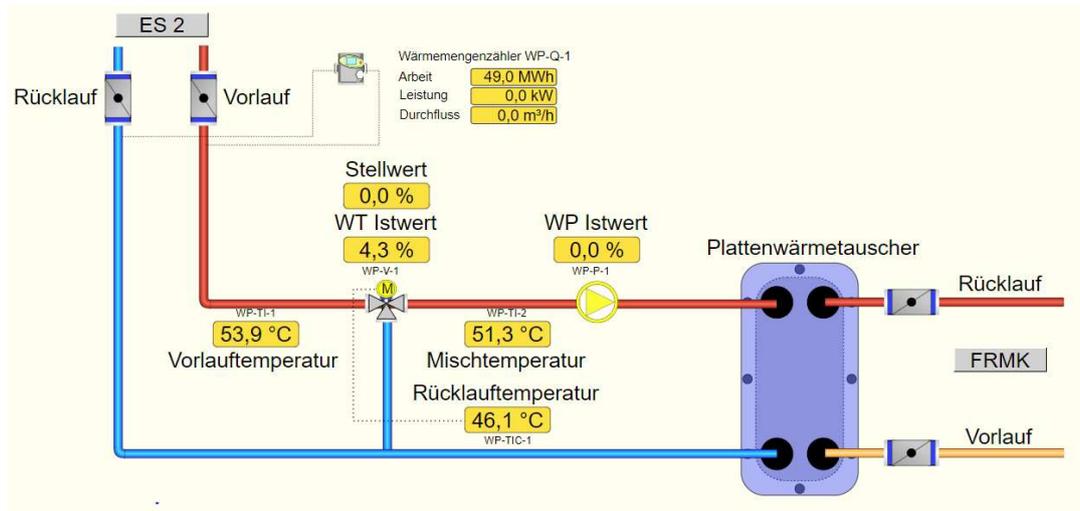


Abbildung 5: Nachheizen Kühlkreislauf über ES2

Dazu wird Energie aus dem Energiespeicher ES2 entnommen und über den dargestellten Platten-WT auf den Vorlauf zum Verdampfer der WP übertragen. Die Energie aus dem Energiespeicher ES2 kann aus dem ES1 kommen, aus dem Überschuss vom Abgaswärmetauscher (AWT) oder von der Nachheizung mittels Hochdruckheißwasser (HDHW).

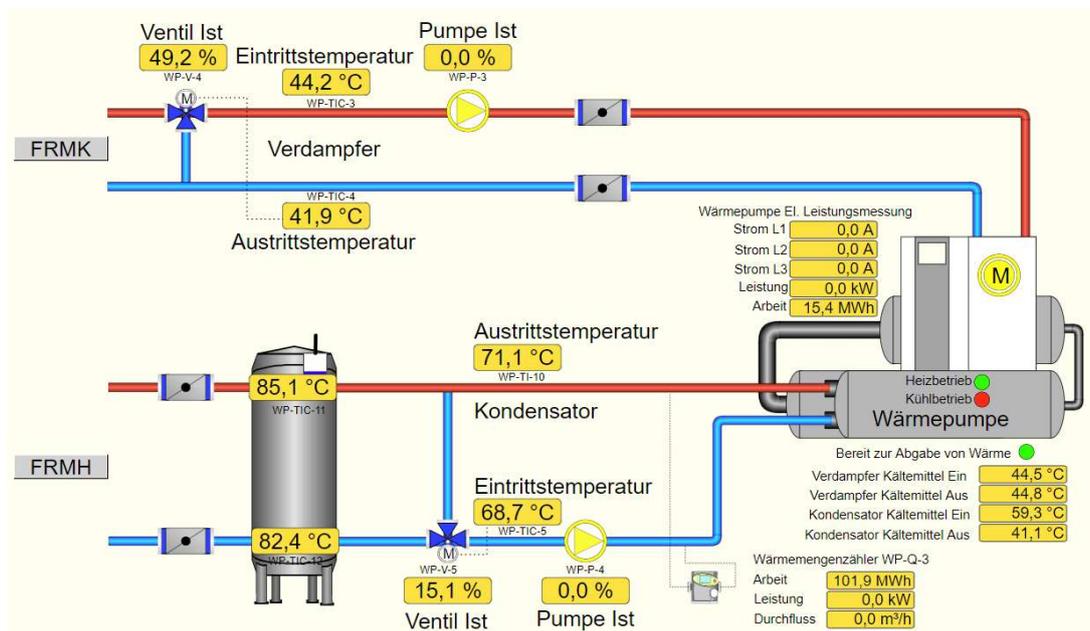


Abbildung 6: Einbindung der WP

Hier wird die Wärme dem Verdampfer der WP zugeführt. Der Kompressor der HTWP wird mit elektrischer Energie angetrieben. Diese stammt überwiegend oder vollständig aus der Eigenkrafterzeugung mittels BHKW. Auf der Kondensatorseite wird die zugeführte Wärme einschließlich der elektrischen Energie auf hohem Temperaturniveau wieder abgegeben.

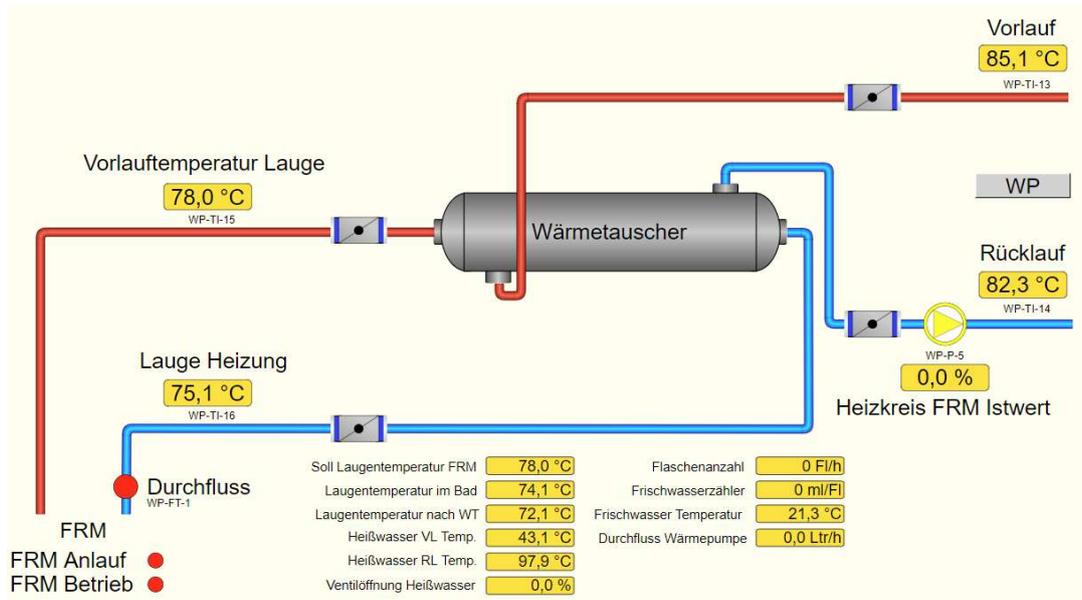


Abbildung 7: Lauge-WT

Sie wird im dargestellten WT auf den Laugenkreislauf übertragen. Auf der Austrittsseite wird dem Lauge-WT der maschineninterne Lauge-WT nachgeschaltet, der mit HDHW beheizt wird. Sollte die geforderte Solltemperatur am Laugenausstritt nicht erreicht werden, wird mittels HDHW nachgeheizt.

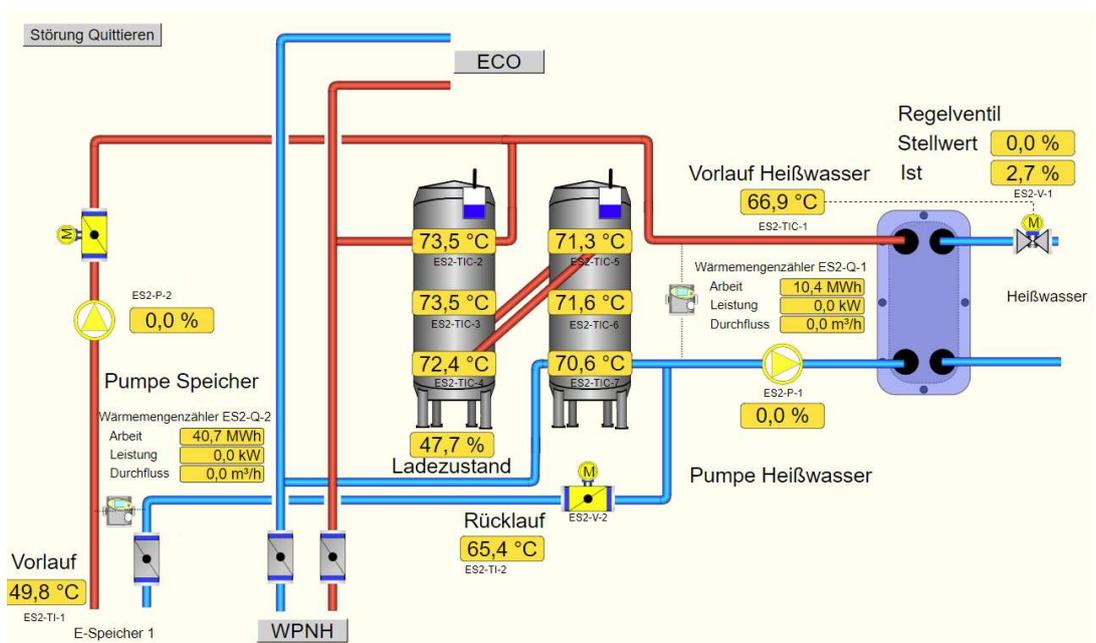


Abbildung 8: Energiespeicher 2

Der ES2 besteht aus Platzgründen wieder aus 2 hintereinander geschalteten Behältern. Er ist mit dem Kopf- und Fußraum des ES1 verbunden und stellt praktisch eine Erweiterung mit Kopfraumbeheizung dar. Input kommt vom ES1, dem Eco (AWT)

und der Nachheizung mit HDHW. Als Verbraucher ist derzeit nur die WP und die Deckenstrahlungsheizung Füllerei angeschlossen. Es sind aber weitere Anschlüsse von Verbrauchern vorgesehen.

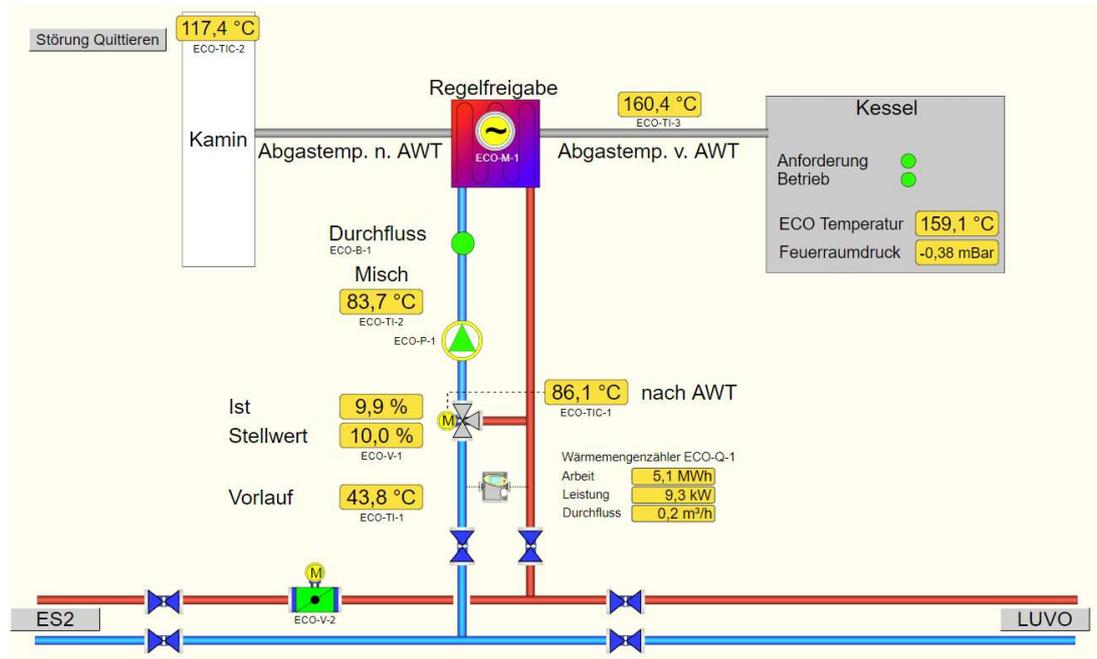


Abbildung 9: Abgaswärmetauscher Kessel

Die Abbildung zeigt den AWT, der zwischen HDHW-Kessel und Kamin in den Rauchgasweg eingebunden ist. Die gewonnene Abwärme wird dem Luftvorwärmer (LuVo) am Kessel zugeführt. Ein Überschuss geht auf den ES2.

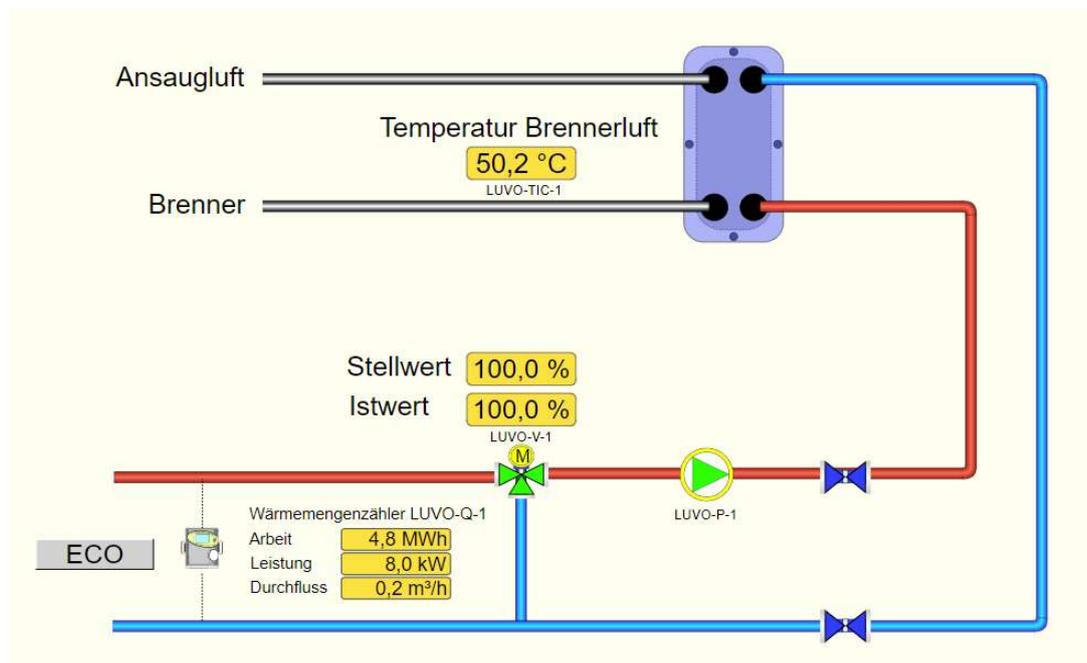


Abbildung 10: LuVo Kessel

Über den LuVo wird die Verbrennungsluft vorgewärmt, wodurch die Effizienz des Kessels erhöht wird.

Aus den Detailbildern aus dem Prozessleitsystem (PLS) ist ein Großteil der Daten ersichtlich, die hier erfasst sind. Daraus können auch die notwendigen Bilanzierungen ermittelt werden.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Dem Messprogramm liegen die Zeiträume zugrunde, die für die energietechnische Abnahme bestimmt wurden. Hier werden folgende Zeiträume betrachtet:

- Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn ohne WP
- Betrieb der FRM ohne WP
- Betrieb der FRM mit WP
- Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn mit WP

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Abgesehen von Verzögerungen durch die Lieferfirmen konnte die Montage der Anlageanteile sowie die hydraulische Verrohrung ohne größere Schwierigkeiten abgeschlossen werden. Insbesondere die übergeordnete Steuerung stellte hohe Anforderungen an die Programmierer. Bei der Inbetriebnahme konnten aber alle Probleme erkannt und beseitigt werden. Die Abnahme hat letztlich gezeigt, dass die Ziele überwiegend erreicht und teilweise sogar übertroffen wurden.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Nachfolgend werden die einzelnen Phasen gemäß 2.6 betrachtet.

