

PinCH Tutorial 2

Herzlich Willkommen! Das PinCH-Team der Hochschule Luzern bietet zur Software [PinCH](#) Tutorials an, um Ihnen die Möglichkeiten und die Bedienung der Software vorzustellen. In fünf Tutorials werden Grundlagen der Energie- und Kostenoptimierung von industriellen Prozessen mit [PinCH](#) vermittelt:

PinCH Tutorial 0	Quick Overview
PinCH Tutorial 1	Kontinuierliche Produktionsanlage
PinCH Tutorial 2	Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen
PinCH Tutorial 3	Nicht-kontinuierliche Produktionsanlage
PinCH Tutorial 4	Integration thermischer Energiespeicher

Die Tutorials sind aufbauend gestaltet. Wenn Sie [PinCH](#) zum ersten Mal benutzen, empfehlen wir Ihnen, mit [Tutorial 0](#) Quick Overview zu starten.

Auf der Website www.pinch-analyse.ch können die Tutorials und die dazugehörigen "fertigen" PinCH-Files heruntergeladen werden. 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.

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

Die Energie- und Kostenoptimierung mit [PinCH](#) erfolgt in 10 Schritten ([10 Steps](#)). Eine Übersicht zu den [10 Steps](#) sowie ein Symbol- und Abkürzungsverzeichnis finden Sie im [Tutorial 0](#).

In den Tutorials liegt der Fokus auf der Bedienung der Software [PinCH](#). Es wird davon ausgegangen, dass Sie mit den grundlegenden Prinzipien der Pinch-Analyse 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)
- R. Smith: Chemical Process Design and Integration. 2nd 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. 2nd Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2007 (ISBN 978-0-7506-8260-2)

Sie haben gerade das [PinCH Tutorial 2](#) vor sich. Darin geht es um die Analyse und Optimierung einer Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen (Multiple Operating Cases, MOCs). Das [Tutorial 2](#) ist wie folgt aufgebaut:

Inhaltsverzeichnis

I. Einführung Tutorial 2	2
II. Fallbeispiel: Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen	3
III. 10 Steps in PinCH	7
IV. Optimierte Produktionsanlage	21

I Einführung [Tutorial 2](#)

Lernziel: Durchführung einer Energie- und Kostenoptimierung für Produktionsanlagen mit mehreren Betriebsfälle in [PinCH](#).

Dauer: 2-3 Stunden

Bei der Energie- und Kostenoptimierung von Produktionsanlagen mit mehreren Betriebsfällen werden weitere Aspekte von [PinCH](#) vorgestellt. Darunter fallen das Konfigurieren von Equipments sowie das Definieren von MOC-Prozessen. Im vorliegenden [PinCH Tutorial 2](#) werden Sie in folgenden Steps durch den Optimierungsprozess geführt (die [Steps 7](#) und [9](#) werden für dieses Fallbeispiel nicht benötigt):

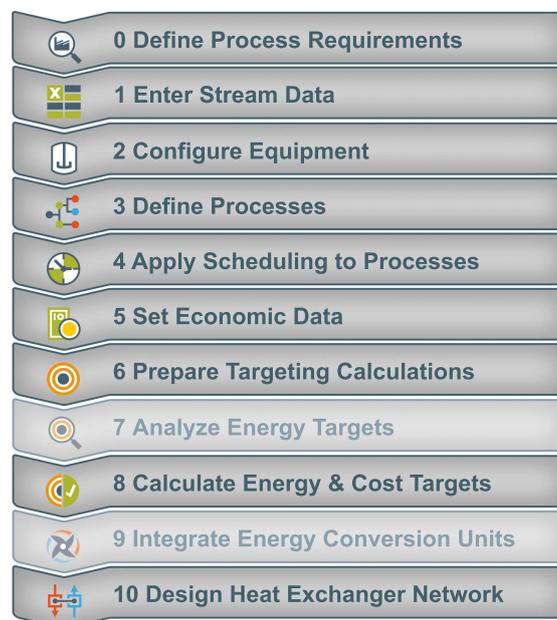


Abbildung 1: Ablauf in [PinCH](#) für die Optimierung eines Prozesses mit mehreren Betriebsfällen

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

II Fallbeispiel: Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen

Prozessbeschreibung

Wir betrachten eine geplante Produktionsanlage in einem Chemieunternehmen. Mit der Anlage sollen zukünftig zwei unterschiedliche Produkte mit dem gleichen Reaktor hergestellt werden können.

Im ersten Betriebsfall (Operating Case Product C, OC Product C) reagieren die beiden Eduktströme Reactant A und Reactant B im Reaktor zum Produkt Product C (Abbildung 2). Damit die endotherme Reaktion stattfinden kann, müssen beide Eduktströme auf $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt werden. Das Produkt muss auf $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ gekühlt werden.

Im zweiten Betriebsfall (Operating Case Product F, OC Product F) reagieren Reactant D und Reactant E zu Product F (Abbildung 3). Bei dieser exothermen Reaktion muss nur Reactant E auf $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt werden. Das Product F muss wiederum auf $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ gekühlt werden. Für alle Prozess-Ströme wurde ein Wärmeübergangskoeffizient α von $1'000\text{ W}/(\text{m}^2\text{ K})$ verwendet.

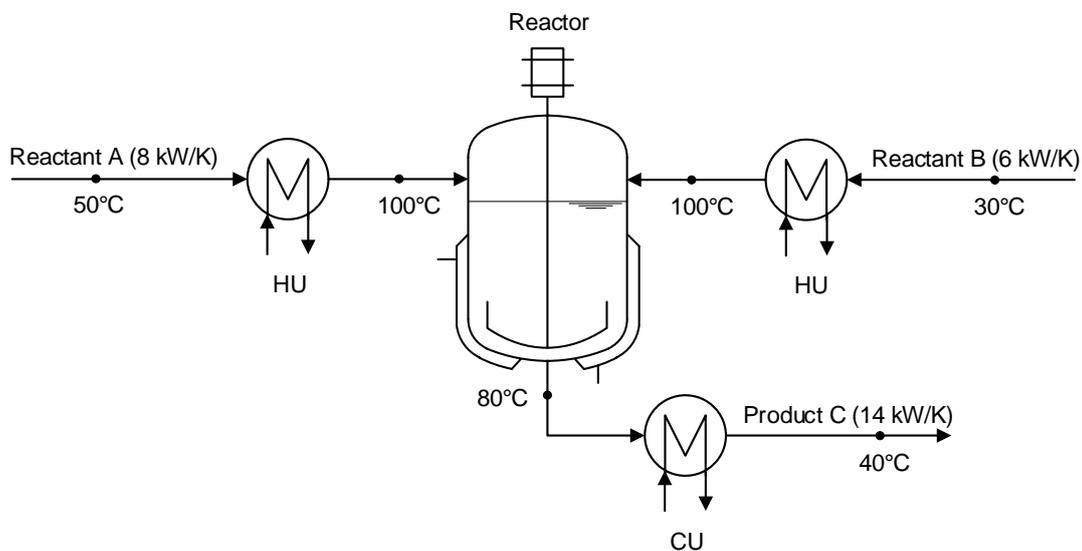


Abbildung 2: Verfahrensflussbild OC Product C (endotherme Reaktion)

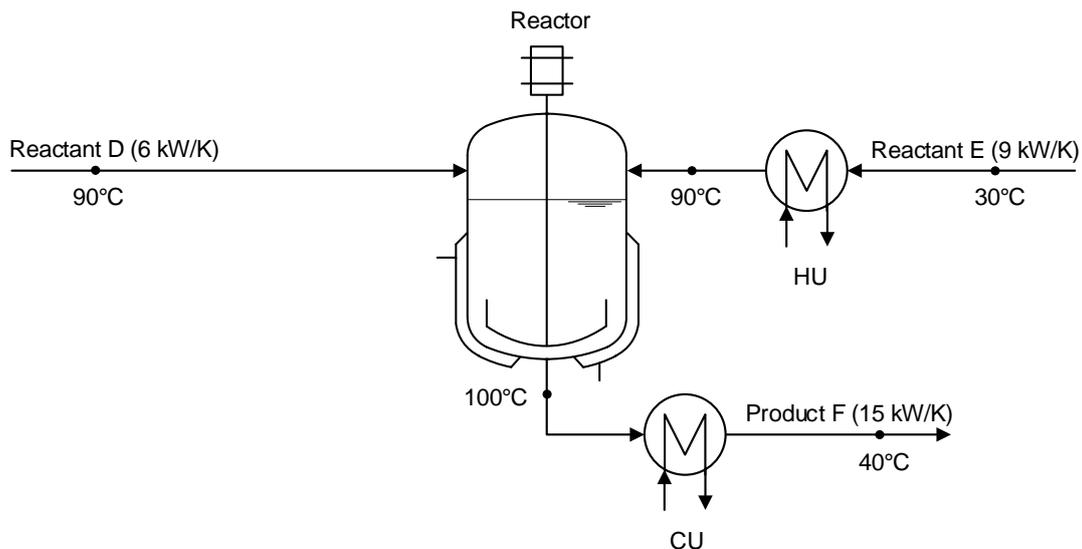


Abbildung 3: Verfahrensflussbild OC Product F (exotherme Reaktion)

Zeitplan (Scheduling)

Die beiden Betriebsfälle laufen zeitlich versetzt ab. Allfällige Unterbrüche der Produktion werden vernachlässigt. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, beträgt die Betriebsdauer von OC Product C 3'000 h/a und von OC Product F 4'000 h/a. Gesamthaft ist die Produktion 7'000 h/a in Betrieb.

