



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)

GESAMTENERGIEANALYSE MIT DER PINCH-METHODE

MILCHPULVERFABRIKATION NESTLÉ S.A. KONOLFINGEN

Schlussbericht



Ausgearbeitet durch

Urs Flükiger, Weisskopf Partner GmbH

urs.fluekiger@weisskopf-partner.ch

Thomas Weisskopf, Weisskopf Partner GmbH

thomas.weisskopf@weisskopf-partner.ch

Albisriederstrasse 184 b, 8047 Zürich, www.weisskopf-partner.ch

Fachliche Begleitung

Raymond Morand, Helbling Beratung + Bauplanung AG

raymond.morand@helbling.ch

Hohlstrasse 614, 8048 Zürich, www.helbling.ch

Impressum

Datum: 31. Juli 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung Industrie (PBO)

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, martin.stettler@bfe.admin.ch

Projektnummer: 102640

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch (Rubrik Unternehmen)

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung.....	4
2.	Ausgangslage	5
3.	Ziel der Arbeit.....	6
4.	Lösungsweg	6
4.1	Vorgehen Schritt für Schritt.....	6
4.2	Pinch-Analyse	6
5.	Ergebnisse	7
5.1	Verwendete Grundlagen	7
5.2	Ist-Analyse	7
5.3	Pinch-Analyse theoretisches Potential.....	11
5.4	Massnahmen.....	12
5.5	Resultate / Einsparungen.....	16
5.6	Empfehlung / Weiteres Vorgehen	17
6.	Schlussfolgerungen.....	17
7.	Anhang.....	18

Verzeichnis der Figuren

Figur 1	<i>Abgrenzung der Pinch-Analyse</i>	5
Figur 2	<i>Prozessschritte</i>	6
Figur 3	<i>Dampfkesselanlage</i>	8
Figur 4	<i>Eiswassererzeugung</i>	9
Figur 5	<i>Kühlwasserpumpenanlage</i>	9
Figur 6	<i>Verbundkurven Pinch-Analyse</i>	11
Figur 7	<i>Netzwerk (MER-Design, maximum energy recovery)</i>	18

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	<i>Berechnungsgrundlagen</i>	7
Tabelle 2	<i>Technische Daten Wärmeerzeugung</i>	7
Tabelle 3	<i>Technische Daten Eiswassererzeugung</i>	8
Tabelle 4	<i>Technische Daten Kühlwasser</i>	10
Tabelle 5	<i>Produkte</i>	10
Tabelle 6	<i>Daten zum Massnahmenpaket A</i>	13
Tabelle 7	<i>Daten zum Massnahmenpaket B</i>	14
Tabelle 8	<i>Daten zum Massnahmenpaket C</i>	15
Tabelle 9	<i>Zusammenfassung der Massnahmenpakete</i>	16

1. Zusammenfassung

Im Auftrag des Product Technology Center (PTC) der Nestlé Suisse S.A. wurde eine Pinch-Analyse zur Optimierung des Milchpulverproduktionsprozesses erstellt. Ziel der Analyse war sowohl für geplante wie bestehende Fabriken energetische Optimierungsmassnahmen zu ermitteln, die in einen Standardproduktionsprozess integriert werden können.

Die Pinch-Analyse wurde am Beispiel des sich in Planung befindlichen Fabrikneubaus in Konolfingen durchgeführt. Der Fabrikneubau wird auf dem Gelände der bestehenden Fabrik erstellt. Die Energieversorgung erfolgt ab der bestehenden Wärme- und Kälteerzeugung, die das gesamte Areal mit Dampf, Eiswasser und Kühlwasser versorgt. Die bestehenden Infrastrukturanlagen sind allenfalls für den Neubau auf die zukünftigen Leistungen zu erweitern.

Beim Neubau handelt es sich um eine Produktionsanlage, die jährlich 21'000 t Milchpulver produziert. Die Anlage ist in einen Nass- und einen Trockenprozess unterteilt. Die Hauptenergieverbraucher sind die am Ende des Nassprozesses stehende Eindampfanlage und der für den Trockenprozess verantwortliche Sprühtrockner.

Die Pinch-Analyse ermöglicht, ausgehend von Prozessanforderungen, die Berechnung des physikalisch notwendigen minimalen Energieeinsatzes. Dieser beträgt gemäss Pinch-Analyse im Neubau in Konolfingen 3'800 kW. Das theoretisch mögliche Wärmerückgewinnungspotential ist 4'900 kW.

Im Fall des Milchpulverprozesses konnten mit der Pinch-Analyse drei Massnahmenpakete gebildet werden.

- Massnahmenpaket A: Abwärmenutzung aus der Fortluft des Sprühtrockners
- Massnahmenpaket B: Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser des Kondensators der Eindampfungsanlage
- Massnahmenpaket C: Abwärmenutzung der bestehenden zentralen Ammoniak (NH₃)-Kälteerzeugung

Mit den drei Massnahmenpaketen lässt sich eine Energiemenge von ca. 12.5 GWh/a einsparen. Die eingesparte Energiemenge entspricht einer jährlichen Energiekosteneinsparung von ca. kCHF 1'225 und einer eingesparten CO₂-Menge von ca. 3'330 t. Die Investitionskosten zur Realisierung der Massnahmenpakete belaufen sich auf ca. kCHF 3'200. Die Rückzahlungsdauer der Investition beträgt damit 2.6 Jahre vor Steuer, resp. 3.4 Jahre nach Steuer (es wird von einer Gewinnsteuer von 30% ausgegangen).

