

# PinCH Tutorial 3

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:

<a href="#">PinCH Tutorial 0</a>	Quick Overview
<a href="#">PinCH Tutorial 1</a>	Kontinuierliche Produktionsanlage
<a href="#">PinCH Tutorial 2</a>	Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen
<b><a href="#">PinCH Tutorial 3</a></b>	<b>Nicht-kontinuierliche Produktionsanlage</b>
<a href="#">PinCH Tutorial 4</a>	Integration thermischer Energiespeicher

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

Auf der Website [www.pinch-analyse.ch](http://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](mailto: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](#) Quick Overview.

**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](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)

Sie haben das [PinCH Tutorial 3](#) vor sich. Darin geht es um die Analyse und Optimierung einer Produktionsanlage in der chemischen Industrie. Es handelt sich um einen Nicht-kontinuierlichen Produktionsanlage. Das [Tutorial 3](#) ist wie folgt aufgebaut:

## Inhaltsverzeichnis

I. Einführung <a href="#">Tutorial 3</a>	2
II. Fallbeispiel: Herstellung eines Nährsalzes	3
III. 10 Steps in PinCH	9
IV. Optimierter Prozess	22

## I Einführung [Tutorial 3](#)

**Lernziel:** Durchführung einer Pinch-Analyse für eine nicht-kontinuierlichen Produktionsanlage mit [PinCH](#).

**Dauer:** 2-3 Stunden

Bei der Energie- und Kosten-Optimierung von nicht-kontinuierlichen Prozessen werden weitere Aspekte in [PinCH](#) vorgestellt. Darunter fallen das definieren von Pre- und Postprocessing von Equipments und das Optimieren des Zeitplans von nicht-kontinuierlichen Prozessen in [PinCH](#). Im vorliegenden [Tutorial 3](#) werden Sie in folgenden Steps durch den Optimierungsprozess geführt ([Step 9](#) wird für dieses Fallbeispiel nicht benötigt):

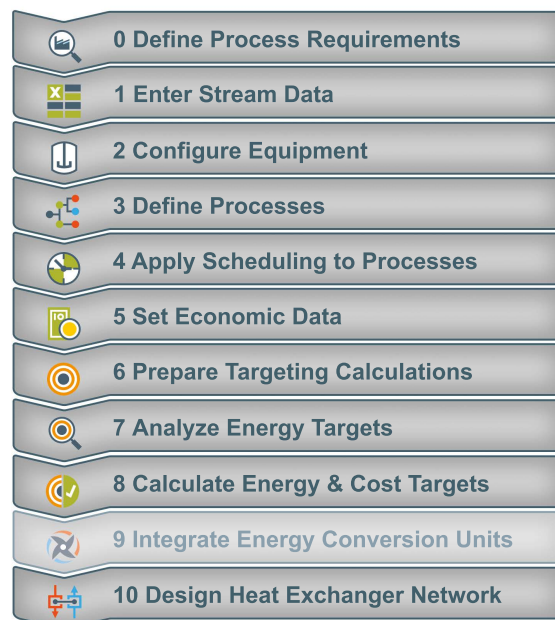


Abbildung 1: Ablauf in [PinCH](#) für die Optimierung eines nicht-kontinuierlichen Prozesses