3.2.1. Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn ohne WP

Da das Aufheizen ohne WP bei ausgeschaltetem BHKW ausschließlich mit HDHW erfolgt, wurde am WMZ HDHW im Bestand durch Ablesung zu Beginn und Ende des Aufheizens der HDHW-Bedarf als Differenz ermittelt. Das Ende des Aufheizens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lauge-Solltemperatur von 78 °C erreicht ist.

Das Aufheizen dauerte von 06:06 bis 06:45 Uhr, also nur 39 Minuten. Die Lauge musste von 64,4 °C auf 78 °C erwärmt werden. Die Dauer des Aufheizens ist abhängig von der Temperatur der Lauge im Laugenbad und diese ist wiederum abhängig von der Verweilzeit seit der letzten Abfüllung und von der Umgebungstemperatur. Wurde am Vortag abgefüllt, so ist die Verweilzeit kurz und die Abkühlung der Lauge im isolierten Laugenbecken gering. Liegt die letzte Abfüllung 3 oder 4 Tage zurück, kühlt die Lauge trotz isoliertem Laugenbecken weiter ab und es muss entsprechend mehr Energie zur Wiederaufheizung eingesetzt werden.

Im vorliegenden Fall wurden 600 kWh zur Laugenaufheizung eingesetzt. Die Ableseung erfolgt am WMZ mit einer Genauigkeit von 10 kWh.

3.2.2. **Betrieb ohne WP (mit BHKW)**

Beim Anfahren der FRM erfolgt zunächst ein Einschwingen der Betriebsparameter. Der Messzeitraum beginnt deshalb nicht mit dem Start der FRM, sondern erst nach Abschluss der Einfahrphase und wird beendet vor dem Leerfahren der FRM.

Zunächst wird aus den verfügbaren Prozessvariablen die erforderliche Auswahl getroffen. Wie bereits in 2.5 erläutert, können die Rohdaten im Format csv nach Excel exportiert werden und müssen dann entsprechend bearbeitet werden. Die ausgewerteten Daten sind aus dem Anhang Nr. 3 ersichtlich. Eine grafische Darstellung des Messzeitraums ist Anhang Nr. 4 zu entnehmen.

Es zeigt sich, dass während des Messzeitraums das BHKW in Betrieb war. Die Abgaswärme des BHKW wird auf den HDHW-Kreislauf im Kesselhaus übertragen. Unter Zugrundelegung der durchschnittlichen Wirkungsgrade des BHKW ist ein Anteil in Höhe von 19,2 % des Brennstoffbedarfs BHKW im HDHW-Bedarf enthalten. Dies muss bei der Berechnung des PE-Bedarfs entsprechend berücksichtigt werden.

Der Messzeitraum beginnt um 06:50 Uhr und endet um 11:14 Uhr. In dieser Zeit wurden 70.315 Flaschen gereinigt. Der gemittelte Flaschendurchsatz beträgt 15.920 FI/h. Der gesamte Frischwasserbedarf beläuft sich auf 12,6 m³ oder spezifisch auf 179 ml/FI.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse.

Anzahl Flaschen	FI	70.315
mittl. Durchsatz	FI/h	15.920
Wasserbedarf	ml	12.601.338
Garantiewert Wasserbedarf	ml/FI	210
mittl. Wasserbedarf	ml/FI	179
Garantiewert Wärmebedarf	kJ/FI	42,2
Ist Wärmebedarf	kJ/FI	41,0
	Wh/FI	11,38
PE therm. spezif. Kessel	Wh/FI	14,51
PE therm. spezif. BHKW	Wh/FI	1,22
PE gesamt	Wh/FI	15,73

Tabelle 2: Ergebnisse vom Betrieb der FRM ohne WP

Der Garantiewert in Höhe von 210 ml/FI wurde demnach um 14,8 % unterschritten. Der spezifische Wärmebedarf der FRM ergibt sich zu 41 kJ/FI. Der garantierte Wert von 42,2 kJ/FI wurde demnach um 2,9 % unterschritten.

Rechnet man die Verbrauchswerte auf PE um, so muss der Anteil der PE von Kessel und BHKW entsprechend berechnet werden. Insgesamt ergibt sich der PE-Bedarf im Messzeitraum zu 15,73 Wh/Fl.

3.2.3. Betrieb mit WP (mit BHKW)

Der auswertbare Messzeitraum wurde auch hier entsprechend festgelegt.

Die ausgewerteten Daten sind aus dem Anhang 5 ersichtlich. Eine grafische Darstellung des Messzeitraums ist Anhang Nr. 6 zu entnehmen.

Ist die WP in Betrieb benötigt sie Wärme auf der Verdampferseite, um unter Addition der elektrischen Antriebsenergie am Kondensator eine entsprechende Heizleistung abgeben zu können. Als Wärmequellen dienen hier einerseits die Nachbehandlungszonen in der FRM, die gekühlt werden, und andererseits Wärme aus dem ES2. Ziel ist, über den Kondensator der WP den gesamten Wärmebedarf der FRM zu decken. Die Wärme, die der WP aus dem ES2 zugeführt wird, kann sich aus verschiedenen Wärmequellen zusammensetzen:

- Wärme aus ES1
- Überschusswärme aus AWT
- Nachheizen mittels HDHW

Die Wärme aus ES1 stammt ausschließlich aus dem Kühlwasser des BHKW. Bei der Überschusswärme aus dem AWT des Kessels handelt es sich um Wärmerückgewinnung (WRG). Beim Nachheizen mit HDHW ist zu unterscheiden, ob der Bedarf kleiner oder größer ist als gleichzeitig über den AWT des BHKW in das HDHW eingebracht wird. Ist der Bedarf höher, muss der übersteigende Anteil direkt über den Kessel mittels Brennstoff gedeckt werden.

Der Messzeitraum beginnt um 12:17 Uhr und endet um 14:14 Uhr, das sind 157 Minuten. In dieser Zeit wurden 48.521 Flaschen gereinigt. Der gemittelte Flaschendurchsatz beträgt 18.543 Fl/h. Der gesamte Frischwasserbedarf beläuft sich auf 18,54 m³ oder spezifisch auf 118 ml/Fl.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse.

Anzahl Flaschen	Fl	48.521
mittl. Durchsatz	Fl/h	18.543
Wasserbedarf	ml	5.728.127
mittl. Wasserbedarf	ml/Fl	118
Kühlleistung WP	kW	90,4
Kondensatorleistung	kW	207,6
PE el Kompressor	kW	74,8
Heizleistung ESP2	kW	48,1
Verlustleistung	kW	5,8
PE therm. spezif.	Wh/Fl	2,60
PE el. spezif.	Wh/Fl	7,11
PE gesamt	Wh/Fl	9,71
cop Wärmepumpe gesamt		3,98
Einsparung Wärme		
bezogen auf neue FRM ohne WP	%	38,3%
bezogen auf alte FRM ohne WP	%	86,6%
Einsparung Wasser		
bezogen auf neue FRM ohne WP	%	34,1%
bezogen auf alte FRM ohne WP	%	85,7%

Tabelle 3: Ergebnisse vom Betrieb der FRM mit WP

Durch die Kühlung der NBZ mit der WP kann bei gleicher Flaschenabgabetemperatur der Frischwasserbedarf deutlich abgesenkt werden. Es werden nur noch 118 ml/Fl benötigt. Das entspricht gegenüber der FRM ohne WP einer Einsparung in Höhe von 34,1 %. Gegenüber der Bestands-FRM werden sogar 85,7 % Wasser eingespart.

Die Berechnung des Wärmebedarfs erfolgt über eine Bilanzierung. Bildet man die Summe aus Kühlung der FRM, Heizleistung aus ES1 und elektrische Antriebsleistung des Kompressors, so erkennt man, dass die Heizleistung des Kondensators geringer ist. Die Differenz ist die Verlustleistung von WP und Peripherie, die aber nur 5,8 kW entsprechend 2,7 % beträgt.

Der thermische PE-Bedarf beträgt nur 2,6 Wh/Fl. Es muss aber der PE-Bedarf für die elektrische Antriebsleistung am Kompressor zusätzlich berücksichtigt werden. Diese stammt im vorliegenden Fall ausschließlich aus der Eigenstromerzeugung des BHKW, da die WP nur gleichzeitig mit dem BHKW betrieben wird. Fällt das BHKW aus, wird über die Steuerung auch die WP ausgefahren, da sonst – insbesondere in der Nacht – Fremdstrom für den Antrieb bezogen würde. Der resultierende PE-Bedarf beträgt 7,11 Wh/Fl. Der gesamte PE-Bedarf liegt folglich bei 9,71 Wh/Fl.

Die Einsparung an Wärme gegenüber der neuen FRM ohne WP liegt bei 38,3 %, gegenüber der Bestands-FRM sogar bei 86,6 %.

Der mittlere cop liegt bei 3,98. Er ergibt sich aus der Summe von zugeführter Wärmeleistung und Kondensatorleistung dividiert durch die elektrische Antriebsleistung. Einzelne Werte lagen bis > 4,8.

3.2.4. Aufheizen der Lauge vor Betriebsbeginn mit WP

Der Messzeitraum beginnt um 03:32 Uhr und endet um 05:51 Uhr, das sind 139 Minuten.

Die ausgewerteten Daten sind aus dem Anhang 7 ersichtlich. Eine grafische Darstellung des Messzeitraums ist Anhang Nr. 8 zu entnehmen.

Da die FRM nicht in Betrieb ist, kann auch keine Kühlung der NBZ stattfinden. Die der WP zugeführte Wärme stammt ausschließlich aus dem ES2 und setzt sich zusammen aus NT-Wärme BHKW, Überschuss AWT Kessel und Nachheizen mittels HDHW, wobei unterschieden wird zwischen HDHW aus AWT BHKW und HDHW aus dem Kessel.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse.

Kühlleistung WP	kW	2,6
Kondensatorleistung	kW	257,5
PE el Kompressor	kW	86,3
Heizleistung ESP2	kW	162,9
Verlustleistung	kW	5,7
PE therm. BHKW NT	kWh	245,5
PE therm. BHKW Abgas	kWh	117,3
PE therm. Kessel	kWh	16,9
PE el. WP	kWh	337,1
Überschuss Stromerzeugung BHKW	kWh	14,0
PE gesamt	kWh	716,9
cop Wärmepumpe gesamt		3,01
Wärmebedarf abgelesen	kWh	600,0
PE Aufheizen ohne WP	kWh	857,1
Einsparung durch Einsatz WP	kWh	16,4%

Tabelle 4: Ergebnisse vom Aufheizen der Lauge mit WP

Die Heizleistung wird ausschließlich über den Kondensator der WP zur Verfügung gestellt. Da keine Kühlung stattfindet, muss der gesamte PE-Bedarf aus dem ES2 gedeckt werden. Die berechnete Verlustleistung ist gleich hoch wie im Betrieb der FRM.

Aus den einzelnen Anteilen der Wärmebereitstellung wird jeweils der PE-Bedarf errechnet. Einschließlich der elektrischen Antriebsleistung der WP ergibt sich ein PE gesamt zu 716,9 kWh für den Messzeitraum.

Der cop liegt mit 3 deutlich niedriger als im Betrieb der FRM. Dies ist auf die unterschiedlichen Randbedingungen des WP-Betriebes zurückzuführen.

Vergleicht man den PE-Bedarf unter Einsatz der WP mit dem PE-Bedarf beim Aufheizen mit HDHW aus dem Kessel, dann ergibt sich eine Einsparung in Höhe von > 16 %.

Zusätzlich ergibt sich ein Überschuss an Strom, der am BHKW erzeugt wird, das ja immer gemeinsam mit der WP in Betrieb ist. Ohne WP könnte das BHKW in der Nacht nicht in Betrieb sein, da die Mindestleistung für den BHKW-Betrieb bei derzeit 60 % eingestellt ist. Der geringe Überschuss von 14 kWh ist darauf zurückzuführen, dass trotz ausreichend hohem Strombedarf einschließlich der WP die Leistung des BHKW abgeregelt wird, wenn der ES1 einen zu hohen Füllungsgrad hat. Am Verlauf der Kurve der Generatorleistung erkennt man, dass mit zunehmender Entnahme von Wärme aus dem ES1 die Vorgabe für die BHKW-Leistung ansteigt.

Wieviel zusätzlicher Eigenstrom über das BHKW durch das Aufheizen der Lauge mittels WP übers Jahr erzeugt wird, kann nicht vorausgesagt werden. Dieser zusätzliche Eigenstrom substituiert aber Fremdstrom, was zu einer zusätzlichen PE- und CO₂-Einsparung führt.

Im Mittel über 5 Wochen lag die Laugentemperatur zu Beginn des Aufheizens in der Nacht von Sonntag auf Montag bei 46 °C. Die Raumtemperatur in der Abfüllhalle wird mittels der neuen Deckenstrahler auf mind. 15 °C gehalten. Die Abkühlung ist also zu Beginn der Woche deutlich höher und so muss bei der zur Verfügung stehenden Heizleistung mit der WP die notwendige Aufheizzeit länger sein, entsprechend muss mit der Aufheizung früher begonnen werden.

Aus den Messungen mit WP unter der Woche kann man linear hochrechnen auf den Wärmebedarf der zu Anfang der Abfüllwoche für das Aufheizen benötigt wird. In dem zugrunde liegenden Messzeitraum lag die notwendige Temperaturerhöhung bei 23 K, entsprechend 717 kWh, das sind ca. 31 kWh/K. Bei einer Temperaturdifferenz von 46 K ergibt sich dann ein Wärmebedarf von 1.426 kWh.

Im Prinzip zählt jeder Montag einer Abfüllwoche doppelt, da die Aufheizzeit mind. doppelt so lange ist. Multipliziert man die Summe (Abfülltage + 49) mit der Differenz zwischen (PE gesamt mit WP – PE Aufheizen ohne WP), so erhält man die PE-Einsparung über das ganze Jahr.

$$\text{PE-Einsparung} = (191 + 49) \text{ d/a} \times (857,1 - 716,9) \text{ kWh} = 33.648 \text{ kWh/a}$$

Entsprechend ergibt sich eine zusätzliche CO₂-Einsparung in Höhe von 6,8 t/a.

3.3. Umweltbilanz

In die Umweltbilanz gehen gleichzeitig die Einsparungen an Ressourcen wie Brennstoff und Wasser sowie die Einsparung an CO₂ ein.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt folgende Tabelle.

		alte FRM	neue FRM ohne WP	neue FRM mit WP
gereinigte Flaschen	Fl/a	16.000.000	16.000.000	16.000.000
spezif. Wärmebedarf	kJ/Fl	182,5	41,0	9,4
spezif. Wärmebedarf	Wh/Fl	50,7	11,4	2,6
PE-Bedarf Wärme	Wh/Fl	72,4	15,7	2,6
spezif. Wasserbedarf	ml/Fl	825	179,2	118,1
therm. PE-Einsparung gg. neue FRM ohne WP	Wh/Fl			13,1
therm. PE-Einsparung gg. alte FRM	Wh/Fl		56,7	69,8
PE-Einsatz elektr. Energie für WP	Wh/Fl			7,1
PE gesamt für neue FRM mit WP	Wh/Fl		56,7	9,7
PE-Einsparung gesamt gg. neue FRM ohne WP	Wh/Fl			6,0
PE-Einsparung gesamt gg. alte FRM	Wh/Fl		56,7	62,7
PE-Einsparung gesamt gg. neue FRM ohne WP	%		78,3%	38,3%
PE-Einsparung gesamt gg. alte FRM	%			86,6%
Einsparung Wasserbedarf gg. alte FRM	%		78,3%	85,7%
Einsparung Wasserbedarf gg. neue FRM ohne WP	%			34,1%
CO ₂ -Einsparung gg. alte FRM	t/a		183,2	202,7
CO ₂ -Einsparung gg. neue FRM ohne WP	t/a			19,5
Einsparung Wasserbedarf gg. alte FRM	m ³ /a		10.333	11.310
Einsparung Wasserbedarf gg. neue FRM ohne WP	m ³ /a			978

Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse und CO₂-Einsparung

Gegenübergestellt sind die Bedarfswerte im laufenden Betrieb der alten Bestands-FRM, der neuen FRM ohne WP und der neuen FRM mit WP. Die neue FRM ohne WP stellt den Stand der Technik dar, wobei es sich aber um eine moderne, energieoptimierte FRM mit einem bereits niedrigen Wasserbedarf handelt. Standardmäßig ist bereits eine Wärmerekuperation vorhanden und das Laugebad der FRM ist komplett isoliert.