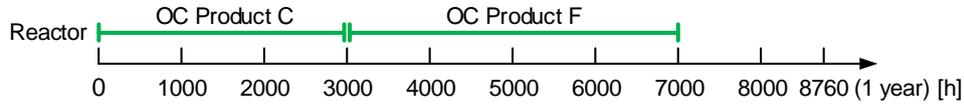


Abbildung 4: Gantt-Diagramm

Energieversorgung (Utilities)

Für das Heizen und Kühlen der Prozess-Ströme stehen die **Utilities** aus Tabelle 1 zur Verfügung. Als Hot Utility (HU) zum Heizen wird Heizdampf (Heating Steam) verwendet. Der Heizdampf liegt als Satttdampf vor, daher wird der Druck p und, anstelle der Eintritts- (T_{in}) und Austrittstemperatur (T_{out}), der Dampfgehalt x angegeben. Die Cold Utility (CU) besteht aus Kühlwasser (Cooling Water), welches von einem Kühlturm zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 1: Utility-Daten

Utility-Strom	T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	p [bar(a)]	α [W/(m ² K)]	c [€/MWh]
Heating Steam (HU)	$x=1$	$x=0$	4	5'000	70
Cooling Water (CU)	26	32	3	2'000	18

Die totalen jährlichen Betriebskosten C_{Op} [€/a] setzen sich aus den jährlichen Betriebskosten pro OC zusammen. Unter Verwendung der jährlichen Betriebsstunden τ [h/a], dem Bedarf \dot{Q} [kW] an HU / CU und den spezifischen Kosten c_{HU}, c_{CU} [€/MWh] der HU / CU werden die totalen jährlichen Betriebskosten wie folgt berechnet:

$$C_{Op} = \sum_{OC} C_{Op, OC} = \sum_{OC} \tau_{OC} \cdot \left(\dot{Q}_{HU, OC} \cdot c_{HU, OC} + \dot{Q}_{CU, OC} \cdot c_{CU, OC} \right) \quad (1)$$

Tabelle 2: Utility-Leistungen und Betriebskosten des Prozesses ohne Wärmerückgewinnung (WRG)

Operating Case (OC)	\dot{Q}_{HU} [kW]	\dot{Q}_{CU} [kW]	τ [h/a]	C_{Op} [€/a]
OC Product C	820	560	3'000	202'440
OC Product F	540	900	4'000	216'000
Total	-	-	7'000	418'440

Investitionskosten

Die Berechnung der Investitionskosten kennen Sie bereits aus [Tutorial 1](#). Da nur die Investitionskosten der Wärmeübertrager C_{HEX} (Heat Exchanger, HEX) für die Wärmerückgewinnung (WRG) und die Energieversorgung (Utilities) zu berücksichtigen sind, gilt für die gesamten Investitionskosten C_{Inv} :

$$C_{Inv} = \sum_{HEX} C_{HEX} = \sum_{HEX} \left(C_0 + C_b \cdot \left(\frac{A_{HEX}}{A_b} \right)^m \right) \quad (2)$$

wobei $C_0 = 0$ (Grundkosten HEX), $C_b = 110'000$ € (Kosten Referenz-HEX), $A_b = 100$ m² (Wärmeübertragungsfläche Referenz-HEX) und $m = 0.71$ (Degressionsexponent, siehe [Tutorial 1](#)). Diese Werte

werden bei der Kostenberechnung von allen Wärmeübertragern mit der entsprechenden Wärmeübertragungsfläche A verwendet.

Die beiden Wärmeübertrager "HU Reactant B" und "HU Reactant E" sowie "CU Product C" und "CU Product F" kommen in den selben Equipments (Leitungen) vor. Hier folgt die Auslegung (und damit die Kostenberechnung) des jeweiligen HEX nach der Prozessanforderung mit der grössten HEX-Fläche. Es werden die Wärmeübertrager aus OC Product F berücksichtigt.

Bei Verwendung der Kostenfunktion (Gleichung 2) erhält man folgende Kosten für die zwei HU-Wärmeübertrager und den CU-HEX:

Tabelle 3: Kosten der einzelnen Wärmeübertrager unter Verwendung von Gleichung 2

Wärmeübertrager	\dot{Q} [kW]	ΔT_m [K]	k [W/(m ² K)]	A [m ²]	C_{HEX} [€]
HU Reactant A	400	65.9	833.3	7.3	17'132
HU Reactant E	540	80.3	833.3	8.1	18'419
CU Product F	900	34.2	666.7	39.5	56'894
Total				54.9	92'445

Hinweis: Zur Berechnung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz ΔT_m von HU1 und HU2 wurde die Kondensationstemperatur von Wasserdampf bei 4 bar(a) (ca. 144 °C) verwendet.

Der k -Wert wird gemäss [Tutorial 1](#) aus den beiden α -Werten der jeweiligen Ströme berechnet (alle Prozess-Ströme weisen einen α -Wert von 1'000 W/(m² K) auf): $\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}$

Gesamtkosten

Die jährlichen Gesamtkosten C_{tot} [€/a] werden aus den jährlichen Investitionskosten $a \cdot C_{Inv}$ [€/a] und den jährlichen Betriebskosten C_{Op} [€/a] gebildet, dabei ist a der Annuitätsfaktor, siehe Gleichung 3:

$$C_{tot} = a \cdot C_{Inv} + C_{Op} \quad \text{mit} \quad a = \frac{Z \cdot (1 + Z)^n}{(1 + Z)^n - 1} \quad (3)$$

Folgende Daten sind gegeben:

- Zinsfaktor (Interest Rate): $Z = 5\%$
- Amortisationszeit (Pay Off Period): $n = 4$ a

Der Annuitätsfaktor beträgt $a = 0.282$. In diesem Tutorial wird die Planung einer neuen Anlage betrachtet, deren Investitionskosten in Tabelle 3 zu finden sind. Die Investitionskosten des Reaktors werden vernachlässigt, da sie unabhängig von der Energie- und Kostenoptimierung sowieso getätigt werden müssen. Damit ergeben sich jährliche Gesamtkosten von ungefähr $C_{tot} = a \cdot C_{Inv} + C_{Op} = 444'510$ €/a.

Problemstellung

- Bestimmen Sie für die beiden OCs die [Energie- und Kostenziele](#).
- Erstellen Sie für beide OCs jeweils ein Wärmeübertrager-Netzwerk [MER HEN](#) (Maximum Energy Recovery Heat Exchanger Network).
- Kombinieren Sie die zwei MER HENs zu einem einzigen Verfahrensfließbild, welches für beide OCs verwendet werden kann.



Step 0: Define Process Requirements

Definieren Sie die **Prozessanforderungen**, indem Sie die relevanten Daten extrahieren (Datenextraktion siehe [Tutorial 1](#)). Reactant D stellt keine Prozessanforderung dar, da der Prozess-Strom bereits auf der gewünschten Temperatur von 90 °C ist.

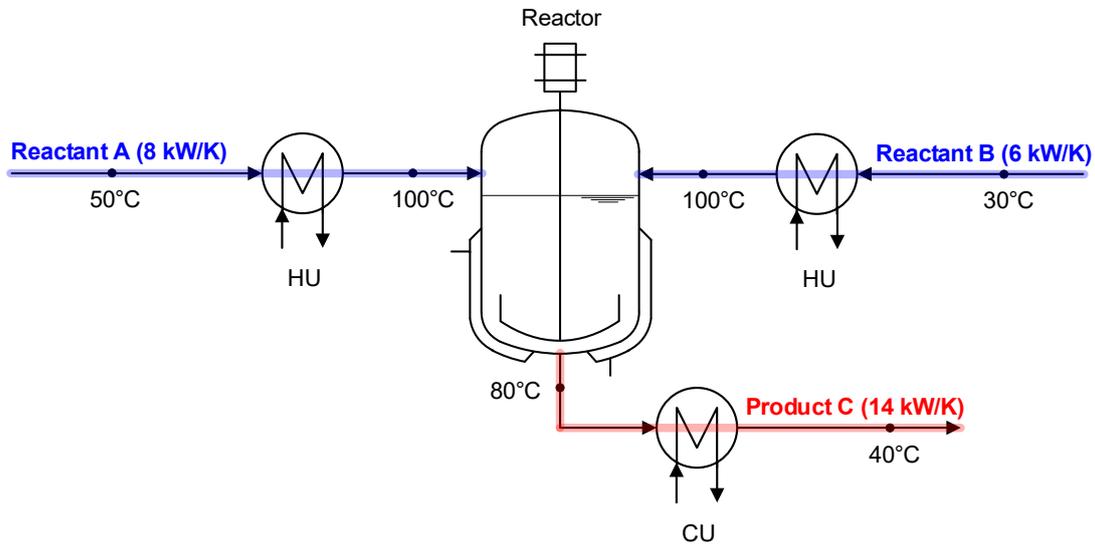


Abbildung 5: Prozessanforderungen OC Product C (endotherme Reaktion)

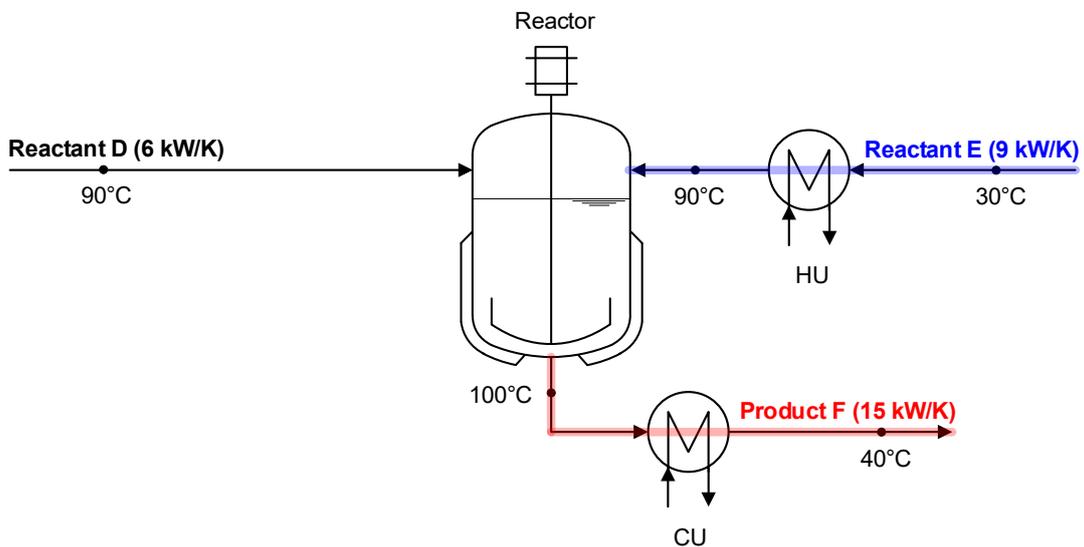


Abbildung 6: Prozessanforderungen OC Product F (exotherme Reaktion)

Tabelle 4: Prozessanforderungen

Operating Case (OC)	Prozess-Strom	T_{in} [°C]	T_{out} [°C]	α [W/(m ² K)]	CP [kW/K]
OC Product C	Reactant A	50	100	1'000	8
OC Product C	Reactant B	30	100	1'000	6
OC Product C	Product C	80	40	1'000	14
OC Product F	Reactant E	30	90	1'000	9
OC Product F	Product F	100	40	1'000	15

III 10 Steps in PinCH

Los geht's!

Zum Starten der Pinch-Analyse öffnen Sie [PinCH](#). Bevor wir mit dem eigentlichen Projekt starten, empfiehlt es sich, die Grundeinstellungen in [PinCH](#) anzupassen. Da in diesem Tutorial die Kosten in € angegeben werden, müssen Sie, bevor Sie beginnen, in den Einstellungen die Währung anpassen. Des Weiteren wird in diesem Tutorial mit den Einheiten in kW und MWh gearbeitet. Wie Sie dabei vorgehen müssen, wird im [Tutorial 0](#) erläutert.

Das Tutorial folgt den [10 Steps](#) in [PinCH](#). Erstellen Sie zuerst ein neues Projekt und geben Sie diesem einen passenden Namen.



