Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung

In Zusammenarbeit mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

PILOTPHASE II PINCH-METHODIK 2008/09

Schlussbericht

PINCH – ANALYSE
HEFE SCHWEIZ AG

Ausgearbeitet durch
Reto Keller und Pascal Fotsch
Lemon Consult GmbH
Hofstrasse 1, 8032 Zürich
keller@lemonconsult.ch, www.lemonconsult.ch

Fachliche Begleitung
Florian Brunner
Helbling Beratung + Bauplanung AG

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung

In Zusammenarbeit mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

Impressum

Datum: 28. Oktober 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung Industrie und Dienstleistungen
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00
www.bfe.admin.ch

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, martin.stettler@bfe.admin.ch
Projektnummer: 102621
Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch unter EnergieSchweiz - Unternehmen - Prozessintegration PI

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung

In Zusammenarbeit mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung **1**
2. Ausgangslage **2**
3. Ziel der Arbeit **4**
4. Lösungsweg **5**
5. Energetische Gesamtübersicht **6**
6. Produktionsprozess **9**
7. Modellierung und Prozessanforderung **11**
8. Ablauf der Pinch-Analyse **12**
9. Verbundkurven **13**
   - 9.1. Sterilwürzeproduktion 13
   - 9.2. Fermentation 14
   - 9.3. Separation 15
   - 9.4. Endverarbeitung 16
10. Wärmetauschernetzwerke **17**
    - 10.1. Sterilwürzeproduktion 17
    - 10.2. Fermentation 21
    - 10.3. Separation 22
    - 10.4. Endverarbeitung 23
    - 10.5. Kombination Endverarbeitung und Fermentation 25
    - 10.6. Kombination Endverarbeitung und Separation 28
    - 10.7. Abwärmetank und CIP-Reinigung 30

11. Weitere Optimierungsmöglichkeiten **32**
11.1. Dampferzeugung und -nutzung 32
11.2. Potenzial ungenutzter Ströme 32
11.3. Kälteerzeugung 34
12. Resultate und Empfehlung **35**
13. Schlussfolgerungen **37**
14. Referenzen **37**
Anhang **38**

1. Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Erneuerung der Kälteerzeugung und dem Rückstand bei den Zielwerten der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) wurde der Hefeprozess durch Einsatz der Pinch-Methodik auf mögliche Optimierungsmassnahmen geprüft. Stellvertretend für alle 3 grossen Fermenter wurde der Ablauf eines Batches des grössten Fermenters G7 simuliert. Die Resultate wurden anschliessend auf die gesamte Hefeproduktion hochgerechnet.

Die Untersuchung zeigt, dass einige Einsparpotenziale, welche aus der Pinch-Analyse resultierten, durch die Hefe Schweiz bereits umgesetzt wurden. Bei der umgesetzten Wärmerückgewinnung durch einen Abwärmetank konnte jedoch noch Verbesserungsmassnahmen gefunden werden.

Die Pinch-Anlyse ergab, dass weitere Wärmetauscher in den Prozessschritten Sterilwürzeproduktion und Endverarbeitung zusammen CHF 10'500 pro Jahr einsparen können. Diese Wärmetauschernetzwerke können innerhalb der Prozessschritte umgesetzt werden, wobei keine Gleichzeitigkeitsprobleme entstehen und die Leitungen kurz sind. Diese beiden Massnahmen entsprechen 28% der EnAW Ziellücke.

Die Nutzung der Wärmeströme ausserhalb eines Prozessschrittes steigert die Komplexität der Netzwerke, da zeitliche und örtliche Gegebenheiten in Betracht gezogen werden müssen. Drei weitere grosse Potenziale sollten weiter verfolgt werden: Entfernung der Abwärme von den Kältemaschinen in den Abwärmetank, Nutzung der restlichen Abwärme aus dem grossen Abwärmetank für die Speisewasservorwärmung und die Nutzung der Fermenterabwärme für einen Nahwärmeverbund. Die Datengrundlage beim Abwärmetank ist noch nicht genügend, um die Potentiale genau zu bestimmen. Eine erste Abschätzung zeigt aber, dass mit diesen Massnahmen ein grosser Teil der Ziellücke der EnAW beim Erdgas erreicht werden kann.

Eine wichtige Erkenntnis aus der Pinch-Analyse ist, dass die Hefe Schweiz bereits auf dem richtigen Weg ist und die umgesetzten Massnahmen mehrheitlich den Pinchregeln entsprechen. Aus diesem Grund sind keine riesigen Potenziale mehr aufgetaucht, jedoch bringen die Erkenntnisse trotzdem einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz. Ausserdem geben die Resultate die Sicherheit, dass bis jetzt kaum Fehler in der Wärmerückgewinnung gemacht wurden.

2. Ausgangslage

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat sich zum Ziel gesetzt, die Pinch-Analyse in der Industrie möglichst breit zu verankern. Als Anreiz zur Umsetzung bildet er Ingenieure auf dieser Analysemethode aus und fördert eine Anzahl von Pilotprojekten. Zusätzlich stellt der Bund Experten zur Verfügung, um die Betriebe fachlich zu beraten.

Die Hefeproduktion der Hefe Schweiz AG bietet gute Voraussetzungen für eine Pinch-Analyse, da einerseits anspruchsvolle Wärme- und Kühlprozesse in Betrieb sind und andererseits die heute bestehende Kälteerzeugung inkl. Verteilsystem infolge R22-Ersatz erneuert werden muss. Deshalb wird das Pinch-Projekt mit 45% durch das BFE mitfinanziert.

Die Hefe Schweiz AG engagiert sich im Rahmen der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) für die Reduktion ihres CO_2-Ausstosses und den Klimaschutz. Trotz stetiger Steigerung der Energieeffizienz in den Jahren 2001 bis 2006 konnten die Zielwerte im vergangenen Jahr 2008 nicht erreicht werden (Abb. 1). Bei der CO_2-Intensität liegt die Firma knapp unterhalb des Grenzwertes (Abb. 2). Die Pinch-Analyse bietet die Chance, auf wirtschaftlich sinnvollem Weg die Energieeffizienz der Hefeproduktion zu steigern und das Unternehmen in naher Zukunft auf den Zielpfad zurückzuführen. Dazu müssten ca. 500 MWh/a Erdgas (ca. -17%) oder 250 MWh/a Elektro (ca. -11%) eingespart werden.

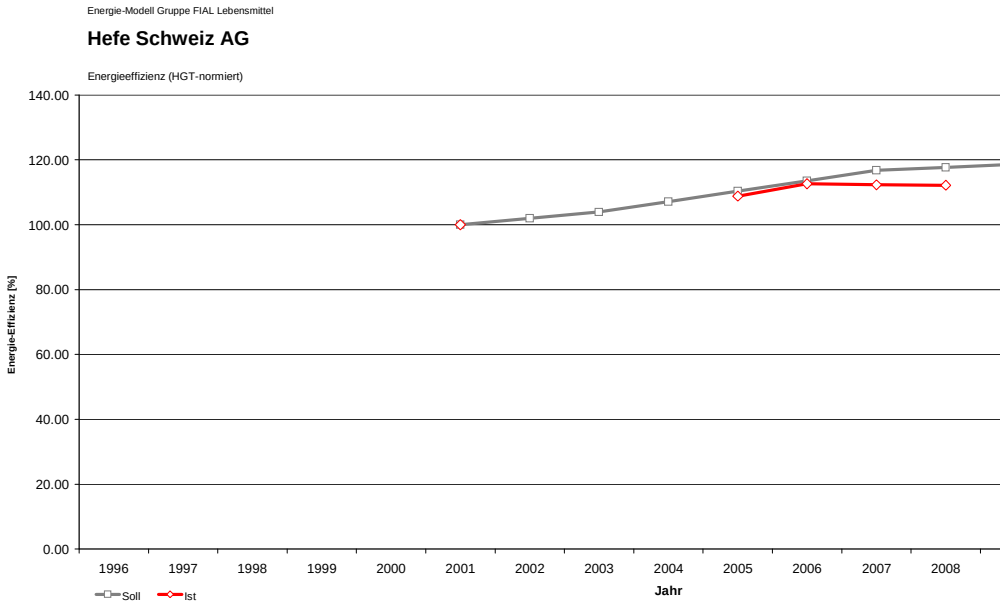

Abbildung 1: Status Energieeffizienz, Energiemodell der EnAW.

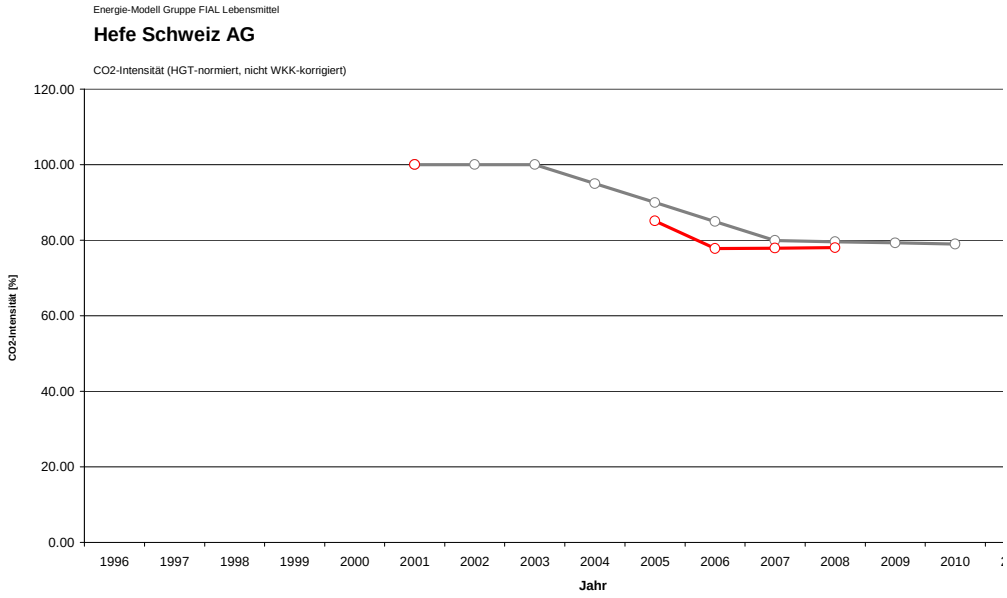

Abbildung 2: Status CO_2-Intensität, Energiemodell der EnAW.

3. Ziel der Arbeit

Mit dem Einsatz der Pinch-Methode sollen der Hefe Schweiz AG wirtschaftliche Optimierungsmassnahmen für die bestehenden Prozesse und die Neukonzeption der Kälteerzeugung aufgezeigt werden, damit einerseits die Gesamtenergieeffizienz und andererseits der CO_2-Ausstoss verbessert werden können. Die Firma will durch die Umsetzung der daraus resultierenden Projekte die mit dem Bund vereinbarten Klimaschutzziele erreichen und die Energiekosten der Produktion reduzieren.

Die Pinch-Methode bildet einen alternativen Weg zur traditionellen Prozessanalyse, welche unter den Ingenieuren weitverbreitet ist. In der traditionellen Analyse werden vielerorts interessante Wärmequellen mit naheliegenden Wärmesenken mit Tauschersystemem verknüpft, ohne zu wissen, ob im Prozesssystem aus wirtschaftlich-physikalischer Sicht nicht noch bessere Verknüpfungen bestehen.

Durch den integrativen und systematischen Ansatz der Pinch-Methode soll dieses Potential ausgeschöpft werden. In einem weiteren Schritt sollen die technische Umsetzbarkeit und der Einfluss auf den neuen Betrieb aller Vorschläge bewertet werden, damit in der Folge ein entsprechendes Vorgehenspapier erstellt werden kann.

Das Pilotprojekt soll neben den Vorzügen der Methodik auch die Einsatzgrenzen, Besonderheiten und Hürden der Pinch-Analyse aufzeigen, damit der künftige Einsatz optimiert werden kann.

4. Lösungsweg

Die zeitintensivste Arbeit bei der Pinch-Analyse ist die Definition der Prozesse und die Datenaufnahme (Abb. 3). In dieser Phase ist das Prozesswissen des Personals stark gefragt, damit aufgrund dieser Daten das Modell mit möglichst fundierten Grundlagen gebildet werden kann.

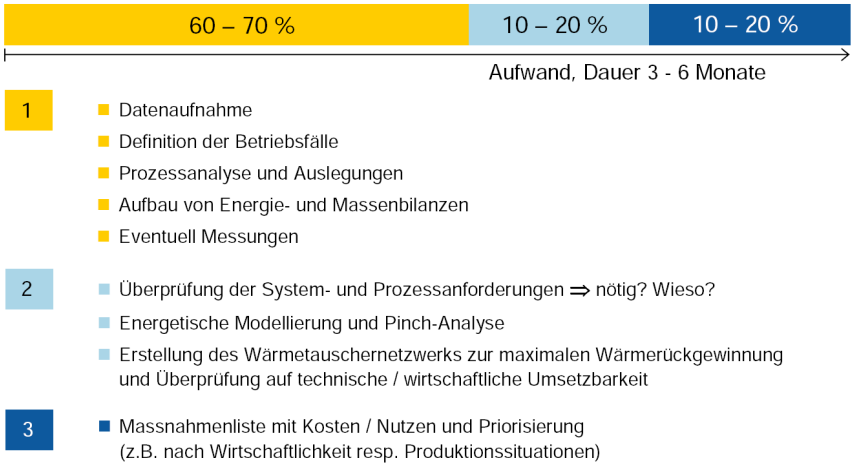

Abbildung 3: Schematische Vorgehensweise bei der Pinch - Analyse (BFE, 2008).

Stellvertretend wurde der Hefeproduktionsprozess auf dem Fermenter G7 inkl. vor- und nachgelagerter Prozesse simuliert und auf die Gesamtproduktion (Fermenter G5/G6/G7) hochgerechnet. Das Wärmetauschernetzwerk stützt sich ebenfalls auf die Produktionslinie G7. Auf diesen Grundlagen resultiert die Massnahmenliste mit Investitionskosten und entsprechenden Einsparungen über die gesamt Produktion der Hefe Schweiz AG. Anhand dieser Liste ist es für den Anlagenplaner nach der Überarbeitung der Kostenschätzung möglich, Massnahmen für die Umsetzung detailliert auszuarbeiten und umzusetzen.

5. Energetische Gesamtübersicht

Von der im Jahr 2008 gesamthaft produzierten Menge Hefe von 5'769 to sind ein Teil der Biohefe zuzuordnen. Diese ist mitunter verantwortlich, dass der spezifische Verbrauch in den letzten Jahren leicht gestiegen ist, da die Produktionszeiten pro Tonne Produkt spürbar höher liegen (Abb. 4 und 5).