Die zusätzliche PE- und CO₂-Einsparung durch den zusätzlich erzeugten Eigenstrom ist hier nicht enthalten.

Ebenfalls nicht enthalten ist die PE- und CO₂-Einsparung durch das Aufheizen der Lauge mit der WP.

Man sieht, dass die CO₂-Einsparung gegenüber dem Aufheizen mit HDHW mit 19,5 t/a nicht sehr hoch ist, gegenüber der Bestands-FRM ergibt sich aber eine hohe Einsparung von > 200 t/a.

Folgende Tabelle fasst die absoluten Verbräuche und Minderungen für die 3 Zustände zusammen:

		alte FRM	neue FRM ohne WP	neue FRM mit WP
Wasserbedarf absolut	m ³ /a	13.200	2.867	1.890
Einsparung Wasser absolut gg. alte FRM	m ³ /a		10.333	11.310
Einsparung Wasser absolut gg. neue FRM ohne WP				978
PE-Bedarf absolut	MWh/a	1.158,7	251,7	155,4
Einsparung PE-Bedarf absolut gg. alte FRM	MWh/a		907,1	1.003,4
Einsparung PE-Bedarf absolut gg. neue FRM ohne WP	MWh/a			96,3
CO ₂ -Emission absolut	t/a	234,1	50,8	31,4
Einsparung CO ₂ -Emission absolut gg. alte FRM	t/a		183,2	202,7
Einsparung CO ₂ -Emission absolut gg. neue FRM ohne WP	t/a			19,5

Tabelle 6: Absolute Verbräuche und absolute Einsparungen

Die Einsparungen gegenüber der Bestands-FRM sind enorm. Obwohl die neue Standard-FRM bereits sehr niedrige Energie- und Wasserverbräuche aufweist können die Verbräuche und CO₂-Emissionen mit der innovativen Wärmepumpentechnik weiter reduziert werden.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Zur Wirtschaftlichkeitsanalyse sind zunächst die Kosten zu bestimmen. Da das Projekt noch nicht komplett abgerechnet ist, wird auf die Kostenangaben aus dem Antrag zurückgegriffen.

Die komplette FRM einschließlich der Ausrüstung zur Kühlung der NBZ und sonstiger Anpassungen sowie die Wärmepumpenanlage wurde durch die Krones AG zu einem verhandelten Festpreis geliefert. Hinzu kommen Kosten für die Anbindung an das vorhandene BHKW, interne Löhne und Gehälter, die Kosten für die messtechnische Begleitung und für die Kommunikation nach außen.

Summe Flaschenreinigungsmaschine + Wärmepumpensystem (KRONES)	1.400.000,00
Anbindung BHKW	32.384,00
Löhne und Gehälter	11.333,00
Messtechnische Begleitung zum Nachweis der Effizienz, Auswertung, Bericht	8.000,00
Aufwand Kommunikation nach außen	5.000,00
Gesamtsystem FRM + WP + Anbindung BHKW	1.456.717,00
förderfähige Mehrkosten gegenüber Standard	875.751,90
Zuschuß 30 % aus Mehrkosten	262.725,57
Invest Aying verbleibend	1.193.991,43
nicht förderfähig (Ersatzinvestition)	580.965,10
Mehrkosten abzüglich Zuschuß	613.026,33

Tabelle 7: Kostenzusammenstellung

Die Mehrkosten aus der Gesamtinvestition gegenüber einer Standard-FRM wurden zu 875.751,90 € ermittelt. Darauf wurde ein Zuschuss von 30 % berechnet. Zieht man von dem verbleibenden Betrag die nicht förderfähigen Kosten der Standardmaschine ab (Ersatzinvestition), so ergeben sich die Mehrkosten nach Zuschuss. Diese sollten sich in einer akzeptablen Zeit amortisieren.

Abfüllung	Fl/a	16.000.000
PE-Bedarf neue FRM ohne WP	Wh/Fl	56,7
PE-Bedarf neue FRM mit WP	Wh/Fl	9,7
PE-Einsparung	Wh/Fl	47
Gaspreis	€/kWh Ho	0,0325
Zustandszahl Gas		0,903
Einsparung Gaskosten	€/a	27.065
Wasserbedarf neue FRM ohne WP	ml/Fl	179,2
Wasserbedarf neue FRM mit WP	ml/Fl	118,1
Wassereinsparung spezif.	ml/Fl	61,1
Wasserpreis	€/m ³	1,09
Abwasserpreis	€/m ³	0,95
Einsparung Wasser/Abwasser	€/a	1.994
PE-Einsparung Aufheizen	kWh/a	33.648
Gaspreis	€/kWh Ho	0,0325
Zustandszahl Gas		0,903
Einsparung Gaskosten	€/a	1.211
Summe Einsparungen	€/a	30.271

Tabelle 8: Einsparungen durch zusätzliche WP-Technologie

Die Summe der Einsparungen ergibt sich zu > 30.000 €/a. Statisch betrachtet ergibt sich eine Amortisationsdauer von > 20 Jahren. Dies ist nur deshalb akzeptabel, weil die Betriebsdauer der FRM bei der derzeitigen Nutzung auf mind. 25 Jahre ausgelegt ist. Die Technik rechnet sich also in der zu erwartenden Nutzungsdauer.

Eine dynamische Betrachtung verbessert das Ergebnis.

Bezeichnung	Einheit	Wert
Kapitaleinsatz	€	613.026
Endwert	€	0
Einsparungen	€/a	30.271
Energiekostensteigerung	%	3%
Betriebskostensteigerung	%	1%
Kalkulationszinssatz	%	2%
Perioden (Jahre)	n	25
jährliche Kosten	€	6.130
Ergebnisse unterschiedlicher Berechnungsmethoden		
Kapitalwert	€	89.292 €
dyn. Amortisation	a	16,5
interner Zinsfuß (20 Jahre)	%	3,0%
ROI	a	25,4

Tabelle 9: Unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Wirtschaftlichkeit mit Förderung

Für die jährlichen Betriebskosten wurde eine Annahme getroffen (1 % der Investitionskosten).

Betrachtet man die Wirtschaftlichkeit ohne Förderung, so ergibt sich folgendes Bild:

Bezeichnung	Einheit	Wert
Kapitaleinsatz	€	875.752
Endwert	€	0
Einsparungen	€/a	30.271
Energiekostensteigerung	%	3%
Betriebskostensteigerung	%	1%
Kalkulationszinssatz	%	2%
Perioden (Jahre)	n	25
jährliche Kosten	€	6.130
Ergebnisse unterschiedlicher Berechnungsmethoden		
Kapitalwert	€	-173.434 €
dyn. Amortisation	a	23,5
interner Zinsfuß (20 Jahre)	%	0,4%
ROI	a	36,3

Tabelle 10: Unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Wirtschaftlichkeit ohne Förderung

Es ist festzustellen, dass sich die Investition mit Förderung deutlich schneller rechnet. Ohne Förderung ist eine akzeptable Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Der Vergleich zur konventionellen Technik gestaltet sich recht einfach. Es handelt sich ja im Prinzip um die gleiche Maschine, die aber bereits energetisch und in Bezug auf den Frischwasserbedarf optimiert ist.

Ohne die WP sind 3 Spritzrohre mit Frischwasser beaufschlagt. Schaltet die WP dazu, werden die Ventile so umgestellt, dass die erste Frischwasserspritzung nicht mit Frischwasser, sondern mit Mischwasser aus dieser Abteilung versorgt wird. Es hat sich herausgestellt, dass die Qualität aufgrund geringer Laugenverschleppung so gut ist, dass hier auf eine Wasseraufbereitung verzichtet werden kann.

Theoretisch wäre es möglich, die ersten beiden Spritzrohre mit Mischwasser zu beaufschlagen. Dies hätte aber zur Folge, dass der Durchsatz durch die Maschine im Gegenstrom zu den Flaschen entsprechend abnehmen würde. Dadurch würde die Laugenverschleppung zunehmen und man könnte dann vermutlich nicht auf eine Wasseraufbereitung in der Frischwasserzone verzichten.

Der innovative Teil des Projektes liegt darin, dass eine HTWP zum Einsatz kommt, die auf der kalten Seite die NBZ kühlt und gleichzeitig auf der warmen Seite so hohe Temperaturen zur Verfügung stellt, dass die Lauge der FRM damit beheizt werden kann. Da die FRM zwangsläufig etwas überdimensioniert sein muss gegenüber der Füllerausbringung, reicht die vorgesehene Heizleistung aus, um die Lauge aufzuheizen und im Betrieb die Solltemperatur zu halten.

Besonders zu erwähnen ist die Kopplung mit der bestehenden KWK in Form eines BHKW. Dieses besteht schon seit einigen Jahren, ist aber besonders im Sommer nicht ausgelastet, da entsprechende Wärmesenken fehlen. Die neue FRM stellt eine zusätzliche Wärmesenke dar, indem zusätzlich zur Kühlleistung der WP über einen Plattenwärmetauscher Wärme aus dem ES2 auf den Heizkreislauf übertragen wird. Damit steigt die jährliche Auslastung des BHKW. Da es sich dabei überwiegend um NT-Wärme vom BHKW handelt, wird die Effizienz des BHKW deutlich erhöht. Kann aufgrund einer zu gering dimensionierten Verbindungsleitung zwischen ES1 und ES2 nicht genügend Wärme übertragen werden, wird der ES2 mittels HDHW nachgeheizt. Auch dieses stammt aber bis zu einem gewissen Teil von der Abwärme des BHKW, da die Abgas-Wärme über den AWT auf den RL HDHW zum Kessel übertragen wird. Zusätzlich gelangt der Überschuss aus dem neuen Abgaswärmetauscher in den ES2.

Das macht die Erstellung einer Energiebilanz um den ES2 nicht einfach, aber mit der installierten Messtechnik kann eine vollständige Bilanz erstellt werden. Letztendlich gelingt es, den heutigen PE-Bedarf im Vergleich zu der neuen FRM ohne WP oder aber zu der Bestandsmaschine zu berechnen. Daraus wird ersichtlich, dass es sich um eine deutliche Verbesserung der Energiebilanz handelt (siehe Tabelle 5).

Technisch ist die Innovation sehr gelungen. Es handelt sich um ein innovatives Verfahren, das zum Patent angemeldet ist. Es ist nicht bekannt, dass bisher bereits eine Behälterreinigungsmaschine in Verbindung mit einer HTWP gebaut wurde. Aus wirtschaftlicher Sicht ist zu bemerken, dass die Benutzungsdauer der neuen FRM im Einschichtbetrieb einfach zu kurz ist. Je höher die Benutzungsdauer, desto besser die Wirtschaftlichkeit. Damit bietet sich die Technik vor allem dort an, wo die Abfüllung im Zwei- oder Dreischichtbetrieb läuft.

Im Gesamtzusammenhang ist aber zu erwähnen, dass die Laufzeit des bestehenden BHKW gleichzeitig erhöht wird, wodurch dessen Wirtschaftlichkeit steigt.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Es ist sinnvoll, die notwendigen Anpassungen einer neuen FRM bereits im Werk durchzuführen. Dadurch bestehen klare Schnittstellen, die nach der Einbringung der neuen FRM bearbeitet werden müssen. Auch auf eine redundante Beheizungsmöglichkeit sollte nicht verzichtet werden.

Es hat sich bewährt, die neue FRM zunächst konventionell in Betrieb zu nehmen und erst in einem zweiten Schritt die innovative Technik mit der HTWP. Die Anordnung der zusätzlichen WT nahe bei den NBZ, nämlich oben auf der FRM, ist ebenfalls richtig. Es muss dann nur die Medienver- und entsorgung angeschlossen werden.

Dann kann im laufenden Abfüllbetrieb in aller Ruhe die zusätzliche Technik in Betrieb genommen werden.

Im vorliegenden Fall stand als Standort für die neue Technik inklusive der notwendigen Peripherie die frühere Saftküche bzw. der Zuckerraum zur Verfügung. Bei einer Grundfläche von 10 x 5 m und einer Raumhöhe von 3,5 m bei vorhandenen Trassen unter der Decke ergaben sich schwierige Bedingungen zum Einbau von Behältern, WP, Pumpen, Armaturen, Schaltechnik und Verrohrung.



Abbildung 11: Verrohrung ES2



Abbildung 12: Einbindung Laugen-WT



Abbildung 13: Anbindung HTWP



Abbildung 14: Verdampferseitige Doppelweiche



Abbildung 15: Einbindung HTWP

Man kann feststellen, dass die Fläche von rd. 50 m² eine absolute Mindestanforderung an die Raumgröße darstellt. Mit einer Raumhöhe von 5-6 m, statt 3,5 m wäre die Aufstellung auch platzsparender geworden, da dann das notwendige Volumen der Weiche und des ES2 nicht auf zwei Behälter hätte aufgeteilt werden müssen.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Das Verfahren kommt sowohl in der Brauerei- als auch in der gesamten Getränkeindustrie in Frage. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es notwendig eine möglichst hohe Benutzungsdauer zu erreichen. Gleichzeitig muss man aber auch hinterfragen, welche Investitionen tatsächlich im direkten Zusammenhang mit der Innovation stehen. Erstprojekte sind immer teurer, das beginnt schon bei der Planung, Beschaffung und Realisierung. Viele dieser Kosten fallen bei Folgeprojekten nicht mehr oder nur in geringerer Höhe an. Nach jetzigem Wissensstand sind auch in Zukunft Möglichkeiten für den Investor vorhanden, eine Zuschussförderung zu erlangen.

Die notwendige Technik steht zur Verfügung und kann ohne Verzögerung bei Interessenten zum Einsatz kommen.

Der elektrische Leistungsbedarf zum Antrieb der WP einschließlich Peripherie kann auch bei neuen Anlagen durch eine KWK bereitgestellt werden. Diese kann auch zusätzlich neu errichtet werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Strombedarf der WP über eine Photovoltaik-Anlage auf dem Dach der Füllerei zu decken. Allerdings handelt es sich dabei um eine volatile Energieform, die nicht immer dann zur Verfügung steht, wenn die FRM in Betrieb ist (siehe Mehrschichtbetrieb, Wetterlage usw.).

Die innovative Technik eignet sich nicht nur für Neuanlagen, sondern kann auch als Nachrüstung bei bestehenden FRM zum Einsatz kommen, insbesondere dann, wenn die Flaschenabgabetemperatur zu hoch ist oder einfach Frischwasser und PE eingespart werden sollen.

Wenn man davon ausgeht, dass Krones im Bereich der Flaschenreinigung einer der Marktführer ist, könnten hier jährlich zwischen 30 und 40 FRM, die von der Ausbringung und Benutzungsdauer in das Anforderungsprofil passen, mit dieser Technik ausgerüstet werden.

Bei der Nachrüstung von bestehenden FRM durch den Patentinhaber kann man weltweit von einem Potenzial von vielen Hundert FRM ausgehen. Wenn möglicherweise Lizenzen vergeben werden, könnte sich das Potenzial vervielfachen.

5. **Zusammenfassung**

Nachfolgend erfolgt eine Zusammenfassung in deutscher (Kapitel 5) und englischer Sprache (Kapitel 6).

5.1. **Einleitung**

Die Brauerei wurde 1876 von Johann Liebhard gegründet. Die Entwicklung der Brauerei wurde durch die beiden Weltkriege erheblich gedämpft. In 2017 wurden knapp 130.000 hl Getränke abgefüllt. Die Umsatzerlöse liegen > 15 Mio €/a. Etwa 70 Mitarbeiter sind beschäftigt.

Die bestehende FRM war veraltet und musste ersetzt werden. Die Förderung von Brauwasser aus den eigenen Brunnen ist limitiert, weshalb dringend Wassereinsparungen erfolgen müssen. Neben der Frischwassereinsparung kommt es bei der neuen FRM mit WP auch zu einer erheblichen Einsparung an Brennstoff am zentralen Kessel.

5.2. **Vorhabenumsetzung**

Ziel des Vorhabens ist eine hohe Wasser- und Energieeinsparung bei gleicher Flaschenabgabetemperatur. Dazu muss die Aufgabe der Flaschenkühlung in den NBZ weitgehend entkoppelt werden vom Frischwasserbedarf. Dies ist möglich durch den Einsatz einer doppelt wirksamen WP. Diese entzieht den NBZ Wärme, bringt diese auf eine höhere Temperatur und überträgt die Heizwärme über den Kondensator auf die Lauge. Dazu ist elektrische Energie notwendig, die im vorliegenden Fall von einem BHKW stammt. Um den Heizbedarf vollständig über die WP zu decken, wird auf dem Verdampfer der WP zusätzlich Abwärme vom BHKW zugeführt.