Step 1: Enter Stream Data

Die Prozessanforderungen werden in die [Process Stream Table](#) eingetragen. Die fertige Process Stream Table sieht folgendermassen aus:

+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	m kg/s	cp kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	tstart h	tstop h
	Reactant A	Hot	50	100	2.66667	3	-	1000	-	8	400	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Reactant B	Hot	30	100	2	3	-	1000	-	6	420	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Product C	Cold	80	40	4.66667	3	-	1000	-	14	560	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Reactant E	Hot	30	90	3	3	-	1000	-	9	540	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-
	Product F	Cold	100	40	5	3	-	1000	-	15	900	Simple	-	<input type="checkbox"/>	-	-

Abbildung 7: Process Stream Table

Die [Utilities](#) (HU und CU) werden in die [Utility Stream Table](#) eingetragen. Die fertige Utility Stream Table sieht wie folgt aus:

+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	cp kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m ² K)	Pressure bar(a)	Utility Cost EUR/MWh	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg
	Heating Steam (HU)	Hot	x1	x0	-	2133.77	5000	4	70.000	Water	-
	Cooling Water (CU)	Cold	26	32	4.2079	-	2000	3	18.000	Water	-

Abbildung 8: Utility Stream Table



Step 2: Configure Equipment

In unserem Fallbeispiel werden dieselben Equipments für beide OCs verwendet. Im Project Explorer unter  Equipment  Individual ist ersichtlich, dass zu Beginn jeder Prozess-Strömung einem eigenen Equipment zugewiesen ist. Um dies zu ändern, gehen Sie wie folgt vor:

-  Rechtsklick auf **Shared**
-  **Create New Shared Equipment** (zweimal)
-  Benennen Sie die neu erstellten Equipments in "Reactants B, E" und "Products C, F" um.
-  Wählen Sie nun in der Process Stream Table den Strom "Reactant B" an.
-  Klicken Sie unterhalb des Target Explorers auf Properties.
-  Öffnen Sie den Reiter bei Equipment und wählen Sie "Reactants B, E" an.
-  Weisen Sie analog den Strom "Reactant E" dem Equipment "Reactants B, E" zu.
-  Weisen Sie nun die Ströme "Product C" und "Product F" dem Equipment "Products C, F" zu.
-  Benennen Sie das "New Process Stream 1 Eq" Equipment unter Individual in "Reactant A" um. Da dieses nur in OC Product C vorkommt, handelt es sich um ein Individual Equipment.

Im Project Explorer finden Sie unter Shared z.B. das Equipment "Products C, F". Wenn Sie dieses anklicken, werden die zugewiesenen Ströme in der Process Stream Table blau hinterlegt.



Name	Hot/Cold	T _{in} °C	T _{out} °C	m _{in} kg/h	C _p kJ/(kg·K)	Phase Change	α	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	Istart h	Istop h
Reactant A	/	50	100	256667	3	-	-	1000	6	800	Simple	-	-	-	-
Reactant B	/	30	100	2	3	-	-	1000	6	820	Simple	-	-	-	-
Product C	/	80	40	466667	3	-	-	1000	14	560	Simple	-	-	-	-
Reactant E	/	30	90	3	3	-	-	1000	9	540	Simple	-	-	-	-
Product F	/	100	40	5	3	-	-	1000	15	900	Simple	-	-	-	-

Abbildung 9: Das Equipment "Products C, F" enthält die blau hinterlegten Prozess-Ströme "Product C" und "Product F"



Step 3: Define Processes

Um eine Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen zu definieren, müssen die Prozess-Ströme auf die beiden OCs aufgeteilt werden:

-  Rechtsklick auf **Processes**
-  **Add Continuous Process**
-  Benennen Sie die beiden Prozesse "Process 1" und "Process 2" in "OC Product C" und "OC Product F" um (F2 verwenden).
-  Fügen Sie die Prozess-Ströme (Reactants und Product) dem zugehörigen OC zu (OC Product C oder OC Product F).

Hinweis: Es ist nicht möglich, dass zwei Prozess-Ströme gleichzeitig durch dasselbe Equipment fließen. Daher können Prozess-Ströme, welche dem gleichen Equipment zugewiesen sind, nicht demselben OC zugewiesen werden. Entsprechende Prozess-Ströme sind in der Process Stream Table grau hinterlegt.

Erstellen Sie nun eine Multiple Operating Cases Group (MOC Group) und fügen Sie OC Product C und OC Product F dieser hinzu:

-  Rechtsklick auf Processes
-  Add Multiple Operating Cases Group
-  Benennen Sie den Prozess "MOC Group 3" in "Chemical Process" um.
-  Rechtsklick auf "Chemical Process"
-  Assign Process und wählen Sie "OC Product C" und "OC Product F" an.



Step 4: Apply Scheduling to Processes

Der Zeitplan unserer Produktionsanlage wurde im Kapitel II vorgegeben. OC Product C läuft während 3'000 h/a und OC Product F während 4'000 h/a.

Öffnen Sie die Registerkarte [OC Schedule 1](#) und tragen Sie die Betriebsstunden für den in [Step 3](#) definierten "Chemical Process" ein.

Hinweis: PinCH berücksichtigt natürlich, dass die Prozess-Ströme der beiden OCs nicht gleichzeitig existieren können. Wenn Sie Änderungen an der Dauer von OCs vornehmen, müssen Sie darauf achten, dass sich die OCs nie überschneiden. Ansonsten wird die Änderung nicht übernommen.

-  Klicken Sie auf das + Zeichen vor "Chemical Process" (unter OC Schedule 1 in Continuous Processes).
-  Ändern Sie in der Spalte [CW Start](#) die Startwoche von OC Product C auf 1. Ändern Sie für den OC Product F die Startwoche auf 43. Damit wird eine Überschneidung der beiden OCs vermieden.
-  Wählen Sie in Spalte [Timebase](#) für beide OCs "Cont. Year" an.
-  Passen Sie in der Spalte [Duration](#) die Dauer der beiden OCs an.
-  Um keine Unterbrechung zwischen den beiden OCs zu erhalten, können Sie den Starttag (Spalten [Mo](#) bis [Su](#)), die Startzeit (Spalte [Daytime Start](#)) und die Startwoche (Spalte [CW Start](#)) des OC Product F möglichst nahe an das Ende des OC Product C setzen (Start z.B. am Montag um 07:00 Uhr in Woche 19). Dies ist aber nicht zwingend nötig.

Zusatzinformation: Die Spalte Production Campaign Start gibt an, zu welchem Zeitpunkt der OC relativ zum Jahresbeginn startet. Die Spalte Production Campaign End gibt entsprechend an, zu welchem Zeitpunkt der Prozess endet. Die Gross Operation Time gibt die Betriebsdauer des OC inklusive Unterbrechungen an (Differenz zwischen Production Campaign Start und Production Campaign End). Die Net Operation Time gibt an, wie viele Stunden der OC effektiv in Betrieb ist

(berücksichtigt Unterbrechungen über Nacht, an Wochenenden usw.). Die Net Operation Time entspricht den Gesamtbetriebsstunden pro Jahr und wird für die Berechnung der Energiekosten verwendet.

Für unser Fallbeispiel sieht die Registerkarte "OC Schedule 1" wie folgt aus:

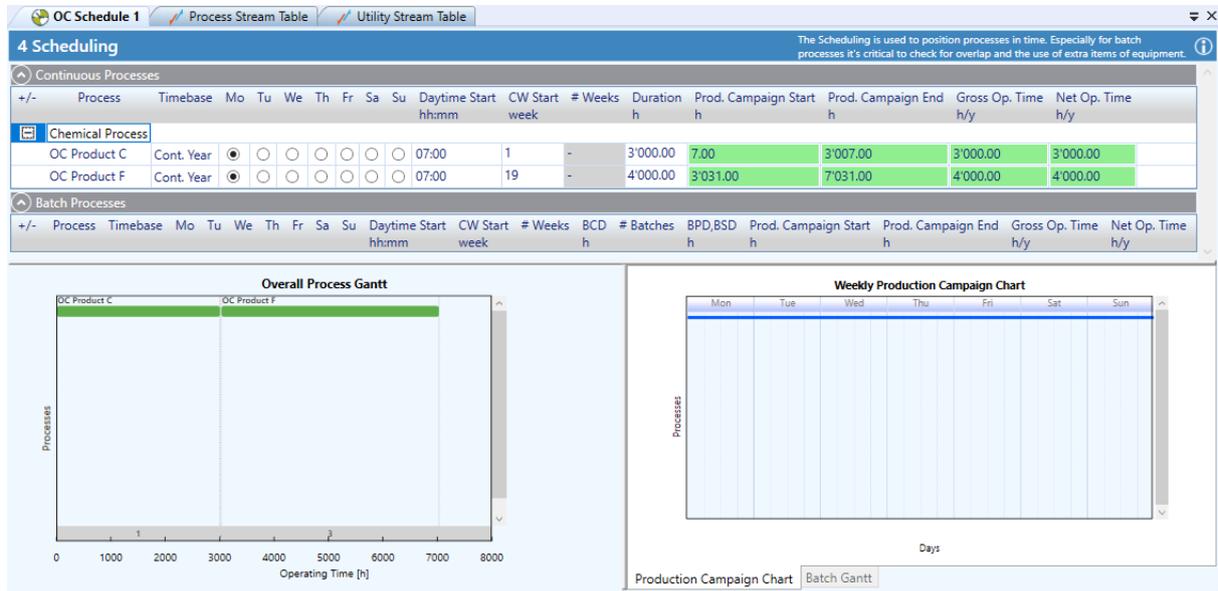


Abbildung 10: Operating Cases Scheduling

Im Diagramm **Overall Process Gantt** sind die beiden OCs mit ihrer Dauer dargestellt. Es ist erkennbar, dass OC Product F unmittelbar nach OC Product C startet. Im **Weekly Production Campaign Chart** ist die Produktionszeit des chemischen Prozesses in einer Woche dargestellt (in unserem Fall durchgehende Produktion).



Step 5: Set Economic Data

Die wirtschaftlichen Kenngrößen haben Sie bereits im [Tutorial 1](#) kennengelernt. Die Kosten für die Wärmeübertrager werden in PinCH wie im Abschnitt "Investitionskosten" auf Seite 4 beschrieben berechnet. Neben den Angaben zum Referenz-HEX (Heat Exchanger Costs in Abbildung 11) werden im [Step 5](#) die Investitionskenngrößen (Amortisation Parameters) definiert.

Ändern Sie die "Heat Exchanger Costs" und die "Amortisation Parameters" gemäss den Angaben in Abbildung 11.

Zusatzinformation: Kosten für Elektrizität, unabhängige Fixkosten sowie Personal- und Wartungskosten können nach Bedarf eingetragen werden. Vor allem die Elektrizitätskosten sind bei der Integration einer Wärmepumpe von grosser Bedeutung. Zur Bestimmung des optimalen ΔT_{min} sind diese jedoch nicht relevant, da sie einen vom ΔT_{min} unabhängigen (konstanten) Betrag darstellen.