Die aus der Pinch-Analyse abgeleiteten Massnahmen beinhalten ein Wärmerückgewinnungspotential von 4'528 kW, was 92% des theoretisch möglichen Potentials entspricht.

Die Resultate der Pinch-Analyse haben den Auftraggeber überzeugt. Er hat beschlossen die vorgeschlagenen Massnahmen komplett umzusetzen. Die Integration der Massnahmen in die Ausführungsplanung läuft. Der Bau der Anlagen ist im Gange.

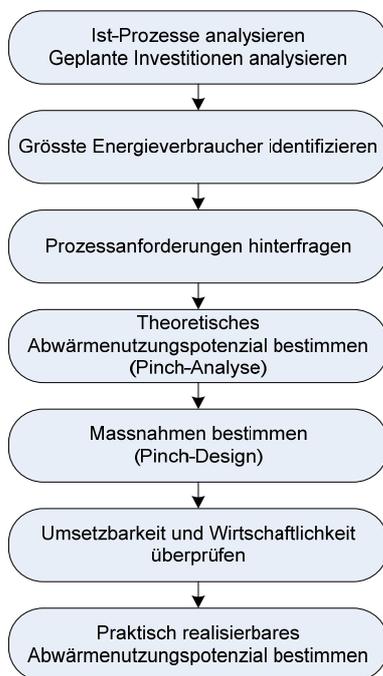
3. Ziel der Arbeit

Im Auftrag sind die folgenden Zielsetzungen der Studie festgehalten:

- Aufzeigen der Potentiale für Abwärmenutzung
- Standards für Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung für weitere zukünftige Bauvorhaben aufzeigen
- Liefern von Entscheidungsgrundlagen für die Erweiterung der Infrastrukturanlagen
- Berechnung der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Massnahmen

4. Lösungsweg

4.1 Vorgehen Schritt für Schritt



Figur 2: Prozessschritte

4.2 Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse ist eine Methode zur Planung des optimalen Energieeinsatzes. Dabei werden die zur Kühlung und Erwärmung eines Prozesses notwendigen Energieströme bis auf die minimale Temperaturdifferenz zueinander verschoben, so dass die Energie der abzukühlenden Ströme zum Aufheizen der zu erwärmenden Ströme genutzt werden kann.

Im Gegensatz zur weit verbreiteten Analyse der Energieströme mittels Energieflussdiagramm, in dem die Energiemengen dargestellt werden, gibt die Verbundkurve der Energieströme aus der Pinch-Analyse Auskunft über das Temperaturniveau auf dem die Leistungen anfallen.

5. Ergebnisse

5.1 Verwendete Grundlagen

Die Berechnungen dieser Studie basieren auf den in Tabelle 2 angegebenen Werten.

Wärmepreis als Dampf erzeugt mit Erdgas inkl. Erzeugungsverluste [Rp./kWh]	10.0
Strompreis Durchschnitt [Rp./kWh]	12.0

Tabelle 1: Berechnungsgrundlagen

5.2 Ist-Analyse

Da es sich beim vorgesehenen Projekt um einen Neubau handelt, der an eine bestehende Infrastrukturanlage zur Wärme- und Kälteerzeugung angeschlossen wird, beinhaltet die Ist-Analyse die Untersuchung der geplanten Projektdaten des Neubaus und der bestehenden Infrastrukturanlagen.

5.2.1 Wärmeerzeugung (bestehend)

Die Wärmeerzeugung erfolgt mittels einer redundanten Dampferzeugung bestehend aus zwei Dampfheizkesseln.

Dampfleistung der Anlage Sattedampf 13 bar abs (191.5°C) [t/h]	36 (90% der installierten Leistung)
Dampfleistung pro Kessel Sattedampf 13 bar abs (191.5°C) [t/h]	20
Fabrikat/Baujahr	Sulzer/1968
Abgaswärmerückgewinnung 90/70°C [kW]	800
Brennstoff	Erdgas H

Tabelle 2: Technische Daten Wärmeerzeugung

Der Dampf wird einerseits als Direkt Dampf in das Produkt eingespritzt und andererseits in Wärmetauschern indirekt für Prozess- und Heizwärme verwendet.

Das Kondensat der Dampfanlage wird zu 65% zum Kesselhaus zurück geführt. Das nicht rückgeführte Kondensat ist einerseits auf den Direkt Dampf und andererseits auf Verluste zurückzuführen.



Figur 3: Dampfkesselanlage

5.2.2 Kälteerzeugung (bestehend)

Auf dem Fabrikareal sind ein Eiswasser- und ein Kühlwassersystem installiert.

Das Eiswasser wird mittels einer Ammoniak (NH_3)-Kälteanlage erzeugt. Die Anlage besteht aus vier Verdichtern, die auf ein Eiswasserbassin arbeiten. Die Abwärme der Kälteanlage wird zum heutigen Zeitpunkt auf einem Temperaturniveau zwischen 30 und 45°C durch Trockenrückkühler an die Aussenluft abgegeben.

Das Eiswasser wird hauptsächlich für die Kühlung der rohen Milch bei der Milchannahme benötigt. Dort wird die aus den Tanklastwagen angelieferte Rohmilch auf 4°C abgekühlt bevor Sie in den Milchtanks eingelagert wird. Dieser Kältebedarf ist nicht substituierbar da kein Wärmebedarf existiert, der auf diesem tiefen Temperaturniveau mit Energie versorgt werden kann und somit keine Wärmerückgewinnung möglich ist.