5.3. **Ergebnisse**

Die neue FRM kann sowohl nur mit Primärenergie über HDHW beheizt werden als auch durch Zuschaltung einer HTWP. Beide Verfahrensweisen wurden gemessen und gegeneinander, aber auch gegen die Verbrauchswerte der alten Bestandsmaschine verglichen. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Betrieb	Dimension	FRM Bestand	FRM neu ohne WP	FRM neu mit WP
Spezif. Wasser Einsparung**	ml/Fl	825	179	118
	%		78,3	86,6
Spezifischer PE-Bedarf Einsparung**	Wh/Fl	72,4	15,7	9,7 *
	%		76,7	86,6

*Einschließlich elektrischem Antrieb der WP

** gegen alte FRM Bestand

Tabelle 11: Ergebnisse Wasser- und PE-Einsparung

Dies ist einerseits eine erhebliche Ressourceneinsparung, aber auch eine Entlastung der Umwelt durch kraftstoffbedingte Emissionen beim Kessel und bei der Stromerzeugung.

Die CO₂-Einsparung, bezogen auf eine Abfüllung von 16 Mio. Fl/a liegt bei der neuen FRM ohne WP bei 183,2 t/a gegenüber der Bestands-FRM und durch Kombination mit einer WP können nochmals weitere 19,5 t/a eingespart werden.

Die absolute Wassereinsparung liegt bei der neuen FRM ohne WP bei 10.333 m³/a gegenüber der Bestands-FRM und durch Kombination mit einer WP bei 11.310 m³/a. Es werden also zusätzlich 978 m³/a an Wasser eingespart.

Die absolute PE-Einsparung liegt bei der neuen FRM ohne WP bei 907,1 MWh/a gegenüber der Bestands-FRM und durch Kombination mit einer WP bei 1003,4 MWh/a. Es werden also zusätzlich 96,3 MWh/a eingespart.

Die Wirtschaftlichkeit liegt bei diesem Projekt unter Berücksichtigung der Förder-summe leider bei einer Amortisationszeit von > 20 Jahren. Im vorliegenden Fall spielen aber auch der Umweltgedanke und der Zwang zum Wassersparen eine hervorgehobene Rolle. Da man von einer Betriebszeit von mind. 25 Jahren ausgeht, rechnen sich die Mehrkosten der Innovation aber auch in diesem Fall. Die erste praktische Umsetzung eines Konzeptes ist immer mit erhöhten Kosten belastet. Bei zukünftigen Projekten mit diesem Verfahren in einem Mehrschichtbetrieb und möglicherweise bei höheren Preisen für Wasser/Abwasser und Energieeinsatz kann durchaus eine gute Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

Zusätzlich wird die WP auch zum Aufheizen der Lauge vor Abfüllbeginn eingesetzt. Dies erhöht die Laufzeit des BHKW und es wird ein Überschuss an Strom gegenüber dem Bedarf der WP erzielt. Damit wird zusätzlich teurer Fremdstrom substituiert.

5.4. **Ausblick**

Die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Anwendung des Verfahrens sind:

- Reduzierte Investitionskosten
- Nutzung von Fördermitteln
- Hohe Frischwassertemperaturen (warme Länder)
- Hohe Benutzungsdauer/Mehrschichtbetrieb
- Hohe PE-Kosten
- Niedrige Stromkosten (Eigenerzeugung durch KWK- oder PV-Anlage)
- Reduzierung von CO₂-Kosten

Das Verfahren kann insbesondere bei der Glasbehälterreinigung (Mehrweggebinde) in der gesamten Getränkeindustrie eingesetzt werden.

6. **Summary**

6.1. **Introduction**

The brewery was founded in 1876 by Johann Liebhard. The development of the brewery was considerably dampened by the two world wars. In 2017, almost 130,000 hl were bottled. Revenue is > € 15 million/year. About 70 employees are employed. The existing BCM was outdated and had to be replaced. The promotion of brewing water from its own wells is limited, so that urgent water savings must be made. In addition to saving fresh water, the new BCM with HP also saves a considerable amount of fuel at the central boiler.

6.2. **Project implementation**

The aim of the project is a high water and energy saving at the same bottle delivery temperature. For this purpose, the task of bottle cooling in the PTZ must be largely decoupled from the fresh water requirement. This is possible through the use of a double-acting HP. This removes heat from the PTZ, raises it to a higher temperature and transfers the heat to the brine via the condenser. For this purpose, electrical energy is necessary, which comes in the present case from a CHP. In order to completely cover the heating demand via the heat pump, waste heat is additionally supplied by the CHP on the evaporator of the heat pump.

6.3. **Project results**

The new BCM can be heated both with primary energy via HPHW and by connecting an HPHP. Both procedures were measured and compared against each other, but also against the consumption values of the old stock machine. The following table shows the results.

Operation	Dimension	BCM Stock	BCM new without HP	BCM new with HP
Specific water requirement	ml/bottle	825	179	118
Reduction**	%		78,3	86,6
Specific PE- requirement	Wh/bottle	72,4	15,7	9,7 *
Reduction**	%		76,7	86,6

* Including electric drive of the WP

** against old BCM inventory

Tabelle 12: Results of water- and PE-savings

This is on the one hand a considerable resource saving, but also a relief of the environment by fuel-related emissions in the boiler and in power generation.

The CO₂ saving, based on a filling of 16 million bottles/a, is 183 t / a compared to the existing BCM for the new FRM without HP, and another 19.5 t / a can be saved by combining it with a HP.

The cost-effectiveness of this project, taking into account the subsidy amount, unfortunately with a payback period of > 20 years. In the present case, however, the environmental concept and the compulsion to save water also play a prominent role. However, assuming an operating time of min. 25 years, the additional costs of the innovation also pay off in this case. The first practical implementation of a concept is always burdened with increased costs. In future projects using this method in a multi-shift operation and possibly higher water/wastewater and energy use prices, good economics can be achieved.

In addition, the HP is also used to heat up the lye before the start of filling. This increases the runtime of the CHP and provides a surplus of electricity compared to the needs of the HP. This additional expensive external power is substituted.

6.4. **Prospects**

The conditions for an economic application of the method are:

- Reduced investment costs
- Use of subsidies
- High fresh water temperatures (warm countries)
- Long service life/multi-shift operation
- High PE costs
- Low electricity costs (self-generation by CHP or PV system)
- Reduction of CO₂ costs

The method can be used in particular in the glass container cleaning (reusable containers) in the entire beverage industry.

7. Literatur

Schu, G.; Kern, M.; Zweigardt, A.; Iwan, H.-J. : Neue Flaschenreinigungsmaschine mit Hochtemperaturwärmepumpe (Teil 1). Brauwelt Nr. 31-32, 2018

Dr.-Ing. Tobias Voigt: Temperaturreduzierung bei der Flaschenreinigung, 19. Flaschenkellerseminar, TUM, 2012

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ein- und Auslaufseite der FRM	8
Abbildung 2: Ansicht Wärmepumpe (WP).....	10
Abbildung 3: Wärmetauscher zur Kühlung der Nachbehandlungszonen	11
Abbildung 4: Kühlung der NBZ durch WP	14
Abbildung 5: Nachheizen Kühlkreislauf über ES2	15
Abbildung 6: Einbindung der WP	15
Abbildung 7: Lauge-WT	16
Abbildung 8: Energiespeicher 2	16
Abbildung 9: Abgaswärmetauscher Kessel	17
Abbildung 10: LuVo Kessel	17
Abbildung 11: Verrohrung ES2.....	29
Abbildung 12: Einbindung Laugen-WT.....	30
Abbildung 13: Anbindung HTWP	30
Abbildung 14: Verdampferseitige Doppelweiche	31
Abbildung 15: Einbindung HTWP	31

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wärmemengenzähler und elektrische Leistung WP	13
Tabelle 2: Ergebnisse vom Betrieb der FRM ohne WP	19
Tabelle 3: Ergebnisse vom Betrieb der FRM mit WP	21
Tabelle 4: Ergebnisse vom Aufheizen der Lauge mit WP	22
Tabelle 5: Zusammenstellung der Ergebnisse und CO2-Einsparung	24
Tabelle 6: Absolute Verbräuche und absolute Einsparungen	25
Tabelle 7: Kostenzusammenstellung	25
Tabelle 8: Einsparungen durch zusätzliche WP-Technologie	26
Tabelle 9: Unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Wirtschaftlichkeit mit Förderung.....	26
Tabelle 10: Unterschiedliche Berechnungsmethoden zur Wirtschaftlichkeit ohne Förderung.....	27
Tabelle 11: Ergebnisse Wasser- und PE-Einsparung	34
Tabelle 12: Results of water- and PE-savings	36

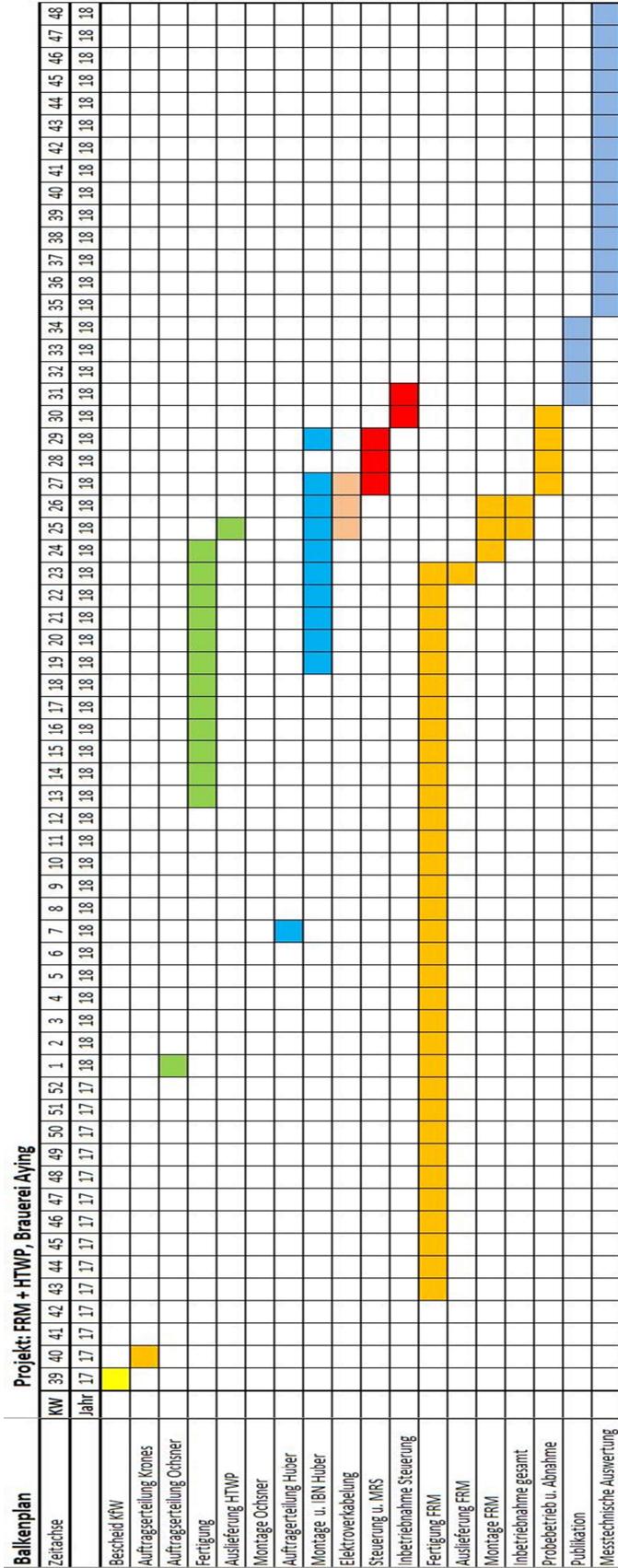
10. Anhang

Anhang 1: Abkürzungen und Maßeinheiten

AWT	Abgaswärmetauscher
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BCM	Bottle cleaning machine
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CHP	Combined heat and power plant
cop	coefficient of performance
csv	englisch Comma-separated values
Eco	Economiser
ES1	Energiespeicher 1
ES2	Energiespeicher 2
FRM	Flaschenreinigungsmaschine
HDHW	Hochdruckheisswasser
HP	Heat pump
HPHP	High pressure heat pump
HPHW	High pressure hot water
HT-Wärme	Hochtemperaturwärme
HTWP	Hochtemperaturwärmepumpe
IGS	Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KG	Kommanditgesellschaft
KWK	Kraftwärmekopplung
LuVo	Luftvorwärmer
NBZ	Nachbehandlungszonen
NT-Wärme	Niedertemperaturwärme
P el	elektrische Leistung
PE	Primärenergie
PLS	Prozessleitsystem
PTZ	Post-treatment zones
RL	Rücklauf
UOA	Umkehrosmoseanlage
VL	Vorlauf
WMZ	Wärmemengenzähler
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung
WT	Wärmetauscher

a	Jahr
eta	Wirkungsgrad
Fl	Flasche
h	Stunde
kg	Kilogramm
kJ	kilojoule
kWh	Kilowattstunde
m ³	Kubikmeter
Mio	Million
ml	Milliliter
therm.	thermisch
Wh	Wattstunde

Anhang 2: Balkenplan inhaltliche und zeitliche Umsetzung



Anhang 3: Messdaten zum Betrieb ohne WP

Zeitstempel	Brennstoff- leistung BHKW kW	FRM aktueller Flaschendurchsatz Fl/h	FRM aktueller Frischwasser- verbrauch ml/Fl	FRM aktueller Frischwasser- verbrauch ml/h	Leistung Abgas- WAT BHKW auf HDHW kW
02.07.2019 06:50:26.000	530,1	0	203	0	101,8
02.07.2019 06:51:26.000	530,1	0	0	0	101,8
02.07.2019 06:52:27.000	527,8	22.491	190	71.222	101,3
02.07.2019 06:53:27.000	530,1	22.491	199	74.595	101,8
02.07.2019 06:54:27.000	527,8	22.491	196	73.471	101,3
02.07.2019 06:55:27.000	527,8	22.491	0	0	101,3
02.07.2019 06:56:27.000	534,6	22.491	193	72.346	102,6
02.07.2019 06:57:27.000	530,1	22.491	200	74.970	101,8
02.07.2019 06:58:27.000	530,1	22.491	199	74.595	101,8
02.07.2019 06:59:27.000	525,5	22.491	200	74.970	100,9
02.07.2019 07:00:28.000	530,1	22.491	196	73.471	101,8
02.07.2019 07:01:28.000	525,5	22.491	195	73.096	100,9
02.07.2019 07:02:28.000	530,1	22.491	199	74.595	101,8
02.07.2019 07:03:28.000	530,1	22.491	199	74.595	101,8
02.07.2019 07:04:28.000	530,1	22.491	202	75.720	101,8
02.07.2019 07:05:28.000	530,1	22.491	201	75.345	101,8
02.07.2019 07:06:28.000	532,3	22.491	199	74.595	102,2
02.07.2019 07:07:28.000	536,8	0	0	0	103,1
02.07.2019 07:08:28.000	532,3	22.491	183	68.598	102,2
02.07.2019 07:09:29.000	527,8	22.491	199	74.595	101,3
02.07.2019 07:10:29.000	534,6	22.491	200	74.970	102,6
02.07.2019 07:11:29.000	534,6	22.491	193	72.346	102,6
02.07.2019 07:12:29.000	527,8	22.491	199	74.595	101,3
02.07.2019 07:13:29.000	527,8	22.491	198	74.220	101,3
02.07.2019 07:14:29.000	532,3	14.598	187	45.497	102,2
02.07.2019 07:15:29.000	534,6	0	0	0	102,6
02.07.2019 07:16:29.000	530,1	14.598	128	31.142	101,8
02.07.2019 07:17:30.000	534,6	0	0	0	102,6
02.07.2019 07:18:30.000	532,3	14.598	118	28.709	102,2
02.07.2019 07:19:30.000	530,1	22.491	156	58.477	101,8
02.07.2019 07:20:30.000	532,3	14.598	0	0	102,2
02.07.2019 07:21:30.000	530,1	0	0	0	101,8
02.07.2019 07:22:30.000	534,6	0	0	0	102,6
02.07.2019 07:23:30.000	527,8	0	0	0	101,3
02.07.2019 07:24:30.000	530,1	20.442	126	42.928	101,8
02.07.2019 07:25:30.000	514,2	14.598	155	37.712	98,7
02.07.2019 07:26:31.000	527,8	18.418	140	42.975	101,3
02.07.2019 07:27:31.000	518,8	20.442	179	60.985	99,6
02.07.2019 07:28:31.000	518,8	20.442	181	61.667	99,6
02.07.2019 07:29:31.000	521	17.077	142	40.416	100,0
02.07.2019 07:30:31.000	512	20.442	181	61.667	98,3
02.07.2019 07:31:31.000	516,5	14.598	153	37.225	99,2
02.07.2019 07:32:31.000	521	11.233	160	29.955	100,0
02.07.2019 07:33:31.000	518,8	15.736	169	44.323	99,6