Ihr fertiger Datensatz sollte nun folgende Werte enthalten:

5 Economic Data The economic Data data is used throughout the software PinCH for calculating the main costs associated with an heat exchanger network

Heat Exchanger Costs i

$C = C_0 + C_b (A/A_b)^m$
 $A = \text{Heat Exchanger Area in m}^2$

Type	Fixed Cost C_0 EUR	Base Cost C_b EUR	Base Area A_b m ²	Exponent m
Process Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
Hot Utility Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
Cold Utility Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
ISSP Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71

Storage: Tank Costs i

$C = C_0 + C_b (V/V_b)^m$
 $V = \text{Tank Volume in m}^3$

Storage	Fixed Cost C_0 EUR	Base Cost C_b EUR	Base Volume V_b m ³	Exponent m	Storage Type
FTVM	0	150'000.0	100	0.71	FTVM
Stratified	0	150'000.0	100	0.71	Stratified

Storage: Media Costs and Media Properties

$C = C_b \cdot m_{sm}$
 $m_{sm} = \text{Mass of Storage Media in kg}$

Media	Base Cost C_b EUR/kg	Density kg/m ³	α W/(m ² K)	c_p kJ/(kg K)
Water	0.0010	1000	2000	4.18789
Heat Transfer Oil	5.0000	800	1000	2.00000

Amortisation Parameters i

Pay Off Period y Independent EUR
 Interest Rate % Personnel %/y Investment Costs
 Annuity 0.282 1/y Maintenance %/y Investment Costs

Electricity i

Note: Utility Costs are set on Utility Stream Table Electricity Cost EUR/MWh Electric Power kW

Abbildung 11: Economic Data

Mit dem Erfassen der ökonomischen Daten in **Step 5** ist die Produktionsanlage vollständig in **PinCH** charakterisiert. In den **Steps 6-10** folgt nun die Energie- und Kostenoptimierung auf Basis der im Project Explorer eingegebenen Daten. Ihr Project Explorer sollte nun folgenden Aufbau haben:

Project Explorer The Project

1-5 Project Explorer

- ▲ **Chemical Process**
 - Process Stream Table
 - ▲ **Equipment**
 - ▲ **Shared**
 - Reactants B, E
 - Products C, F
 - ▶ **Individual**
 - ▲ **BaseCase**
 - ▲ **Processes**
 - Chemical Process
 - OC Product C
 - OC Product F
 - Operating Cases Scheduling
 - OC Schedule 1
 - ▲ **Economic Data**
 - Economic Data

Abbildung 12: Project Explorer

Step 6: Prepare Targeting Calculations

Zur Untersuchung eines Szenarios erstellen Sie eine neue Target Group und weisen ihr den in [Step 3](#) definierten "Chemical Process" zu. Fügen Sie der Target Group die in [Step 1](#) definierten Hot Utility und Cold Utility zu. Weitere Informationen zum Zuweisen von Prozessen, Utilities usw. finden Sie im [Tutorial 1](#). Ihr Target Explorer sieht nun folgendermassen aus:

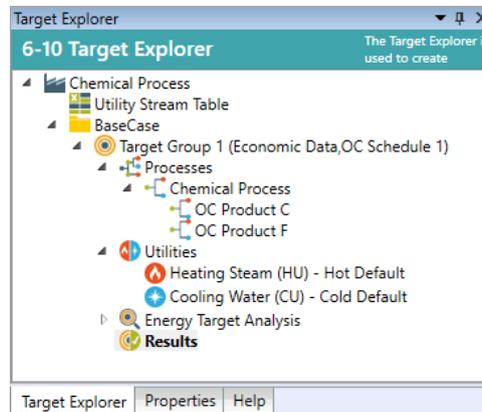


Abbildung 13: Target Explorer

Step 7: Analyze Energy Targets

Das Energy Target Analysis (ETA) Tool ermöglicht dem Benutzer, eine beliebige Kombination von Prozessen, im Speziellen sich überlappende Prozesse im MOC-Fall, aus energetischer Perspektive zu analysieren. Mit Hilfe der Prozessintegration kann im [Step 7](#) herausgefunden werden, welche Kombination von Prozessen den grössten energetischen Nutzen bringt.

Zusatzinformation: Neben der Untersuchung des Einflusses einzelner Prozesse auf das gesamte WRG-Potenzial erlaubt das Energy Target Analysis (ETA) Tool, für Batch-Prozesse das zeitgleiche (direkte) und das zeitverschobene (indirekte) WRG-Potenzial zu analysieren. Das ETA Tool hat aber noch viel mehr zu bieten. Es ist besonders hilfreich für komplexere Systeme, bei denen mehrere Operating Cases zu optimieren sind.

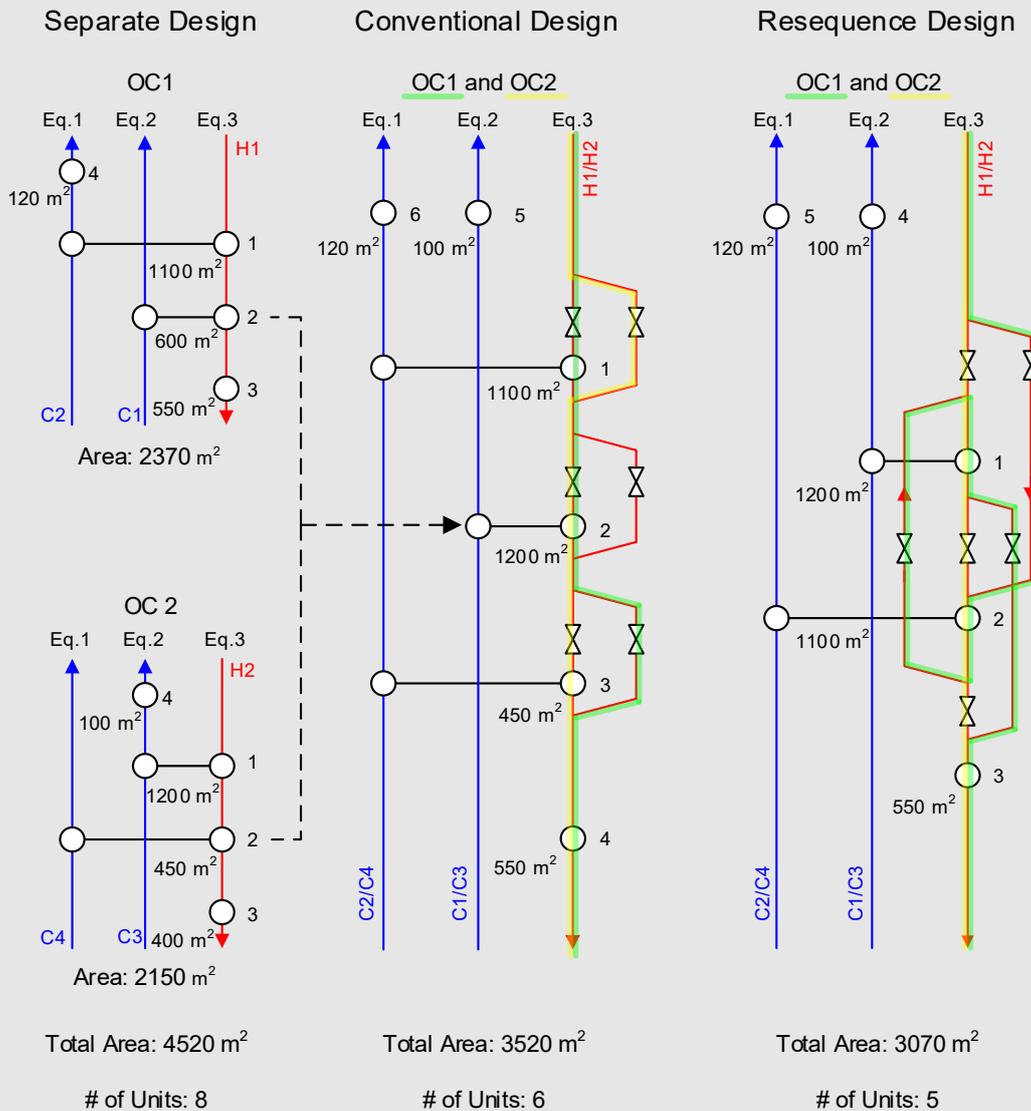
Für unser Fallbeispiel mit zwei OCs ist eine detaillierte Analyse in [Step 7](#) nicht nötig.

Step 8: Calculate Energy & Cost Targets

Im [Super Targeting](#) können die Design-Typen "Separate Design", "Conventional Design" und "Resequence Design" miteinander verglichen werden. Mit dem Separate Design wird für jeden OC ein separates Heat Exchanger Network (HEN) erstellt. Conventional Design und Resequence Design basieren auf der Verwendung von Wärmeübertragern in mehreren OCs. Dadurch kann die Anzahl der Wärmeübertrager im Gesamtsystem reduziert werden (siehe [BFE-Handbuch](#)). In unserem Fallbeispiel führen wir das Super Targeting mit dem Conventional Design aus.

Zusatzinformation: Verglichen mit der "klassischen" Pinch-Analyse eines einzelnen kontinuierlichen Prozesses geht es beim MOC Super Targeting / HEN Design zusätzlich um die Maximierung der Wiederverwendung von HEX-Fläche zwischen verschiedenen OCs. Dies stellt ein komplexes Optimierungsproblem dar. Unter der Wiederverwendungsfreiheit eines HEX wird die Möglichkeit verstanden,

denselben HEX von einem OC in einem anderen OC zwischen beliebigen Prozess-Strömen wieder zu verwenden. Die beiden Design-Typen Conventional Design und Resequence Design schränken die Wiederverwendungsfreiheit von Wärmeübertragern ein und vereinfachen dadurch das Optimierungsproblem. Nachfolgend werden die drei Design-Typen anhand eines Dreistrom-Falls (losgelöst von unserem Fallbeispiel) kurz erklärt.



Das **Separate Design** betrachtet jeden OC separat. Zwischen den OCs wird keine HEX-Fläche wieder verwendet (damit hat jeder HEX keine Wiederverwendungsfreiheit). Dadurch fällt die Anzahl an Wärmeübertragern im Separate Design höher aus als in den weiteren Design-Typen. Im Beispiel oben werden 8 Wärmeübertrager mit einer Gesamtfläche von 4'520 m² benötigt.

Das **Conventional Design** ermöglicht die Wiederverwendung der HEX-Fläche zwischen den OCs.

Die Wiederverwendungsfreiheit der Wärmeübertrager wird allerdings durch zwei Einschränkungen eingegrenzt:

- (1) Die Wärmeübertrager im Gesamt-Design können höchstens zwischen den gleichen Equipments (Leitungen) eingesetzt werden: Im Separate Design benutzen der HEX2 in OC1 (600 m²) und der HEX1 in OC2 (1'200 m²) dieselben Equipments (Eq.1 und Eq.3). Im Conventional Design können diese beiden Wärmeübertrager zu einem Wärmeübertrager reduziert werden, indem einfach derjenige mit der grösseren Fläche verwendet wird (HEX1 aus OC2 mit einer HEX-Fläche von 1'200 m²).
- (2) Zusätzlich besteht im Conventional Design die Einschränkung, dass jeder Prozess-Strom die Wärmeübertrager in der gleichen Reihenfolge durchströmen muss wie im jeweiligen OC selbst. Daraus folgt die Bedingung, dass pro Equipment immer nur ein Wärmeübertrager für alle OCs gemeinsam genutzt werden kann. Die totale HEX-Fläche hat sich im Vergleich zum Separate Design um 1'000 m² reduziert und es werden zwei Wärmeübertrager weniger benötigt.