Das Kühlwassersystem ist als offenes System mit einem offenen Verdunstungskühlturm konzipiert. Bei kaltem Aussenklima arbeitet der Kühlturm am effizientesten und die benötigte Luftmenge ist dementsprechend klein. Bei warmen und feuchten Aussenklimabedingungen kommt der Kühlturm an seine Leistungsgrenze, um die maximale Vorlauftemperatur von 28°C halten zu können. Das Kühlwasser wird hauptsächlich zum Kühlen der Kondensatoren der Eindampferanlagen verwendet. Der Kühlturm Jahrgang 1977, Fabrikat Escher-Wyss wurde im Jahr 2008 ersetzt und die Anlage saniert.

Durch Abwärmenutzung des Kühlwassers der Verdampferanlage zur Erwärmung von Milch wird nebst dem energetischen Nutzen, der Betrieb der Kühlturmanlage, der Kühlwasserpumpen sowie der Wasserbedarf für die Nachspeisung der Verdunstungsmenge reduziert.

Die Kühlwassertemperatur folgt dem Aussenklimaverlauf über das Jahr. Bei kaltem und trockenem Aussenklima laufen Pumpen und Ventilatoren mit niedrigen Drehzahlen, während sie bei warmen und feuchten Bedingungen mit hoher Drehzahl betrieben werden. Die Anlage läuft daher mit sehr wenigen Volllaststunden, da sie auf die Maximalbedingungen im Sommer ausgelegt ist.

Die Energieeinsparung im Bereich der Kühltürme und der Kühlwasserpumpen durch Abwärmenutzung sind ein willkommener Nebeneffekt, der aber in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht weiter berücksichtigt ist, da die absolute Einsparung schwierig zu beziffern ist.



Figur 4: Eiswassererzeugung

Kälteleistung der Anlage (2.0/8.0°C) [kW]	1'490
Eiswasservolumenstrom [m ³ /h]	234
Fabrikat/Baujahr	Grasso/2003

Tabelle 3: Technische Daten Eiswassererzeugung



Figur 5: Kühlwasserpumpenanlage

Kühlleistung der Anlage (28/42°C) [kW]	3'600
Eiswasservolumenstrom [m ³ /h]	230
Baujahr Kühlturm	2008

Tabelle 4: Technische Daten Kühlwassererzeugung

5.2.3 Neubauprojekt

Die neue Fabrik ist für folgende Produkte und Mengen konzipiert:

Milchpulver [t/a]	21'000
-------------------	--------

Tabelle 5: Produkte

Die Anlage ist so dimensioniert, dass verschiedene Rezepturen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen und Mengen mit der gleichen Anlage produziert werden können.

Für die Infrastrukturanlagen zum Produktionsprozess gilt, dass sie jederzeit verfügbar sein müssen. Für Wärmerückgewinnungsanlagen ist die Leistung zum Anfahren und Redundanz hundertprozentig vorzuhalten.

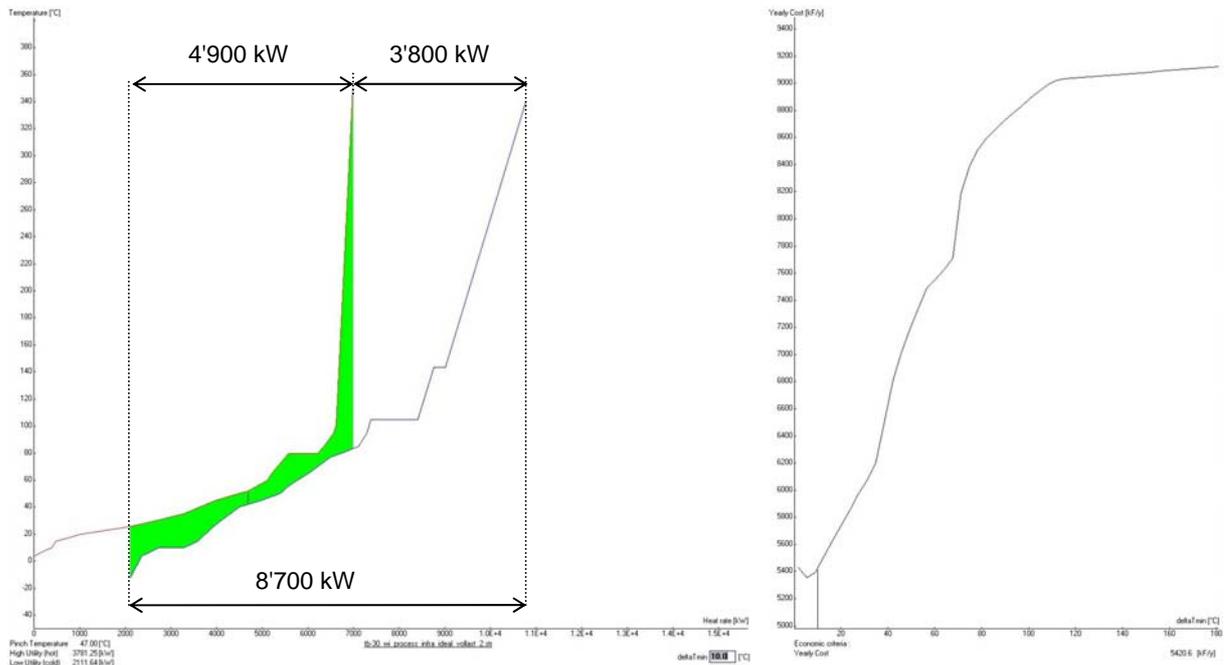
Alle Prioritäten werden auf die Produktion gelegt.