02.07.2019 07:34:31.000	523,3	14.598	179	43.551	100,5
02.07.2019 07:35:31.000	518,8	11.233	0	0	99,6
02.07.2019 07:36:32.000	525,5	14.598	158	38.441	100,9
02.07.2019 07:37:32.000	518,8	20.442	178	60.645	99,6
02.07.2019 07:38:32.000	521	20.442	181	61.667	100,0
02.07.2019 07:39:32.000	521	20.442	175	59.623	100,0
02.07.2019 07:40:32.000	525,5	11.233	161	30.142	100,9
02.07.2019 07:41:32.000	518,8	14.598	163	39.658	99,6
02.07.2019 07:42:32.000	521	20.442	174	59.282	100,0
02.07.2019 07:43:32.000	505,2	20.442	175	59.623	97,0
02.07.2019 07:44:32.000	502,9	15.736	160	41.963	96,6
02.07.2019 07:45:33.000	512	20.442	172	58.600	98,3
02.07.2019 07:46:30.000	512	20.442	176	59.963	98,3
02.07.2019 07:47:30.000	509,7	20.442	180	61.326	97,9
02.07.2019 07:48:31.000	507,5	22.491	337	126.324	97,4
02.07.2019 07:49:33.000	505,2	20.442	184	62.689	97,0
02.07.2019 07:50:33.000	509,7	14.598	375	91.238	97,9
02.07.2019 07:51:33.000	505,2	11.233	115	21.530	97,0
02.07.2019 07:52:33.000	507,5	16.192	161	43.449	97,4
02.07.2019 07:53:33.000	496,2	20.442	182	62.007	95,3
02.07.2019 07:54:33.000	496,2	20.442	179	60.985	95,3
02.07.2019 07:55:34.000	493,9	20.442	189	64.392	94,8
02.07.2019 07:56:34.000	491,6	14.598	189	45.984	94,4
02.07.2019 07:57:34.000	498,4	0	0	0	95,7
02.07.2019 07:58:05.000	496,2	0	0	0	95,3
02.07.2019 07:59:36.000	496,2	22.491	183	68.598	95,3
02.07.2019 08:00:37.000	496,2	22.491	191	71.596	95,3
02.07.2019 08:01:07.000	493,9	22.491	197	73.845	94,8
02.07.2019 08:02:37.000	496,2	14.598	123	29.926	95,3
02.07.2019 08:03:38.000	496,2	20.442	177	60.304	95,3
02.07.2019 08:04:08.000	496,2	20.442	181	61.667	95,3
02.07.2019 08:05:39.000	489,4	0	137	0	94,0
02.07.2019 08:06:39.000	500,7	0	0	0	96,1
02.07.2019 08:07:40.000	482,6	18.418	397	121.866	92,7
02.07.2019 08:08:40.000	480,3	20.442	180	61.326	92,2
02.07.2019 08:09:10.000	482,6	20.442	176	59.963	92,7
02.07.2019 08:10:41.000	480,3	0	0	0	92,2
02.07.2019 08:11:42.000	480,3	22.491	200	74.970	92,2
02.07.2019 08:12:12.000	482,6	22.491	199	74.595	92,7
02.07.2019 08:13:12.000	482,6	0	0	0	92,7
02.07.2019 08:14:05.000	484,9	0	0	0	93,1
02.07.2019 08:15:44.000	482,6	0	0	0	92,7
02.07.2019 08:16:05.000	475,8	0	0	0	91,4
02.07.2019 08:17:44.000	478,1	17.532	107	31.265	91,8
02.07.2019 08:18:45.000	482,6	20.442	178	60.645	92,7
02.07.2019 08:19:45.000	478,1	14.598	141	34.305	91,8
02.07.2019 08:20:46.000	489,4	0	0	0	94,0
02.07.2019 08:21:46.000	482,6	14.598	458	111.431	92,7
02.07.2019 08:22:17.000	484,9	22.491	181	67.848	93,1
02.07.2019 08:23:47.000	484,9	22.491	197	73.845	93,1

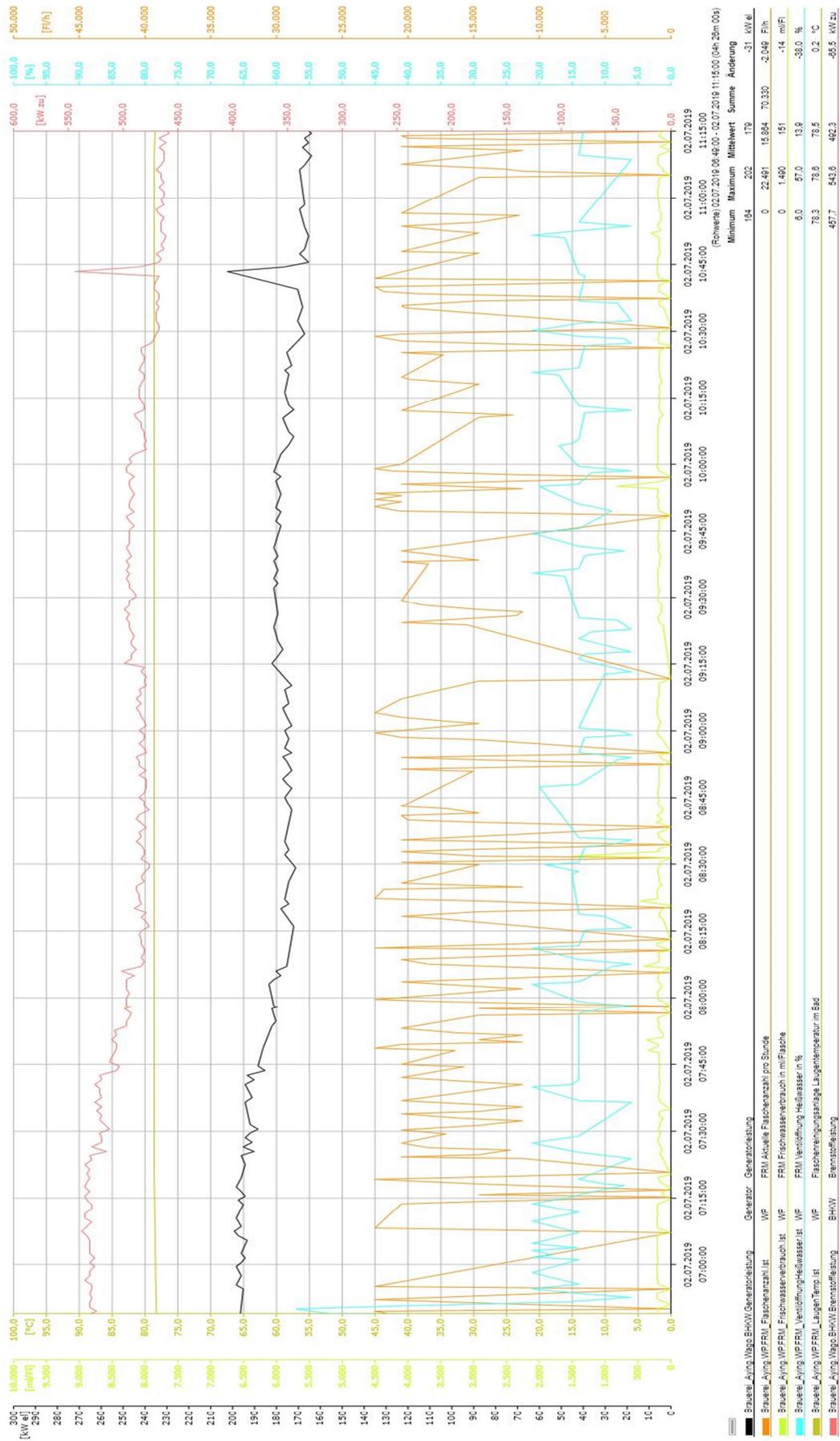
02.07.2019 08:24:48.000	487,1	11.233	176	32.950	93,5
02.07.2019 08:25:48.000	487,1	20.442	134	45.654	93,5
02.07.2019 08:26:18.000	480,3	20.442	177	60.304	92,2
02.07.2019 08:27:49.000	482,6	20.442	181	61.667	92,7
02.07.2019 08:28:50.000	480,3	20.442	182	62.007	92,2
02.07.2019 08:29:50.000	475,8	14.598	176	42.821	91,4
02.07.2019 08:30:20.000	475,8	20.442	156	53.149	91,4
02.07.2019 08:31:21.000	482,6	0	0	0	92,7
02.07.2019 08:32:07.000	480,3	14.598	167	40.631	92,2
02.07.2019 08:33:22.000	480,3	14.598	187	45.497	92,2
02.07.2019 08:34:22.000	482,6	0	0	0	92,7
02.07.2019 08:35:22.000	487,1	20.442	113	38.499	93,5
02.07.2019 08:36:08.000	482,6	20.442	170	57.919	92,7
02.07.2019 08:37:08.000	484,9	20.442	183	62.348	93,1
02.07.2019 08:38:24.000	478,1	0	0	0	91,8
02.07.2019 08:39:24.000	482,6	14.825	222	54.853	92,7
02.07.2019 08:40:08.000	487,1	20.012	134	44.693	93,5
02.07.2019 08:41:25.000	484,9	14.598	141	34.305	93,1
02.07.2019 08:42:26.000	475,8	17.077	118	33.585	91,4
02.07.2019 08:43:09.000	480,3	20.442	171	58.260	92,2
02.07.2019 08:44:27.000	480,3	20.442	173	58.941	92,2
02.07.2019 08:45:27.000	484,9	20.442	184	62.689	93,1
02.07.2019 08:46:09.000	480,3	20.442	184	62.689	92,2
02.07.2019 08:47:28.000	478,1	20.442	177	60.304	91,8
02.07.2019 08:48:28.000	478,1	20.442	176	59.963	91,8
02.07.2019 08:49:09.000	478,1	20.442	179	60.985	91,8
02.07.2019 08:50:29.000	484,9	20.442	179	60.985	93,1
02.07.2019 08:51:30.000	478,1	20.442	170	57.919	91,8
02.07.2019 08:52:30.000	484,9	0	180	0	93,1
02.07.2019 08:53:31.000	484,9	14.598	115	27.980	93,1
02.07.2019 08:54:31.000	487,1	20.442	179	60.985	93,5
02.07.2019 08:55:10.000	478,1	0	0	0	91,8
02.07.2019 08:56:10.000	480,3	0	0	0	92,2
02.07.2019 08:57:10.000	484,9	0	0	0	93,1
02.07.2019 08:58:33.000	480,3	20.442	154	52.468	92,2
02.07.2019 08:59:34.000	480,3	22.491	199	74.595	92,2
02.07.2019 09:00:34.000	484,9	20.442	184	62.689	93,1
02.07.2019 09:01:35.000	478,1	14.598	179	43.551	91,8
02.07.2019 09:02:35.000	480,3	16.394	178	48.636	92,2
02.07.2019 09:03:11.000	482,6	20.442	178	60.645	92,7
02.07.2019 09:04:36.000	484,9	22.491	196	73.471	93,1
02.07.2019 09:05:36.000	487,1	22.491	195	73.096	93,5
02.07.2019 09:06:37.000	482,6	22.491	198	74.220	92,7
02.07.2019 09:07:11.000	487,1	20.442	192	65.414	93,5
02.07.2019 09:08:38.000	482,6	20.442	176	59.963	92,7
02.07.2019 09:09:12.000	484,9	20.442	180	61.326	93,1
02.07.2019 09:10:39.000	478,1	20.442	178	60.645	91,8
02.07.2019 09:11:39.000	480,3	0	0	0	92,2
02.07.2019 09:12:40.000	478,1	0	0	0	91,8
02.07.2019 09:13:12.000	482,6	0	0	0	92,7

02.07.2019 09:14:12.000	480,3	0	0	0	92,2
02.07.2019 09:15:41.000	498,4	0	0	0	95,7
02.07.2019 09:16:12.000	491,6	0	0	0	94,4
02.07.2019 09:17:43.000	491,6	0	0	0	94,4
02.07.2019 09:18:13.000	487,1	0	0	0	93,5
02.07.2019 09:19:13.000	491,6	0	0	0	94,4
02.07.2019 09:20:44.000	491,6	0	0	0	94,4
02.07.2019 09:21:13.000	489,4	0	0	0	94,0
02.07.2019 09:22:45.000	491,6	0	0	0	94,4
02.07.2019 09:23:45.000	493,9	15.508	117	30.241	94,8
02.07.2019 09:24:46.000	493,9	20.442	174	59.282	94,8
02.07.2019 09:25:46.000	496,2	11.688	168	32.726	95,3
02.07.2019 09:26:47.000	493,9	11.233	123	23.028	94,8
02.07.2019 09:27:17.000	498,4	14.598	136	33.089	95,7
02.07.2019 09:28:17.000	493,9	18.873	133	41.835	94,8
02.07.2019 09:29:18.000	493,9	20.442	181	61.667	94,8
02.07.2019 09:30:49.000	487,1	20.442	180	61.326	93,5
02.07.2019 09:31:49.000	489,4	20.442	167	56.897	94,0
02.07.2019 09:32:50.000	493,9	20.442	185	63.030	94,8
02.07.2019 09:33:20.000	493,9	20.442	187	63.711	94,8
02.07.2019 09:34:51.000	496,2	20.442	184	62.689	95,3
02.07.2019 09:35:30.000	493,9	20.442	184	62.689	94,8
02.07.2019 09:36:30.000	496,2	20.442	185	63.030	95,3
02.07.2019 09:37:31.000	493,9	18.418	156	47.887	94,8
02.07.2019 09:38:31.000	496,2	14.598	179	43.551	95,3
02.07.2019 09:39:30.000	491,6	14.598	143	34.792	94,4
02.07.2019 09:40:30.000	493,9	20.442	182	62.007	94,8
02.07.2019 09:41:30.000	496,2	20.442	180	61.326	95,3
02.07.2019 09:42:15.000	493,9	20.442	180	61.326	94,8
02.07.2019 09:43:30.000	493,9	20.442	182	62.007	94,8
02.07.2019 09:44:30.000	493,9	20.442	182	62.007	94,8
02.07.2019 09:45:30.000	493,9	20.442	179	60.985	94,8
02.07.2019 09:46:16.000	489,4	20.442	177	60.304	94,0
02.07.2019 09:47:30.000	493,9	20.442	171	58.260	94,8
02.07.2019 09:48:30.000	496,2	0	0	0	95,3
02.07.2019 09:49:30.000	489,4	20.670	174	59.943	94,0
02.07.2019 09:50:30.000	493,9	22.491	193	72.346	94,8
02.07.2019 09:51:30.000	493,9	20.442	192	65.414	94,8
02.07.2019 09:52:31.000	491,6	22.491	200	74.970	94,4
02.07.2019 09:53:31.000	489,4	22.491	188	70.472	94,0
02.07.2019 09:54:32.000	491,6	11.233	182	34.073	94,4
02.07.2019 09:55:32.000	493,9	20.442	817	278.352	94,8
02.07.2019 09:56:17.000	493,9	20.442	178	60.645	94,8
02.07.2019 09:57:33.000	489,4	11.233	0	0	94,0
02.07.2019 09:58:34.000	496,2	21.125	170	59.854	95,3
02.07.2019 09:59:34.000	496,2	22.491	204	76.469	95,3
02.07.2019 10:00:35.000	491,6	20.442	188	64.052	94,4
02.07.2019 10:01:18.000	493,9	20.442	184	62.689	94,8
02.07.2019 10:02:36.000	489,4	20.442	184	62.689	94,0
02.07.2019 10:03:36.000	478,1	20.442	185	63.030	91,8