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

## II Fallbeispiel: Herstellung eines Nährsalzes

### Prozessbeschreibung

In einer Produktionsanlage wird zur Herstellung eines Nährsalzes (Düngemittelindustrie) ein Batch-Reaktor mit anschliessender Kühlungskristallisation betrieben (siehe Abbildung 2). Als Ausgangsrohstoff dient das anorganische Salz (Inorganic Salt), das im wässrigen Lösungsmittel (Solvent) aufgelöst wird. Das Lösungsmittel (6 t pro Batch) wird hierzu auf 80°C vorgewärmt und in den Rührkessel B100 vorgelegt. Unter Rühren werden 1.5 t des anorganischen Salzes endotherm aufgelöst, wodurch sich die Lösung auf 60°C abkühlt. Die fertig gemischte Salzlösung wird anschliessend in den Reaktor C100 vorgelegt. Zur Nährsalzbildung wird das Additiv (Additive, 2 t) zugegeben und die Lösung im Reaktor anschliessend mit Heizdampf (Heating Steam) eingedampft. Der Reaktor wird dazu mantelseitig mit Heizdampf beheizt. Insgesamt werden durch die Eindampfung 2 t Wasser verdampft, der Brüden (Vapor) wird zurzeit mit Kühlwasser (Cooling Water) kondensiert. Die nach der Eindampfung 100°C warme Lösung wird über den Mantel mit Cooling Water auf 60°C gekühlt und in den Zwischenbehälter B101 gefüllt. Das Nährsalz (Nutrient Salt) wird anschliessend über eine Kristallisationsstufe (Kühlungskristallisation) als Reinstoff gewonnen. Hierzu wird der Kristallisator B102 zunächst mit Lösung (1 t) aus dem Zwischenbehälter B101 befüllt. Die Kühlungskristallisation wird durch die Zugabe von Impfkristallen bei gleichzeitiger Umlaufkühlung angefahren.