5.3 Pinch-Analyse theoretisches Potential

Die Energieströme des Nass- und Trockenprozesses wurden im Detail erfasst. Ein Prozessschema und die Stromtabelle kann in diesem Bericht auf Grund der Geheimhaltvereinbarung nicht publiziert werden.

In Figur 3 sind die Pinch-Kurven dargestellt, die sich aus der Analyse ergeben. Die Pinch-Temperatur liegt bei 47°C, die optimale, minimale Temperaturdifferenz für die Wärmetauscher beträgt 10°C.

Im Anhang befindet sich das Wärmetauschernetzwerk. Das Netzwerk umfasst insgesamt 15 abzukühlende und 17 aufzuheizende Wärmeströme.



Figur 6: Verbundkurven Pinch-Analyse

Der gesamte analysierte Wärmebedarf beträgt 8'700 kW. Aus der Pinch-Analyse ergibt sich ein theoretisches Wärmerückgewinnungspotenzial von 4'900 kW. Die aus der Pinch-Analyse abgeleiteten Massnahmen beinhalten ein Wärmerückgewinnungspotenzial von 4'528 kW, was 92% des theoretischen Potentials entspricht.

Der durch zusätzliche Energieträger zu deckende Wärmebedarf beträgt 3'800 kW. Für diesen Wärmebedarf sind hauptsächlich die Eindampfungsanlage, die mit Dampf 13 bar abs betrieben wird und der direkt befeuerte Primärlufterhitzer des Sprühtrockners, der mit Erdgas H betrieben wird, verantwortlich. Diese beiden Systeme wurden in sich bereits energetisch optimiert, d.h. dass der Primärlufterhitzer mit einer Abgaswärmerückgewinnung und die Verdampferanlage mit thermischer Brüdenverdichtung ausgerüstet sind.

5.4 Massnahmen

Durch die Pinch-Analyse wurden insgesamt drei grosse Abwärmequellen identifiziert:

- Fortluft der Sprühtrockneranlage
- Kühlwasser des Kondensators der Eindampfungsanlage
- Abwärme der bestehenden Kälteerzeugung

Mittels Pinch-Analyse konnten der jeweiligen Abwärmequelle die bezüglich Leistung und Temperaturniveau idealen Wärmeverbraucher zugeordnet werden, so dass das Abwärmepotential optimal genutzt werden kann.

Somit konnten drei Massnahmenpakete A, B und C gebildet werden, welche nach der jeweiligen Wärmequelle benannt wurden. Die Massnahmenpakete sind nachfolgend detailliert beschrieben.

5.4.1 Massnahmenpaket A: Abwärmenutzung aus der Fortluft des Sprühtrockners

Massnahmenpaket A umfasst drei in Serie geschaltete Luft-/Wasserwärmetauscher, die in der Fortluft des Sprühtrockners platziert sind.

Die Fortluft wird vor der Wärmerückgewinnung über Zyklone und eine Feinfilteranlage filtriert. Da die Fortluft mit Milchpulverpartikeln belastet ist, ist mit einer Verschmutzung der Wärmetauscherflächen auch nach der Filtrierung zu rechnen. Aus diesem Grund sind die Wärmetauscher mit glatten Lamellen und grosser Lamellenteilung ausgeführt. Alle wasserführenden Rohre sind in Luftrichtung fluchtend angeordnet, so dass die Wärmetauscher gut gereinigt werden können.

Die glatte Ausführung der Lamellen sowie die grosse Lamellenteilung zugunsten der Reinigbarkeit wirken sich nachteilig auf den Wärmeübergang aus. Die totale Wärmetauscherfläche ist mit 3'068 m² entsprechend gross.

Die Reinigung kann durch ein fest installiertes CIP-System erfolgen oder mittels Hochdruckreiniger. Die Wärmerückgewinnung ist komplett aus rostfreiem Stahl gefertigt, damit die Nassreinigung nicht zu Korrosion führt.

Die Fortluft hat beim Eintritt in die Wärmerückgewinnungsanlage einen Zustand von 92°C/57.4 g/kg. Diese Luft wird in den drei Wärmetauscherstufen auf einen Zustand von 46.5°C/47.4 g/kg abgekühlt. Dabei wird eine Leistung von 1'111 kW gewonnen, die auf drei verschiedenen Temperaturniveaus genutzt wird.

Der in der ersten Wärmerückgewinnungsstufe angeschlossene Verbraucher ist die Vorwärmung des CIP Kreislaufes.

Die der zweiten Stufe angeschlossenen Wärmeverbraucher sind dem Trockenprozess zugehörig und weisen die gleichen Betriebszeiten auf.

In der dritten und letzten Wärmerückgewinnungsstufe sind mehrheitlich Aussenluftvorwärmer angeschlossen, die bei Aussentemperaturen unter 12°C aktiv sind und bei entsprechend kaltem Aussenklima eine Kondensation der Fortluft bewirken.

Durch die Abwärmenutzung der Sprühtrocknerfortluft lassen sich insgesamt 4.51 GWh/a einsparen. Die Rückzahldauer beträgt bei Investitionskosten von kCHF 1'600 und eingesparten Energiekosten von kCHF 450 pro Jahr ca. 3.5 Jahre vor Steuer, resp. 4.6 Jahre nach Steuer (es wird von einer Gewinnsteuer von 30% ausgegangen).