02.07.2019 10:04:37.000	480,3	20.442	181	61.667	92,2
02.07.2019 10:05:37.000	478,1	20.442	184	62.689	91,8
02.07.2019 10:06:18.000	480,3	20.442	183	62.348	92,2
02.07.2019 10:07:38.000	480,3	20.442	181	61.667	92,2
02.07.2019 10:08:39.000	482,6	20.442	182	62.007	92,7
02.07.2019 10:09:19.000	482,6	20.442	180	61.326	92,7
02.07.2019 10:10:39.000	487,1	14.598	177	43.064	93,5
02.07.2019 10:11:40.000	489,4	11.916	146	28.996	94,0
02.07.2019 10:12:40.000	480,3	20.442	167	56.897	92,2
02.07.2019 10:13:19.000	480,3	20.442	168	57.238	92,2
02.07.2019 10:14:19.000	482,6	20.442	163	55.534	92,7
02.07.2019 10:15:42.000	484,9	20.442	177	60.304	93,1
02.07.2019 10:16:42.000	484,9	20.442	162	55.193	93,1
02.07.2019 10:17:19.000	484,9	20.442	175	59.623	93,1
02.07.2019 10:18:43.000	482,6	14.598	125	30.413	92,7
02.07.2019 10:19:44.000	480,3	20.442	165	56.216	92,2
02.07.2019 10:20:44.000	480,3	20.442	161	54.853	92,2
02.07.2019 10:21:45.000	484,9	20.442	175	59.623	93,1
02.07.2019 10:22:45.000	482,6	20.442	173	58.941	92,7
02.07.2019 10:23:20.000	480,3	20.442	169	57.578	92,2
02.07.2019 10:24:46.000	480,3	17.305	170	49.031	92,2
02.07.2019 10:25:47.000	482,6	20.442	179	60.985	92,7
02.07.2019 10:26:47.000	482,6	0	0	0	92,7
02.07.2019 10:27:48.000	473,6	20.442	170	57.919	90,9
02.07.2019 10:28:48.000	471,3	22.491	179	67.098	90,5
02.07.2019 10:29:49.000	469	20.442	169	57.578	90,0
02.07.2019 10:30:49.000	466,8	0	0	0	89,6
02.07.2019 10:31:50.000	466,8	0	0	0	89,6
02.07.2019 10:32:21.000	469	0	0	0	90,0
02.07.2019 10:33:21.000	469	0	0	0	90,0
02.07.2019 10:34:21.000	469	0	0	0	90,0
02.07.2019 10:35:52.000	466,8	20.442	172	58.600	89,6
02.07.2019 10:36:52.000	469	14.598	174	42.334	90,0
02.07.2019 10:37:53.000	466,8	0	0	0	89,6
02.07.2019 10:38:53.000	466,8	21.808	170	61.789	89,6
02.07.2019 10:39:54.000	471,3	22.491	168	62.975	90,5
02.07.2019 10:40:24.000	471,3	22.491	166	62.225	90,5
02.07.2019 10:41:55.000	469	22.491	173	64.849	90,0
02.07.2019 10:42:55.000	466,8	22.491	193	72.346	89,6
02.07.2019 10:43:25.000	543,6	22.491	196	73.471	104,4
02.07.2019 10:44:56.000	484,9	22.491	207	77.594	93,1
02.07.2019 10:45:57.000	466,8	22.491	190	71.222	89,6
02.07.2019 10:46:27.000	464,5	22.491	194	72.721	89,2
02.07.2019 10:47:27.000	469	14.598	160	38.928	90,0
02.07.2019 10:48:23.000	462,3	20.442	164	55.875	88,8
02.07.2019 10:49:23.000	464,5	20.442	180	61.326	89,2
02.07.2019 10:50:29.000	462,3	20.442	180	61.326	88,8
02.07.2019 10:51:29.000	460	20.442	178	60.645	88,3
02.07.2019 10:52:30.000	464,5	17.077	143	40.700	89,2
02.07.2019 10:53:30.000	464,5	20.442	193	65.755	89,2

02.07.2019 10:54:31.000	464,5	14.598	181	44.037	89,2
02.07.2019 10:55:31.000	462,3	14.598	136	33.089	88,8
02.07.2019 10:56:32.000	466,8	20.442	143	48.720	89,6
02.07.2019 10:57:24.000	469	20.442	172	58.600	90,0
02.07.2019 10:58:33.000	462,3	20.442	174	59.282	88,8
02.07.2019 10:59:33.000	464,5	20.442	186	63.370	89,2
02.07.2019 11:00:34.000	462,3	20.442	182	62.007	88,8
02.07.2019 11:01:34.000	462,3	20.442	184	62.689	88,8
02.07.2019 11:02:25.000	466,8	20.442	188	64.052	89,6
02.07.2019 11:03:35.000	462,3	20.442	181	61.667	88,8
02.07.2019 11:04:36.000	464,5	14.598	151	36.738	89,2
02.07.2019 11:05:25.000	464,5	0	0	0	89,2
02.07.2019 11:06:37.000	469	12.801	115	24.535	90,0
02.07.2019 11:07:37.000	464,5	20.442	183	62.348	89,2
02.07.2019 11:08:37.000	462,3	20.442	181	61.667	88,8
02.07.2019 11:09:38.000	462,3	20.442	176	59.963	88,8
02.07.2019 11:10:38.000	462,3	11.233	0	0	88,8
02.07.2019 11:11:30.000	466,8	20.442	155	52.809	89,6
02.07.2019 11:12:30.000	460	0	0	0	88,3
02.07.2019 11:13:30.000	466,8	20.012	129	43.026	89,6
02.07.2019 11:14:26.000	457,7	20.442	175	59.623	87,9

Anhang 4: Grafische Darstellung zum Betrieb ohne WP



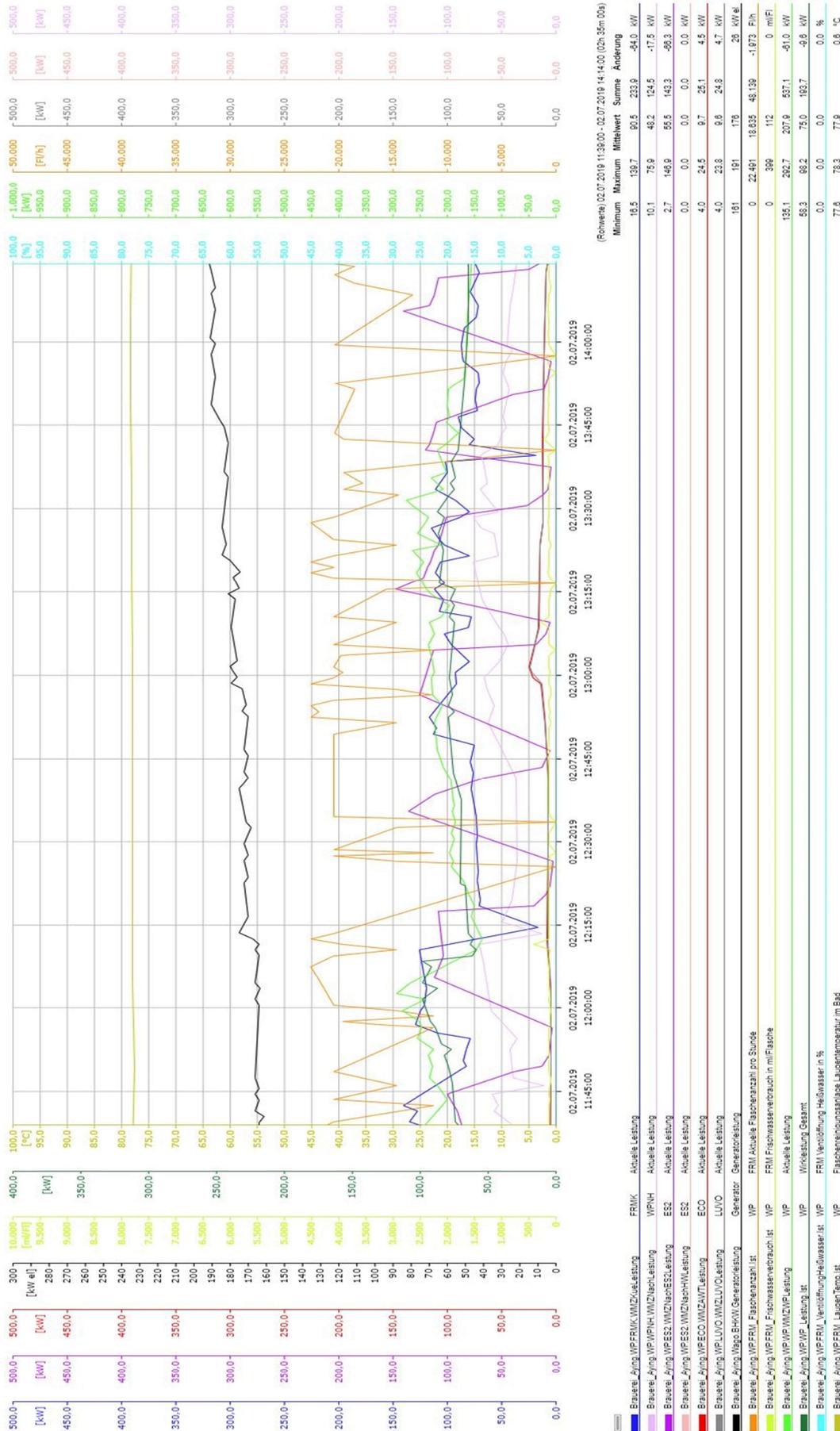
Anhang 5: Messdaten zum Betrieb mit WP

Zeitstempel	FRM aktueller	FRM aktueller	FRM aktueller	FRM Ventil-	WP Kühl-	WP Heiz-	WP elektr.	Nachheiz-	cop WP
	Flaschen-	Frischwasser-	Frischwasser-	öffnung	leistung	leistung			
	durchsatz	verbrauch	verbrauch	Heißwasser	(NBZ)	(Kondensator)	Leistung	leistung WP	
	Fl/h	ml/Fl	ml/h	%	kW	kW	kW	über ES 2	
02.07.2019 11:39:29.000	22.491	128	47.981	0	87,2	262,3	70	16,8	4,99
02.07.2019 11:40:29.000	20.442	127	43.269	0	134,1	262,3	73,5	16,8	5,39
02.07.2019 11:41:29.000	20.442	121	41.225	0	134,1	262,3	73,5	16,8	5,39
02.07.2019 11:41:30.000	20.442	116	39.521	0	127	217,6	73,5	56,1	4,69
02.07.2019 11:42:30.000	11.233	112	20.968	0	139,7	217,6	73,5	52,9	4,86
02.07.2019 11:43:29.000	11.233	112	20.968	0	139,7	217,6	73,5	52,9	4,86
02.07.2019 11:44:29.000	20.442	108	36.796	0	139,7	198,5	73,5	52,9	4,60
02.07.2019 11:45:30.000	20.442	112	38.158	0	139,7	198,5	73,5	58,7	4,60
02.07.2019 11:46:31.000	14.598	88	21.410	0	139,7	217,3	76,3	10,1	4,68
02.07.2019 11:47:30.000	14.598	87	21.167	0	139,7	231,8	76,3	39	4,87
02.07.2019 11:48:30.000	20.442	116	39.521	0	139,7	231,8	76,3	39	4,87
02.07.2019 11:49:30.000	20.442	113	38.499	0	82,5	226,6	78,9	39	3,92
02.07.2019 11:50:30.000	20.442	115	39.181	0	85,3	226,6	78,9	39	3,95
02.07.2019 11:51:30.000	20.442	117	39.862	0	85,3	234,6	81,7	39	3,92
02.07.2019 11:52:30.000	20.442	120	40.884	0	82,4	225,2	76,4	41,6	4,03
02.07.2019 11:53:30.000	20.442	116	39.521	0	82,4	225,2	83,8	41,6	3,67
02.07.2019 11:54:30.000	20.442	119	40.543	0	78,6	254,9	83,8	34,9	3,98
02.07.2019 11:55:30.000	20.442	121	41.225	0	108,6	254,9	83,8	34,9	4,34
02.07.2019 11:56:30.000	11.233	115	21.530	0	108,6	246,1	88,7	34,9	4,00
02.07.2019 11:57:30.000	19.556	93	30.312	0	128,5	251,3	92,2	34,9	4,12
02.07.2019 11:58:30.000	11.233	100	18.722	0	128,5	251,3	92,2	34,9	4,12
02.07.2019 11:59:30.000	14.598	85	20.681	0	124,4	282,5	92,2	59,2	4,41
02.07.2019 12:00:31.000	20.442	100	34.070	0	120,4	282,5	92,2	59,2	4,37
02.07.2019 12:01:30.000	20.442	113	38.499	0	120,4	239,5	97,7	59,2	3,68
02.07.2019 12:02:30.000	20.442	109	37.136	0	120,4	292,7	97,7	59,2	4,23
02.07.2019 12:03:30.000	20.442	120	40.884	0	118,4	292,7	86,9	59,2	4,73
02.07.2019 12:04:30.000	20.442	120	40.884	0	118,4	266,7	97,8	59,2	3,94
02.07.2019 12:05:30.000	20.442	120	40.884	0	118,4	266,7	97,8	59,2	3,94
02.07.2019 12:06:30.000	20.442	114	38.840	0	118,4	266,7	97,8	59,2	3,94
02.07.2019 12:07:30.000	22.491	117	43.857	0	118,4	266,7	91,5	59,2	4,21
02.07.2019 12:08:30.000	22.491	131	49.105	0	118,4	266,7	98,2	66,6	3,92
02.07.2019 12:09:30.000	20.442	118	40.203	0	118,4	266,7	60,9	66,6	6,32
02.07.2019 12:10:30.000	14.598	97	23.600	0	125,6	146,2	58,3	66,6	4,66
02.07.2019 12:11:30.000	19.556	399	130.047	0	98,8	146,2	62,7	70,1	3,91
02.07.2019 12:12:30.000	22.491	122	45.732	0	98,8	135,1	60,7	70,1	3,85
02.07.2019 12:13:30.000	20.442	117	39.862	0	98,8	135,1	64,5	12,2	3,63
02.07.2019 12:14:30.000	20.442	118	40.203	0	16,5	135,1	64,5	12,2	2,35
02.07.2019 12:15:30.000	20.442	116	39.521	0	16,5	135,1	64,5	49	2,35
02.07.2019 12:16:30.000	20.442	112	38.158	0	16,5	155,4	64,5	49	2,67
02.07.2019 12:17:30.000	20.442	114	38.840	0	16,5	155,4	64,5	49	2,67
02.07.2019 12:18:30.000	20.442	113	38.499	0	70,6	149,9	64,5	49	3,42
02.07.2019 12:19:30.000	20.442	114	38.840	0	69,5	149,9	64,5	39,5	3,40
02.07.2019 12:20:30.000	20.442	118	40.203	0	69,5	149,9	64,5	39,5	3,40
02.07.2019 12:21:30.000	20.442	119	40.543	0	69,5	163,6	64,5	39,5	3,61
02.07.2019 12:22:00.000	20.442	114	38.840	0	69,5	163,6	66,8	39,5	3,49
02.07.2019 12:23:01.000	20.442	113	38.499	0	72	170,2	69,9	39,5	3,46