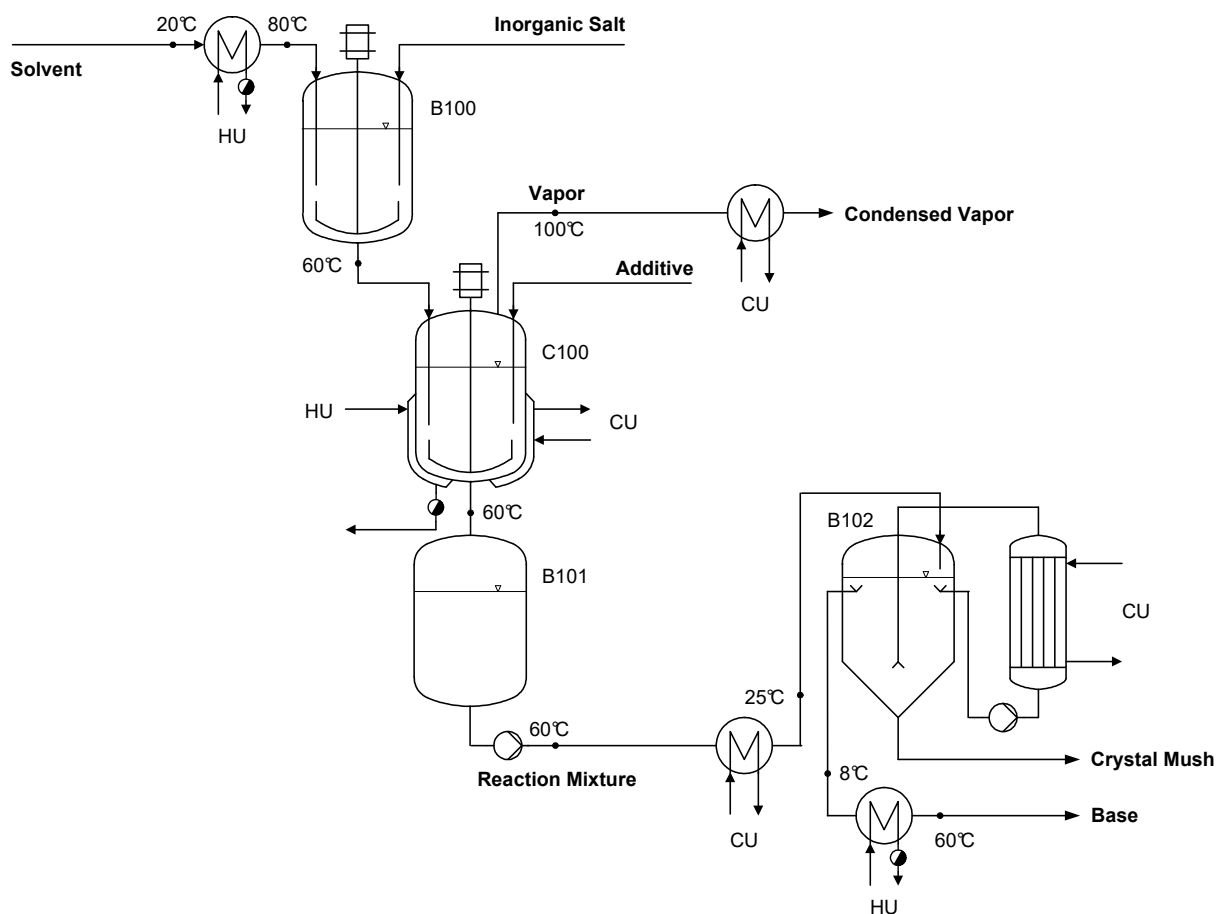


Abbildung 2: Verfahrensflussbild der bestehenden Produktionsanlage

Nach der Züchtung wachstumsfähiger Kristalle wird die Kühlung intensiviert und gleichzeitig frische Lösung aus dem Zwischenbehälter zugegeben. Die frische Lösung wird vor Eintritt in den Kristallisor auf 25°C vorgekühlt. Mutterlauge (Base) und Kristallbrei (Crystal Mush) werden währenddessen aus dem Kristallisor entnommen. Nach dem vollständigen Verbrauch der Lösung aus dem Zwischenbehälter wird die Kristallisation gestoppt, wobei jedoch weiterhin (zur Entleerung des Kristallisators) Mutterlauge und Kristallbrei entnommen wird. Die Mutterlauge (5 t pro Batch) ist zur Weiterverarbeitung während der gesamten Entnahme von 8°C auf 60°C zu erwärmen. Zur Vereinfachung wollen wir in diesem Tutorial auf die nachfolgende Wäsche des Kristallbreis sowie die Verarbeitung der Mutterlauge verzichten.

Tabelle 1: Mengenangaben pro Batch, spezifische Wärmekapazitäten und Wärmeübertragungskoeffizienten

Stoff	$m$ [t]	$c_p$ [kJ/(kg K)]	$\alpha$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
Lösungsmittel (Solvent)	6.0	4.20	2'000
Anorganisches Salz (Inorganic Salt)	1.5	1.60	200
Additiv (Additive)	2.0	1.65	1'000
Reaktionsgemisch (Reaction Mixture)	7.5	3.50	500
Brüden (Vapor)*	2.0	2.00	4'000
Kristallbrei (Crystal Mush)	2.5	3.00	300
Mutterlauge (Base)	5.0	3.00	500

\* Die Kondensationsenthalpie der Brüden bei 1 bar(a) beträgt 2'257 kW/kg

### Zeitplan (Scheduling)

Die Herstellung des Nährsalzes erfolgt in einem Batch-Prozess. Von Montag bis Samstag wird das ganze Jahr (48 Wochen) zweimal täglich ein Batch durchgeführt. Die Betriebszeit eines Batches beträgt 11 h. In Abbildung 3 ist das Gantt-Diagramm für einen Batch aufgezeigt. In Tabelle 2 sind die zugehörigen Prozessschritte aufgelistet.

