

---

# Kunststoff-Fabrik

Herzlich Willkommen! Das PinCH-Team der Hochschule Luzern bietet zur Software [PinCH](#) exemplarische Fallbeispiele an, um Ihnen die Möglichkeiten der Software und der Pinch-Analyse vorzustellen.

Auf der Website [www.pinch-analyse.ch](http://www.pinch-analyse.ch) können die Fallbeispiele und die dazugehörigen "fertigen" PinCH-Files heruntergeladen werden.

Die Fallbeispiele sind auf Deutsch und Englisch erhältlich. Die Beschriftungen im Prozessschema, die Bezeichnungen von Prozessen, Strömen usw. sowie Software bezogene Begriffe sind immer in Englisch gehalten. Als Währung wird Euro verwendet.

**Die Fallbeispiele fokussieren sich auf die Anwendung der Pinch-Analyse und der Software [PinCH](#).** Es wird davon ausgegangen, dass Sie mit den grundlegenden Prinzipien der Pinch-Analyse sowie der Bedienung der Software vertraut sind. Als Einführung bzw. für einen vertieften Einblick in die Pinch-Methode empfehlen wir folgende Bücher:

- F. Brunner, P. Krummenacher: Einführung in die Prozessintegration mit der Pinch-Methode – Handbuch für die Analyse von kontinuierlichen Prozessen und Batch-Prozessen. Bundesamt für Energie BFE, 2017 (erhältlich unter [www.pinch-analyse.ch](http://www.pinch-analyse.ch))
- R. Smith: Chemical Process Design and Integration. 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, 2016; Pinch-Analyse ab Kap. 15 (ISBN 9781119990130)
- I. C. Kemp: Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007 (ISBN 978-0-7506-8260-2)

Um sich mit der Software vertraut zu machen, stehen auf der Website [www.pinch-analyse.ch](http://www.pinch-analyse.ch) Tutorials zur Verfügung. Die Tutorials können mit der Trial-Version von [PinCH](#) gelöst werden (Vollversion, jedoch limitiert auf 8 Prozess-Ströme). Um die Trial-Version zu erhalten, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [pinch@hslu.ch](mailto:pinch@hslu.ch).

Sie haben gerade das [Fallbeispiel Kunststoff-Fabrik](#) vor sich. Darin geht es um die Integration einer Wärmepumpe in die Produktionsanlagen und Infrastruktursysteme einer Unternehmung, die in der Kunststofftechnik tätig ist. Das [Fallbeispiel](#) ist wie folgt aufgebaut:

<b>I. Prozessbeschreibung</b>	<b>2</b>
<b>II. Pinch-Analyse</b>	<b>4</b>
<b>III. Optimierungs-Massnahmen</b>	<b>6</b>

Das PinCH-Team der Hochschule Luzern wünscht Ihnen viel Erfolg und eine lehrreiche Zeit!

## I Prozessbeschreibung

Die Luft in einer Kunststoff-Fabrik wird durch Druckmaschinen mit Lösungsmittel beladen. Die Abluft ("Waste Gas") wird abgesaugt, gefiltert und in einer Katalytischen Nachverbrennung regeneriert. Die Katalytische Nachverbrennung wird "autotherm" (ohne externe Energieversorgung) betrieben. Die chemische Reaktion im Katalysator ist exotherm und führt dazu, dass die Abluft-Temperatur im Katalysator um zirka 100 K ansteigt. Des Weiteren verfügt die Firma über eine spanabhebende Fertigung, in welcher mehrere Produktionsmaschinen von einem zentralen Kühlschmiermittelbehälter aus mit Kühlschmiermittel ("Cooling Lubricant") versorgt werden. Aufgrund fertigungstechnischer Anforderungen sollte das Kühlschmiermittel eine Solltemperatur von 26 °C nicht überschreiten. Das von den Produktionsmaschinen zurückfließende Kühlschmiermittel weist eine durchschnittliche Temperatur von 30 °C auf. Aus dem Prozessschema Abbildung 1 geht hervor, dass zirka 2.4 kg/s des Heizwasserbedarfs ("Heating Water") durch die Katalytische Nachverbrennung infolge Wärmerückgewinnung bereitgestellt werden kann. Die Erwärmung des restlichen Heizwassers von 9.4 kg/s wird durch einen erdgasbetriebenen Brenner gewährleistet. Die Anlage ist 3'500 Stunden pro Jahr im "autotherm" Betrieb. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Umgebungsbedingungen denen des Winters entsprechen.