02.07.2019 12:24:30.000	20.442	113	38.499	0	71,3	170,2	69,9	39,5	3,45
02.07.2019 12:25:30.000	0	103	0	0	71,3	191,1	69,9	39,5	3,75
02.07.2019 12:26:30.000	14.598	79	19.221	0	71,3	188,6	69,9	35,2	3,72
02.07.2019 12:27:30.000	20.442	117	39.862	0	71,3	188,6	69,9	35,2	3,72
02.07.2019 12:28:00.000	11.233	0	0	0	71,3	195,3	69,9	35,2	3,81
02.07.2019 12:29:30.000	20.442	125	42.588	0	72,8	195,3	69,9	35,2	3,84
02.07.2019 12:30:30.000	20.442	111	37.818	0	72,8	185,7	69,9	35,2	3,70
02.07.2019 12:31:00.000	20.442	115	39.181	0	72,1	185,7	69,9	35,2	3,69
02.07.2019 12:32:30.000	14.598	120	29.196	0	72,1	191,8	69,9	35,2	3,78
02.07.2019 12:33:30.000	0	0	0	0	72,1	184,1	69,9	35,2	3,67
02.07.2019 12:34:30.000	20.442	100	34.070	0	73,1	184,1	69,9	35,2	3,68
02.07.2019 12:35:30.000	20.442	119	40.543	0	73,1	189,2	69,9	35,2	3,75
02.07.2019 12:36:30.000	20.442	112	38.158	0	73,1	185,9	69,9	35,2	3,71
02.07.2019 12:37:30.000	20.442	120	40.884	0	73,1	185,9	69,3	35,2	3,74
02.07.2019 12:38:30.000	20.442	119	40.543	0	73,1	189,3	69,3	35,2	3,79
02.07.2019 12:39:30.000	20.442	118	40.203	0	77,7	189,3	69,3	35,2	3,85
02.07.2019 12:40:30.000	20.442	114	38.840	0	77,7	189,3	69,3	35,2	3,85
02.07.2019 12:41:00.000	20.442	111	37.818	0	77,7	191,8	69,3	35,2	3,89
02.07.2019 12:42:30.000	20.442	118	40.203	0	75,6	191,8	75,2	36,6	3,56
02.07.2019 12:43:30.000	20.442	114	38.840	0	75,6	206,8	75,2	36,6	3,76
02.07.2019 12:44:30.000	20.442	111	37.818	0	78,2	206,8	75,2	36,6	3,79
02.07.2019 12:45:30.000	20.442	117	39.862	0	78,2	206,8	75,2	36,6	3,79
02.07.2019 12:46:30.000	20.442	118	40.203	0	78,2	217	75,2	36,6	3,93
02.07.2019 12:47:30.000	20.442	118	40.203	0	75,1	217	75,2	36,6	3,88
02.07.2019 12:48:30.000	20.442	111	37.818	0	75,1	217	75,2	36,6	3,88
02.07.2019 12:49:30.000	20.442	117	39.862	0	112	217	75,2	36,6	4,38
02.07.2019 12:50:00.000	20.442	121	41.225	0	112	217	75,2	36,6	4,38
02.07.2019 12:51:30.000	14.598	89	21.654	0	109,5	223,1	75,2	61,5	4,42
02.07.2019 12:52:30.000	22.491	121	45.357	0	116,5	218,9	78,8	61,5	4,26
02.07.2019 12:53:30.000	21.808	106	38.527	0	116,5	218,9	74,2	61,5	4,52
02.07.2019 12:54:30.000	22.491	127	47.606	0	116,5	208,9	78,6	56,8	4,14
02.07.2019 12:55:30.000	20.442	115	39.181	0	116,5	208,9	78,6	56,8	4,14
02.07.2019 12:56:30.000	11.460	86	16.426	0	116,5	226	75,6	56,8	4,53
02.07.2019 12:57:30.000	14.598	84	20.437	0	116,5	226	75,6	62,6	4,53
02.07.2019 12:58:30.000	22.491	111	41.608	0	91,6	226	75,6	62,6	4,20
02.07.2019 12:59:30.000	20.442	118	40.203	0	91,6	228,6	77,8	65,8	4,12
02.07.2019 13:00:30.000	19.556	100	32.593	0	92,5	222,8	77,8	65,8	4,05
02.07.2019 13:01:30.000	20.442	119	40.543	0	92,5	222,8	77,8	65,8	4,05
02.07.2019 13:02:30.000	20.442	118	40.203	0	79	225,8	77,8	51,4	3,92
02.07.2019 13:03:30.000	19.784	116	38.249	0	79	225,8	77,8	51,4	3,92
02.07.2019 13:04:30.000	11.233	0	0	0	79	225,8	77,8	51,4	3,92
02.07.2019 13:05:30.000	20.442	111	37.818	0	95,8	233,4	77,8	43,4	4,23
02.07.2019 13:06:30.000	20.442	119	40.543	0	95,8	233,4	77,8	43,4	4,23
02.07.2019 13:07:30.000	20.442	117	39.862	0	102,2	223,2	77,8	47	4,18
02.07.2019 13:08:30.000	20.442	114	38.840	0	80,1	223,2	77,8	52	3,90
02.07.2019 13:09:30.000	14.598	261	63.501	0	80,1	231,9	74,8	52	4,17
02.07.2019 13:10:30.000	20.442	119	40.543	0	77,1	209,8	78,3	52	3,66
02.07.2019 13:11:30.000	20.442	112	38.158	0	106,6	209,8	78,3	52	4,04
02.07.2019 13:12:30.000	20.442	115	39.181	0	106,6	195,6	74,7	52	4,05
02.07.2019 13:13:30.000	20.442	119	40.543	0	103,4	195,6	77,7	67,6	3,85
02.07.2019 13:14:30.000	20.442	119	40.543	0	103,4	229,1	77,7	67,6	4,28
02.07.2019 13:15:30.000	15.508	86	22.228	0	111,4	238,1	74	67,6	4,72
02.07.2019 13:16:30.000	0	0	0	0	102,3	238,1	85,4	67,6	3,99
02.07.2019 13:17:30.000	20.442	93	31.685	0	102,3	238,1	85,4	67,6	3,99
02.07.2019 13:18:30.000	22.491	129	48.356	0	110,5	255,5	85,4	67,6	4,29
02.07.2019 13:19:30.000	20.442	114	38.840	0	110,5	255,5	85,4	67,6	4,29
02.07.2019 13:20:30.000	22.491	116	43.483	0	105,7	243,8	85,4	75,5	4,09
02.07.2019 13:21:30.000	20.442	114	38.840	0	79,1	243,8	85,4	52,8	3,78
02.07.2019 13:22:30.000	20.442	117	39.862	0	79,1	262,4	82,8	52,8	4,12
02.07.2019 13:23:30.000	14.598	91	22.140	0	102,5	210,8	82,8	52,8	3,78

02.07.2019 13:24:30.000	20.442	113	38.499	0	106,5	210,8	82,8	52,8	3,83
02.07.2019 13:25:30.000	20.442	111	37.818	0	106,5	253,7	86,1	56,8	4,18
02.07.2019 13:26:30.000	20.442	116	39.521	0	114,3	253,7	86,1	67,9	4,27
02.07.2019 13:27:30.000	22.491	129	48.356	0	114,3	239,2	86,1	67,9	4,11
02.07.2019 13:28:30.000	20.442	126	42.928	0	87,2	234,4	81,9	75,9	3,93
02.07.2019 13:29:30.000	20.442	116	39.521	0	79,2	234,4	86,7	52,7	3,62
02.07.2019 13:30:30.000	20.442	118	40.203	0	79,2	264	86,7	52,7	3,96
02.07.2019 13:31:30.000	20.442	111	37.818	0	92,4	274,7	86,7	52,7	4,23
02.07.2019 13:32:30.000	14.421	126	30.284	0	92,4	274,7	78,2	52,7	4,69
02.07.2019 13:33:30.000	19.506	117	38.037	0	110,6	206,3	74,7	69	4,24
02.07.2019 13:34:30.000	17.735	111	32.810	0	110,6	206,3	77,2	62,9	4,10
02.07.2019 13:35:30.000	17.735	114	33.697	0	110,6	228	74	62,9	4,58
02.07.2019 13:36:30.000	19.506	126	40.963	0	99,5	200,1	74	62,9	4,05
02.07.2019 13:37:30.000	19.506	132	42.913	0	99,5	200,1	74	62,9	4,05
02.07.2019 13:38:30.000	19.506	126	40.963	0	101,6	200,1	76,9	66,4	3,92
02.07.2019 13:39:30.000	19.506	130	42.263	0	18	200,1	76,9	69,6	2,84
02.07.2019 13:40:30.000	0	0	0	0	18	217,4	71,3	69,6	3,30
02.07.2019 13:41:30.000	0	0	0	0	79,2	203,6	71,3	53,1	3,97
02.07.2019 13:42:30.000	19.506	220	71.522	0	74,7	203,6	71,3	53,1	3,90
02.07.2019 13:43:30.000	20.315	124	41.984	0	74,7	178,5	71,3	48,7	3,55
02.07.2019 13:44:30.000	20.315	126	42.662	0	87	178,5	71,3	45,4	3,72
02.07.2019 13:45:30.000	20.315	131	44.354	0	87	200,3	71,3	45,4	4,03
02.07.2019 13:46:30.000	20.315	131	44.354	0	89,6	195,2	71,3	48,1	3,99
02.07.2019 13:47:00.000	20.315	132	44.693	0	89,6	195,2	71,3	48,1	3,99
02.07.2019 13:48:30.000	20.315	125	42.323	0	71,8	200	71,3	48,1	3,81
02.07.2019 13:49:30.000	20.315	131	44.354	0	73,8	200	71,3	48,1	3,84
02.07.2019 13:50:30.000	20.315	125	42.323	0	73,8	200	71,3	48,1	3,84
02.07.2019 13:51:30.000	18.469	124	38.169	0	73	196,8	71,3	43,1	3,78
02.07.2019 13:52:30.000	20.315	128	43.339	0	70,5	196,8	67,1	43,1	3,98
02.07.2019 13:53:30.000	20.315	125	42.323	0	70,5	168,2	67,1	43,1	3,56
02.07.2019 13:54:30.000	20.315	0	0	0	71,1	168,2	67,1	48,6	3,57
02.07.2019 13:55:30.000	20.315	126	42.662	0	71,1	168,2	67,1	48,6	3,57
02.07.2019 13:56:30.000	20.315	130	44.016	0	84,7	168,2	67,1	45,1	3,77
02.07.2019 13:57:30.000	0	0	0	0	85,4	168,2	67,1	45,1	3,78
02.07.2019 13:58:30.000	0	0	0	0	85,4	165	67,1	40,3	3,73
02.07.2019 13:59:30.000	20.315	125	42.323	0	86,9	165	67,1	44,8	3,75
02.07.2019 14:00:30.000	20.315	126	42.662	0	86,9	165	67,1	44,8	3,75
02.07.2019 14:01:30.000	20.315	133	45.032	0	84,8	165	67,1	44,8	3,72
02.07.2019 14:02:30.000	20.315	122	41.307	0	84,3	165	67,1	44,8	3,72
02.07.2019 14:03:30.000	20.315	127	43.000	0	84,3	165	63,9	44,8	3,90
02.07.2019 14:04:30.000	20.315	127	43.000	0	73,1	162	63,9	44,8	3,68
02.07.2019 14:05:30.000	20.315	127	43.000	0	73,1	162	63,9	44,8	3,68
02.07.2019 14:06:30.000	20.315	131	44.354	0	71,1	162	63,9	42,1	3,65
02.07.2019 14:07:30.000	20.315	125	42.323	0	71,1	162	63,9	42,1	3,65
02.07.2019 14:08:30.000	13.181	126	27.680	0	71,1	162	63,9	42,1	3,65
02.07.2019 14:09:00.000	13.181	103	22.627	0	78,6	162	63,9	42,1	3,77
02.07.2019 14:10:01.000	13.181	91	19.991	0	78,6	162	63,9	38,6	3,77
02.07.2019 14:11:01.000	18.469	98	30.166	0	78,6	156,6	63,9	38,6	3,68
02.07.2019 14:12:01.000	20.315	125	42.323	0	78,6	156,6	63,9	38,6	3,68
02.07.2019 14:13:02.000	20.315	124	41.984	0	70,1	156,6	63,9	38,6	3,55
02.07.2019 14:14:02.000	20.315	124	41.984	0	74	156,6	63,9	38,6	3,61

Anhang 6: Grafische Darstellung zum Betrieb mit WP



(Ponweise) 02.07.2019 11:30:00 - 02.07.2019 14:14:00 (2h:35m:03s)

Minimum	Maximum	Mittelwert	Summe	Änderung
18.5	139.7	90.5	233.9	-64.0 kW
10.1	75.9	49.2	124.5	-17.5 kW
2.7	148.9	55.5	143.3	-69.3 kW
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 kW
4.0	24.5	6.7	25.1	4.5 kW
4.0	23.8	6.6	24.8	4.7 kW
161	191	176	29 kW/h	29 kW/h
0	22.491	18.035	48.139	-1.973 kWh
0	369	112	0	0 m³/l
135.1	292.7	207.9	837.1	-61.0 kW
58.3	86.2	75.0	163.7	-8.8 kW
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
77.6	78.3	77.9		0.6 °C

Anhang 7: Messdaten zum Laugeaufheizen mit WP

Zeitstempel	FRM Ventil- öffnung Heiß- wasser %	WP Kühl- leistung (NBZ) kW	WP Heiz- leistung (Konden- sator) kW	WP elektr. Leistung kW	Nachheiz- leistung WP über ES 2 kW	T Lauge im Bad °C	Leis- tung Eco kW	Leis- tung LuVo kW	Leistung von ES1 auf ES2 kW	Leistung HDHW auf ES2 kW	Brenn- stoff- leistung BHKW kW zu	Stromer- zeugung BHKW kW	Leistung BHKW Abgas WAT kW	Leistung BHKW Kühl- wasser NT kW	cop WP
03.07.2019 03:32:35	0	0	0	0	0	65,8	9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:33:33	0	0	0	0	57	67,9	9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:34:33	0	0	3,3	0	57		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:35:33	0	0,6	3,3	0	211,2		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:36:33	0	1,3	3,3	0	211,2		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:37:33	0	1,3	0	0	31,8		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	
03.07.2019 03:38:33	0	1,3	0	3,6	98,2		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	0,36
03.07.2019 03:39:03	0	1,3	0	31,3	98,2		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	0,04
03.07.2019 03:40:33	0	2,2	50,9	40,5	127,7		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	1,31
03.07.2019 03:41:33	0	0,9	50,9	56,6	127,7		9,9	9,4	0	0	0	0	0,0	0,0	0,92
03.07.2019 03:42:33	0	0,9	50,9	69,3	121,4		10,2	9,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,75
03.07.2019 03:43:33	0	0,9	58,6	78,4	111,8		10,2	9,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,76
03.07.2019 03:44:33	0	0,9	58,6	61,5	111,8		10,2	9,9	0	0	0	0	0,0	0,0	0,97
03.07.2019 03:45:33	0	0,9	58,6	71,8	111,8		10,2	9,9	66,7	156,2	0	0	0,0	0,0	0,83
03.07.2019 03:46:33	0	0,9	317	71,8	111,8		10,2	9,9	66,7	156,2	0	0	0,0	0,0	4,43
03.07.2019 03:48:33	0	0,9	317	76,7	111,8	67,9	10,2	9,9	39	156,2	0	0	0,0	0,0	4,14
03.07.2019 03:49:33	0	0,3	317	74,4	111,8		10,2	9,9	39	156,2	0	0	0,0	0,0	4,26
03.07.2019 03:50:33	0	0,3	143,1	74,4	111,8		10,2	9,9	64,2	156,2	0	0	0,0	0,0	1,93
03.07.2019 03:51:33	0	0,3	311,5	77,7	111,8		10,2	9,9	64,2	156,2	0	0	0,0	0,0	4,01
03.07.2019 03:52:33	0	0,3	311,5	74,1	111,8		10,2	9,9	64,2	156,2	0	0	0,0	0,0	4,21
03.07.2019 03:53:33	0	0,3	403,2	79,2	111,8		10,2	9,9	73,4	25,3	0	0	0,0	0,0	5,09
03.07.2019 03:54:33	0	0,3	365,3	72,3	142,6		10,2	9,9	73,4	25,3	0	0	0,0	0,0	5,06
03.07.2019 03:55:33	0	0,3	365,3	80,6	142,6	68,4	10,2	9,9	73,4	15,6	0	0	0,0	0,0	4,54
03.07.2019 03:56:33	0	2	227,4	73,7	142,6		10,2	9,9	79,1	12,3	15,8	5,3088	3,0	3,4	3,11
03.07.2019 03:57:33	0	0,8	227,4	81,2	142,6		9,3	9,1	79,1	12,3	160,9	54,0624	30,9	34,8	2,81
03.07.2019 03:58:33	0	0,8	123,4	76,1	142,6		9,3	9,1	55	9,7	236,6	79,4976	45,4	51,1	1,63
03.07.2019 03:59:33	0	1,4	130	83,2	142,6		9,3	9,1	66	9,7	359,2	120,6912	69,0	77,6	1,58
03.07.2019 04:00:30	0	1,4	130	77,4	142,6		9,3	9,1	66	9,7	370,3	124,4208	71,1	80,0	1,70
03.07.2019 04:01:30	0	1,4	130	91,6	142,6	68,9	9,3	9,1	78,7	3,1	370,3	124,4208	71,1	80,0	1,43
03.07.2019 04:02:30	0	2,9	130	83,1	142,6		9,3	9,1	78,7	3,1	372,5	125,16	71,5	80,5	1,60
03.07.2019 04:03:30	0	2,9	130	90,4	142,6		9,3	9,1	78,7	257,5	372,5	125,16	71,5	80,5	1,47
03.07.2019 04:04:30	0	2,9	130	86,7	142,6		9,3	9,1	90,4	257,5	374,8	125,9328	72,0	81,0	1,53
03.07.2019 04:05:30	0	0,3	314,5	86,7	169,1		9,3	9,1	90,4	257,5	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,63
03.07.2019 04:06:30	0	0,3	314,5	86,7	169,1		9,3	9,1	90,4	203,4	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,63
03.07.2019 04:07:30	0	0,3	178,8	86,7	169,1	69,4	9,3	9,1	90,4	186,6	368,1	123,6816	70,7	79,5	2,07
03.07.2019 04:08:30	0	3,2	178,8	93,4	156,7		9,3	9,1	90,4	186,6	368,1	123,6816	70,7	79,5	1,95
03.07.2019 04:09:30	0	3,2	188	93,4	156,7		9,3	9,1	90,4	24	370,3	124,4208	71,1	80,0	2,05
03.07.2019 04:10:30	0	3,2	230,8	97,9	156,7		9,3	9,1	101,2	24	374,8	125,9328	72,0	81,0	2,39
03.07.2019 04:11:30	0	3,2	230,8	93,2	156,7		9,3	9,1	101,2	14,1	370,3	124,4208	71,1	80,0	2,51
03.07.2019 04:12:30	0	1,6	317,9	99,3	156,7		9,3	9,1	103,9	14,1	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,22
03.07.2019 04:13:30	0	0,4	317,9	94,2	156,7	69,9	6,8	6,4	103,9	14,1	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,38
03.07.2019 04:14:30	0	0,4	376,6	99	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	3,81
03.07.2019 04:15:30	0	0,4	365,9	91,1	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	4,02
03.07.2019 04:16:30	0	1,7	365,9	100,1	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,67
03.07.2019 04:17:30	0	1,7	284,9	94,1	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,05
03.07.2019 04:18:30	0	1,7	233,7	97,5	156,7	70,4	6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	2,41