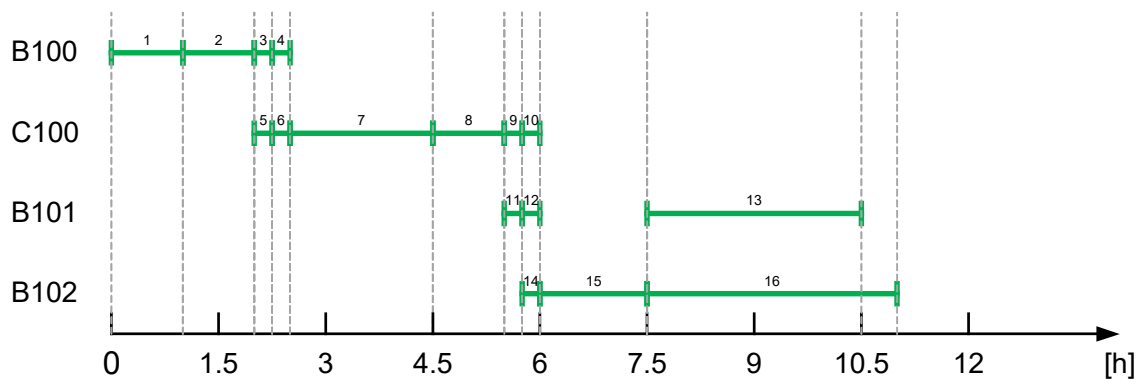


Abbildung 3: Gantt-Diagramm eines Batches der Herstellung von Nährsalz

Tabelle 2: Prozessschritte pro Batch

Equip.	#	Prozessbeschreibung	Betriebsart	Start	Dauer
B100	1	Vorwärmen des Lösungsmittel, Befüllen (6 t)	Processing	0 h 00'	1 h 00'
	2	Zugabe Salz, Auflösung unter Rühren (1.5 t)	Postprocessing	1 h 00'	1 h 00'
	3	Entleeren (7.5 t)	Postprocessing	2 h 00'	0 h 15'
	4	Reinigung	Postprocessing	2 h 15'	0 h 15'
C100	5	Befüllen (7.5 t)	Preprocessing	2 h 00'	0 h 15'
	6	Zugabe Additiv (2 t)	Preprocessing	2 h 15'	0 h 15'
	7	Eindampfen Lösung, Kondensation Brüden (2 t)	Processing	2 h 30'	2 h 00'
	8	Mantelkühlung	Postprocessing	4 h 30'	1 h 00'
	9	Entleeren (7.5 t)	Postprocessing	5 h 30'	0 h 15'
	10	Reinigung	Postprocessing	5 h 45'	0 h 15'
B101	11	Befüllen (7.5 t)	Preprocessing	5 h 30'	0 h 15'
	12	Entleeren (1 t)	Preprocessing	5 h 45'	0 h 15'
	13	Entleeren, Kühlung des Reaktionsgemisches (6.5 t)	Processing	7 h 30'	3 h 00'
B102	14	Befüllen (1 t)	Preprocessing	5 h 45'	0 h 15'
	15	Anfahren Kristallisation	Preprocessing	6 h 00'	1 h 30'
	16	Kristallisation, Entleeren Mutterlauge (7.5 t)	Processing	7 h 30'	3 h 30'

**Hinweis:** Aus Sicht der verfahrenstechnischer Sicht handelt es sich bei der beschriebenen Kristallisation strenggenommen um einen in ein Batch-Prozess integrierten kontinuierlichen Prozess. Aufgrund der „Einbettung“ in einen Batch-Prozess ist für eine Pinch-Analyse der gesamte Prozess als Batch-Prozess zu betrachten.

### Energieversorgung (Utilities)

Für das Heizen und Kühlen der Prozess-Ströme stehen die **Utilities** aus Tabelle 3 zur Verfügung. Als Hot Utility (HU) wird Heizdampf (Heating Steam) verwendet. Der Heizdampf liegt als Sattdampf 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 einer Kälteanlage zur Verfügung gestellt wird.

Tabelle 3: Utility-Daten

Utility-Strom	$T_{in}$ [°C]	$T_{out}$ [°C]	$p$ [bar(a)]	$\alpha$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$c$ [€/kWh]
Heating Steam (HU)	x=1	x=0	2.5	5'000	0.08
Cooling Water (CU)	8	14	1.0	2'000	0.03

Die jährlichen Betriebskosten  $C_{Op}$  [€/a] setzen sich aus den jährlichen Betriebskosten pro Time Slice (TS) zusammen.

**Hinweis:** Ein Time Slice ist ein Zeitabschnitt in welchem Heiz- und/oder Kühlbedarf vorhanden ist. Der Übergang von einem Time Slice in einen anderen Kennzeichnet sich dadurch, dass sich Änderungen in Heiz- oder Kühlbedarf ereignet.