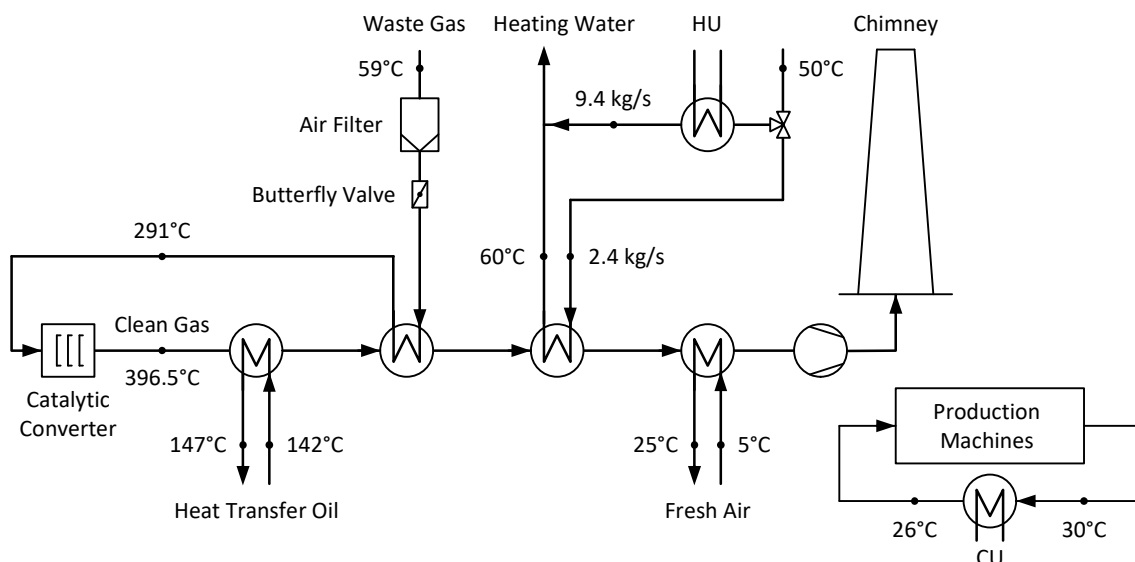


Abbildung 1: Kunststoff-Fabrik Prozessschema

Für die Berechnung nur der Prozess-Prozess Wärmeübertragerkosten sind die folgenden Koeffizienten gegeben:

- Grundkosten HEX:  $C_0 = 5'000$  EUR
- Kosten Referenz-HEX:  $C_b = 16'000$  EUR
- Langfaktor:  $f_L = 3$
- Wärmeübertragungsfläche Referenz-HEX:  $A_b = 50 \text{ m}^2$
- Degressionsexponent:  $m = 0.71$

Tabelle 1: Prozessanforderungen

Operating Case (OC)	Prozess-Strom	$T_{in}$ [°C]	$T_{out}$ [°C]	$\alpha$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$CP$ [kW/K]
OC1 (3'500h)	Heating Water	50	60	2000	49.4
	Heat Transfer Oil	142	147	500	4.8
	Fresh Air	5	25	50	2
	Waste Air				
	segment 1	59	150	50	2.5
	segment 2	150	291	50	2.7
	Clean Gas*	396.5	20	50	2.6
	Cooling Lubricant	30	26	1000	63.1

\*Soft stream

Tabelle 2: Utility-Daten

Utility-Strom	$T_{in}$ [°C]	$T_{out}$ [°C]	$p$ [bar(a)]	$\alpha$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$c$ [EUR/MWh]
Erdgas (HU)	500	499	-	100	60
Cooling Water (CU)	8	14	1	2'000	30

Bemerkung zu den Utilities: Die Utilities-Wärmeübertrager erfordern keine Investitionen, da sie bereits vorhanden sind.