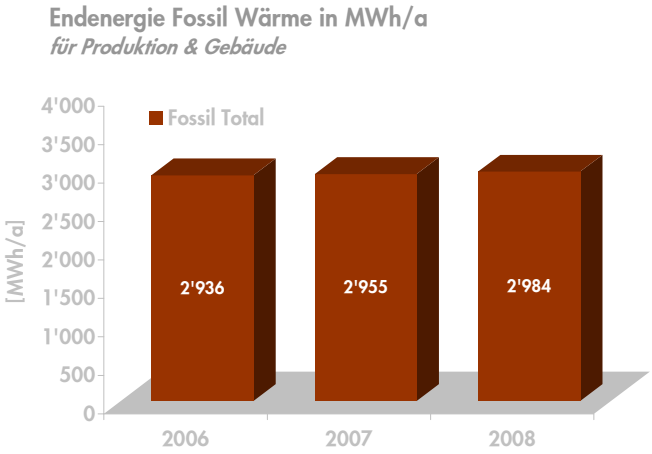

Abbildung 4: Endenergie Fossil Wärme in MWh pro Jahr für die Produktion und das Gebäude.

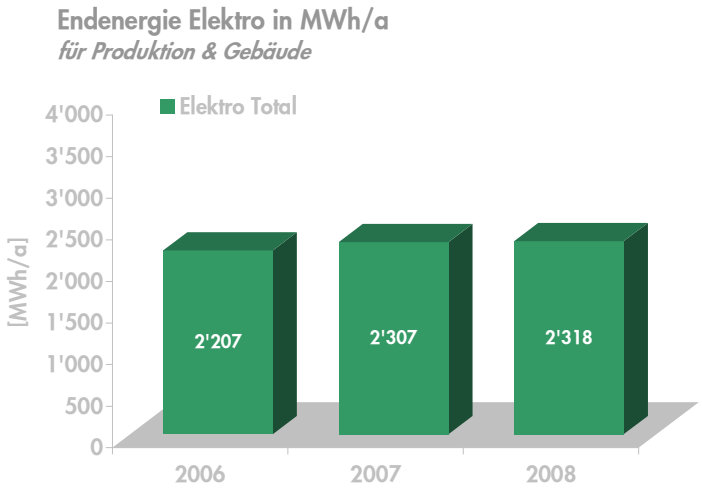

Abbildung 5: Endenergie Elektro in MWh pro Jahr für die Produktion und das Gebäude.

Auch die spezifischen Energie- und Emissionskennzahlen in kg respektive kWh pro Tonnen Produkt für die Produktion und das Gebäude zeigen eine leichte Zunahme (Strom ist wie im EnAW-Modell CO_2-neutral eingesetzt, Abb. 6).

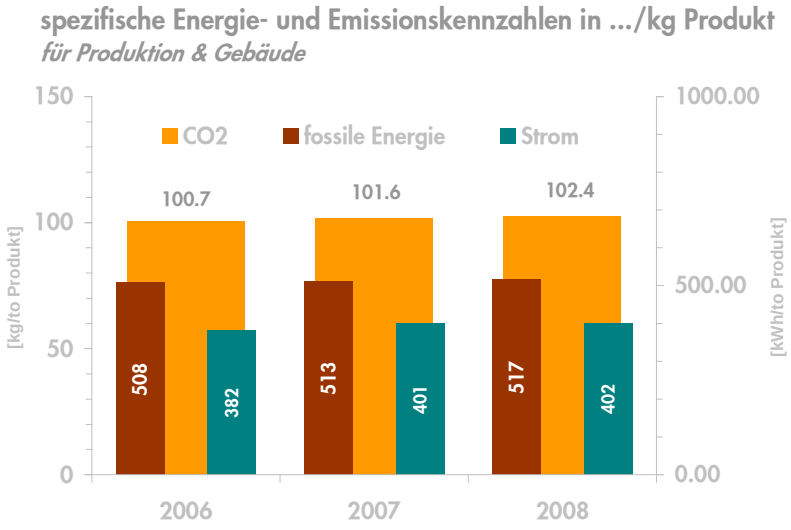

Abbildung 6: Spezifische Energie- und Emissionskennzahlen.

Die Aufteilung der Elektroverbraucher ist rechnerisch ermittelt und noch mit ein paar Unsicherheiten behaftet, da die Laufzeiten und Belastung der Motoren vielfach auf Annahmen basieren (Abb. 7).

Endenergie Elektro (2008): 2'318 MWh/a (402 kWh/t)

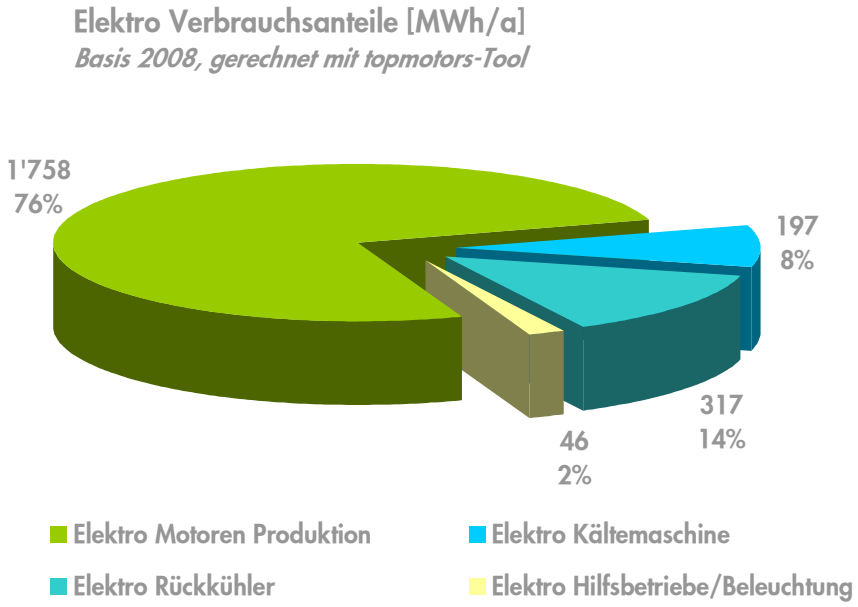

Abbildung 7: Verbrauchergruppen Elektro.

Im Bereich der Kälteenergie kann anhand der Prozessanalyse folgende Aussage gemacht werden:

Kältebedarf 2008 für die Fermentation ohne Verluste
4'370 MWh/a (Abgabe direkt via Rückkühler)

Kältebedarf für die Separation/Lagerung/Verpackung ohne Verluste
210 MWh/a (Abgabe via Kältemaschine)

Endenergie Wärme (2008): 2'984 MWh/a (517 kWh/t)

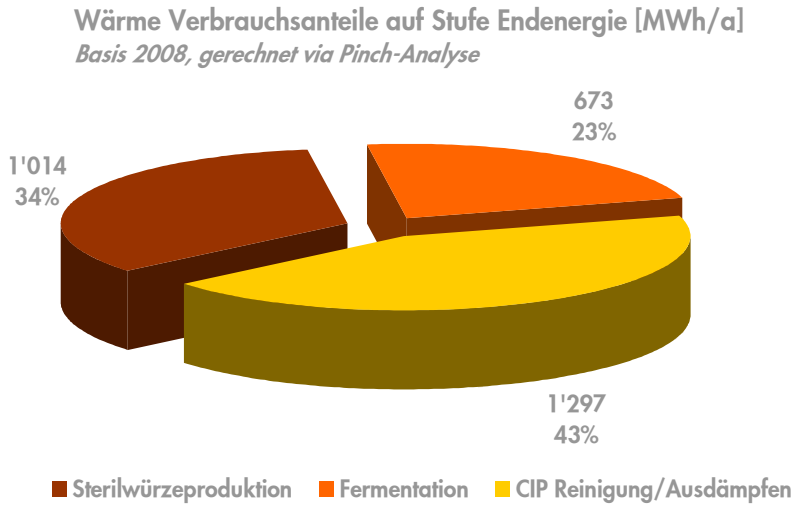

Abbildung 8: Verbrauchergruppen Wärme auf Stufe Endenergie.

6. Produktionsprozess

Die Reinhefezucht wird im Labor in steriler Melasse vorbereitet und überimpft. Die Hefereinkultur wird schrittweise in grösseren Tanks wachsen gelassen, so dass nach einigen Tagen genügend Reinhefe für den nächsten Prozessschritt zur Verfügung steht (Abb. 9, Schritt 1, 2). Die Reinhefe wird in kleineren Fermentern (G2/G4) und dem Fermenter G7 zur Stellhefe gegärt, um danach die grösseren Fermenter zu versorgen (Abb. 9, Schritt 4).

Für die Backhefegärung werden hauptsächlich drei Rohstoffe benötigt: Stellhefe (4.5%), Würze (35.6%) und Wasser (59.9%). Die Würze wird in der Rohstoffaufbereitungsanlage vorbereitet (Abb. 9, Schritt 3). Melasse und Dicksaft werden mit Wasser vermischt, pasteurisiert und anschliessend sterilisiert. Diese drei Flüssigkeiten bilden die sogenannte Würze. Diese wird kontinuierlich hergestellt und bei 78°C gelagert, damit keine Infektion entsteht.

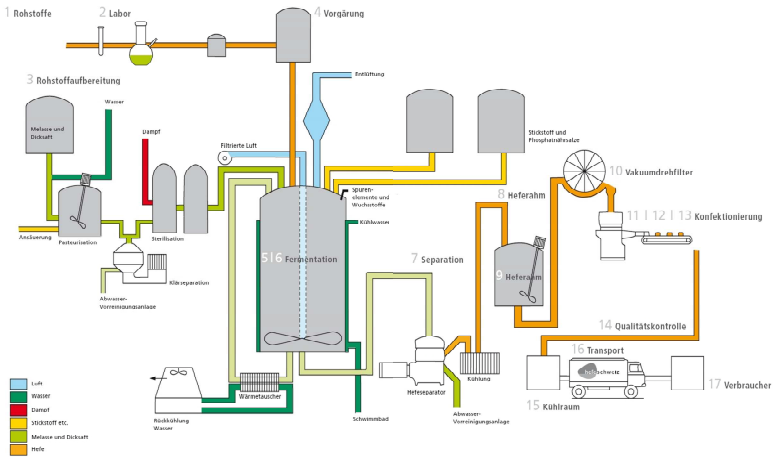

Abbildung 9: Vereinfachte Darstellung de Hefeproduktionsprozesses.

Die Würze ist der Nährstoff für das Hefewachstum und wird der Fermentation kontinuierlich zugemischt, bis die gewünschte Menge Hefe erreicht ist (Abb. 9, Schritt 5, 6). Nach rund 17 Stunden Fermentierung, wird der hergestellte Heferahm aus dem Fermenter gepumpt, durch Separatoren vom Wasser getrennt, gewaschen und danach für ein bis fünf Tage im Heferahmlager ruhen gelassen (Abb. 9, Schritt 7-9). Entsprechend der Nachfrage wird der Heferahm zu gegebener Zeit mit Hilfe eines Vakuumdrehfilters entwässert und für die Konfektionierung vorbereitet (Abb. 9, Schritt 10).

Die Hefe wird in die entsprechenden Grössen geteilt und verpackt (Abb. 9, Schritt 11-13). Nach der Qualitätskontrolle wird die Hefe im Lager auf die gewünschte Lagertemperatur gekühlt und bis zum Transport auf dieser Temperatur gehalten (Abb. 9, Schritt 15, 16).

Die folgende Tabelle zeigt den zeitlichen Verlauf der verschiedenen Prozessschritte der gesamten Hefeproduktion (Tab. 1).

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung

In Zusammenarbeit mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

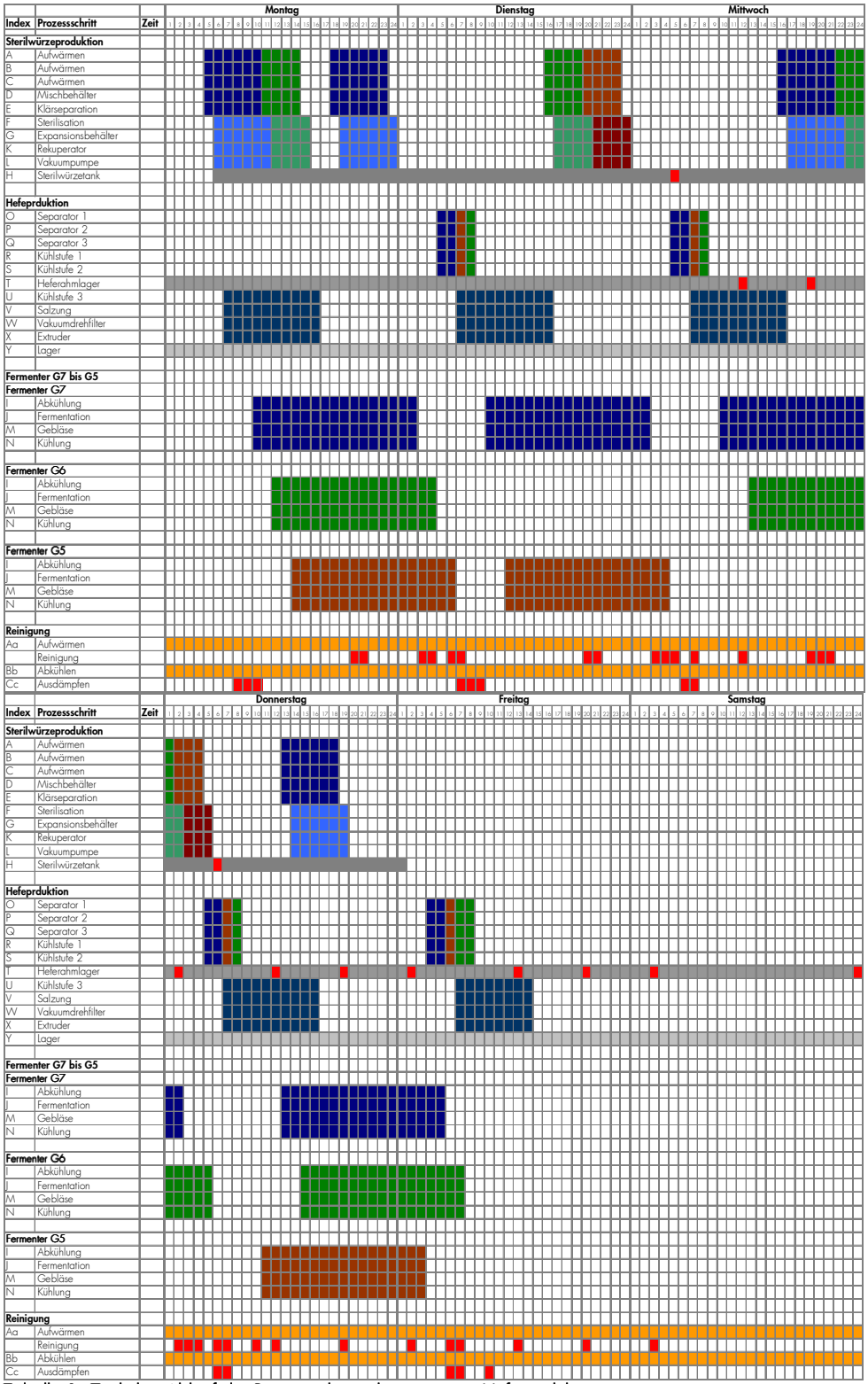

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf der Prozessschritte der gesamten Hefeproduktion

7. Modellierung und Prozessanforderung

Das Pinch-Modell basiert auf dem Prinzip, dass möglichst viele aufzuwärmende Ströme mit abzukühlenden durch Wärmetauscher verbunden werden können. Dabei spielen nicht nur die Leistung und das Temperaturniveau eine Rolle, sondern auch die Temperaturübergänge und die Zeiten. Weiter sind für die Bestimmung der Jahreskosten und der Rentabilität die wirtschaftlichen Vorgaben als Grundlage hinterlegt.