Unter Verwendung der jährlichen Betriebsstunden  $\tau$  [h/a], dem Bedarf an HU / CU  $\dot{Q}$  [kW] und den spezifischen Kosten der HU / CU  $c_{HU}, c_{CU}$  [€/kWh] werden die jährlichen Betriebskosten wie folgt berechnet:

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

Um die jährlichen Betriebskosten zu berechnen, müssen zuerst die Prozessanforderungen den jeweiligen TSs zugeordnet werden. Da die Prozessanforderungen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht extrahiert wurden, kann noch keine Aussage über die Betriebskosten gemacht werden. Die Betriebskosten der Produktionsanlage werden in [Step 0](#) berechnet.

### Investitionskosten

Die Berechnung der Investitionskosten kennen Sie bereits aus [Tutorial 1](#). Da nur die Investitionskosten  $C_{HEX}$  der Wärmeübertrager (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  $C_0 = 0$ ,  $C_b = 110'000$  €,  $A_b = 100$  m<sup>2</sup> und  $m = 0.71$  (siehe [Tutorial 1](#)). Diese Werte werden für die Kostenberechnung aller Wärmeübertrager mit der entsprechenden Wärmeübertragungsfläche  $A$  verwendet.

### Gesamtkosten

Die jährlichen Gesamtkosten  $C_{tot}$  [€/a] setzen sich aus den jährlichen Investitionskosten ( $a$  ist der Annuitätsfaktor) sowie den jährlichen Betriebskosten zusammen:

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

In diesem Fallbeispiel verwenden wir folgende Werte:

- Zinsfaktor (Interest Rate):  $Z = 6\%$
- Amortisationszeit (Pay off Period):  $n = 5$  a

Da wir eine bestehende Produktionsanlage betrachten und wir annehmen, dass die Anlage bereits abgeschrieben ist, fallen vor der Umsetzung von Optimierungsmassnahmen nur Betriebskosten an, also gilt  $C_{tot} = C_{Op}$ . Die Berechnung der Gesamtkosten kann wegen der noch nicht extrahierten Daten erst in [Step 0](#) durchgeführt werden.

### Problemstellung

In diesem Tutorial lernen Sie, wie Sie eine Pinch-Analyse für einen Batch-Prozess mit der [PinCH](#) systematisch und zielführend durchführen. Zunächst soll das maximale WRG-Potential (direkte und indirekte WRG) bestimmt werden. Weiter soll der Zeitplan des Prozesses optimiert werden und damit das direkte WRG-Potential sowie die Produktivität zu erhöhen. ZMit Hilfe der Energie- und Kostenzielen sollen WRG-Massnahmen konkret im Wärmeübertragernetzwerk umgesetzt werden.



Fazit: Soll das Beheizen im Reaktor modelliert werden, ist als Ersatzstrom das (Wieder-)Verdampfen des im Mantel anfallenden Kondensats zu definieren. In diesem Tutorial wird auf eine Modellierung der Reaktorbeheizung und Reaktorkühlung (erzwungene Mantelkühlung mit Kühlwasser) und die Umlaufkühlung des Kristallisators verzichtet, da die Bereitstellung von Utilities nicht Gegenstand dieses Tutorials ist. Für das Kondensieren der Brüden, das Kühlen des Kristallisator-Feeds (Reaction Mixture) und das Erwärmen der entnommenen Mutterlauge müssen nicht zwingend Utilities verwendet werden und daher müssen diese als Prozessanforderungen modelliert werden. In Abbildung 4 sind die Prozessanforderungen der Natriumsalzproduktion aufgezeigt.

Durch Extrahieren der Prozessanforderungen ergibt sich ein neues Gantt-Diagramm, in welchem der Heiz- und Kühlbedarf über der Zeit dargestellt ist:

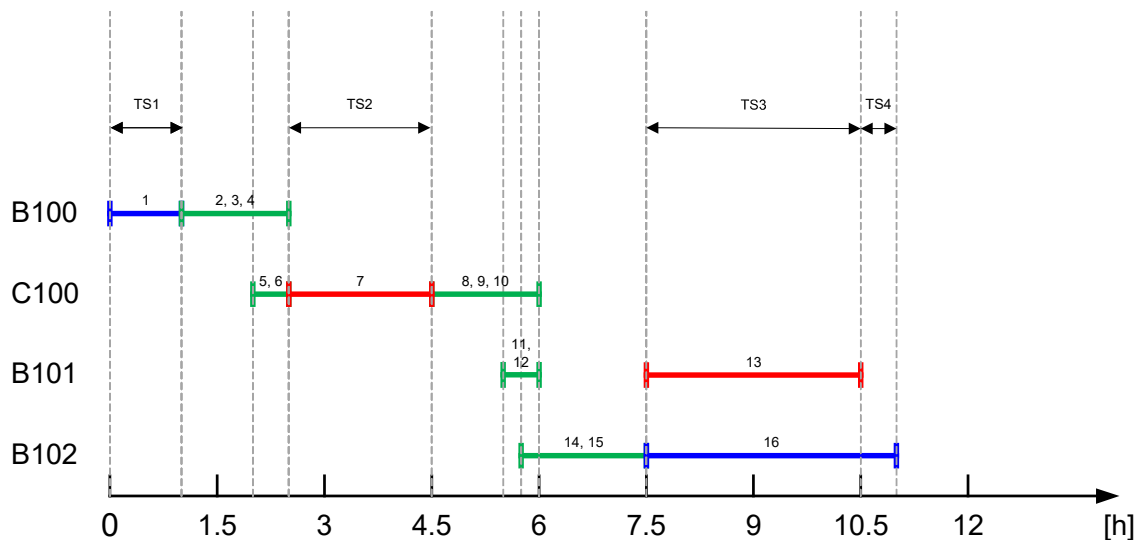


Abbildung 5: Heiz- und Kühlbedarf eines Batches

Der Heizbedarf (Cold Streams) ist im Gantt-Diagramm blau, der Kühlbedarf (Hot Stream), rot und das Pre- und Postprocessing (Prozess-Schritte, welche das Equipment "blockieren" aber keine Heiz- oder Kühlbedarf haben, z. B. Reinigung eines Reaktors) grün dargestellt. Es ist ersichtlich, dass nur im TS3 interne WRG möglich ist. In TS1, TS2 und TS4 gibt es jeweils nur eine Heiz- respektive Kühlanforderung, welche mit Utilities abgedeckt werden müssen. In Tabelle 4 sind der Utility-Bedarf sowie die daraus resultierenden jährlichen Betriebskosten  $C_{Op}$  aufgezeigt.

Tabelle 4: Utility-Leistungen und Betriebskosten der Bestehenden Produktionsanlage für insgesamt 576 Batches pro Jahr

TSs	$\Delta t$ [h/Batch]	$\tau$ [h/a]	$\dot{Q}_{HU}$ [kW]	$\dot{Q}_{CU}$ [kW]	$C_{Op}$ [€/a]
TS1	1.0	576	420	-	19'354
TS2	2.0	1'152	-	627	21'670
TS3	3.0	1'728	74	62	12'407
TS4	0.5	288	74	-	1'427
<b>Total</b>	<b>6.5</b>	<b>3'774</b>	-	-	<b>54'858</b>



### III 10 Steps in PinCH

#### Los geht's!

Zum Starten öffnen Sie [PinCH](#). Bevor wir mit dem eigentlichen Projekt beginnen, empfiehlt es sich die Grundeinstellungen in [PinCH](#) zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen. Da in unseren Tutorials die Kosten in € angegeben werden, müssen Sie unter Umständen in den Einstellungen die Währung anpassen. Des Weiteren wird in diesem Tutorial mit den Einheiten in kW und kWh gearbeitet. Wie Sie dabei vorgehen müssen, wird im [Tutorial 0](#) erläutert.

Das Tutorial folgt den [10 PinCH Steps](#) (vgl. [Tutorial 0](#)). In den [Steps 1-5](#) werden die prozessrelevanten Daten im [Project Explorer](#) erfasst. In den [Steps 5-10](#) erfolgt die Optimierung der Anlage im [Target Explorer](#). Erstellen Sie ein neues Projekt und benennen Sie es "Fine Chemistry AG".



#### Step 1: Enter Stream Data

Tragen Sie die Prozessanforderungen in die Process Stream Table ein.