Der Sprühtrocknerbereich ist sehr sensibel bezüglich Hygiene. In der Vergangenheit wurden in diesem Bereich keine Kompromisse geduldet und deshalb auf Fortluftwärmerückgewinnung zugunsten der Hygiene verzichtet. Aufgrund des grossen Abwärmepotentials, welches die Pinch-Analyse aufdeckte, wurden die Vor- und Nachteile vom Nestlé Product and Technology Center (PTC) abgewägt und die Wärmerückgewinnung unter hohen Anforderungen bezüglich Materialisierung und Reinigbarkeit für machbar befunden.

Anlage	Bez.	Q kW	Kosten Wärmetauscher CHF	Betriebs- stunden h/a	Energie- einsparung kWh/a	Energiekosten- einsparung CHF/a	Payback (vor Steuer) a
A 1 Luftkühler (Stufe 1)							
Sprühtrockner Abluft Stufe 1	A 1	-105.6	345'543	8'000	-845'040		
Wärmetauscher							
CIP (Cleaning in Place System)	M	105.6	19'060	8'000	845'076	84'508	
		105.6	364'603		845'076	84'508	4.3
A 2 Luftkühler (Stufe 2)							
Sprühtrockner Abluft Stufe 2	A 2	-387.6	384'979	5'840	-2'263'506		
Lufterhitzer							
Nachrockner 2	B	102.8	85'006	5'840	600'560	60'056	
Nachrockner 1	C	31.3	25'871	5'840	182'779	18'278	
Sekundärluftheizung	D	241.6	154'338	5'840	1'410'989	141'099	
		375.7	650'195		2'194'327	219'433	3.0
A 3 Luftkühler (Stufe 3)							
Sprühtrockner Abluft Stufe 3	A 3	-617.6	223'497	2'353	-1'453'272		
Lufterhitzer							
Sekundärlufterwärmung	E	344.1	173'636	1'800	619'294	61'929	
Nachkühler Nachwärmer	F	58.6	71'346	8'000	468'572	46'857	
Primärlufterwärmung	L	214.6	108'311	1'800	386'304	38'630	
		617.2	576'790		1'474'170	147'417	3.9
Total		1'110.8	1'591'588		4'513'574	451'357	3.5

Kostenschätzung +/- 20%, exkl. MWST

Tabelle 6: Daten zum Massnahmenpaket A

In den Kosten sind die Wärmetauscher und die Heizkreisläufe inkl. Regulierung enthalten.

5.4.2 Massnahmenpaket B: Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser des Kondensators der Eindampfungsanlage

Massnahmenpaket B umfasst die Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser des Kondensators der Eindampfungsanlage. Dabei wird die Wärme aus dem Kühlwasser für die Milcherwärmung und die Raumheizung genutzt, bevor der Überschuss mittels Kühlturm an die Umgebung abgegeben wird.

Anlage	Bez.	Q kW	Kosten	Betriebs- stunden h/a	Energie- einsparung kWh/a	Energiekosten- einsparung CHF/a	Payback (vor Steuer) a
			Wärmetauscher CHF				
Wärmetauscher							
Aufwärmen vor Scanima Mixer	N	315.0	12'108	7'905	2'490'047	249'005	
Kühlung der Magermilch nach der Vorkonzentration	O	86.1	23'736	2'800	241'068	24'107	
Aufwärmen der Rohmilch vor der Separation	J	311.3	8'763	2'800	871'696	87'170	
Raumheizung Dosenfabrik und Mehrzweckgebäude	S	404.0	101'013	1'800	727'275	72'727	
		1'116.5	145'619	3'826	4'330'086	433'009	0.3

Kostenschätzung +/- 20%, exkl. MWST

Tabelle 7: Daten zum Massnahmenpaket B

Die Milchwärmetauscher die das Produkt mit hoher Viskosität erwärmen arbeiten mit einer Übertemperatur von max. 2 K gegenüber der Produktaustrittstemperatur um das "Anbacken" des Produktes zu vermeiden. Diese Wärmetauscher sind aufgrund dieser Restriktionen bereits sehr grossflächig.

Als Resultat der Pinch-Analyse wird anstelle von Dampf und einem Wasser-Zwischenkreis das Kühlwasser des Kondensators der Eindampfungsanlage verwendet. Dadurch werden die Flächen der Wärmetauscher nicht beeinflusst. In den Kosten sind entsprechend nur die Mehrkosten der Anpassung im Bereich des Kondensators und die grösseren Rohrleitungen enthalten.

Die totale Energieeinsparung durch die Nutzung des Kühlwassers beträgt 4.3 GWh. Da die Mehrkosten für die Installation sehr gering sind, ergibt sich ein sehr kurzer Payback von 0.3 Jahren vor Steuer, resp. 0.4 Jahren nach Steuer.

5.4.3 Massnahmenpaket C: Abwärmenutzung der bestehenden zentralen NH₃-Kälteerzeugung

Die Pinch-Analyse hat ergeben, dass es sich grundsätzlich lohnen würde dem Kühlwasser des Kondensators der Eindampfanlage die Wärme zu entziehen und diese mittels Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben.