Alle Pinch-Resultate beziehen sich auf einen Batch für eine Fermentation mit dem grössten Fermenter G7. Die Einsparungen pro Jahr wurden auf die Hefeproduktion von den drei Fermentern (G5-G7) hochgerechnet. Alle Prozessschritte ausser der Fermentation werden mit derselben Infrastruktur durchgeführt. Das heisst, dass für die Sterilwürzeproduktion, den Sterilwürzetank, die Separation, Heferahmlager und Endverarbeitung eine gemeinsame Produktionslinie für alle Fermenter besteht.

Der Hefeprozess besteht aus drei kontinuierlichen Prozessen und einem Batch-Prozess (Abb. 10). Der erste Prozessschritt, die Sterilwürzeproduktion, läuft kontinuierlich und ist mit dem Füllen des Sterilwürzetanks abgeschlossen. Die Fermentation ist ein exothermer Batchprozess, der neben anderen Rohstoffen die Sterilwürze aus dem Sterilwürzetank bezieht. Sobald die Fermentation abgeschlossen ist, startet die Separation, welche kontinuierlich die Maische aus dem Fermenter zu Heferahm verarbeitet und damit das Heferahmlager versorgt. Der letzte Prozessschritt vor der Lagerung wird Endverarbeitung genannt und trennt den Heferahm vom Wasser. Auch dieser letzte Prozessschritt ist in sich abgeschlossen kontinuierlich.

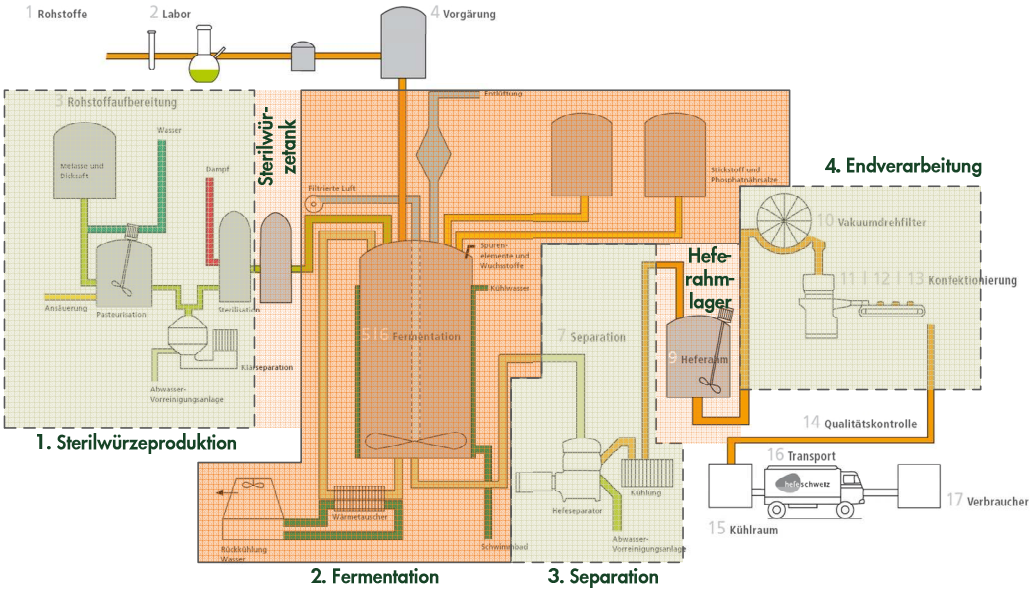

Abbildung 10: Unterteilung des Hefeprozessen in einzelne Prozessschritte.

Für die Pinchanalyse wurde der Hefeprozess in den einzelnen Prozessschritten analysiert (Abb. 10), welche zeitlich und auch örtlich voneinander getrennt sind. Für den wirtschaftlichen Einsatz von Wärmetauschern sind diese zwei Kriterien entscheidend. Bei zeitlich versetzten Prozessschritten werden oft Speicher benötigt und wenn diese auch noch örtlich auseinander liegen, müssen die Distanzen mit langen Leitungen überwunden werden. Dies führt zur Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit und Reduktion des Nutzens. Falls noch ungenutzte Ströme innerhalb dieser gebildeten Bereiche vorhanden sind, können auch Bereiche untereinander verbunden werden, mit Beachtung der zeitlichen und örtlichen Gegebenheiten.

8. Ablauf der Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse wurde in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

1. Aus Prozessanforderungen wurden anhand der Pinch-Software (Pinch Leni, Ausg. 1995 - 1999) die Verbundkurven gebildet.

2. Zusammen mit den Wirtschaftlichkeitsdaten, welche aus Investitionskosten und Betriebskosten bestehen, wurde mittels Targeting das Delta T min und damit die aus wirtschaftlich-physikalischer Sicht minimal nötige Heiz- und Kühlleistung bestimmt.

3. Anschliessend wurde mit Hilfe der Pinch-Software das MER-Netzwerk des modellierten Systems generiert. MER heisst Maximum Energy Recovery und ist die Umsetzung der Zielvorgabe (minimal nötige Heiz- und Kühlleistung) mit einem theoretisch optimalen Wärmetauschernetzwerk.

4. In einem iterativen Prozess wurde danach, unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen (räumlich, zeitlich, verfahrenstechnisch, wirtschaftlich) das optimale Wärmetauschernetz für die bestehende Anlage definiert. Dabei wurde die Anzahl von Tauschern reduziert, damit einerseits die Komplexität und andererseits der Betriebsaufwand der Anlage abnimmt, ohne dass ein wesentlicher Mehrverbrauch an Energie resultiert.

9. Verbundkurven

Die ersten Anhaltspunkte für eine Kopplung der Abkühlvorgänge mit den Aufwärmvorgänge und umgekehrt, liefern die Verbundkurven. Diese zeigen das theoretische Potenzial und die ideal benötigten Leistungen.

Die Kostenkurve zeigt die Jahreskosten in Abhängigkeit des Delta T min. Dies dient der Zielwertfindung. Das Delta T beim tiefsten Punkt der Jahreskosten ist ein wichtiges Resultat für die Verbundkurve und die anschliessende Berechnung der Wärmetauscher.

9.1. Sterilwürzeproduktion

Die Verbundkurve der Sterilwürzeproduktion zeigt, dass das grösste Potenzial an Wärme für die aufzuwärmenden Ströme bei der Kondensation der Brüde liegt (Abb. 11). Idealerweise kann die gesamte Kühlung mit den aufzuwärmenden Strömen gedeckt werden. Das Delta T liegt bei 8°C, wobei ein weiteres Kostentief bei einem Delta T bei 14°C liegt. Dazwischen steigt die Kostenkurve leicht an.

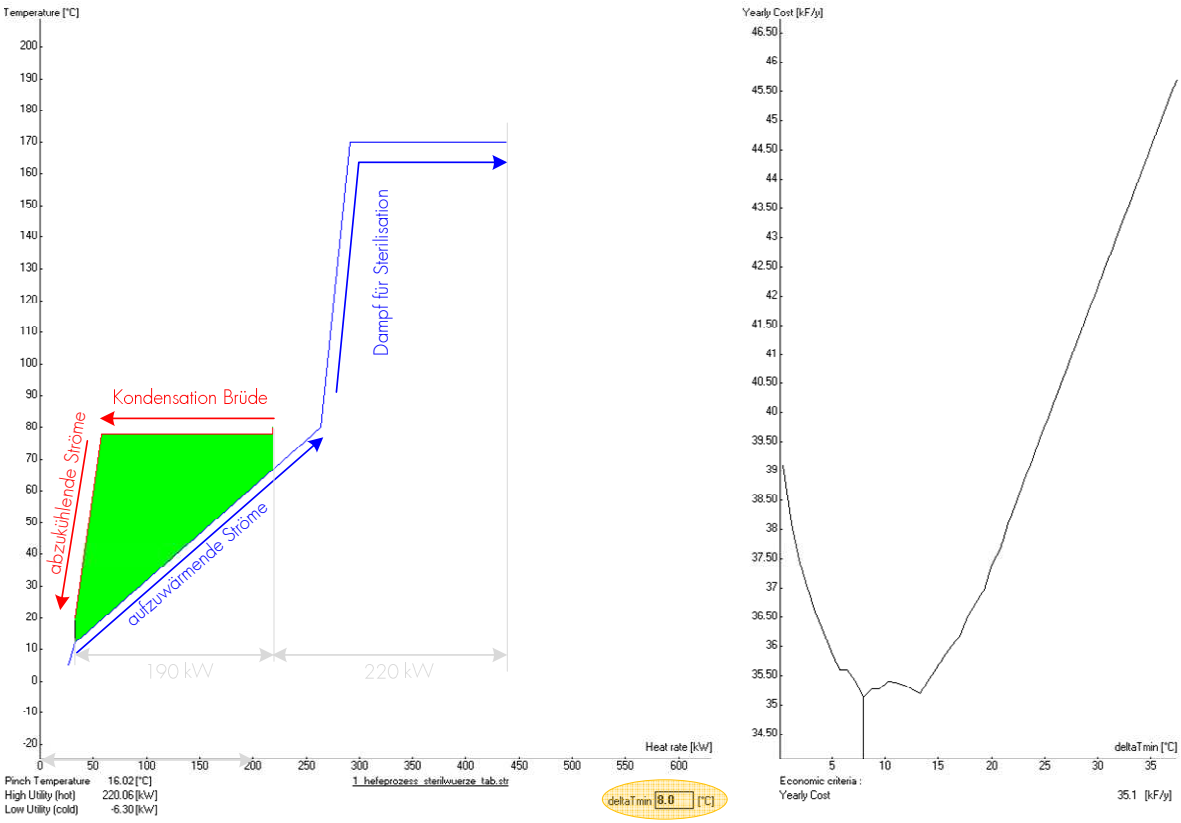

Abbildung 11: Verbundkurve des Prozessschrittes Sterilwürzeproduktion.

9.2. Fermentation

Die Fermentation hat wenige aufzuwärmenden Ströme, welche durch die Exothermie der Gärung im Bottich erwärmt werden (Abb. 12). Der Wärmeaustausch unter den Stoffen dieses Prozessschrittes findet grösstenteils im Fermenterbottich statt, wobei keine Kosten anfallen. Einzig die Sterilwürze wird vorgängig abgekühlt.

Die grösste Abwärmeleistung liegt zwischen 34°C und 25°C. Diese Leistung wird durch den Gärvorgang im Fermenter erzeugt. Die ideale Gärtemperatur liegt bei 34°C. Die Exothermie des Vorgangs muss reguliert abgeführt werden, damit die Gärtemperatur bei unterschiedlichem Hefewachstum möglichst konstant bleibt.

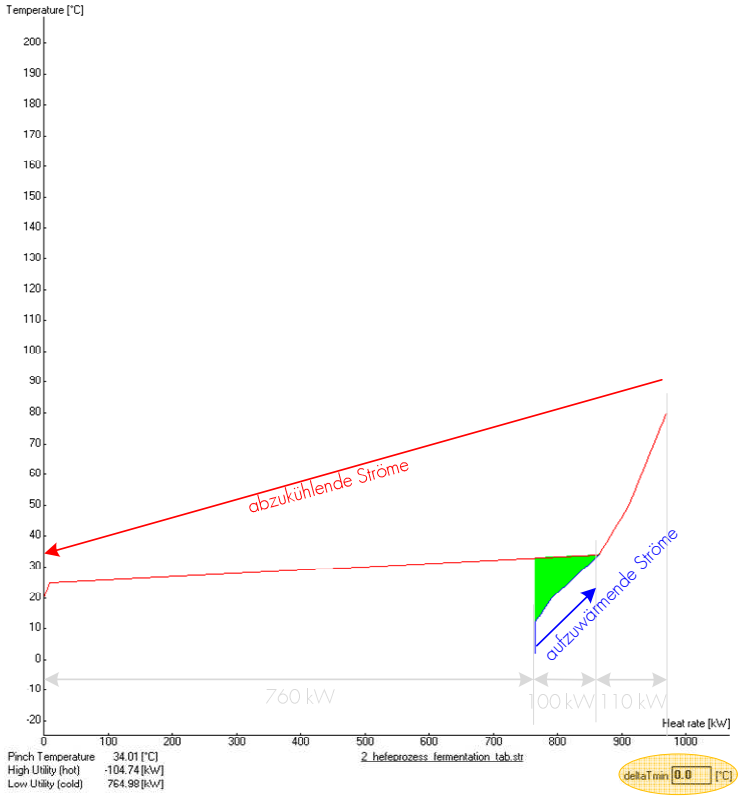

Abbildung 12: Verbundkurve der Fermentation mit Wärmetauscherkosten von 0, da die Wärme im Fermenter ausgetauscht wird.

9.3. Separation

Die Separation hat keine aufzuwärmenden Ströme, jedoch einige abzukühlende (Abb. 13). Somit sind Platzierungen von Wärmetauschern innerhalb des Prozessschrittes nicht möglich.

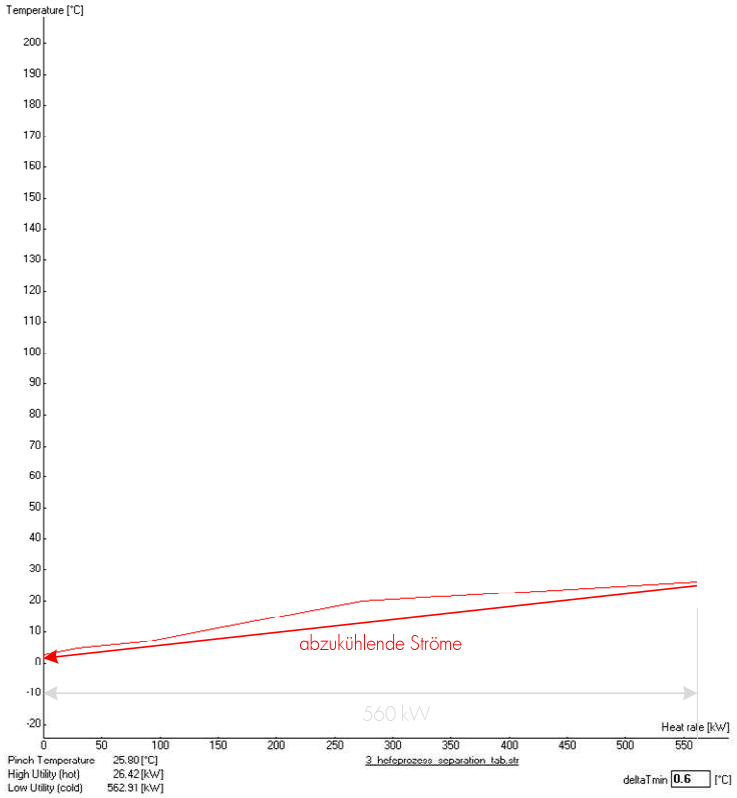

Abbildung 13: Verbundkurve des Prozessschrittes Separation.