## II Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse wurde mithilfe der Software [PinCH](#) durchgeführt. Die zugehörigen Composite Curves und Grand Composite Curve sind in Abbildung 2 ersichtlich. Für den Betriebsfall (OC1) ergibt sich ein  $\Delta T_{min,opt}$  von 6 K und eine Pinch-Temperatur von 53 °C. Das Wärmerückgewinnungspotenzial für das  $\Delta T_{min,opt}$  beträgt 934 kW. Zur Deckung des Wärmebedarfs wird 227 kW HU benötigt. Ein Wärmeangebot von 307 kW ist auf tiefem Temperaturniveau überschüssig und muss deshalb möglichst effizient an die Umgebung abgeführt werden.

Um den Wärme- und Kältebedarf weiter zu reduzieren, kann eine Wärmepumpe als Ergänzung zu den Wärmerückgewinnungsmassnahmen optimal in den Prozess integriert werden. Die Grand Composite Curve zeigt den Nettowärme- und -kältebedarf bei verschiedenen Temperaturen und ist ein wichtiges Hilfsmittel für die konzeptionelle Auslegung der Wärmepumpe. In Abbildung 2 rechts sind der Kondensator (roter Strom) und der Verdampfer (blauer Strom) direkt in die Grand Composite Curve eingezeichnet. Beide Ströme wurden hinsichtlich Temperatur und Wärmeleistung charakterisiert, wobei sich der Kondensator oberhalb und der Verdampfer unterhalb des Pinch-Points befanden. Die Heizleistung der WP wurde so gewählt, dass der gesamte Wärmebedarf auf ca. 60°C abgedeckt werden kann. Zusätzlich die Ströme schneiden nicht die Grand Composite Curve und überlappen nicht den Bereich der Tasche (grauer Bereich). Die, für die Konfiguration der Wärmepumpe verwendeten Informationen, sind in Abbildung 3 dargestellt.