Die Konzernstrategie von Nestlé sieht vor, nur natürliche Kältemittel einzusetzen. Für den vorgesehenen Temperaturbereich der Wärmepumpe ist das natürliche Kältemittel Ammoniak (NH₃) geeignet. Da Ammoniak giftig ist und aufgrund der hohen Betriebsdrücke hohe Anforderungen an die Sicherheit gestellt werden, darf gemäss Konzernstrategie von Nestlé eine solche Anlage nicht in einem Produktionsbereich installiert werden.

Aufgrund dieser Restriktionen wurde davon abgesehen, die Pinch-Lösung im neuen Fabrikgebäude umzusetzen. Stattdessen wurde eine Lösung gesucht, um die Wärmepumpe in die bestehende Eiswasserkälteanlage in der Energiezentrale einzubinden, die bereits mit Ammoniak als Kältemittel betrieben wird. Da die Kälteleistung aufgrund des Fabrikneubaus verdoppelt werden muss, bietet sich die Gelegenheit, die Wärmepumpe im Zug des Umbaus einzubinden.

Anlage	Bez.	Q kW	Kosten	Betriebs- stunden h/a	Energie- einsparung kWh/a	Energiekosten- einsparung CHF/a	Payback (vor Steuer) a
			Wärmetauscher CHF				
Wärmepumpe		1'240	1'400'000	3'716	1'001'704	-120'205	
Wärmetauscher							
Aufwärmen vor der Eindampfanlage	H	140.0	9'629	7'130	997'989	99'799	
Aufwärmen vor dem Scanima Mixer	K	398.9	8'295	3'553	1'417'204	141'720	
Aufwärmen nach dem Scanima Mixer	P	131.0	5'038	6'350	832'104	83'210	
Aufwärmen vor dem Sprühtrocknen	Q	65.8	4'522	6'942	456'880	45'688	
Raumheizung	R	502.4	9'868	1'800	904'392	90'439	
		1'238.1	1'437'351		4'608'569	340'652	4.2

Kostenschätzung +/- 20%, exkl. MWST

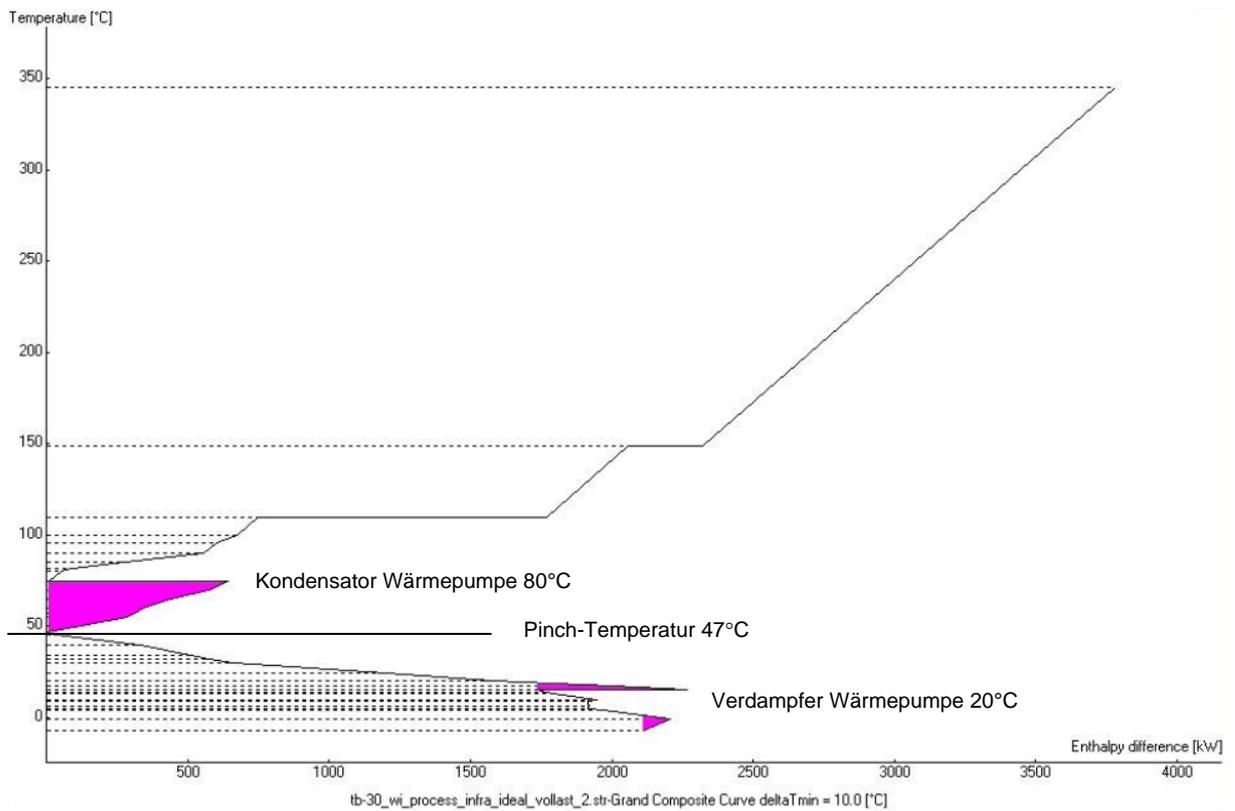
Tabelle 8: Daten zum Massnahmenpaket C

Im Bereich der Wärmetauscher ergeben sich auch beim Massnahmenpaket C nur geringfügige Anpassungen, da die Wärmetauscher aufgrund der Restriktionen gegen das Anbacken der Milch nur mit geringer Übertemperatur betrieben werden und daher bereits sehr grossflächig ausgeführt werden müssen.