9.4. Endverarbeitung

Die Verbundkurve der Endverarbeitung zeigt, dass in einem relativ kleinen Bereich Wärme ausgetauscht werden kann (Abb. 14). Die Temperaturniveaus liegen ziemlich nahe beisammen, deshalb ist der wirtschaftliche Austausch von Wärme beschränkt. Trotzdem kann ein Teil des aufzuwärmenden Stromes mit einem Teil des abzukühlenden Stromes aufgewärmt werden, dies bei einem Delta T von 3.3°C.

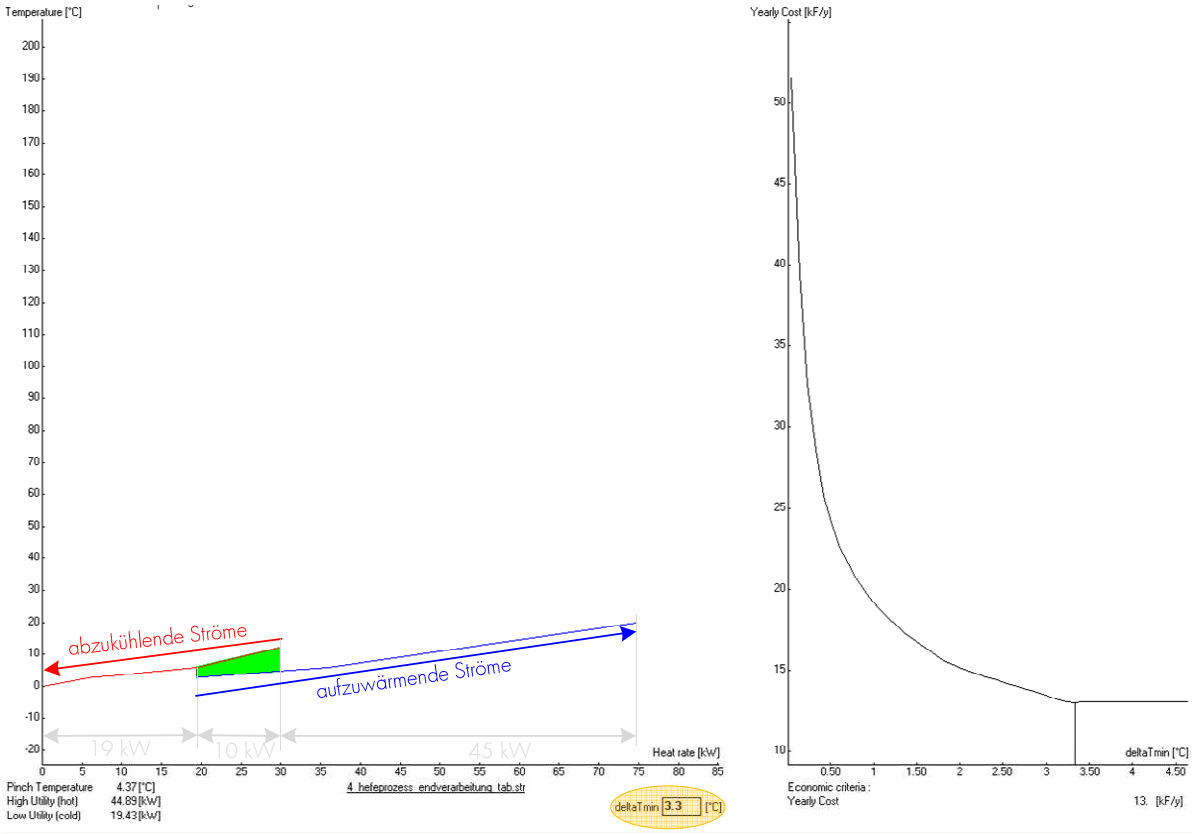

Abbildung 14: Verbundkurve der Endverabeitung.

10. Wärmetauschernetzwerke

Es gibt oft mehrere Möglichkeiten bei der Bildung der Wärmetauschernetzwerke. Das aus der Pinch-Analyse generierte Netzwerk bildet die Grundlage, doch müssen die in der Praxis bestehenden zeitlichen und räumlichen Abhängigkeiten berücksichtigt werden. Im Folgenden werden einige Möglichkeiten vorgeschlagen und die entsprechenden Einsparungen beziffert.

10.1. Sterilwürzeproduktion

Die Sterilwürzeproduktion ist ein kontinuierlicher Prozess, der hauptsächlich Wärme benötigt. Es sind mit der Abkühlung der Brüde ideale Bedingungen für die Pinch-Analyse gegeben.

10.1.1. Variante 1 : Ideale Verknüpfungen

Die Schwefelsäure hat einen sehr kleinen Durchfluss, deshalb ist die Leistung trotz des grossen Temperaturunterschiedes sehr klein (Abb. 15). Die beiden grossen aufzuwärmenden Ströme sind das Wasser und die Zuckermelasse. Beide Ströme können durch die Abkühlung der Brüde vollständig gedeckt werden.

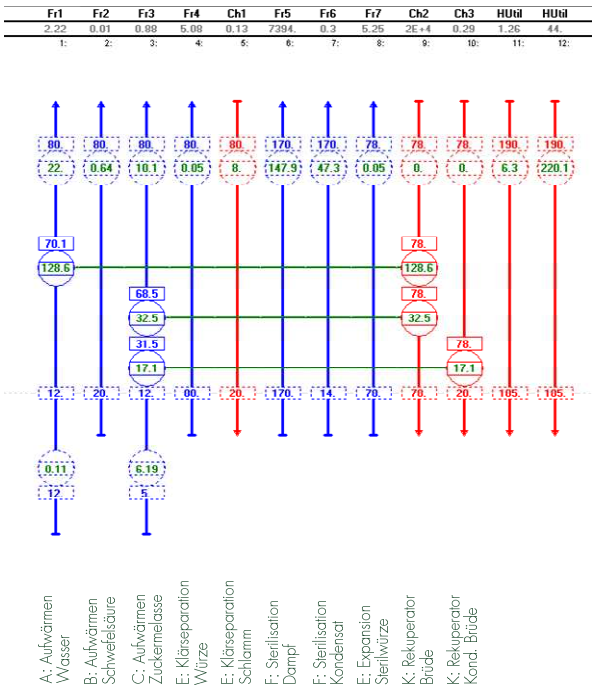

Abbildung 15: Netzwerk der Sterilwürzeproduktion mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C).

In der Praxis kann das Netzwerk durch Wärmetauscher im Prozess umgesetzt werden (Abb. 16). Mit dem ersten Wärmetauscher, wird das Wasser auf eine Temperatur von 70°C geheizt, dies durch Nutzung der Energie aus dem Phasenübergang der Brüde aus dem Expansionsbehälter. Der zweite Wärmetauscher wärmt die Zuckermelasse auf 69°C auf. Ein Teil wird auch durch die Energie aus dem Phasenübergang gedeckt und der Rest aus der Abkühlung des Brüdenkondensates. Das heisst, dass die Brüde im zweiten Wärmetauscher kondensiert und der Rekuperator nur noch beim Anfahren des Prozesses und zur Sicherheit benötigt wird.

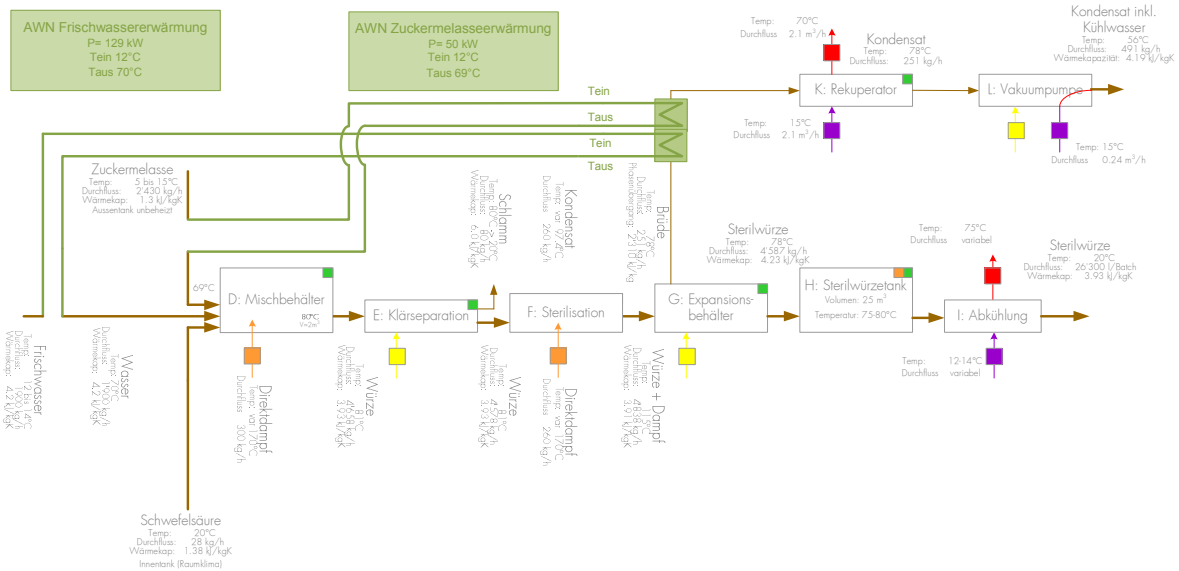

Abbildung 16: Wärmetauschernetzwerk der Sterilwürzeproduktion im Prozessblockbild.

Diese Massnahmen würden zusammen rund CHF 31'500 pro Jahr einsparen (Tab. 2). Die Einsparung setzt sich zusammen aus der Einsparung der Wärme für die Aufwärmung des Wassers und der Zuckermelasse und der Einsparung an Abwassergebühren durch die Reduktion des Quellwasserverbrauches beim Rekuperator.

Nr.	Massnahme	Max. Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Einsparung Wärme [CHF/a]	Einsparung Wasser+Strom [CHF/a]	Einsparung Total [CHF/a]	Nutzungs-dauer [Jahre]	Pay-Back-Time [Jahre] *Richtwert*	jähr. Kapital-kosten [CHF/a] *Annuität bei 15 Jahren*
1	**AWN Frischwasservorwärmung**	176'000	18'300	3'700	22'000	15	8	16'150
2	**AWN Zuckermelassevorwärmung**	76'000	8'000	1'500	9'500	15	8	6'970
	Total Sterilwürzeproduktion	**252'000**	**26'300**	**5'200**	**31'500**	**15**	**8**	**23'120**

Tabelle 2: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Massnahmen.

Bei der Betrachtung des Ist-Zustandes des Prozesses zeigt sich, dass die Massnahme der Frischwassererwärmung bereits umgesetzt wurde. Das Frischwasser strömt durch den Rekuperator in einen Abwärmetank, woraus das Frischwasser mit 72°C für den Prozess bezogen wird. Der Unterschied zur Lösung aus der Pinch-Analyse ist, dass der Abwärmetank von weiteren Strömen, die bei der Pinch-Analyse nicht benutz werden, gespiesen und ein Teil der Reinigung auch von diesem Abwärmetank bezogen wird (Kap. 10.7).

10.1.2. Variante 2 : Optimierte Verknüpfungen

Unter Beachtung der bereits umgesetzten Massnahmen (grosser Abwärmetank), muss das Netzwerk in der Reihenfolge der Tauscher angepasst werden. Der Tauscher für die Erwärmung der Zuckermelasse war bei der Variante 1 nach dem Tauscher für die Wassererwärmung platziert. Da ein Tauscher nach dem Rekuperator keinen Sinn macht, wurde das Netzwerk geändert und die Tauscherreihenfolge geändert (Abb. 17).

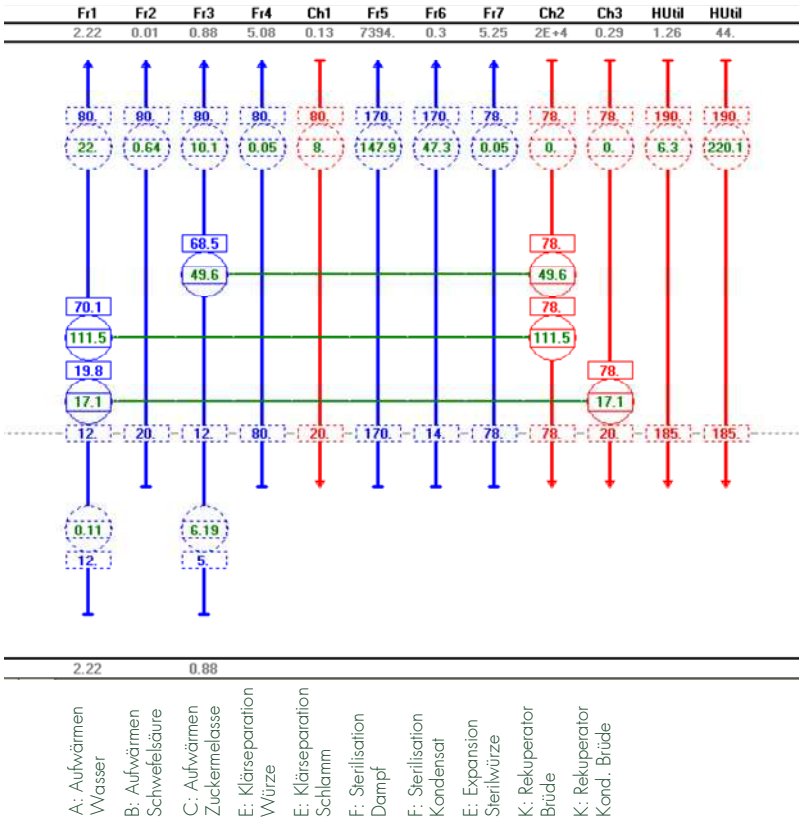

Abbildung 17: Wärmetauschernetzwerk der Sterilwürze für die Variante 2 mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C).

Die Änderung im Prozess gegenüber dem Ist-Zustand erfolgt durch einen zusätzlichen Tauscher vor dem Rekuperator, welcher die Energie aus dem Phasenübergang nutzt (Abb. 18). Diese Massnahme zur Erwärmung der Zuckermelasse reduziert den Dampf- und Wasserverbrauch, um dieselbe Menge wie bei der Variante 1 errechnet: CHF 9'500 pro Jahr (Kap. 10.1.1). Die Einsparung der Erwärmung des Frischwassers mit einer Einsparung von CHF 22'000 wurde mit der Inbetriebnahme des Abwärmetanks bereits umgesetzt.