Öffnen Sie die Process Stream Table.

Sie fügen einen diskontinuierlichen Prozess-Strom (nachfolgend Batch-Prozess-Strom genannt) hinzu, indem Sie

anklicken

Oder:

Rechtsklick ins leere Feld des Registers Process Stream Table

[Add Batch Process Stream](#) wählen

Benennen Sie die Prozess-Ströme und ändern Sie die Default-Werte gemäss den extrahierten Daten. Den Massenstrom  $\dot{m}$  müssen Sie „von Hand“ über die aufzuheizende oder abzukühlende Masse und die Dauer des Vorgangs berechnen. Die Zeiten  $t_{start}$  und  $t_{stop}$  eines Batch-Prozess-Stroms geben an, zu welcher Zeit ein Strom relativ zum Beginn des Batch-Prozesses existiert. Die vollständige Process Stream Table sieht folgendermassen aus:

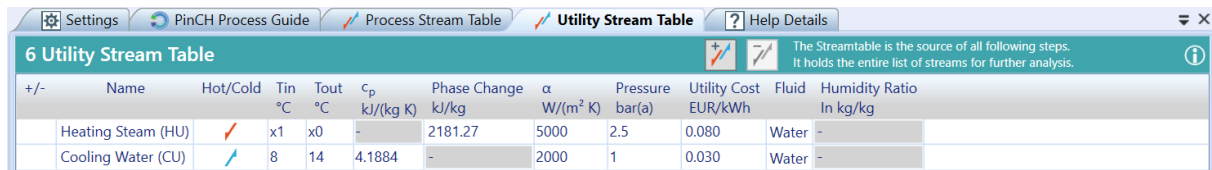
+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	m kg/s	cp kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	alpha W/(m² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	tstart h	tstop h
	Solvent		20	80	1.66667	4.2	-	2000	-	7	420	Simple	-	<input type="checkbox"/>	0	1
	Vapor		x1	x0	0.2778	-	2257.08	4000	1	-	627.02	Water	-	<input type="checkbox"/>	2.5	4.5
	Reaction Mixture		60	25	0.602	3.5	-	500	-	2.11	73.74	Simple	-	<input type="checkbox"/>	7.5	10.5
	Base		8	60	0.397	3	-	500	-	1.19	61.93	Simple	-	<input type="checkbox"/>	7.5	11

Abbildung 6: Process Stream Table

In einem zweiten Schritt müssen die dem Prozess zur Verfügung stehenden Utilities (Heiz- und Kühlmedien) definiert werden.

**Hinweis:** Es gibt keine Unterscheidung zwischen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Utility-Strömen. Utilities müssen jederzeit verfügbar sein. Eine Start- und Stoppzeit erübrigt sich.

Die vollständige Utility Stream Table sieht folgendermassen aus:



+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	Cp kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	$\alpha$ W/(m <sup>2</sup> K)	Pressure bar(a)	Utility Cost EUR/kWh	Fluid	Humidity Ratio ln kg/kg
	Heating Steam (HU)	Red Arrow	x1	x0	-	2181.27	5000	2.5	0.080	Water	-
	Cooling Water (CU)	Blue Arrow	8	14	4.1884	-	2000	1	0.030	Water	-

Abbildung 7: Utility Stream Table






## Step 2: Configure Equipment

Damit die einzelnen Batches überlappt werden können (Erhöhung der Produktivität und des direkten WRG-Potenzials), muss garantiert werden, dass kein Equipment zur selben Zeit in zwei verschiedenen Batches verwendet wird. Ansonsten werden mehrere Exemplare dieses Equipments benötigt. Dabei ist wichtig, dass die Equipments während des Pre- und Postprocessing (z. B. Reinigung) nicht in einem anderen Batch verwendet werden können.