Die Kosten fallen daher im Bereich der Wärmepumpe in der Zentrale sowie beim Leistungsnetz an, welches neu installiert werden muss.

Wie üblich sind Massnahmen, die im Infrastrukturbereich angesiedelt sind aufgrund der hohen Investitionskosten nicht ausserordentlich wirtschaftlich. Der Payback der Massnahme liegt bei 4.2 Jahren vor Steuer, resp. 5.5 Jahren nach Steuer und hat damit die schlechteste Wirtschaftlichkeit der drei Massnahmenpakete.

Nachfolgend ist die Grandcomposite curve der Pinch-Lösung dargestellt. Darauf ist die Platzierung von Kondensator und Verdampfer der Wärmepumpe oberhalb und unterhalb der Pinchtemperatur von 47°C dargestellt.



Figur 7: Grandcomposite-curve Pinch-Analyse

5.5 Resultate / Einsparungen

Massnahmenpaket	Bezeichnung	Q kW	Kosten	Energieein- sparung kWh/a	Energie- kosten- einsparung CHF/a
			Wärme- tauscher CHF		
A	Abwärmenutzung Sprühtrocknerfortluft Abwärmenutzung aus dem Kühlwasser des Kondensators der Verdampferan- lage	1'099	1'591'588	4'513'574	451'357
B		1'116	145'619	4'330'086	33'009
C1	Wärmepumpe	1'240	1'400'000	-1'001'704	
C2	Wärmetauscher angeschlossen an Wärmepumpe	1'238	37'351	4'608'569	340'652
Einsparung Dampfleistung während laufendem Prozess [kW]		3'453			
Kostenschätzung [CHF]			3'174'559		
Energieeinsparung [kWh/a]				13'452'228	
Zusätzliche Energie für Wärmepumpe [kWh/a]				-1'001'704	
Netto Energieeinsparung [kWh/a]				12'450'523	
Energiekosteneinsparung [CHF/a]					1'225'018
Payback (vor Steuer) [a]				2.6	
CO ₂ -Einsparung (80% Gesamtwirkungsgrad Dampfanlage) [t/a]					3'329
Kostenschätzung +/- 20%, exkl. MWST					

Tabelle 9: Zusammenfassung der Massnahmenpakete

Durch die drei Massnahmenpakete kann insgesamt 3.45 MW an Heizleistung mit Wärmerückgewinnung substituiert werden. Rechnet man den Abgasrekuperator des Primärlufterhitzers (404 kW) und die interne Wärmerückgewinnung des Rahmpasteurs (674 kW) hinzu, resultiert eine totale Wärmerückgewinnungsleistung von 4'528 kW. Dies entspricht 92% des durch die Pinch-Analyse ausgewiesenen theoretischen Wärmerückgewinnungspotentials.

5.6 Empfehlung / Weiteres Vorgehen

Wir empfehlen, alle Massnahmenpakete wie vorgeschlagen umzusetzen.

Es ist der Entscheid zu fällen, ob durch den Fabrikneubau die Dampfleistung ausgebaut werden soll. Durch die Wärmerückgewinnung kann die Dampfleistung bei laufendem Prozess von ca. 10 t/h auf 3.4 t/h reduziert werden. Dies bedeutet, dass in der Startup-Phase kurzzeitig eine Spitzenlast erforderlich ist und während dem laufenden Prozess, sobald die Wärmerückgewinnung aktiv ist, eine Durchschnittsleistung genügt. Da auch in der bestehenden Fabrik energetische Optimierungen umgesetzt werden, sinkt der durchschnittliche Dampfbedarf kontinuierlich.

Die vorhandene installierte Dampfleistung ist in jedem Fall gross genug, um den zukünftigen Spitzenbedarf zu decken. Durch den Leistungszuwachs des Fabrikneubaus wird allerdings die Leistungsgrenze der 100% Redundanz überschritten. Die Redundanz könnte anstatt durch einen zusätzlichen Dampfkessel auch mittels Vorkehrung für den Anschluss einer mobilen Heizzentrale gewährleistet werden.

6. Schlussfolgerungen

Die eigentliche Pinch-Analyse hat gute Dienste geleistet. Die Bestimmung des theoretischen Wärmerückgewinnungspotenzials im ersten Schritt dient als Bewertungsmassstab für die schlussendlich zur Realisierung empfohlenen Massnahmen.

Grundlegende Voraussetzung für ein gutes Ergebnis ist die Bereitschaft der Prozesseigner, dem Energietechniker das notwendige, weit reichende Prozessverständnis zu vermitteln. In enger Zusammenarbeit wird es damit möglich, durch Energie- und Prozessoptimierung die Effizienz der Produktion bei gleich bleibender Qualität zu steigern. Da es sich beim vorliegenden Projekt um einen Neubau handelt, waren alle notwendigen Daten aus dem aktuellen Projektdesign verfügbar, was die Datenbeschaffung erheblich vereinfachte.