Beim **Resequenece Design** werden wie beim Conventional Design die Wärmeübertrager zwischen den gleichen zwei Leitungen eingesetzt. Im Gegensatz zum Conventional Design erlaubt das Resequenece Design, die Wärmeübertrager in einer beliebigen Reihenfolge zu durchströmen. Dadurch können die Wärmeübertrager flexibler eingesetzt werden und die totale HEX-Fläche des Gesamt-Designs kann gegenüber dem Conventional Design um weitere 450 m² reduziert werden. Weiter werden nur noch 5 Wärmeübertrager benötigt.

Weiterführende Informationen finden Sie im [BFE-Handbuch](#).

Starten Sie das Super Targeting:

 Rechtsklick auf [Results](#)

 [Calculate Target Result with...](#)  [Combined Supertargeting \(Advanced\)](#) wählen

Um eine bessere Übersicht zu erhalten, blenden Sie die Time Charts durch Abwählen der Kästchen "Processes" und "OCs" aus und maximieren Sie das Fenster "OC Charts", indem Sie die obere Kante des Fensters bis ganz nach oben ziehen.

Im Fenster OC Charts wollen wir die Diagramme [CCs](#) (Composite Curves) und [Costs](#) (Cost Curves) analysieren (siehe Abbildung 14). Um zwischen den beiden OCs zu wechseln, können Sie auf der rechten Seite bei "OCs" auf das Auge vor dem gewünschten OC klicken. Sie können auch beide gleichzeitig anzeigen lassen (siehe Abbildung 14).

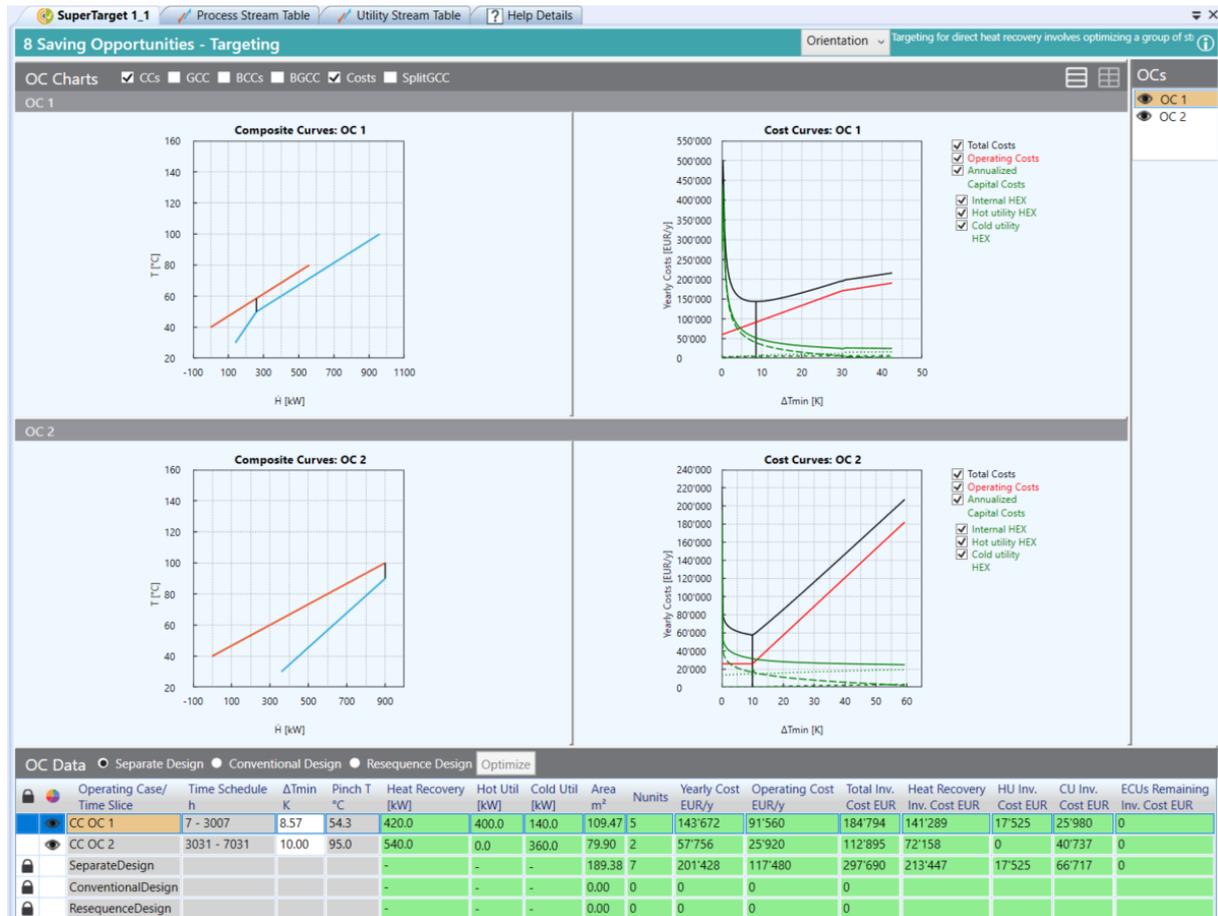


Abbildung 14: Composite Curves, Cost Curve und OC Data der beiden Operating Cases

In Abbildung 14 entspricht die Bezeichnung OC 1 unserem OC Product C und die Bezeichnung OC 2 OC Product F.

Für die Energie- und Kostenoptimierung gehen Sie wie folgt vor:

- Wählen Sie in der OC Data **Conventional Design** an
- Klicken Sie auf **Optimize**

Das ΔT_{min} von OC1 hat sich durch die Optimierung von 8.57 K auf 7.48 K verändert (Spalte " ΔT_{min} "). Für die weiteren Schritte setzen wir das ΔT_{min} von OC1 im Conventional Design auf 7.50 K und im Separate Design auf 8.50 K.

In Abbildung 14 ist ersichtlich, dass OC2 ein "Threshold Problem" darstellt: Wird die Cold CC nach links verschoben, verringert sich das ΔT_{min} und der Bedarf an CU unterhalb des Pinch-Punktes. Mit dem Verschieben entsteht aber auch gleichzeitig Bedarf an CU oberhalb des Pinch-Punktes. Insgesamt bleibt der Gesamtbedarf an CU konstant. Eine Rechtsverschiebung der Cold CC hätte nur eine Vergrößerung des CU-Bedarfs zur Folge. Daher muss das ΔT_{min} für das Separate und Conventional Design auf 10.00 K gesetzt werden.

Tabelle 5 vergleicht das Design der Produktionsanlage ohne WRG, das Separate Design und das Conventional Design miteinander.

Tabelle 5: Vergleich des Designs ohne WRG mit dem Separate und dem Conventional Design

	HU		CU		HEX- Fläche [m ²]	Invest.- kosten [€/a]	Energie- kosten [€/a]	Gesamt- kosten [€/a]
	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]				
Design ohne WRG								
OC 1	820	2'460	560	1'680	-	-	202'440	-
OC 2	540	2'160	900	3'600	-	-	216'000	-
Total	-	4'620	-	5'280	54.9	26'070	418'440	444'510
Optimiertes Design - Separate Design								
OC 1	399	1'197	139	417	110.3	52'375	91'296	143'671
OC 2	0	0	360	1'440	79.9	31'836	25'920	57'756
Total	-	1'197	-	1'857	190.2	84'211	117'216	201'427
Optimiertes Design - Conventional Design								
OC 1	385	1'155	125	375	-	-	87'600	-
OC 2	0	0	360	1'440	-	-	25'920	-
Total	-	1'155	-	1'815	136.5	61'684	113'520	175'204

Das Design ohne WRG weist zwar die geringste HEX-Fläche von 54.9 m² und dadurch die geringsten Investitionskosten von 26'070 €/a auf. Die jährlichen Energiekosten sind aber mit 418'440 €/a am höchsten, da das Heizen und Kühlen vollständig von den Utilities übernommen wird. Aus diesem Grund fallen auch die jährlichen Gesamtkosten mit 444'510 €/a am höchsten aus.

Das Separate Design berücksichtigt die WRG für jeden OC separat. Im Vergleich zum Design ohne WRG steigen dadurch die HEX-Fläche sowie die Investitionskosten. Durch die WRG können aber im Vergleich zum Design ohne WRG rund 72 % an Energiekosten eingespart werden. Die jährlichen Gesamtkosten werden um 55 % reduziert.

Das Conventional Design berücksichtigt die Möglichkeit, HEX-Fläche zwischen den OCs wiederzuverwenden. Aus diesem Grund lässt sich die totale HEX-Fläche verglichen mit dem Separate Design reduzieren, was die etwas geringeren Investitionskosten begründet. Die jährlichen Energiekosten fallen geringfügig kleiner aus als beim Separate Design. Insgesamt scheint das Conventional Design mit jährlichen Gesamtkosten von 175'204 €/a aus wirtschaftlicher Sicht der vorteilhafteste Design-Typ zu sein. Mit dem Conventional Design lassen sich im Vergleich zum Design ohne WRG bereits während der Amortisationsperiode von 4 Jahren dank der Energie- und Kostenoptimierung mit PinCH 1.08 Mio € einsparen.

Schauen wir uns abschliessend die GCC (Grand Composite Curve) in Abbildung 15 an.

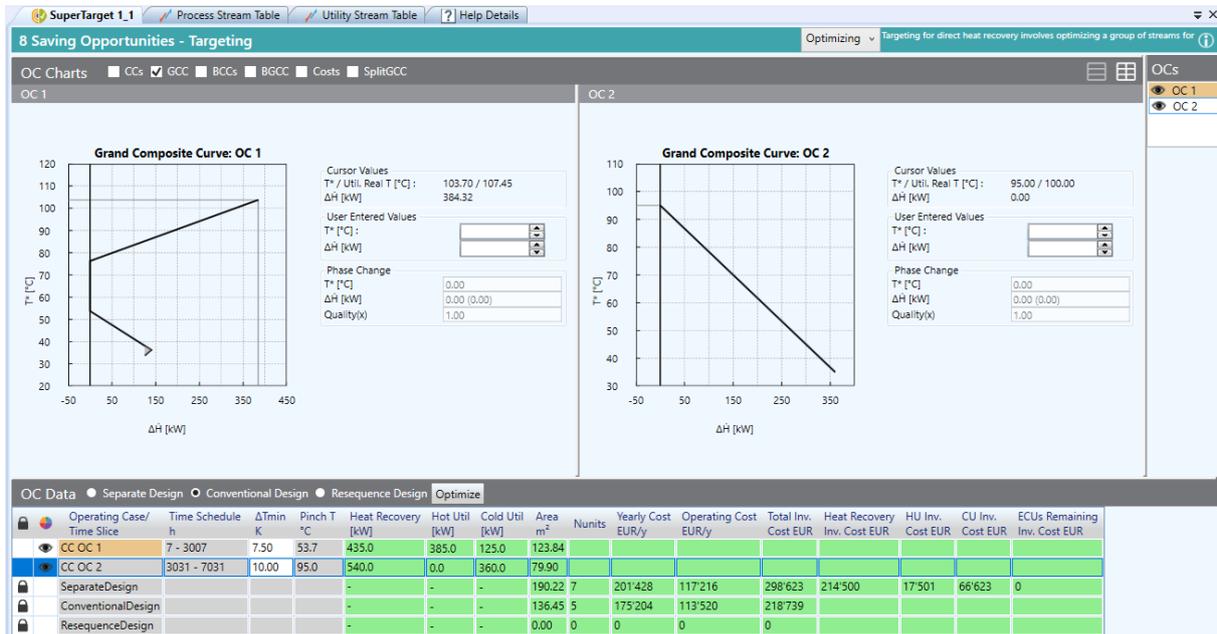


Abbildung 15: Grand Composite Curve der beiden Operating Cases

Die GCC wird in [Tutorial 1](#) erklärt, hier soll nur kurz auf potentielle Optimierungen eingegangen werden. In OC1 ist oberhalb des Pinch-Punktes ein grosser Wärmebedarf vorhanden. Hier kann es interessant sein, die Systemgrenze zu erweitern und den Produktionsbetrieb auf weitere, noch nicht erfasste Wärmequellen zu untersuchen (Stichwort Total Site Analysis, TSA).