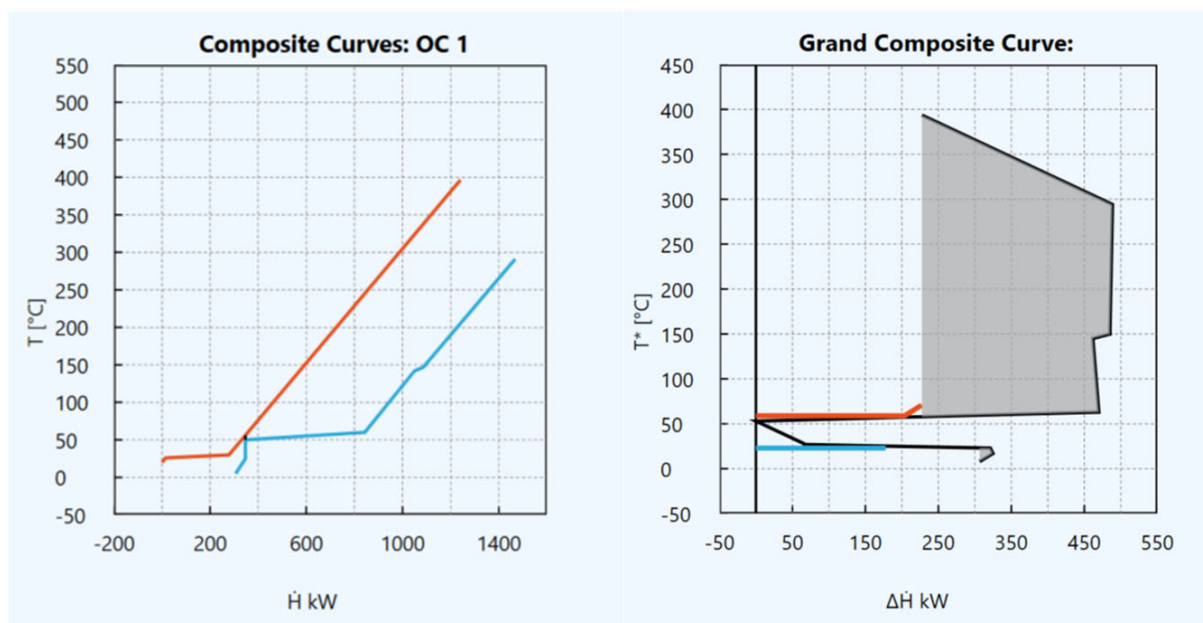


Abbildung 2: Composite Curves (links) und Grand Composite Curve (rechts)

Process Information	
Type of Refrigerant	R134A
Evaporation Temperature	20 °C
Max Heat Rate at Evaporation Temperature	321.2 kW
Condensation Temperature	62 °C
Max Heat Rate at Condensation Temperature	280.4 kW
Evaporator or Condensator Heat Flow Entered	<input type="radio"/> Evaporation <input checked="" type="radio"/> Condensation
Evaporator Heat Flow	177.8 kW
Condenser Heat Flow	227.0 kW
Isentropic Efficiency of Compressor	0.70
Drive Efficiency of Compressor	0.90
Superheating	0.0 K
Subcooling	0.0 K
Compressor Electrical Power Pel	54.7 kW
Coefficient of Performance (COP)	4.15
Inner Second Law Efficiency	0.52

Abbildung 3: Informationen für die Wärmepumpe

Das MER HEN ("Minimum Energy Requirements Heat Exchanger Network") wurde anhand der Pinch-Regeln entworfen und ist in Abbildung 4 dargestellt.

Das optimierte Wärmeübertrager-Netzwerk entspricht grösstenteils dem Aufbau der bestehenden Anlage. Gemäss Pinch-Analyse kann durch die Erweiterung der Wärmerückgewinnung zwischen dem Clean Gas und dem Heating Water das Wärmerückgewinnungspotenzial mehr ausgeschöpft und durch die Integration einer Wärmepumpe die Energieversorgung effizienter gestaltet werden. Das MER HEN-Design zeigt, wie die Integration der Wärmepumpe zusammen mit der Gestaltung der Wärmerückgewinnungsmassnahmen erfolgt. Das neue Design zur Deckung des Heizwasserbedarfs bietet eine bessere direkte Wärmerückgewinnung von ca. 166 kW sowie zusätzlich 227 kW aus der Wärmepumpe.