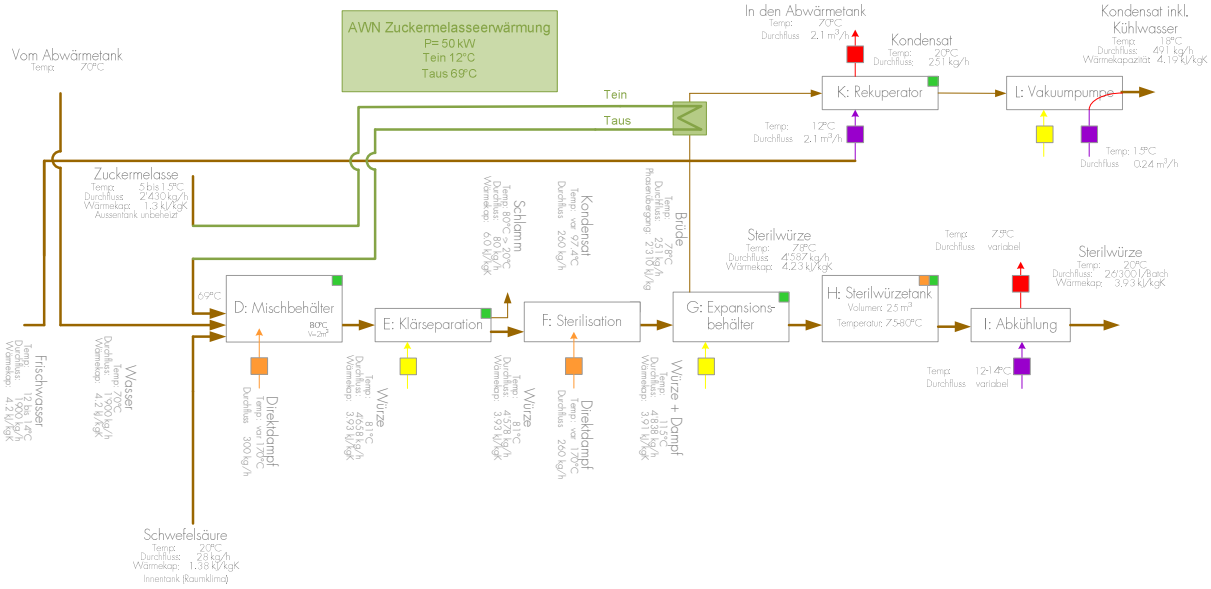

Abbildung 18: Wärmetauschernetzwerk der Sterilwürze für im Prozess.

Die Massnahme der Erwärmung der Zuckermelasse bringt der Hefe Schweiz eine beträchtliche Energieeinsparung. Falls diese durch den Anlagenbauer mit einer entsprechenden Investition von maximal CHF 76'000 durchgeführt werden kann, ist die Massnahme wirtschaftlich.

10.2. Fermentation

Die Fermentation hat, wie bei der Verbundkurve bereits beschrieben, einige aufzuwärmenden Ströme, welche durch die „gratis" Erwärmung des exothermen Vorganges gedeckt werden. Die „Wärmetauscher" im Netzwerk sind durch die Durchmischung im Fermenterbottich bereits vorhanden (Abb. 19).

Dieser Prozesschritt benötigt hauptsächlich externe Kälte für die abzukühlenden Ströme. Die vorhandenen Wärmequellen wurden markiert und können möglicherweise ausserhalb dieses Prozessschrittes benutzt werden (Abb.19). Die Abkühlung der Sterilwürze wird bereits für die CIP-Reinigung genutzt (Kap. 10.7).

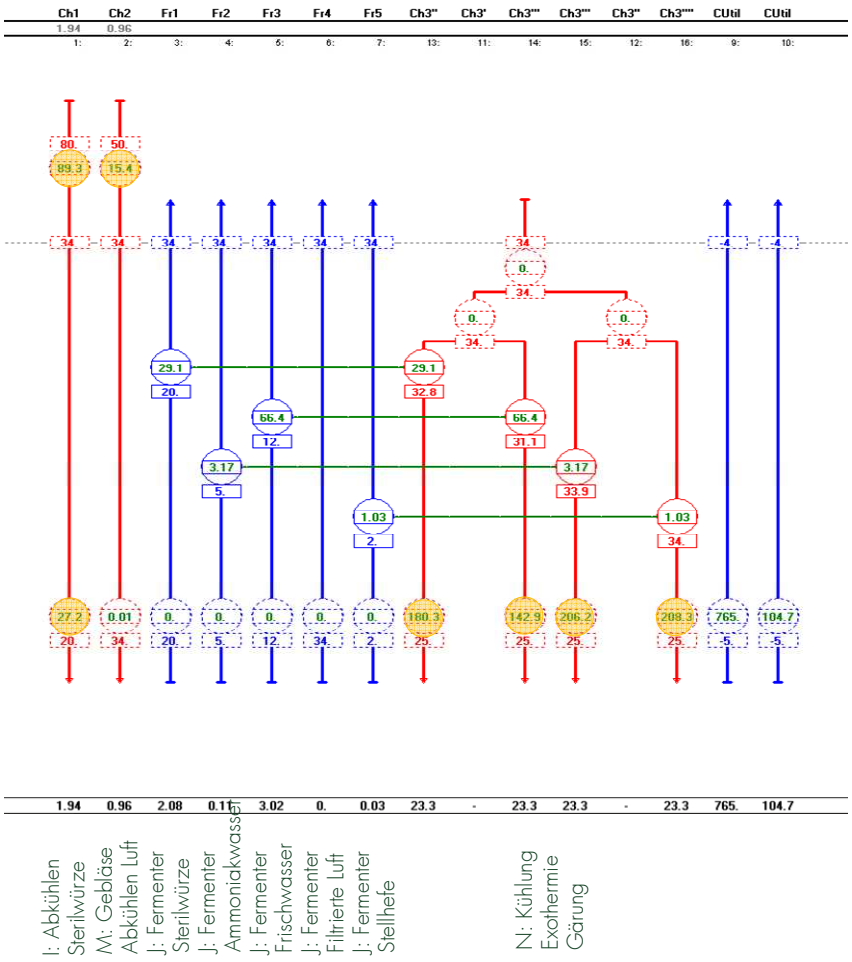

Abbildung 19: Wärmetauschernetzwerk der Fermentation mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C). Orange markiert sind die nicht genutzten grösseren Quellen für weitere Nutzungen ausserhalb dieses Prozessschrittes.

10.3. Separation

Die Verbundkurve des Prozessschrittes hat bereits gezeigt, dass keine Wärmetauscherverknüpfung innerhalb dieses Schrittes möglich ist. Die Ströme wurden trotzdem aufgezeichnet, da diese in einem anderen Prozessschritt oder ausserhalb des Prozesses genutzt werden könnten (Abb. 20).

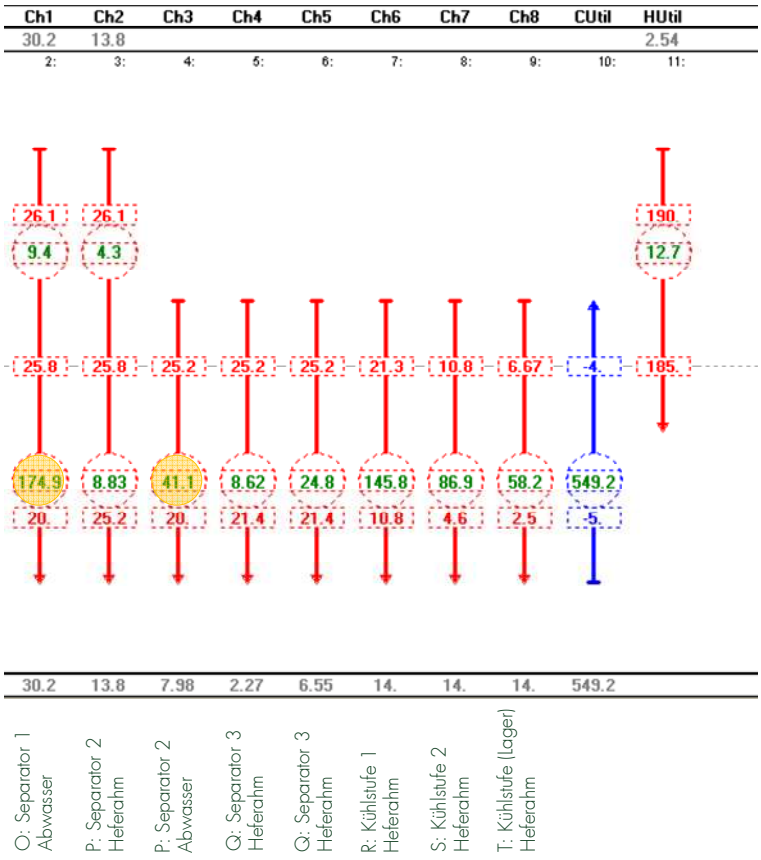

Abbildung 20: Aufzuwärmende und abzukühlende Ströme aus der Pinchanalyse mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C). Orange markiert sind die nicht genutzten grösseren Quellen für weitere Nutzungen ausserhalb dieses Prozessschrittes, wenn diese ein Temperaturniveau >25°C haben.

10.4. Endverarbeitung

Im Prozessschritt der Endverarbeitung sind zwei Wärmetauscher für die Abkühlung des Abwassers aus dem Vakuumdrehfilter für die Vorkühlung des Wassers möglich (Abb. 21). Das Abwasser des Vakuumdrehfilters läuft zurzeit mit einer Temperatur von 2.9°C ungenutzt in die Kanalisation. Bei diesem Tauschernetzwerk kann 10 kW der zur Verfügung stehenden 45 kW genutzt werden. Die restliche Kälte könnte für einen anderen Prozessschritt genutzt werden.

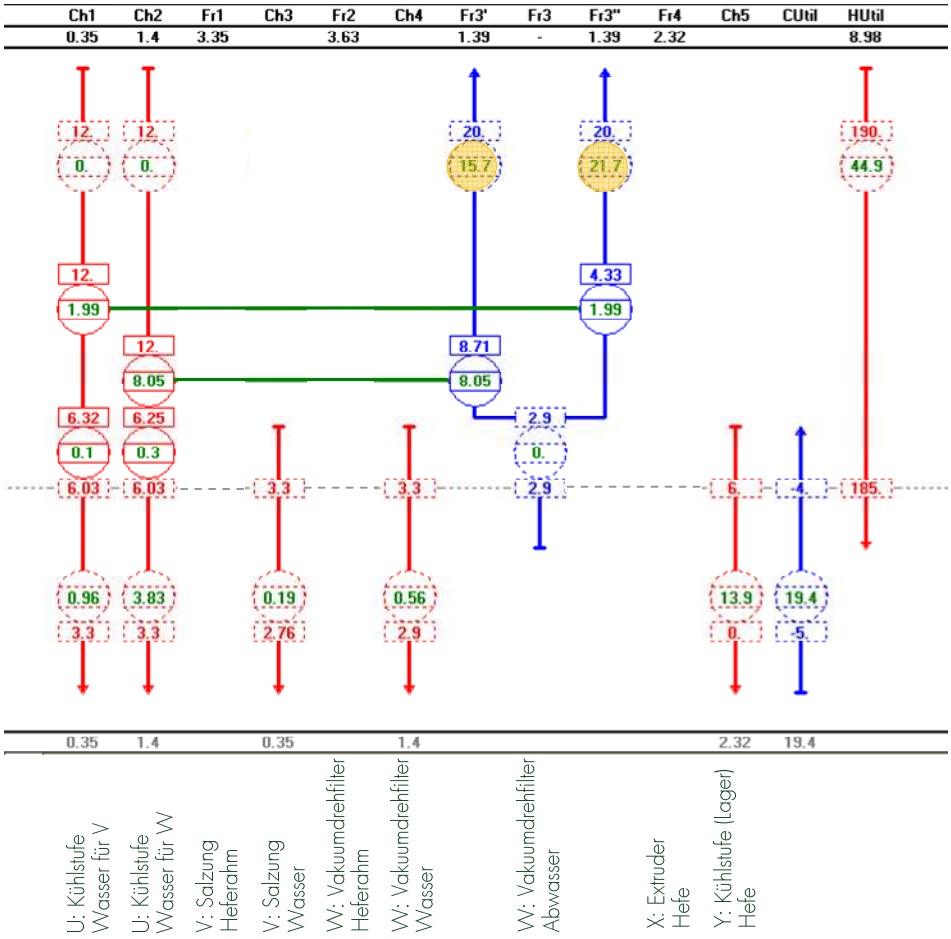

Abbildung 21: Tauschernetzwerk der Endverarbeitung mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C). Orange markiert sind die nicht genutzten grösseren Quellen für weitere Nutzungen ausserhalb dieses Prozessschrittes.

Im Prozessschaltbild würde der Wärmetauscher der externen Kühlung vorgeschaltet (Abb. 22). Die Kühlleistung der externen Kühlung kann nicht reduziert werden, da beim Anfahren des Prozesses noch kein Abwasser zur Verfügung steht. Sobald der Prozess läuft kann jedoch die Kälte des Abwassers genutzt werden.

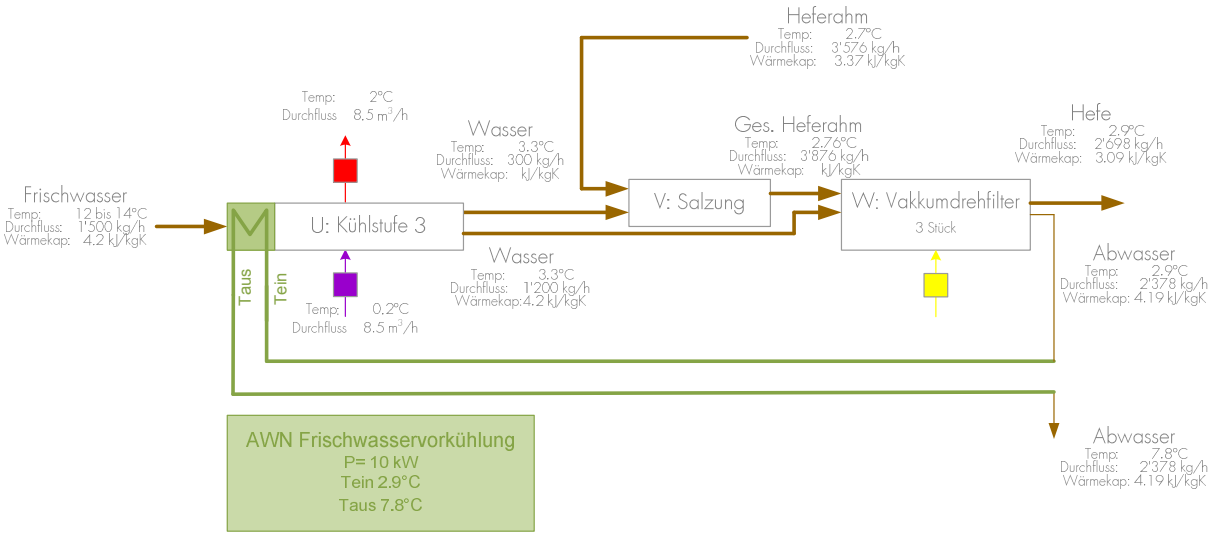

Abbildung 22: Prozessschaltbild mit dem Wärmetauscher zur Frischwasservorkühlung aus dem Abwasser des Vakuumdrehfilters.

Die Einsparung mit CHF 1'000 pro Jahr ist durch die Einsparung an Kälte für die Frischwasserkühlung begründet (Tab. 3). Eine Einsparung an Wärme ist in diesem Fall nicht vorhanden, da das kalte Abwasser durch eine Prozessvorgabe nicht zwingend erwärmt werden muss.