Step 9: Integrate Energy Conversion Units (ECUs)

In OC1 liegt zwischen 80°C bis 107°C ein Wärmebedarf von 384 kW vor (siehe Abbildung 15), so dass die Möglichkeit der Integration einer ECU (z.B. Blockheizkraftwerk, BHKW) geprüft werden müsste. Bei einer Integration einer ECU in eine Produktionsanlage mit MOC besteht die zusätzliche Schwierigkeit, dass die ECU für beide OCs ausgelegt werden muss. Um den Nutzen einer ECU zu evaluieren, sind weitergehende Untersuchungen notwendig, welche den Umfang dieses Tutorials sprengen würden.

Step 10: Design Heat Exchanger Network (HEN)

Gratulation! Sie haben das Targeting als Grundlage einer energetischen und wirtschaftlichen Optimierung des Prozesses erfolgreich abgeschlossen. Der letzte Schritt in PinCH besteht nun darin, für beide OCs ein MER HEN (Maximum Energy Recovery Heat Exchanger Network) zu entwerfen. Da zu diesem Zeitpunkt noch nicht klar ist, welche Wärmeübertrager zwischen den OCs überlappend sind, muss erst ein MER HEN pro OC erstellt werden. Danach kann die Ingenieurin / der Ingenieur im Gesamt-Design entscheiden, welche Wärmeübertrager eingespart werden können.

Fügen Sie, wie bereits in [Tutorial 1](#) erklärt, ein MER HEN zum "Super Target 1_1" hinzu. Achten Sie darauf, dass im "Super Target 1_1" das "Conventional Design" aktiviert ist.

 Rechtsklick auf "Super Target 1_1"

 Add HEN...  Add MER HEN

Hinweis: Das HEN des gewünschten OC können Sie durch Auswählen des OCs oberhalb vom MER HEN anzeigen lassen.

Betrachten wir zunächst OC1. Beginnen wir mit dem Teilsystem unterhalb des Pinch-Punktes. Gemäss den Design-Regeln zur Erstellung eines MER HEN (vgl. [BFE-Handbuch](#)) beginnen wir mit dem grössten Wärmekapazitätsstrom (grösstes CP) in Richtung des Pinch-Punktes. In unserem Fallbeispiel ist das der Strom Reactant B ($CP = 6 \text{ kW/K}$), dessen Heizanforderung wir mit einem möglichst grossen Wärmeübertrager vollständig erfüllen wollen. Hierzu eignet sich der Strom Product C ($CP = 14 \text{ kW/K}$), welcher über ein genügend grosses Wärmeangebot verfügt. Zur Fertigstellung des MER HEN im Teilsystem unterhalb des Pinch-Punktes verknüpfen wir den Strom Product C mit dem Utility-Strom Cold Utility.

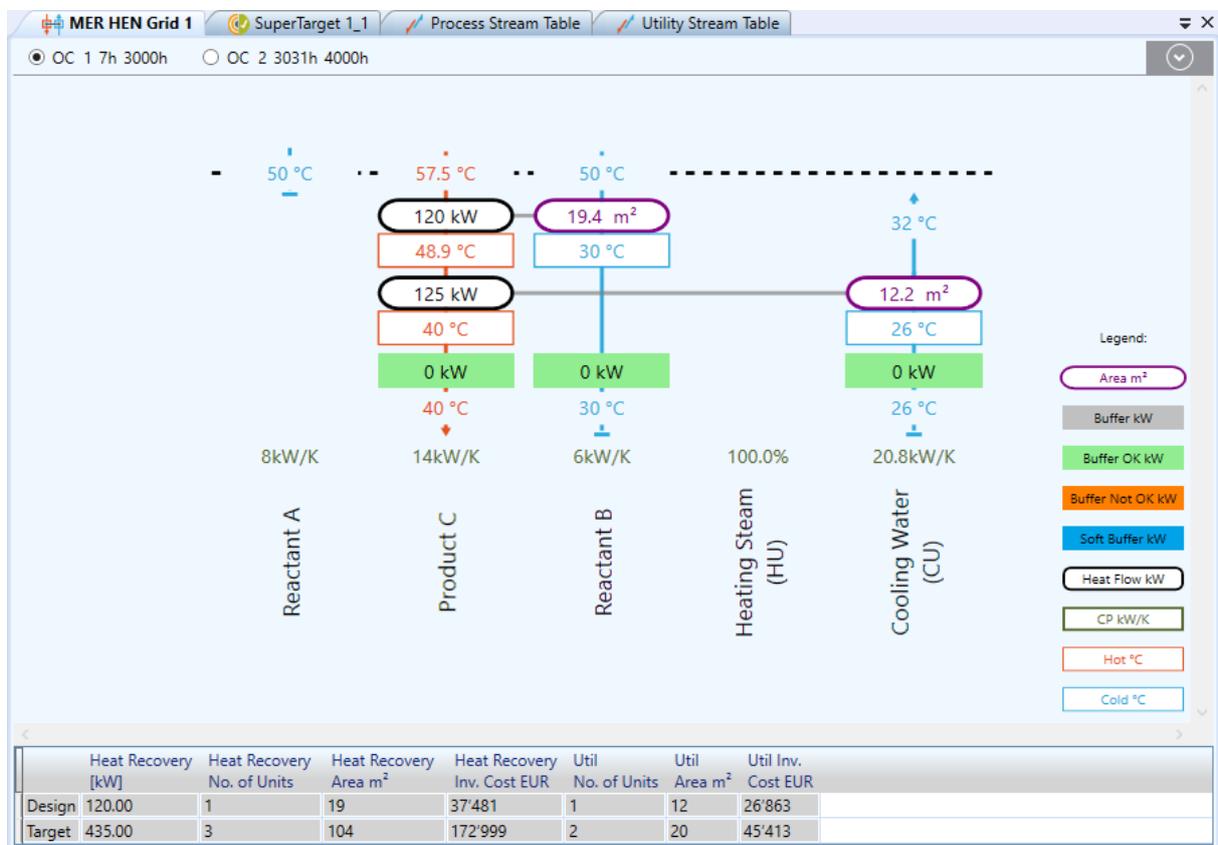


Abbildung 16: MER HEN im Teilsystem unterhalb des Pinch-Punktes für OC 1

Hinweis: Unterhalb des MER HEN können Sie laufend die erreichte Wärmerückgewinnung (Spalte Heat Recovery), die bereits verwendete HEX-Fläche (Heat Recovery Area und Utility Area) und deren Kosten (Heat Recovery Inv. Cost und Utility Inv. Cost) in der Zeile "Design" nachvollziehen. Als Vergleichsgrössen werden die Target-Daten für das HEN ohne Wiederverwendung von Wärmeübertragern angegeben.

Wenden wir uns dem Teilsystem oberhalb des Pinch-Punktes zu: Versuchen Sie selbstständig die erforderlichen Wärmeübertrager zu platzieren.

Wie Sie sicher bemerkt haben, ist eine Verbindung der Ströme hier nicht ohne Weiteres möglich. Die CP-Regel wird verletzt, der abzukühlende Strom Product C muss gesplittet werden. Teilen Sie die Wärmekapazitätsströme auf 8 kW/K und 6 kW/K auf (CP von Product C darf nicht grösser sein als CP von Reactant B).

Machen wir mit dem grössten Wärmekapazitätsstrom in Richtung des Pinch-Punktes weiter. Verbinden Sie jeweils einen Teilstrom des Products C mit den Strömen Reactant A und Reactant B. Bevor wir die restlichen Wärmeübertrager setzen, werden die Äste des gesplitteten Products C wieder vereint.

Zur Vervollständigung des MER HEN verknüpfen Sie die beiden Ströme Reactant A und Reactant B mit dem Utility-Strom HU.

Das fertige MER HEN des OC1 sieht wie folgt aus:

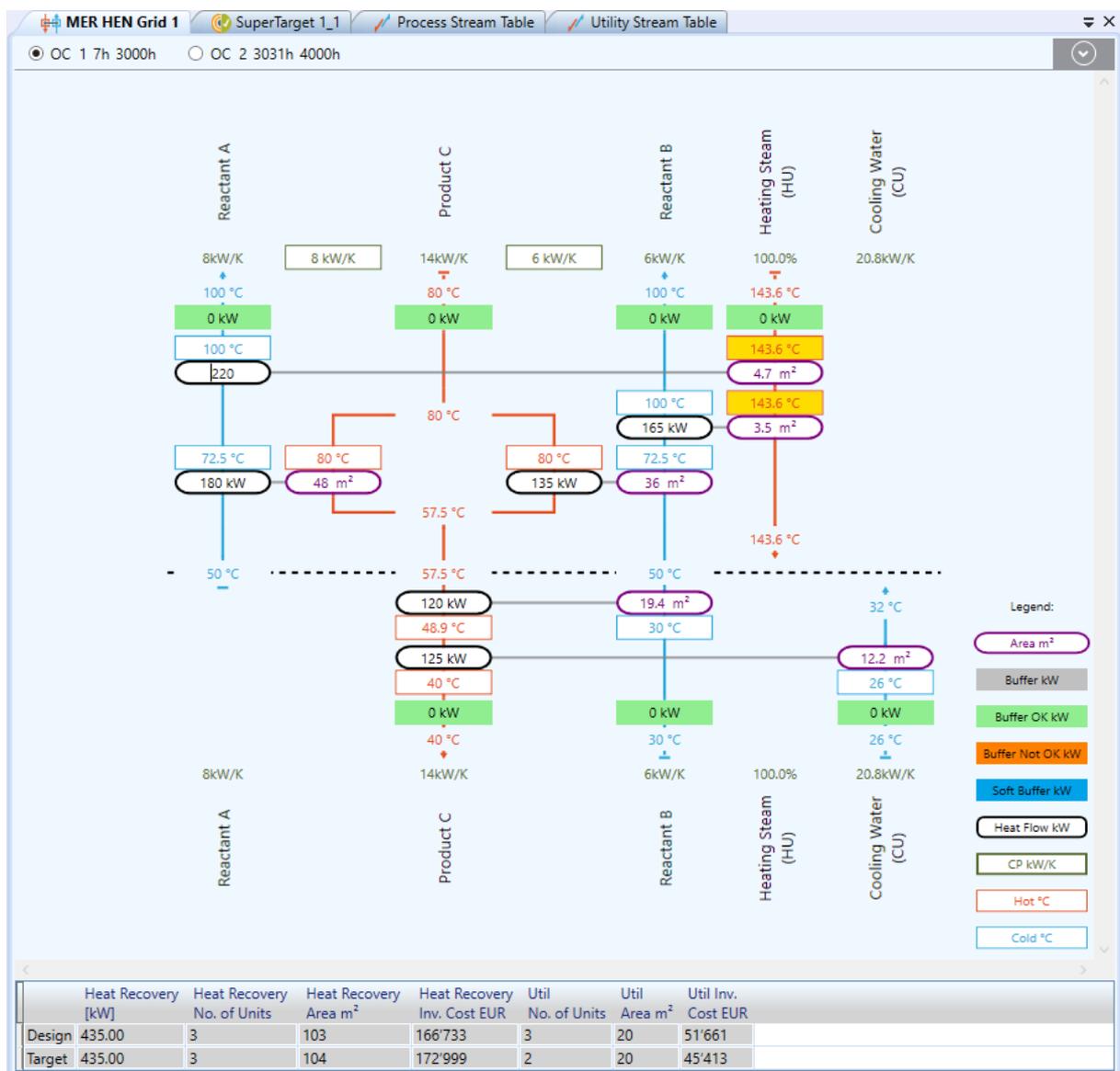


Abbildung 17: MER HEN des Betriebsfalls OC1

Versuchen Sie nun selbstständig, das MER HEN für OC2 zu erstellen.

Das fertige MER HEN des OC2 sieht wie folgt aus:

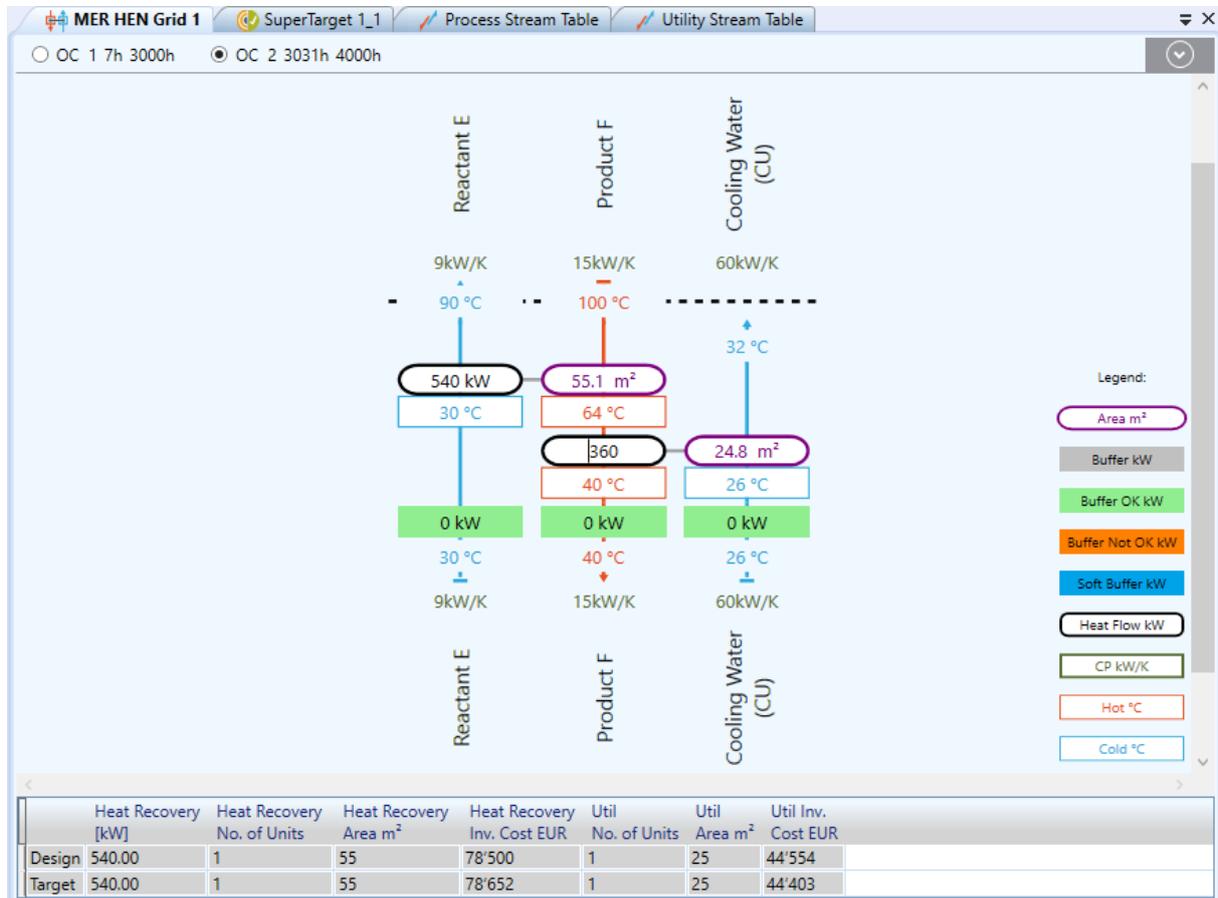


Abbildung 18: MER HEN des Betriebsfalls OC2

Nach der Erarbeitung der MER HENs für beide OCs kann der Vergleich zwischen "Design" und "Target" gezogen werden:

Für OC Product C (OC 1) ergeben sich Investitionskosten von 218'394 € (Summe aus Heat Recovery Inv. Cost und Util Inv. Cost). Dies entspricht beinahe den Target-Investitionskosten (Differenz lediglich 18 €).

Für OC Product F (OC 2) ergeben sich Investitionskosten von 123'054 €, was beinahe exakt den Target-Investitionskosten (123'055 €) entspricht. Diese beiden MER HEN Designs kommen den Target-Werten aus [Step 8](#) sehr nahe.

IV Optimierte Produktionsanlage

Aus der Kombination der beiden MER HENs kann nun ein Verfahrensfließbild erstellt werden, welches beide OCs abdeckt. Das Ziel ist dabei, die Wärmeübertrager möglichst in beiden OCs einzusetzen und dadurch die Anzahl der Wärmeübertrager zu reduzieren. In unserem Fallbeispiel betrifft dies die in Abbildung 19 und 20 hellgrün und dunkelgrün markierten Wärmeübertrager. Der hellgrüne HEX weist in OC Product C eine von PinCH ermittelte HEX-Fläche von 19.4 m^2 und in OC Product F von 55.1 m^2 auf:

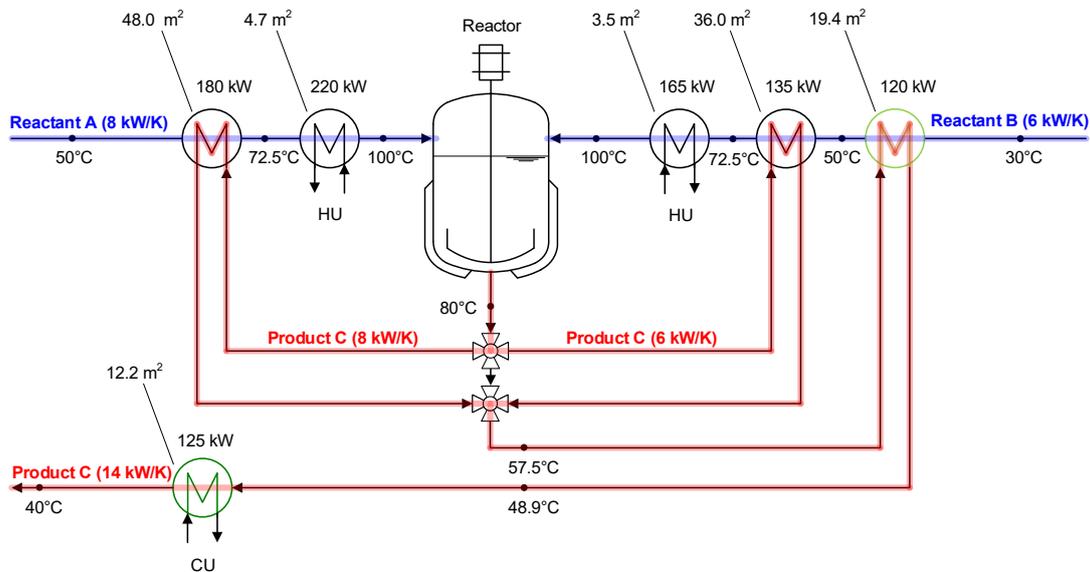


Abbildung 19: Verfahrensfließbild der optimierten Produktionsanlage. Die Prozessanforderungen des OC Product C (OC 1) sind farbig eingezeichnet.

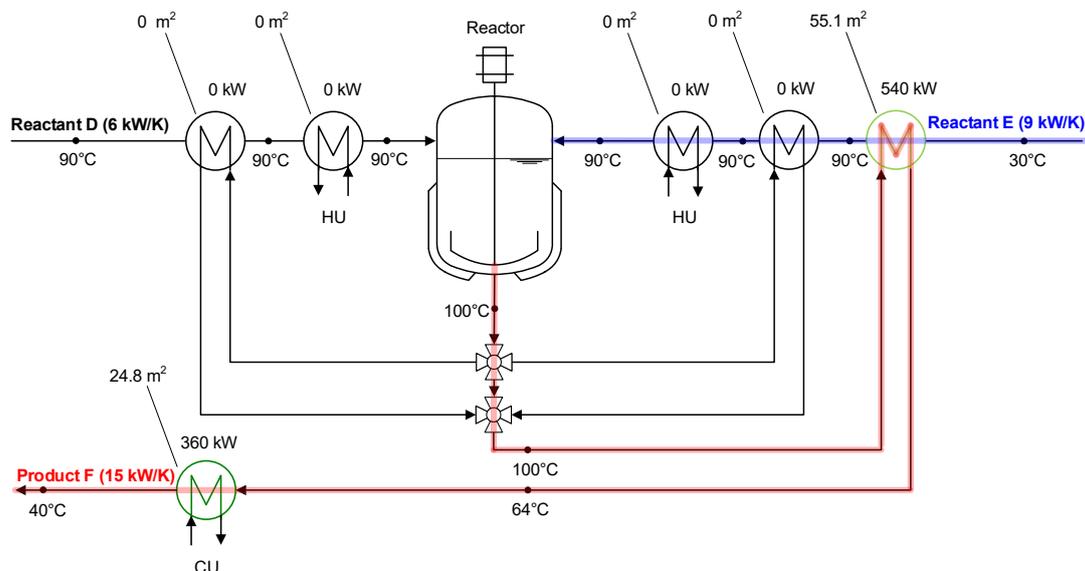


Abbildung 20: Verfahrensfließbild der optimierten Produktionsanlage. Die Prozessanforderungen des OC Product F (OC 2) sind farbig eingezeichnet.