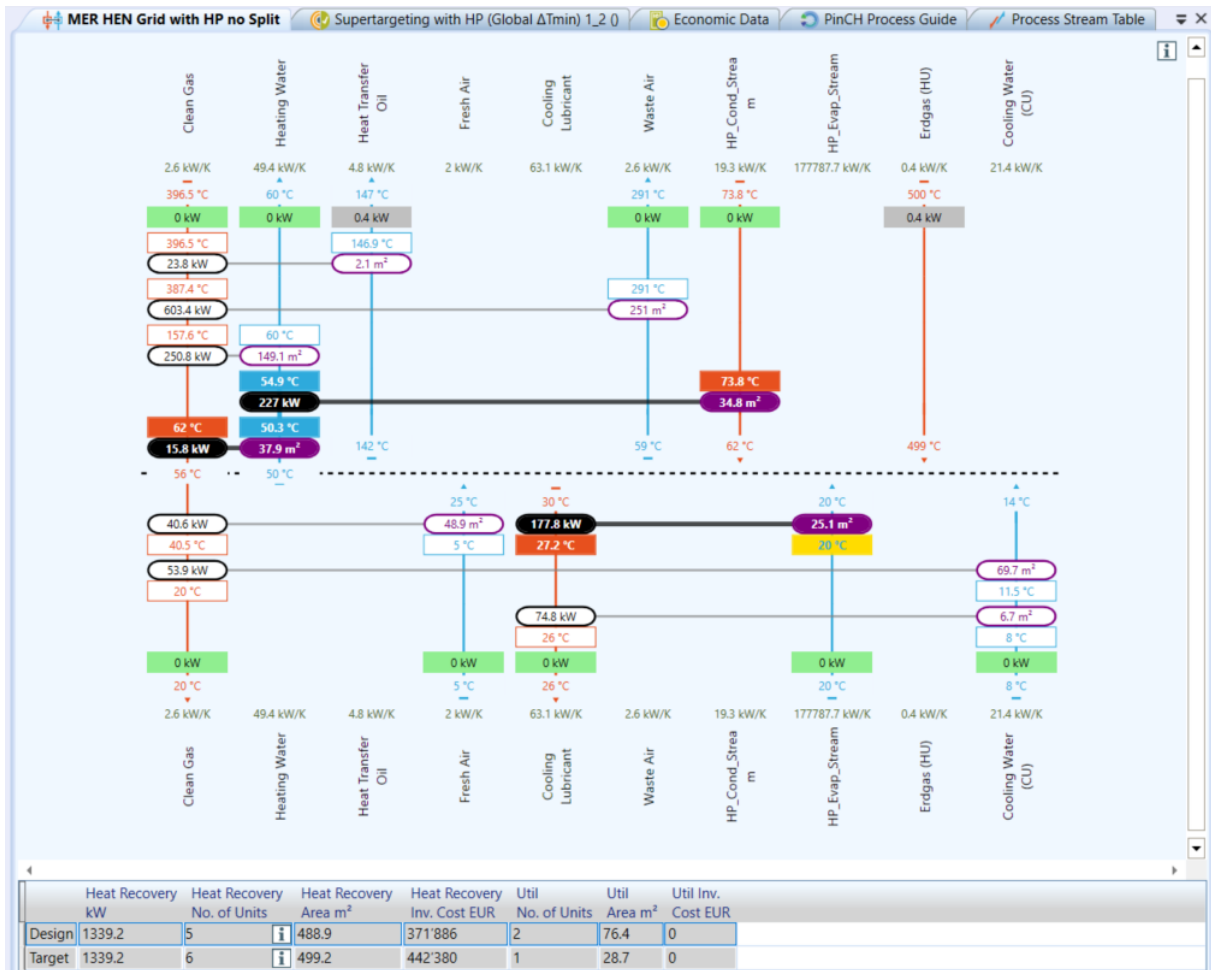


Abbildung 4: Wärmeübertrager-Netzwerks mit Wärmepumpe (Minimum Energy Requirement MER Design). Die fettgedruckten Wärmeübertrager sind neu.

### III Optimierungs-Massnahmen

Die Pinch-Analyse zeigt, dass die bereits installierten Wärmeübertrager zur Wärmerückgewinnung aus dem Clean Gas für die Erwärmung von Heat Transfer Oil, Waste Air sowie Fresh Air ohne anlagentechnische Anpassungen weiter verwendet werden können. Der Wärmeübertrager mit dem „Heating Water“ ist im neuen Design jedoch grösser und erfordert zusätzliche Fläche. Als Quelle für die neue Wärmepumpe dient die Rückkühlung des Cooling Lubricant. Die mit der Wärmepumpe generierte Heizleistung wird auf das Heating Water übertragen. Zwischenkreisläufe wurden in diesem Konzept nicht berücksichtigt. Der Verfahrensflussbild ist in Abbildung 5 dargestellt und die drei erforderlichen Massnahmen sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die statische Amortisationszeit liegt ca. 5 Jahren. Der kleine Wärmeübertrager, in welchem das Heating Water von 50 auf 50.3°C erwärmt wird, kann man auch weglassen um die Kosten weiter zu senken. Dadurch würde man einfach die WP grösser dimensionieren.