Nr.	**Massnahme**	**Max. Investition [CHF]** *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	**Einsparung Wärme [CHF/a]**	**Einsparung Kälte [CHF/a]**	**Einsparung Total [CHF/a]**	**Nutzungs-dauer [Jahre]**	**Pay-Back-Time [Jahre]** *Richtwert*	**jähr. Kapital-kosten [CHF/a]** *Annuität bei 15 Jahren*
1	**AWN Frischwasservorkühlung**	8'000	0	1'000	1'000	15	8	730

Tabelle 3: Wirtschaftlichkeitsrechnung für den Wärmetauscher der Frischwasservorkühlung.

Das kalte Abwasser des Vakuumdrehfilters kann bei diesem Tauschervorschlag innerhalb des Prozesses nur zum Teil genutzt werden. Aus diesem Grund wurden im Folgenden weitere Möglichkeiten zur Verwendung des kalten Abwassers untersucht.

10.5. Kombination Endverarbeitung und Fermentation

Die Kühlung der Fermentation durch die Kühltürme ist vor allem im Sommer bei hohen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten sehr knapp. Im Folgenden wird geprüft, wie das kalte Abwasser aus dem Vakuumdrehfilter für eine Zusatzkühlung des Fermenters sinnvoll eingesetzt werden kann. Diese Massnahme würde die gesamte Menge des Abwassers benötigen und die Massnahme innerhalb des Prozessschrittes ersetzen (Kap. 10.4). Die Kühltürme kühlen die Maische aus dem Fermenter mit rund 750 kW von 34°C auf 25°C ab, was im Sommer bei hohen Aussentemperaturen nicht mehr möglich ist. Das kalte Abwasser der Vakuumdrehfilter kann eine zusätzliche Kälteleistung von rund 45 kW pro Filter bereit stellen (Abb. 23). Diese Massnahme kann maximal zwei Fermenter bei der Kühlung unterstützen, da die Vakuumdrehfilter durch zwei Produktionslinien ausgeführt sind, welche von allen drei Fermenter gespiesen werden. Alle drei Fermenterkühlungen haben eine maximale Leistungsanforderung von rund 2'200 kW.

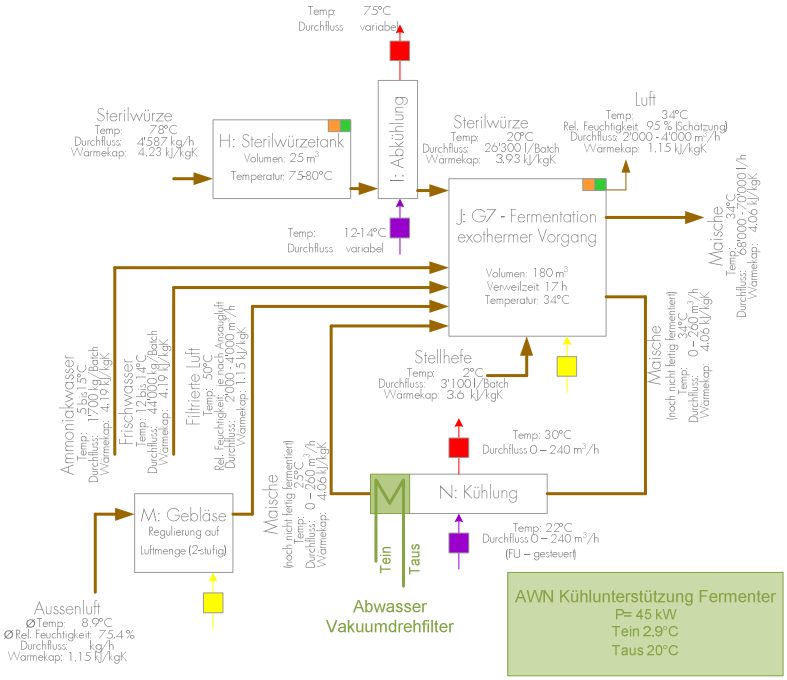

Abbildung 23: Prozessschaltbild mit einem nach geschalteten Wärmetauscher zur Kühlunterstützung.

Entscheidend bei prozessschrittübergreifenden Wärmetauschernetzwerken ist die Gleichzeitigkeit. Die Endverarbeitung ist normalerweise von 7:00 bis 16:00 in Betrieb, wobei die Fermenter von 10:00 bis 6:00 Kälte benötigen (Tab. 4). Die Kühlleistung steht hauptsächlich am Anfang der Fermentation zur Verfügung. Die Fermentation braucht mit zunehmender Gärung mehr Kühlung. Für einen höheren Nutzungsgrad und zur Vermeindung von Speicher, sollte die Fermentation und die Endverarbeitung zeitlich aufeinander abgestimmt werden.

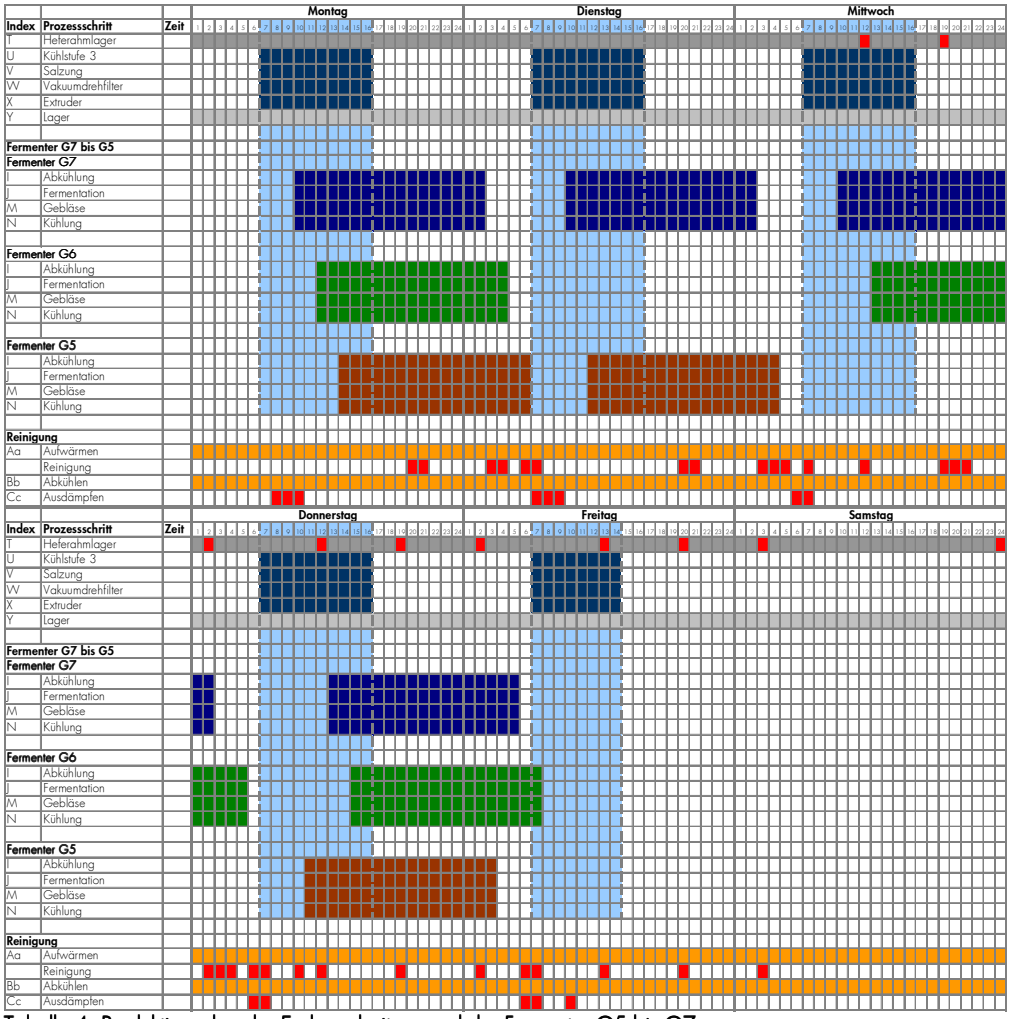

Tabelle 4: Produktionsplan der Endverarbeitung und der Fermenter G5 bis G7.

Auch wenn die Fermentation eines Fermenters nur am Anfang unterstützt werden kann, ist die Kühlleistung des Abwassers zur richtigen Zeit. Die Kühltürme sind bei hohen Aussentemperaturen knapp mit der Leistung. Die hohen Temperaturen sind hauptsächlich zwischen 7:00 und 16:00 vorhanden (Abb. 24). Zwischen 19.00 und 7.00 sind kaum Temperaturen über 26°C vorhanden (Abb. 25 und 26). Das Problem der knappen Leistung bleibt teilweise bestehen, da zwischen 16:00 und 19:00 einige Stunden die Temperatur über 26°C steigt (Abb. 27).

Die Unterstützung der Fermenterkühlung ist mit 45 kW verhältnismässig zur Kühlleistung der Kühltürme gering, auch bei der Unterstützung von nur einem Fermenter. Die Leistungsknappheit lässt sich mit dieser Variante nicht lösen und die Kosteneinsparung ist sehr gering, da die Kühltürme nur Stromkosten für die Ventilatoren verursachen. Das Wasser ist von der eigenen Quelle und verursacht durch die Verdunstung des Wassers keine Kosten. Somit ist diese Variante nicht zu empfehlen.

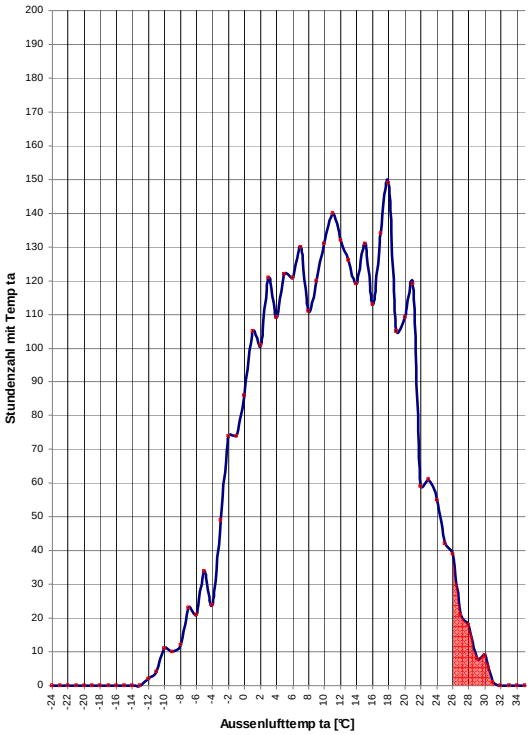

Abbildung 24: Temperaturhäufigkeit in Stettfurt von 7:00 bis 16:00 während eines Jahres (Meteonorm V5)

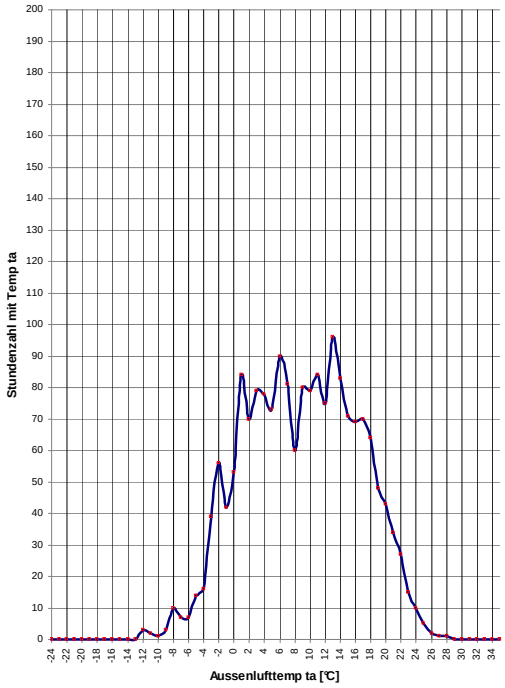

Abbildung 25: Temperaturhäufigkeit in Stettfurt von 19:00 bis 24:00 während eines Jahres (Meteonorm V5)

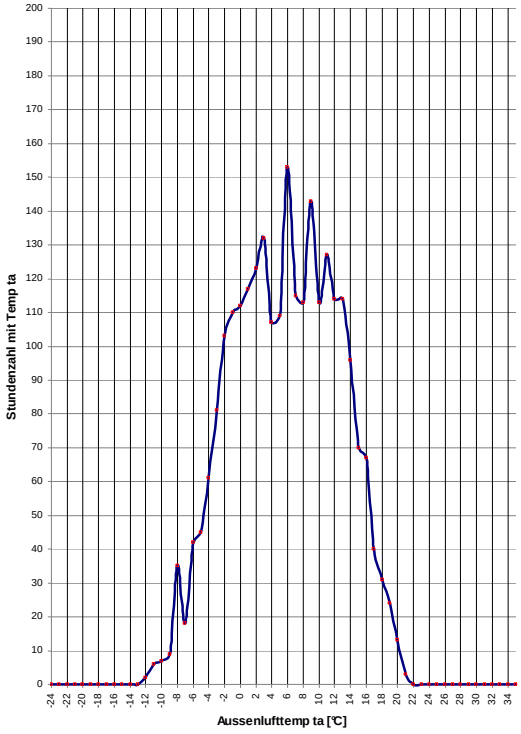

Abbildung 26: Temperaturhäufigkeit in Stettfurt von 0:00 bis 7:00 während eines Jahres (Meteonorm V5)

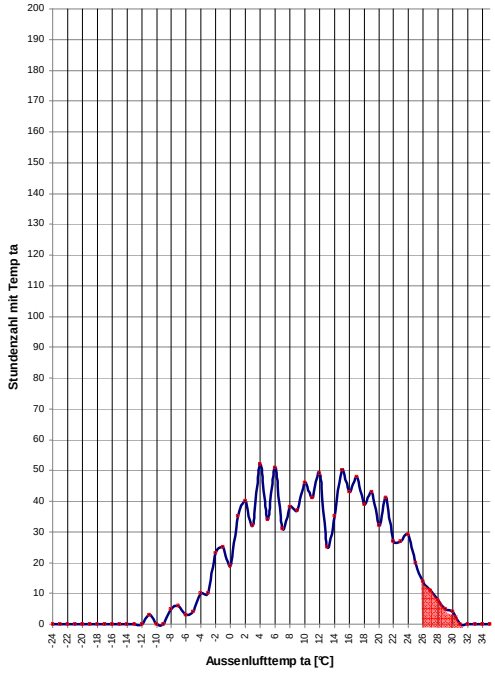

Abbildung 27: Temperaturhäufigkeit in Stettfurt von 16:00 bis 19:00 während eines Jahres (Meteonorm V5)

10.6. Kombination Endverarbeitung und Separation

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung des Abwassers aus dem Vakuumdrehfilter ist die Vorkühlung des Heferahms im Prozessschritt der Separation. Anstatt der Nutzung von 10 kW innerhalb der Endverarbeitung könnten bei der Separation 45 kW genutzt werden (Abb. 28).