Um die Prozessanforderungen beider OCs zu erfüllen, wird nun der hellgrüne HEX mit der grösseren Fläche (55.1 m^2 , OC2) verwendet und die andere Fläche (19.4 m^2 , OC1) eingespart. Dies ergibt eine Kosteneinsparung von $24'701 \text{ €}$ durch das Weglassen des einten hellgrünen HEX.

Der dunkelgrün markierte HEX mit einer Fläche von 12.2 m^2 , der Kosten von $34'335 \text{ €}$ verursachen würde, kann eingespart werden. Dadurch wird der HEX aus OC2 in OC1 wieder verwendet. Durch die Wiederverwendung der HEX-Fläche werden im Vergleich zum Separate Design Investitionskosten von $24'701 \text{ €} + 34'335 \text{ €} = 59'035 \text{ €}$ eingespart.

In Tabelle 6 wird das Design ohne WRG mit dem optimierten Design verglichen.

Tabelle 6: Vergleich der geplanten Anlage ohne WRG mit der optimierten Anlage

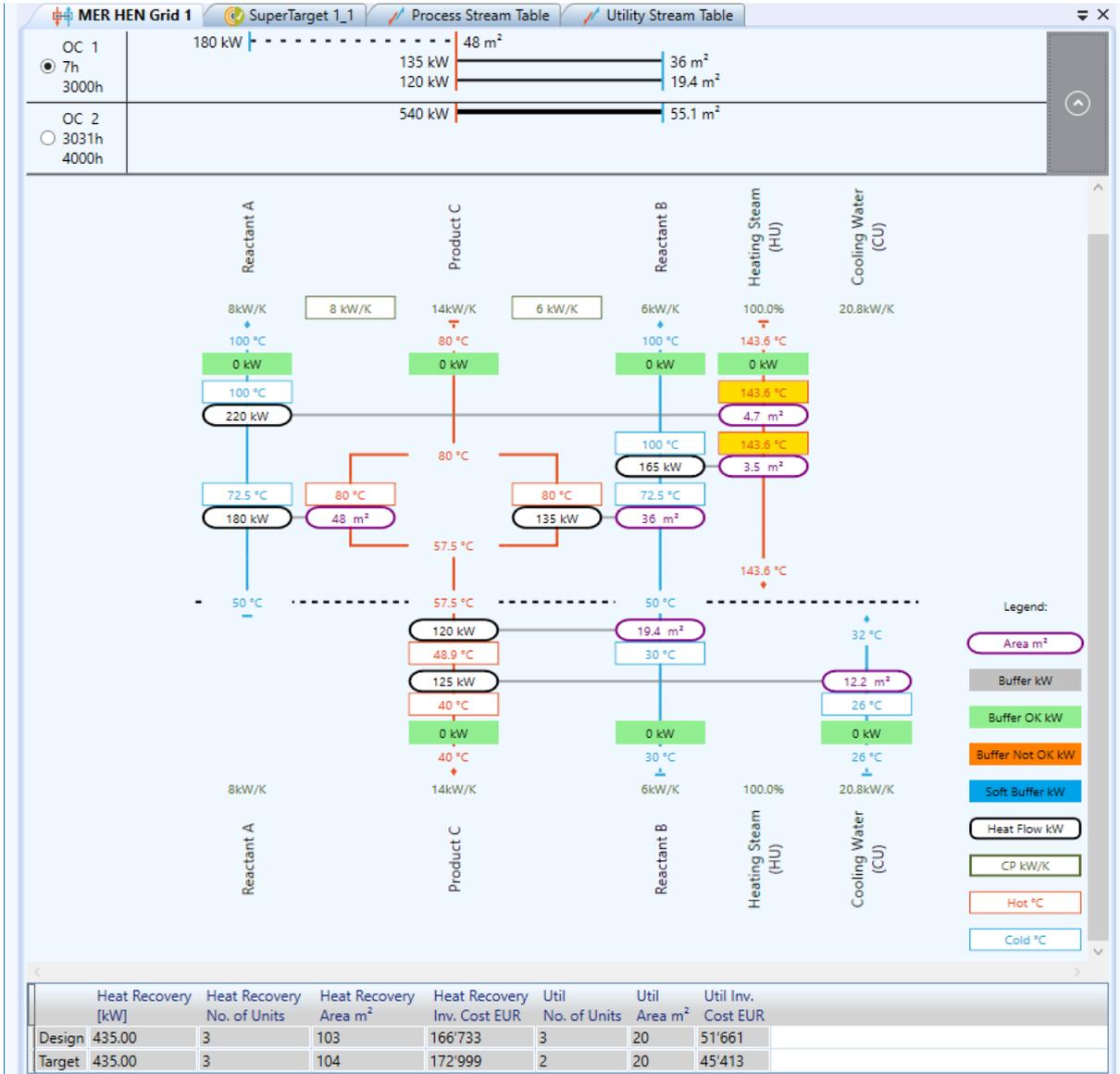
	HU		CU		Inv.-kosten [€/a]	Energiekosten [€/a]	Jährliche Gesamtkosten [€/a]
	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]			
Design ohne WRG							
OC 1	820	2'460	560	1'680	-	202'440	-
OC 2	540	2'160	900	3'600	-	216'000	-
Total	-	4'620	-	5'280	26'070	418'440	444'510
Optimiertes Design							
OC 1	385	1'155	125	375	-	87'600	-
OC 2	0	0	360	1'440	-	25'920	-
Total	-	1'155	-	1'815	79'646	113'520	193'166
Einsparung							
OC 1	435	1'305	435	1'305	-	114'840	-
OC 2	540	2'160	540	2'160	-	190'080	-
Total	-	3'465	-	3'465	-53'576	304'920	251'344

Mit dem optimierten Design lassen sich die jährlichen Gesamtkosten um $251'344 \text{ €/a}$ reduzieren. Dies entspricht einer Reduktion um 57% .

Hinweis: Bei der Erarbeitung eines Verfahrensfließbildes, welches beide OCs abdeckt, unterstützt Sie PinCH mit zwei weiteren HEN Design Tools:

Das **Mini-Map-Tool** findet sich oberhalb des HEN, wenn Sie den Pfeil  bei der Auswahl der OCs anklicken. Es zeigt die Wärmeübertrager zwischen Prozess-Strömen im aktivierten OC und zusätzlich die Wärmeübertrager derselben Leitungen aller anderen OCs. Die Wärmeübertrager werden entweder als gestrichelte schwarze Linie (wenn keine weiteren Wärmeübertrager zwischen den benutzten Leitungen existieren), als schwarze Linie (wenn weitere Wärmeübertrager zwischen den benutzten Leitungen existieren) und als dicke schwarze Linie (der HEX, der die grösste HEX-Fläche besitzt, wenn ein oder mehrere Wärmeübertrager zwischen den benutzten Leitungen existieren) dargestellt.

In der Mini-Map im unteren Bild ist ersichtlich, dass der HEX mit einer HEX-Fläche von 55.1 m^2 aus OC 2 theoretisch zwei weitere HEX in OC 1 ersetzen könnte. Die weitere Analyse beginnt mit dem HEX mit 19.4 m^2 .



Nun wäre es interessant zu sehen, welche Auswirkungen eine Vergrößerung der HEX-Fläche von 19.4 m² auf 55.1 m² des zu ersetzenden HEX hätte. Genau diese Anforderung erfüllt das zweite Tool:

Mit dem **Area-Temperature Calculation Tool** können die Eintritts- und Austritts-Temperaturen, die HEX-Fläche und das ΔT eines HEX genauer untersucht werden. Um es zu öffnen, tätigen Sie einen Rechtsklick auf den zu untersuchenden HEX direkt im HEN und wählen Sie "Display Area-Temperature Tool". Durch Anklicken der Hakenfelder neben einer Temperatur können zwei Temperaturen des HEX fixiert werden. In der Mitte wird die HEX-Fläche von 19.4 m² auf 55.1 m² angepasst. Durch Klicken auf die Schaltfläche "Calculate" kann nachvollzogen werden, was bei der Erhöhung der HEX-Fläche passiert:

The image shows two screenshots of the 'Area-Temperature Calculation Tool' interface. The left screenshot shows an initial calculation with a hot stream inlet at 57.5 °C and outlet at 48.93 °C, and a cold stream inlet at 30 °C and outlet at 50 °C. The heat transfer area is 19.44 m². A yellow bar at the bottom prompts the user to 'Select two values and adjust the area in the center'. The right screenshot shows the result after increasing the area to 55.1 m². The hot stream outlet temperature has increased to 62.1 °C, and the cold stream outlet temperature has increased to 60.72 °C. The heat transfer rate is now 184.34 kW. A yellow bar at the bottom indicates 'Minimum ΔT of 7.5 violated on ΔT hot'. Below the screenshots, a summary diagram shows a 120 kW heat exchanger with a hot stream inlet at 48.9 °C and a cold stream inlet at 30 °C, with a heat transfer area of 19.4 m².

Als Erstes unterschreitet der HEX das ΔT_{min} ; anstelle eines ΔT von mindestens 8.50 K resultiert ein ΔT des HEX von 1.37 K. Als Zweites wird durch den vergrößerten HEX Wärme über den Pinch-Punkt transferiert (vgl. Pinch-Hauptregeln im [BFE-Handbuch](#)).

Wie das endgültige Design ausgearbeitet werden muss, obliegt der Ingenieurin / dem Ingenieur. In diesem Fall sollte untersucht werden, ob ein Bypass verwendet werden kann, um die Temperaturanforderungen einzuhalten.

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Sie sind nun mit den elementarsten Schritten vertraut, um eine Pinch-Analyse eines Prozesses mit verschiedenen Betriebsfällen mit PinCH durchzuführen. Wann immer Sie Fragen haben, können Sie sich ungeniert an uns wenden. Das PinCH-Team der Hochschule Luzern sowie das Centre de Compétence PinCH Francophone der Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud stehen Ihnen gerne zur Verfügung. Bitte beachten Sie auch die Möglichkeit eines "Coachings" zur Begleitung und Qualitätssicherung Ihrer Pinch-Analysen. Mit diesem "Learning by Doing" haben wir bereits mehrfach ausgezeichnete Erfahrungen gesammelt. In jedem Fall wünschen wir Ihnen weiterhin viel Spass und Erfolg mit PinCH und bedanken uns herzlich für Ihre Zeit! Für weitere Informationen besuchen Sie bitte unsere Website www.pinch-analyse.ch. Nachfolgend finden Sie unsere Kontaktdaten.

Ihr PinCH-Team der Hochschule Luzern.

Kontakt Deutsch und Englisch:

Hochschule Luzern
Technik und Architektur
Kompetenzzentrum Thermische
Energiesysteme und Verfahrenstechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
Prof. Dr. Beat Wellig
T +41 41 349 32 57
pinch@hslu.ch

Kontakt Französisch:

Haute Ecole d'Ingénierie et de
Gestion du Canton de Vaud
Institut de Génie Thermique
Centre de compétence PinCH francophone
Avenue des Sports 20
CH-1401 Yverdon-les-Bains
Dr. Pierre Krummenacher
T +41 24 557 61 54
pinch@heig-vd.ch



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