03.07.2019 04:19:30	0	1,7	233,7	92,3	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	370,3	124,4208	71,1	80,0	2,55
03.07.2019 04:20:30	0	3,7	257,6	98,7	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	2,65
03.07.2019 04:21:30	0	3,7	348,4	94,9	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	3,71
03.07.2019 04:22:30	0	3,7	348,4	98,8	156,7		6,8	6,4	103,9	8,7	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,56
03.07.2019 04:23:30	0	3,7	348,4	92,3	157,5	70,9	6,8	6,4	103,9	8,7	372,5	125,16	71,5	80,5	3,81
03.07.2019 04:24:30	0	3,7	252,9	98,4	157,5		6,8	6,4	103,9	8,7	368,1	123,6816	70,7	79,5	2,61
03.07.2019 04:25:30	0	3,7	252,9	95,4	157,5		6,8	6,4	103,9	183,9	372,5	125,16	71,5	80,5	2,69
03.07.2019 04:26:30	0	1,2	264,7	98,6	170,7		6,8	6,4	95,7	18	372,5	125,16	71,5	80,5	2,70
03.07.2019 04:27:30	0	1,2	264,7	93	163,4		6,8	6,4	95,7	18	372,5	125,16	71,5	80,5	2,86
03.07.2019 04:28:30	0	1,2	324,1	98,8	163,4		4,5	4,7	99,6	13,9	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,29
03.07.2019 04:29:30	0	0	329,8	95,7	163,4	71,4	4,5	4,7	102,6	13,9	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,45
03.07.2019 04:30:30	0	0	329,8	95,7	163,4		4,5	4,7	102,6	8,6	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,45
03.07.2019 04:31:30	0	0	282,1	92,2	163,4		4,5	4,7	102,6	8,6	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,06
03.07.2019 04:32:30	0	6,4	257,5	98,2	171,3		4,5	4,7	102,6	8,6	377	126,672	72,4	81,4	2,69
03.07.2019 04:33:30	0	6,4	257,5	93,7	171,3		4,5	4,7	102,6	8,6	372,5	125,16	71,5	80,5	2,82
03.07.2019 04:34:30	0	6,4	276,8	97,5	171,3	71,9	4,5	4,7	106	8,6	370,3	124,4208	71,1	80,0	2,90
03.07.2019 04:35:30	0	3,8	276,8	97,5	171,3		4,5	4,7	106	5,3	374,8	125,9328	72,0	81,0	2,88
03.07.2019 04:36:30	0	3,8	327,5	97,5	171,3		4,5	4,7	102	16,4	372,5	125,16	71,5	80,5	3,40
03.07.2019 04:37:30	0	1,6	327,5	97,5	171,3		4,5	4,7	102	16,4	372,5	125,16	71,5	80,5	3,38
03.07.2019 04:38:30	0	1,6	327,5	97,5	171,3		4,5	1,7	106,9	243	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,38
03.07.2019 04:39:30	0	4,3	254,4	93,3	183,1	72,4	4,5	1,7	96,4	200,3	372,5	125,16	71,5	80,5	2,77
03.07.2019 04:40:30	0	1,4	254,4	98	194,3		0,8	1,7	96,4	200,3	372,5	125,16	71,5	80,5	2,61
03.07.2019 04:41:30	0	1,4	279,4	98	194,3		0,8	1,7	96,4	187	374,8	125,9328	72,0	81,0	2,87
03.07.2019 04:42:30	0	1,4	314,2	95,4	179,7		0,8	1,7	124,4	187	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,31
03.07.2019 04:43:30	0	3,1	314,2	98,7	179,7		0,8	1,7	124,4	18,3	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,21
03.07.2019 04:44:30	0	3,1	314,2	94,6	176,3		0,8	1,7	124,4	11,1	365,9	122,9424	70,3	79,0	3,35
03.07.2019 04:45:30	0	3,1	314,2	98,4	176,3	72,9	0,8	1,7	124,4	11,1	372,5	125,16	71,5	80,5	3,22
03.07.2019 04:46:00	0	3,1	304,5	95,1	176,3		0,8	1,7	121	11,1	372,5	125,16	71,5	80,5	3,23
03.07.2019 04:47:30	0	3,1	304,5	92,1	176,3		0,8	1,7	115,7	11,1	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,34
03.07.2019 04:48:30	0	3,8	304,5	99,1	176,3		0,8	1,7	115,7	6,8	372,5	125,16	71,5	80,5	3,11
03.07.2019 04:49:30	0	3,8	304,5	96,4	167,9		0,8	1,7	115,7	6,8	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,20
03.07.2019 04:50:30	0	3,8	309,4	96,4	167,9	73,4	0,8	1,7	115,7	6,8	372,5	125,16	71,5	80,5	3,25
03.07.2019 04:51:30	0	3,8	309,4	98,9	167,9		0,8	1,7	112,7	6,8	372,5	125,16	71,5	80,5	3,17
03.07.2019 04:52:30	0	2,9	309,4	95	170,6		0,8	1,7	107,7	6,8	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,29
03.07.2019 04:53:30	0	2,3	309,4	99,3	170,6		0,8	0,1	107,7	4,3	372,5	125,16	71,5	80,5	3,14
03.07.2019 04:54:30	0	2,3	317,1	97,2	175,6		0,8	0,1	104,1	4,3	372,5	125,16	71,5	80,5	3,29
03.07.2019 04:55:30	0	2,3	317,1	97,2	175,6		0,9	0,1	104,1	4,3	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,29
03.07.2019 04:56:30	0	2,3	317,1	99,4	175,6	74	0,9	0,1	104,1	23,6	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,21
03.07.2019 04:57:30	0	2,3	307,2	92,2	188,8		0,9	0,1	97,2	165,5	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,36
03.07.2019 04:58:30	0	2,3	307,2	100,4	191,9		0,9	0,1	97,2	165,5	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,08
03.07.2019 04:59:30	0	2,3	303,1	95	191,9		0,9	0,1	97,2	165,5	372,5	125,16	71,5	80,5	3,21
03.07.2019 05:00:30	0	2,3	303,1	99,7	191,9		0,9	0,1	97,2	165,5	372,5	125,16	71,5	80,5	3,06
03.07.2019 05:01:30	0	5,1	303,1	99,7	191,9		4,5	4,5	97,2	200,6	372,5	125,16	71,5	80,5	3,09
03.07.2019 05:02:30	0	5,1	303,1	92,6	187,4	74,5	40,7	4,5	99,8	200,6	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,33
03.07.2019 05:03:33	0	7,6	303,1	99,9	187,4		40,7	4,5	99,8	200,6	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,11
03.07.2019 05:04:30	0	7,6	303,1	95,8	187,4		1	0,3	99,8	0	372,5	125,16	71,5	80,5	3,24
03.07.2019 05:05:30	0	7,6	311,7	98,1	187,4		1	0,3	102,6	10,2	372,5	125,16	71,5	80,5	3,25
03.07.2019 05:06:30	0	6	311,7	98,1	187,4		1	0,3	102,6	10,2	370,3	124,4208	71,1	80,0	3,24
03.07.2019 05:07:30	0	6	311,7	95,8	187,4	75	1	0,3	98,2	10,2	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,32
03.07.2019 05:08:30	0	8,6	311,7	99,6	187,4		1	0,3	103,2	10,2	372,5	125,16	71,5	80,5	3,22
03.07.2019 05:09:30	0	8,6	311,7	99,6	187,4		1	0,3	103,2	6,4	368,1	123,6816	70,7	79,5	3,22
03.07.2019 05:10:30	0	8,6	311,7	93,9	183,7		1	0,3	103,2	6,4	374,8	125,9328	72,0	81,0	3,41
03.07.2019 05:11:30	0	7,2	311,7	100,4	183,7		1	3,4	103,2	6,4	385,9	129,6624	74,1	83,4	3,18
03.07.2019 05:12:30	0	7,2	311,7	95,1	183,7		1	3,4	95,7	6,4	381,5	128,184	73,2	82,4	3,35
03.07.2019 05:13:30	0	7,2	311,7	99,7	183,7	75,6	1	3,4	95,7	6,4	385,9	129,6624	74,1	83,4	3,20
03.07.2019 05:15:30	0	7,2	311,7	95,4	183,7		1	3,4	91,1	6,4	394,9	132,6864	75,8	85,3	3,34
03.07.2019 05:15:59	0	7,2	311,7	95,4	183,7		1	3,4	91,1	6,4	390,4	131,1744	75,0	84,3	3,34
03.07.2019 05:16:30	0	5,1	311,7	100,4	183,7		1	3,4	91,1	206,8	390,4	131,1744	75,0	84,3	3,16
03.07.2019 05:17:30	0	3,2	311,7	100,4	183,7		1	3,4	91,1	206,8	394,9	132,6864	75,8	85,3	3,14
03.07.2019 05:18:30	0	3,2	302,4	94,6	183,7		1	3,4	97,2	24,9	390,4	131,1744	75,0	84,3	3,23

03.07.2019 05:19:30.	0	3,8	299,7	100,5	180,4		3,3	3,4	97,2	24,9	390,4	131,1744	75,0	84,3	3,02
03.07.2019 05:20:31.	0	5,5	299,7	96,1	180,4		3,3	3,4	97,2	14,8	390,4	131,1744	75,0	84,3	3,18
03.07.2019 05:21:31.	0	5,5	299,7	100,4	180,4		3,3	3,4	97,2	11,7	397,1	133,4256	76,2	85,8	3,04
03.07.2019 05:22:32.	0	5,5	299,7	99,6	182,9		3,3	3,4	97,2	11,7	394,9	132,6864	75,8	85,3	3,06
03.07.2019 05:23:30.	0	5,5	299,7	92,4	182,9		6,3	6,4	100,7	9,1	392,6	131,9136	75,4	84,8	3,30
03.07.2019 05:24:30.	0	4,2	299,7	100,6	179		6,3	6,4	105,9	9,1	394,9	132,6864	75,8	85,3	3,02
03.07.2019 05:25:30.	0	4,2	299,7	96,9	179	76,6	6,3	6,4	105,9	9,1	392,6	131,9136	75,4	84,8	3,14
03.07.2019 05:26:30.	0	4,2	295,8	99,5	179		6,3	6,4	100	9,1	414,9	139,4064	79,7	89,6	3,02
03.07.2019 05:27:30.	0	1	295,8	99,5	175,5		6,3	6,4	100	9,1	410,5	137,928	78,8	88,7	2,98
03.07.2019 05:28:30.	0	1	295,8	92,5	175,5		6,3	6,4	100	9,1	406	136,416	78,0	87,7	3,21
03.07.2019 05:29:30.	0	0,5	295,8	100,7	175,5		6,3	6,4	100	268,4	406	136,416	78,0	87,7	2,94
03.07.2019 05:30:30.	0	0,5	295,8	98,6	191	77,1	6,3	6,4	100	268,4	412,7	138,6672	79,2	89,1	3,01
03.07.2019 05:31:30.	0	0,5	295,8	98,6	191		6,3	6,4	62,9	181,2	408,2	137,1552	78,4	88,2	3,01
03.07.2019 05:32:30.	0	0,5	298,9	98,6	191		6,3	6,4	62,9	181,2	406	136,416	78,0	87,7	3,04
03.07.2019 05:33:30.	0	0,5	298,9	98,6	191		6,3	6,4	62,9	209,4	408,2	137,1552	78,4	88,2	3,04
03.07.2019 05:34:30.	0	0,5	298,9	100,9	185,1		6,3	6,4	67	209,4	401,6	134,9376	77,1	86,7	2,97
03.07.2019 05:36:30.	0	1,3	298,9	97,1	185,1	77,6	6,3	6,4	67	209,4	408,2	137,1552	78,4	88,2	3,09
03.07.2019 05:37:30.	0	1,3	296,2	100,8	185,1		6,3	6,4	81	202,3	408,2	137,1552	78,4	88,2	2,95
03.07.2019 05:37:59.	0	1,3	296,2	100,8	185,1		6,3	6,4	81	202,3	410,5	137,928	78,8	88,7	2,95
03.07.2019 05:38:30.	0	1,3	296,2	96,2	185,1		7,8	10,4	81	202,3	410,5	137,928	78,8	88,7	3,09
03.07.2019 05:39:30.	0	1,3	296,2	100,6	185,1		10,8	10,4	81	204,8	417,2	140,1792	80,1	90,1	2,96
03.07.2019 05:40:30.	0	0,5	310,6	100,6	185,1		10,8	10,4	94	23,3	423,9	142,4304	81,4	91,6	3,09
03.07.2019 05:41:30.	0	0,5	310,6	94,5	187,8		10,8	10,4	94	23,3	421,6	141,6576	80,9	91,1	3,29
03.07.2019 05:42:30.	0	0,5	293	102,2	187,8		10,8	10,4	94	13,9	419,4	140,9184	80,5	90,6	2,87
03.07.2019 05:43:30.	0	0,5	293	98	187,8	78,1	10,8	10,4	100,8	13,9	439,7	147,7392	84,4	95,0	2,99
03.07.2019 05:44:30.	0	1,6	293	63,7	187,8		10,8	10,4	100,8	13,9	435,1	146,1936	83,5	94,0	4,62
03.07.2019 05:45:30.	0	1,6	177,7	59	187,8		10,8	10,4	105,7	8,7	430,6	144,6816	82,7	93,0	3,04
03.07.2019 05:46:30.	0	1,6	177,7	69,5	175,4		8,2	7,8	105,7	8,7	437,4	146,9664	84,0	94,5	2,58
03.07.2019 05:47:30.	0	1,6	170,9	76	175,4		8,2	7,8	109,7	8,7	432,9	145,4544	83,1	93,5	2,27
03.07.2019 05:48:30.	0	0,6	238,7	76	171		8,2	7,8	113,2	8,7	435,1	146,1936	83,5	94,0	3,15
03.07.2019 05:49:30.	0	3,8	238,7	79,1	171		8,2	7,8	113,2	5,4	437,4	146,9664	84,0	94,5	3,07
03.07.2019 05:50:30.	0	3,8	233,5	79,1	171		8,2	7,8	124,4	5,4	435,1	146,1936	83,5	94,0	3,00
03.07.2019 05:51:00.	0	3,8	233,5	72,1	171	78,6	8,2	7,8	124,4	5,4	435,1	146,1936	83,5	94,0	3,29

Anhang 8: Grafische Darstellung zum Laugeaufheizen mit WP