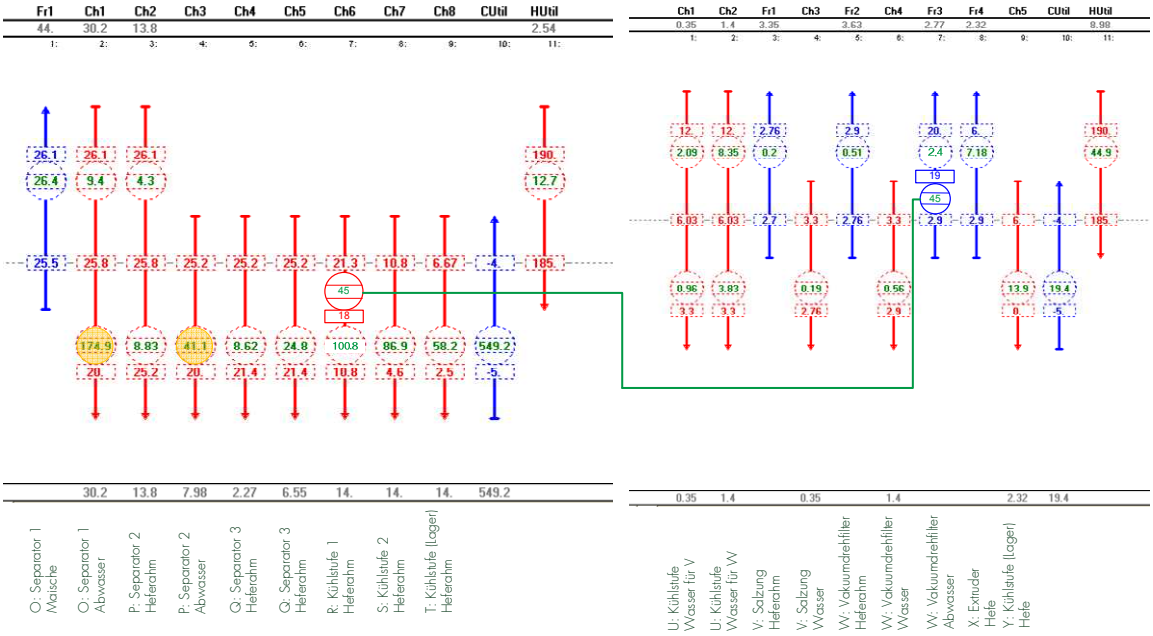

Abbildung 28: Wärmetauscher zur Vorkühlung des Heferahms im Prozessschritt der Separation (links) mit Leistungs- (grün in kW) und Temperaturangaben (rot/blau in °C). Nutzung des Abwassers aus dem Vakuumdrehfilter im Prozessschritt der Endverarbeitung (rechts).

Der Wärmetauscher wird vor der Kühlstufe eingebaut, damit die externe Kühlung die restliche Leistung beisteuern kann (Abb. 29).

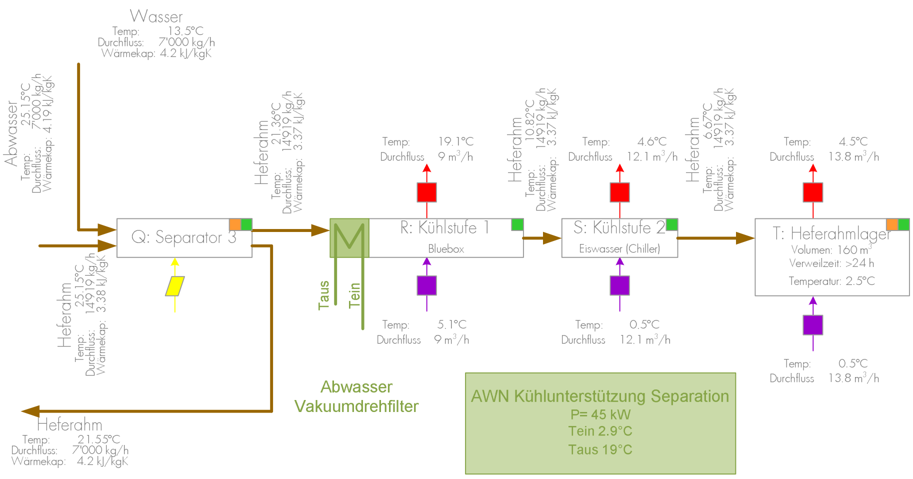

Abbildung 29: Platzierung des Wärmetauschers im Prozess für die Nutzung des Abwassers des Vakuumdrehfilters.

Der Prozessschritt der Separation läuft zurzeit drei Stunden vor der Endverarbeitung. Damit die Kälte des Abwassers aus dem Vakuumdrehfilter optimal genutzt werden kann, müssten diese gleichzeitig ablaufen (Tab. 5).

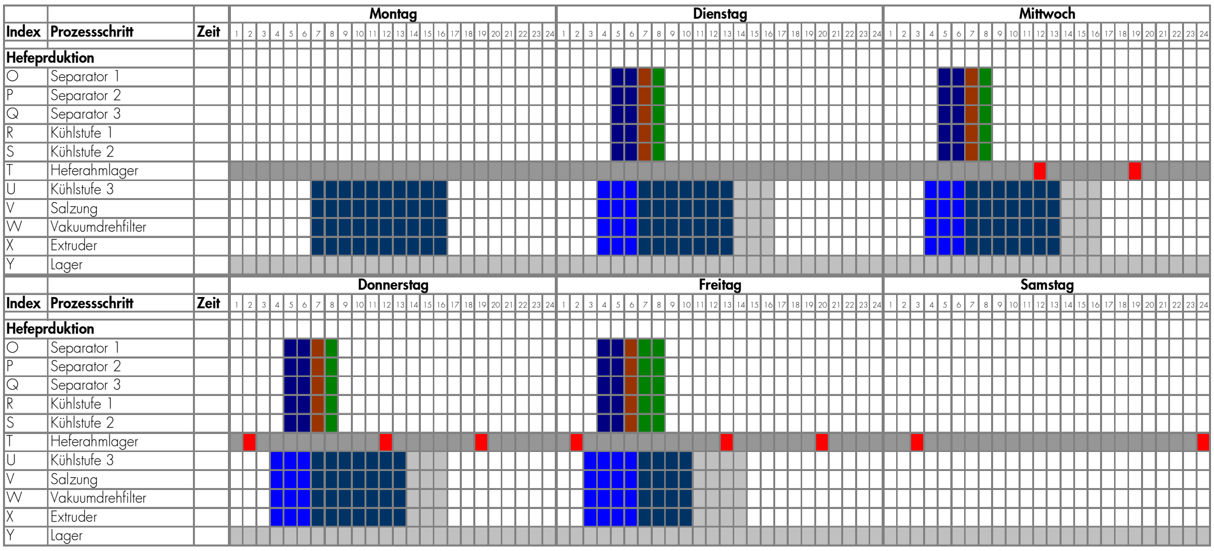

Tabelle 5: Verschiebung der Endverarbeitung im Prozessplan, damit diese zusammen mit der Separation läuft.

Auch wenn mit dieser Variante mit 45 kW eine grössere Leistung als bei der Nutzung innerhalb des Prozessschrittes Enverarbeitung mit 10 kW genutzt werden kann, sieht die Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht viel besser aus (Tab. 6). Die 10 kW Kälteleistung kann innerhalb des Prozessschrittes während der gesamten Zeit genutzt werden, wobei die 45 kW bei der Separation während einer viel kürzeren Zeit nutzbar ist, die restliche Zeit muss das Abwasser weiterhin mit 2.9°C verworfen werden.

Nr.	Massnahme	Max. Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Einsparung Wärme [CHF/a]	Einsparung Kälte [CHF/a]	Einsparung Total [CHF/a]	Nutzungs-dauer [Jahre]	Pay-Back-Time [Jahre] *Richtwert*	jähr. Kapital-kosten [CHF/a]
1	**AWN Heferahmvorkühlung**	8'800	0	1'100	1'100	15	8	810

Tabelle 6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Nutzung des Abwassers des Vakuumdrehfilters für die Separation.

Da die Wirtschaftlichkeit nicht entscheiden besser ist und auch Einschränkungen bei der Produktionsplanung entstehen, ist diese Variante nicht besser als die Nutzung des Abwassers aus dem Vakuumdrehfilter innerhalb des Prozessschrittes zu bewerten (Kap. 10.4).

10.7. Abwärmetank und CIP-Reinigung

Der Abwärmetank wird nicht nur durch den Rekuperator gespiesen, sondern auch von der Abkühlung der Sterilwürzekühlung und den Kondensatoren einiger Kältemaschinen (Abb. 30). Benutzt wird diese Abwärme für das Wasser für die Sterilwürzeproduktion (Kap. 10.6) und die Reinigung, der Rest wird über einen Überlauf in die Kanalisation geführt.

Die Reinigung erfolgt in vier Stufen:

1. Spülung mit CIP-Reinigungswasser, rund 1 m^3 pro Batch
2. Spülung mit CIP-Laugen-Reinigungswasser, geschätzt rund 2 m^3/Batch
3. Spülung mit CIP-Reinigungswasser, rund 2 m^3 pro Batch
4. Sterilisation durch Ausdampfen mit Direktdampf (wird im Kapitel 11.1 behandelt).

Die Reinigung findet mit dem warmen Wasser aus dem Abwärmetank muss anschliessend auf Grund der Verunreinigungen verworfen werden.

Problematisch ist die Speisung mit dem Abwasser aus den Kältemaschinen, das mit 40°C in den Tank gelangt. Die Temperaturdifferenz zu den gewünschten 72°C muss mit dem Direktdampf erreicht werden. Die Rückkühlung der Kältemaschinen sollte nicht in denselben Abwärmetank geführt werden, da genügend Wasser der anderen Quellen in den Abwärmetank gelangt (ZHW, 2007).

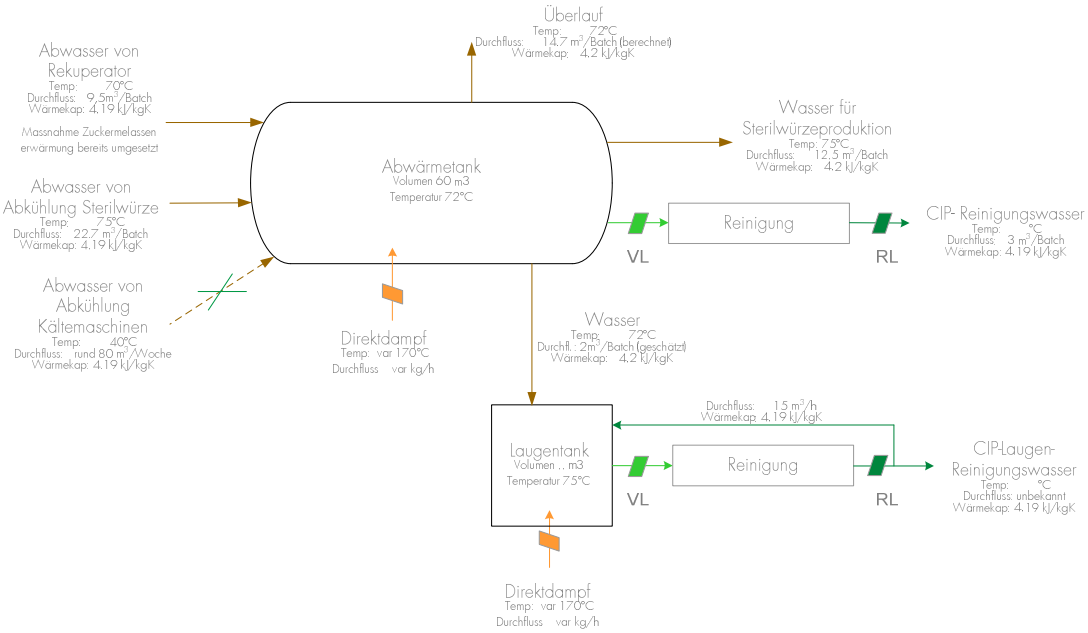

Abbildung 30: Abwärmetank und Reinigungskreisläufe.

Der Überlauf kann für weitere Heizzwecke benutzt werden. Als erstes kann das Speisewasser der Dampferzeugung vorgewärmt werden und zweitens für die Heizung des Verwaltungstrackt der Hefe. Die erste Hochrechnung zeigt, dass das Potential aus dem Abwärmetank diese beiden Massnahmen decken kann. Für eine Entscheidung muss ein Wochenprofil aller ein- und ausgehenden Ströme des Wärmetanks gemessen werden. Die folgende Tabelle zeigt das mögliche Potential der beschriebenen Massnahmen auf Grund der momentan vorhandenen Daten (Tab. 7).

Nr.	Massnahme	Max. Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Einsparung Wärme [CHF/a]	Einsparung Wasser+Strom [CHF/a]	Einsparung Total [CHF/a]	Nutzungs-dauer [Jahre]	Pay-Back-Time [Jahre] *Richtwert*	jähr. Kapital-kosten [CHF/a] *Annuität bei 15 Jahren*
1	**Trennung Abwärme Kälte**	35'200	4'400	0	4'400	15	8	3'230
2	**Speisewasservorwärmung**	104'000	13'000	0	13'000	15	8	9'540
3	**Heizung Verwaltung**	88'000	11'000	0	11'000	15	8	8'070
	Total	**227'200**	**28'400**	**0**	**28'400**	**15**	**8**	**20'840**

Tabelle 7: Potentialhochrechnung für die Nutzung des Überlaufes auf Grund der vorhandenen Daten. Für eine genaue Bestimmung müssen Messungen durchgeführt werden.

Bei der Speisewasservorwärmung ist darauf zu achten, dass die Vorwärmung keine Probleme bei der Enthärtung verursacht. Eine direkte Nutzung des warmem Wassers vor der Enthärtung wäre günstiger umzusetzen, dies kann jedoch bei der Enthärtung Probleme generieren.

11. Weitere Optimierungsmöglichkeiten

11.1. Dampferzeugung und -nutzung

Das gewählte Temperaturniveau des Dampfes ist mit 170°C für den Prozess nicht notwendig. Die höchsten Anforderungen bestehen bei der Sterilisation bei der Sterilwürzeproduktion. Diese findet auf einem Temperaturniveau von 115°C statt, welches auch mit einem tieferen Dampftemperaturniveau gewährleistet werden kann. Es ist zu prüfen, ob das Ausdampfen aus Reinigungszwecken dieses hohe Dampftemperaturniveau erfordert. Falls dies nicht der Fall ist, kann einiges an Energie mit einer Reduktion der Dampftemperatur eingespart werden.

Das Kondensat, welches nach der Reinigung verworfen wird, könnte für die Deckung der Verluste des Abwärme- oder Laugenreinigungswasser genutzt werden. Es besteht heute keine Sammlung des Kondensates. Die Einsparung würde bei rund CHF 700 pro Jahr liegen und ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, da eine Installation für die Sammlung des Kondensates viel höhere Kosten mit sich bringen würde.

11.2. Potenzial ungenutzter Ströme

Es konnten nicht alle Ströme genutzt werden, da nicht immer ein entsprechender Strom für den Ausgleich existiert. Die restlichen Ströme müssen mit externer Kälte- oder Wärmeversorgung gespiesen werden oder sie können für weitere Nutzungen eingesetzt werden.