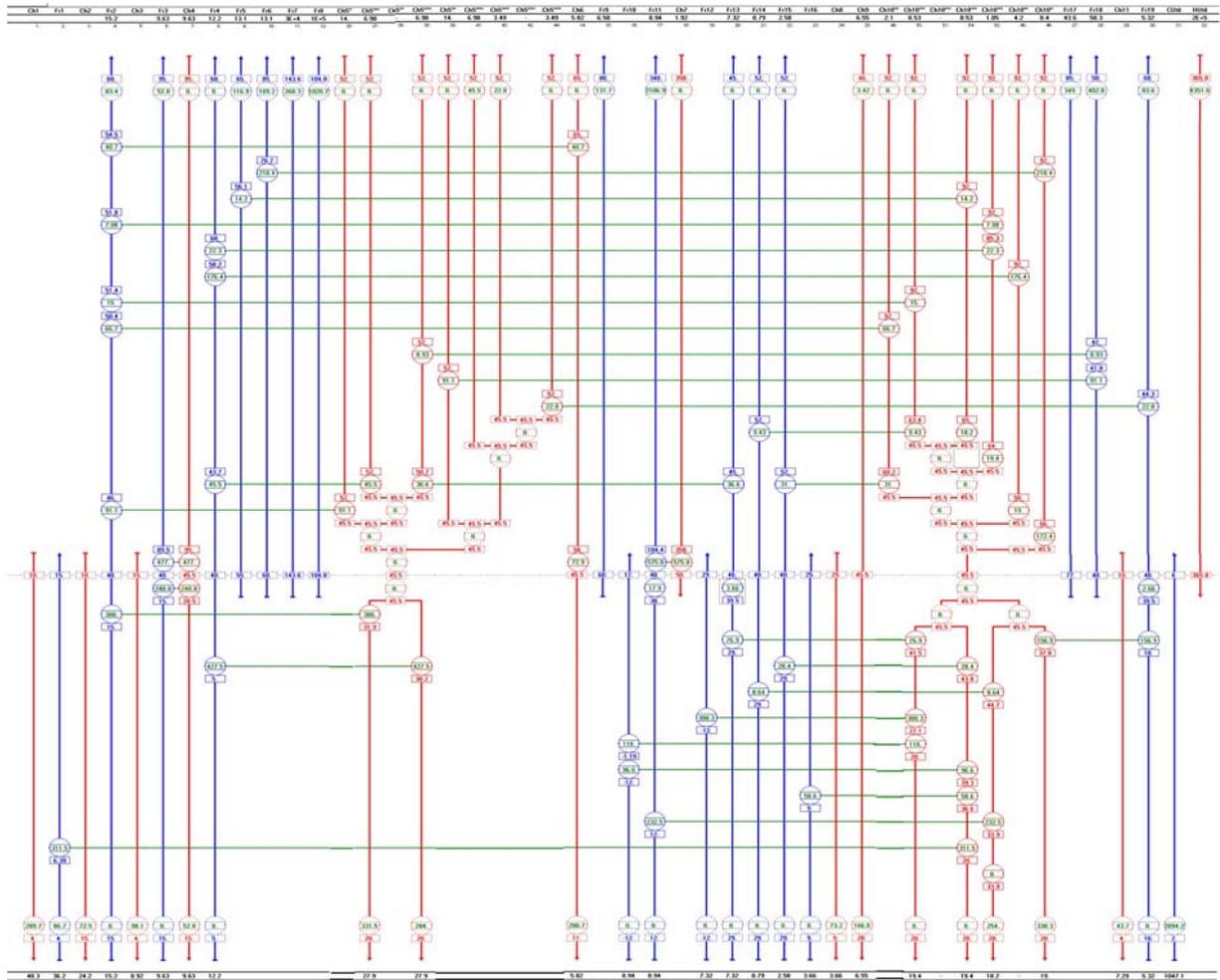
Die Pinch-Methode optimiert unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit den Energiehaushalt eines Prozesses. Dabei wird die optimale minimale Temperaturdifferenz ermittelt die in keinem Wärmetauscher unterschritten wird, um ein maximales Kosten/Nutzen-Verhältnis zu erzielen. In einem Prozess zur Milchverarbeitung bewirken die Restriktionen bezüglich Anbackens des Produktes in einem Wärmetauscher bereits, dass sehr grosse Wärmetauscherflächen notwendig sind. Somit ist das Kostenoptimum gemäss Pinch-Analyse nicht massgebend für die Dimensionierung der Milchwärmetauscher. Hingegen bei der Prozessluftaufbereitung für den Sprühtrockner eignet sich die Pinch-Methode sehr gut, um das optimale Wärmetauschernetzwerk zu erstellen.

Die Resultate der Analyse haben den Auftraggeber überzeugt. Es wurde entschieden alle Massnahmen umzusetzen und trotz des bereits fortgeschrittenen Planungsstandes die erforderlichen Installationen in das aktuelle Design zu integrieren.

Aufgrund dieser positiven Erfahrungen wird die Pinch-Analyse in unserem Ingenieurunternehmen bei der Optimierung von kontinuierlichen Prozessen wieder zum Einsatz gelangen. Wir danken dem Bundesamt für Energie für die CO-Finanzierung der Arbeiten.

7. Anhang

A.1 Netzwerk Milchpulverproduktion



Figur 7: Netzwerk (MER-Design, maximum energy recovery)

Figur 7 zeigt das Wärmetauscher-Netzwerk der Milchpulverproduktion. Aufzuheizende Ströme sind blau, abzukühlende Ströme sind rot eingezeichnet. Der Energieträger kann dabei Wasser, Luft oder ein anderes Medium z.B. das Produkt selbst sein. Die Verbindung zweier Ströme entspricht einem Wärmetauscher mit entsprechender Leistung (rundes Symbol). In den Kästchen oberhalb und unterhalb der Symbole sind die Ein- und Austrittstemperaturen aus dem Wärmetauscher eingetragen.