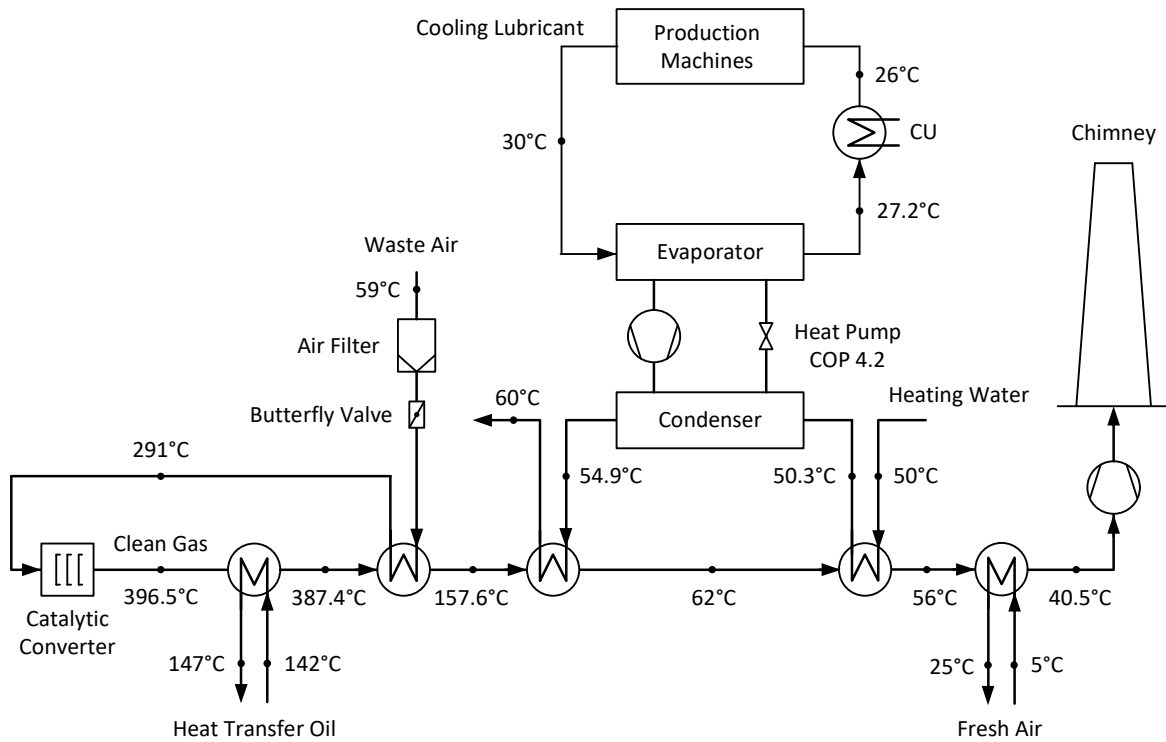


Abbildung 5: Wärmeübertrager-Netzwerk im Verfahrensfließbild mit Wärmepumpe

Tabelle 3: Optimierungs-Massnahmen MER HEN Design

Nr.	Massnahme	$\dot{Q}_{WRG}$ [kW]	$A_{ist}$ [m <sup>2</sup> ]	$A_{neu}$ [m <sup>2</sup> ]	Investition [EUR]*
1	Mehr Fläche für HEX (Heating Water)	251	12.8	149.1	109'300
2	Neuer HEX (Heating Water)	16	-	37.9	44'400
3	Neuer WP (Heating Water)	227	-	-	211'700

\* Die Energiekosteneinsparungen sind ca. 78'000 CHF/y.



Dieses Werk (nachfolgend "Fallbeispiel") dient zur Einführung in die Software PinCH der Hochschule Luzern/Fachhochschule Zentralschweiz. Das Fallbeispiel ist kostenlos unter [www.pinch.ch](http://www.pinch.ch) verfügbar. Es darf nicht kommerziell weiterverbreitet werden. Die Nutzung des Fallbeispiels in kommerziellen Aus- und Weiterbildungskursen, Workshops, Coachings usw. ist nicht erlaubt. Die Modifikation des Fallbeispiels ist nicht erlaubt.