Die Energie der 50°C warmen Luft (M : Gebläse, Tab. 8) könnte vor der Einbringung in den Fermenterbottich abgekühlt werden. Falls dies nicht geschiet, wie dies heute der Fall ist, wird diese Wärme auch vom Kühlturm abgeführt. Die jährliche Kosteneinsparung mit CHF 5'600 sind im Vergleich zur Kühlung der Exothermie realtiv klein, deshalb macht es Sinn, diese zusammen mit der Exothermie aus der Gärung zu betrachten. Bei einer Nutzung der Gärwärme sind Kosten von rund CHF 269'000 zu erwirtschaften (N : Kühlung, Tab. 8) ohne die Einsparung an Strom bei den Kühltürmen zu berücksichtigen.

Fermentation
Batchprozess

	Prozessschritt	Stoffe	G7 eine Charge Wärme kW	Kälte kW	Tein °C	Taus °C	Wärme kWh/Batch	Kälte kWh/Batch	Energiekosten CHF/Batch	G5 - G7 pro Jahr Wärme kWh/Jahr	Kälte kWh/Jahr	Energiekosten CHF/Jahr
Fermentation G7 eine Charge	I: Abkühlen M: Gebläse (Abkühlung der Luft) J: Fermenter (zu betrachten wie ein grosser WT, da alles im Fermenter vermischt wird)	Sterilwürze Luft Sterilwürze Ammoniakwasser Frischwasser Filtrierte Luft Stellhefe	15.4	0	50	34	262	0	18	80'400	0	5'600
	N: Kühlung (Exothermie aus Gärung)	Maische	737.4	0	34	25	12536	0	878	3'851'300	0	269'600
	Total pro Batch G7		753	0			12'798	0	896			
	Total pro Woche G7 (4 Batches pro Woche)		753	0			51'190	0	3'583			
	Total pro Woche G5 bis G7 (G5-6 3 Batches pro w)		2'258	0			78'635	0	5'504			
	Total pro Jahr G5 bis G7 (50 Wochen pro Jahr)		2'258	0						3'931'700	0	275'200

Tabelle 8: Zusammenstellung der ungenutzten Ströme der Fermentation für eine mögliche Nutzung ausserhalb des Prozesses. Wärmepreis 7 Rp./kWh

Die Exothermie der Gärung bringt sehr grosse Leistungen von bis zu 2.3 MW (Abb. 31). Die gesamte Wärmemenge liegt bei rund 4 GWh/a, welche zurzeit im Sommer teilweise für das nahe liegende Schwimmbad genutzt wird. Während der Heizsaison stehen rund 950 MWh zur Verfügung (Heizsaison 2'000 h/a), dies entspricht dem Bedarf von rund 70 Einfamilienhäuser (148 m^2 EBF, A/EBF 2, Qh+Qww = 320 MJ/m^2).

Die Einsparung an Strom bei den Kühltürmen (rund 100 MWh/a, 9 Rp./kWh) und der Wärmeverkauf (950 MWh/a, 7 Rp./kWh) würden einen Gewinn von rund CHF 75'500 pro Jahr ergeben. Die Herausforderung der Nutzung ist das relativ tiefe Temperaturniveau (34°C/25°C), welches aber mit einer Hochdruckwärmepumpe angehoben werden kann.

Eine Nutzung für ein Fernwärmenetz würde zusätzlich einen Speicher benötigen, da grosse Leistungsschwankungen vorhanden sind (Abb. 31). Mit einem möglichen Verkauf der Wärme und der Einsparung der Stromkosten für die Rückkühlung ist diese Möglichkeit sehr interessant. Es wurden bereits Gespräche über die Nutzung für ein Gewächshaus geführt, die bis jetzt noch zu keinem konkreten Ergebnis geführt haben.

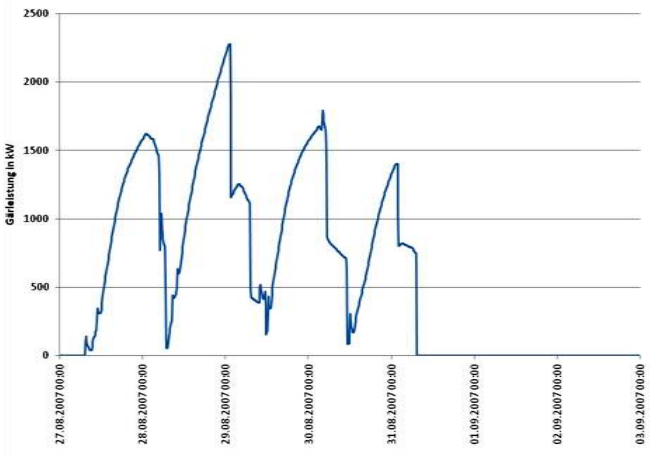

Abbildung 31: Gärleistung während einer Woche, welche mit den Rückkühlern abgeführt werden muss (ZHW, 2007).

Die weiteren Prozessschritte Separation und Endverarbeitung haben vergleichsweise kleine Mengen an ungenutzten Strömen, welche weiterverwendet werden können (Tab. 9). Bei

der Separation sind die Temperaturen zusätzlich zur kleinen Energiemenge mit rund 25°C sehr tief für eine Nutzung und somit nicht wirtschaftlich einsetzbar.

Separation
Kontinuierlicher Prozess

			G7 eine Charge							G5 - G7 pro Jahr		
	Prozessschritt	Stoffe	Wärme kW	Kälte kW	Tein °C	Taus °C	Wärme kWh	Kälte kWh	Energiekosten CHF	Wärme kWh/Jahr	Kälte kWh/Jahr	Energiekosten CHF/Jahr
Separation Eine Charge für G7	O: Separator 1	Maische										
		Abwasser	184.3	0	26.1	20	332	0	23.22	101'900	0	7'100
	P: Separator 2	Heferahm										
		Abwasser	41.1	0	25.2	20	74	0	5.18	22'700	0	1'600
	Q: Separator 3	Heferahm										
		Heferahm										
	R: Kühlstufe 1	Heferahm										
	S: Kühlstufe 2	Heferahm										
	T: Heferahmlager (Kühlung)	Heferahm										
	Total pro Batch G7		225	0			406	0	28			
	Total pro Woche G7 (4 Batches pro Woche)		225	0			1'623	0	114			
	Total pro Woche G5 bis G7 (G5-6 3 Batches pro w)		225	0			2'493	0	175			
	Total pro Jahr G5 bis G7 (50 Wochen pro Jahr)		225	0						124'600	0	8'700

Salzung/Endverarbeitung
Kontinuierlicher Prozess

			G7 eine Charge							G5 - G7 pro Jahr		
	Prozessschritt	Stoffe	Wärme kW	Kälte kW	Tein °C	Taus °C	Wärme kWh	Kälte kWh	Energiekosten CHF	Wärme kWh/Jahr	Kälte kWh/Jahr	Energiekosten CHF/Jahr
Salzung/Endverarbeitung Eine Charge für G7	U: Kühlstufe	Wasser für V										
		Wasser für W										
	V: Salzung	Heferahm										
		Wasser										
	W: Vakuumdrehfilter	Heferahm										
		Wasser										
		Abwasser	0	37.4	7.8	20	0	281	12.25	0	86'300	3'800
	X: Extruder	Hefe										
	Y: Lager (Kühlung)	Hefe										
	Total pro Batch G7		0	37			0	281	12			
	Total pro Woche G7 (4 Batches pro Woche)		0	37			0	1'123	49			
	Total pro Woche G5 bis G7 (G5-6 3 Batches pro w)		0	37			0	1'726	75			
	Total pro Jahr G5 bis G7 (50 Wochen pro Jahr)		0	37						0	86'300	3'800

Tabelle 9: Zusammenstellung der grössren ungenutzen Strömen, für eine mögliche weitere Nutzung. Gerechnet mit der Massnahmenvariante der Nutzung innerhalb des Prozessschrittes bei der Endverarbeitung (Kap. 10.4). Wärmepreis 7 Rp./kWh

Die Endverarbeitung hat, bei der Umsetzung der Massnahmenvariante der Nutzung der Kälte innerhalb des Prozessschrittes (Kap. 10.4) eine verfügbare Kälteleistung von rund 37 kW.

11.3. Kälteerzeugung

Das Unternehmen hat verschiedene dezentrale Kälteanlagen für die Deckung der Prozesskälte, welche überaltert sind. Es sind auch Anlagen mit dem Kältemittel R22 im Einsatz, welche bis 2014 ausgewechselt sein müssen. Zusätzlich ist bei der Heferahmlagerung die Kühlleistung nicht mehr ausreichend. Einige Produktionskältemaschinen müssen somit ersetzt werden, dazu soll auch die Anpassung an der gesamten Kälteversorgung geprüft werden. Zur Zeit läuft eine Wettbewerbsausschreibung, welche Konzepte für eine zukunftgerichtete, kostenoptimierte, betriebssichere und energieeffiziente Erneuerung der Kälteversorgung sucht.

Ein wichtiger Punkt aus der Pinchanalyse ist, dass die Rückkühlung mit Quellwasser, welche Wasser 40°C in den Abwärmetank speist, auf eine andre Art gelöst werden muss, da dieses Wasser die Temperatur im Tank senkt und den Energieverbrauch ansteigen lässt (Kap. 10.7).

12. Resultate und Empfehlung

Die Hefe Schweiz hat bereits einige gewichtige Massnahmen, welche aus der Pinch-Analyse resultieren umgesetzt:

1. Frischwasservorwärmung für die Sterilwürzeproduktion durch die Nutzung der Brüdenkonsensation (Kap. 10.1).

2. Reinigunswassererwärmung durch die Abkühlung der Sterilwürze (Kap. 10.7)

3. Nutzung der Abwärme eines Fermenters zur Wassererwärmung des nahe gelegenen Schwimmbades (Kap. 11.2)

Es sind aber noch weitere Nutzungen zur Reduktion des Energieverbrauches möglich. Die Untersuchung hat gezeigt, dass folgende Massnahmen für die Umsetzung in Frage kommen:

4. **Vorwärmung der Zuckermelasse** durch die Brüdenkondensation.
   Einsparung Wärme 114 MWh pro Jahr, Kosteneinsparung CHF 9'500 pro Jahr (Kap. 10.1, Variante 2).
   Endenergie 130 MWh, entspricht 26% der EnAW Ziellücke beim Erdgas.

5. **Frischwasservorkühlung** in der Endverarbeitung durch das Abwasser des Vakuumdrehfilters.
   Einsparung Kälte 23 MWh pro Jahr, Kosteneinsparung CHF 1'000 pro Jahr (Kap. 10.4).
   Endenergie 9 MWh, entspricht 2% der EnAW Ziellücke beim Strom.

Diese beiden Massnahmen (Zuckermelassevorwärmung und Frischwasservorkühlung) sollten vom Anlagenbauer offeriert werden und bei angemessener Rentabilität umgesetzt werden.

Die grössten Massnahmen sind jedoch im Zusammenhang mit dem Abwärmetank möglich. Diese Massnahmen sind aber nur mit einer Ungenauigkeit zu beziffern, da die Mengen und die Gleichzeitigkeiten der Ströme des Abwärmetanks nicht genau bestimmt sind. Das Potential wurde auf der vorhandenen Datengrundlage errechnet und in der folgenden Aufzählung aufgestellt:

6. **Entfernung der Abwärme von den Kältemaschinen** von der Speisung des Abwärmetanks.
   Einsparung Wärme 60 MWh pro Jahr, Kosteneinsparung CHF 4'200 pro Jahr (Kap. 10.7).
   Endenergie 75 MWh, entspricht 15% der EnAW Ziellücke beim Erdgas.

7. **Nutzung der restlichen Abwärme aus dem Abwärmetank** für die Vorwärmung des Speisewassers und die Heizung des Verwaltungstrackts.
   Einsparung Wärme 350 MWh pro Jahr, Kosteneinsparung CHF 24'000 pro Jahr (Kap. 10.7).
   Endenergie 435 MWh, entspricht 87% der EnAW Ziellücke beim Erdgas.

8. **Nutzung der Abwärme aus dem Fermenter** für einen Nahwärmeverbund.
   Einsparung Strom rund 100 MWh, Kosteneinsparung inkl. Wärmeverkauf rund CHF 75'000 pro Jahr (Kap. 11.2).
   Entspricht rund 22% der EnAW Ziellücke beim Strom.

Die Massnahmen 6 und 7 sind wirtschaftlich höchst interessant, speziell die Entfernung der Abwärme der Kältemaschinen kann mit kleinem Aufwand realisiert werden. Der nächste Schritt sollte die messtechnische Bestimmung der Ströme des Abwärmetanks sein. Auf dieser Basis können die Potentiale genau gerechnet werden und die Wirtschaftlichkeit bestimmt werden.

Ein Fernwärmeverbund wurde bereits mit dem benachbarten Gemüseproduzenten besprochen, doch bis anhin ohne Erfolg. Als Alternative einen Wärmeverbund für 70 Einfamilienhäuser zu forcieren ist entsprechend der grossen Anzahl von Verhandlungspartnern schwieriger. Ein solches Projekt hat nur Erfolgschancen, wenn die Gemeinde das Projekt unterstützt und die Bewohner für einen Umstieg auf die Fernwärme mit Hilfe einer Energieplanung überzeugen kann.

13. Schlussfolgerungen

Da die Pinch-Analyse auf das Produkt bezogen ist und die genauen Kenntnisse der Temperaturniveaus, Zeiten und Wärmekapazitäten benötigt werden, wird eine andere Denkweise als üblich verlangt. Normalerweise wird der Prozess von der Infrastruktur aus betrachtet. Es ist deshalb sehr wichtig von Anfang an die Prozesskenner einzubeziehen, welche auch über das Produkt genaue Kenntnisse haben. Mit diesem Vorgehen können verborgene Potentiale gefunden werden.

Die Pinchanalysemethode ist einfacher auf kontinuierliche Prozesse anzuwenden. Die Schwierigkeit bei der Modellierung des Hefeprozesses war die Unterteilung in die verschiedenen Prozessschritte, welche teilweise als Batch und andere als kontinuierliche Prozesse ablaufen.

Die Pinch-Analyse hat gezeigt, dass die Hefe Schweiz bereits einige wichtige Einsparpotentiale genutzt hat. Die Einsparungen, welche durch die zusätzlichen Massnahmen aus der Pinch-Anlayse hervorgingen, bringen eine weitere Steigerung der Energieeffizienz und eine Reduktion der Kosten im Hefeprozess.

14. Referenzen

ZHW (2007), Thiel, Widmer: Diplomarbeit, Energiekonzepte für die Hefeproduktion bei der Hefe Schweiz AG,

Bundesamt für Energie (BFE) (2008), Vortrag R. Morand, Ausbildung Pinch Analyse

Logiciel PinchLENI-Version 2.2 Windows (1995-1999), F. Staine, BFE & EPFL

R. Morand, R. Bendel, Dr. Robert O. Brunner, H.P. Pfenninger (2006), Prozessintegration mit der Pinch-Methode, Handbuch zum BFE-Einführungskurs