Benennen Sie in einem ersten Schritt die Default-Equipments entsprechend den tatsächlichen Bezeichnungen. Überlegen Sie sich dabei, welcher Prozess-Strom zu welchem Equipment (B100, C100, B101, B102) gehört. Wenn z. B. die Lösung beim Vorwärmen in B100 fließt, ist dieses Equipment während der Zeit des Vorwärmens gesperrt und kann z. B. nicht entleert werden. Es ergibt sich folgende Zugehörigkeit:

- Solvent → B100
- Vapor → C100
- Reaction Mixture → B101
- Base → B102

Fügen Sie nun die in Tabelle 2 definierten Pre- und Postprocessing Zeiten den jeweiligen Equipments zu. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

-  Wählen Sie ein Equipment an
-  Klicken Sie beim Target Explorer auf Properties
-  Geben Sie die Zeitdauer des Pre- und Postprocessing des jeweiligen Equipments gemäss Tabelle 2 an

In Abbildung 8 sind die Properties von Equipment B100 dargestellt. Im Feld "Max. Equipment Items" kann angegeben werden, wie viel mal dieses Equipment vorhanden ist, d. h. für wie viele Zwecke es gleichzeitig verwendet werden kann. Da die Anlage im Fallbeispiel bereits besteht und somit nur jeweils nur ein Equipment vorhanden ist, tragen Sie für jedes Equipment die Zahl 1 ein.

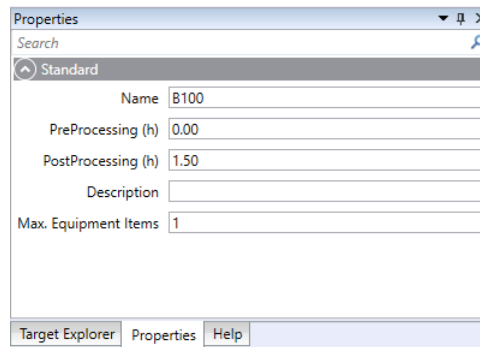






Abbildung 8: Properties des Equipments B100



### Step 3: Define Processes

In unserem Fallbeispiel müssen wir einen "Batch-Prozess" erstellen. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

-  Rechtsklick auf "Process 1" im Project Explorer
-  [Remove Process](#) wählen
-  Rechtsklick auf "Processes"
-  [Add Batch Process](#) wählen








Bennenen Sie den Batch-Prozess nun in "Nutrient Salt Production" um (F2) und weisen Sie diesem alle definierten Prozess-Ströme zu.



### Step 4: Apply Scheduling to Processes

Schedules werden zur Definition des zeitlichen Ablaufs der in [Step 3](#) definierten Prozesse benötigt. Gibt es mehrere, zumindest teilweise parallel ablaufende Prozesse, könnten Betriebsfälle (Operating Cases) auftreten, während denen ein Wärmetransfer zwischen den Prozessen möglich ist. In diesen Fällen muss ein Operating Case Schedule entsprechend ausführlich beschrieben werden. Benennen Sie das "OC Schedule 1" in "Non-Overlapping" um und öffnen Sie das Register.

Tragen Sie die jährlichen Betriebsstunden gemäss den Vorgaben ein.

-  In Spalte Timebase "Batch Daily" auswählen
-  Als Betriebstage Mo-Sa anwählen
-  Daytime Start: 00:00 Uhr einstellen
-  CW Start: 1 eingeben
-  # Weeks: 48 eingeben
-  [Batch Cycle Duration \(BCD\)](#): 11 h eingeben
-  # Batches: 2 eingeben

**Hinweis:** Die Batch Cycle Duration (BCD) ist die Zeitdauer bis der nächste Batch beginnt. Im Fall einer Staffelung/Überlappung ist die BCD entsprechend kürzer als die Batch Processing Duration (BPD), welche der Produktionszeit eines Batches entspricht.

Aus den eingetragenen Daten erstellt PinCH ein Batch Gantt-Diagramm, siehe Abbildung 9. Diesem Diagramm können Sie den zeitlichen Ablauf der Vorgänge entnehmen. Auf der horizontalen Achse können Sie neben der Zeit (in unserem Fallbeispiel die Tageszeit) auch die Anzahl und Dauer der TSs entnehmen. Im grauen Balken unten können Sie jeden TS anklicken (Abbildung 9 TS3 respektive Zeitabschnitt 5)

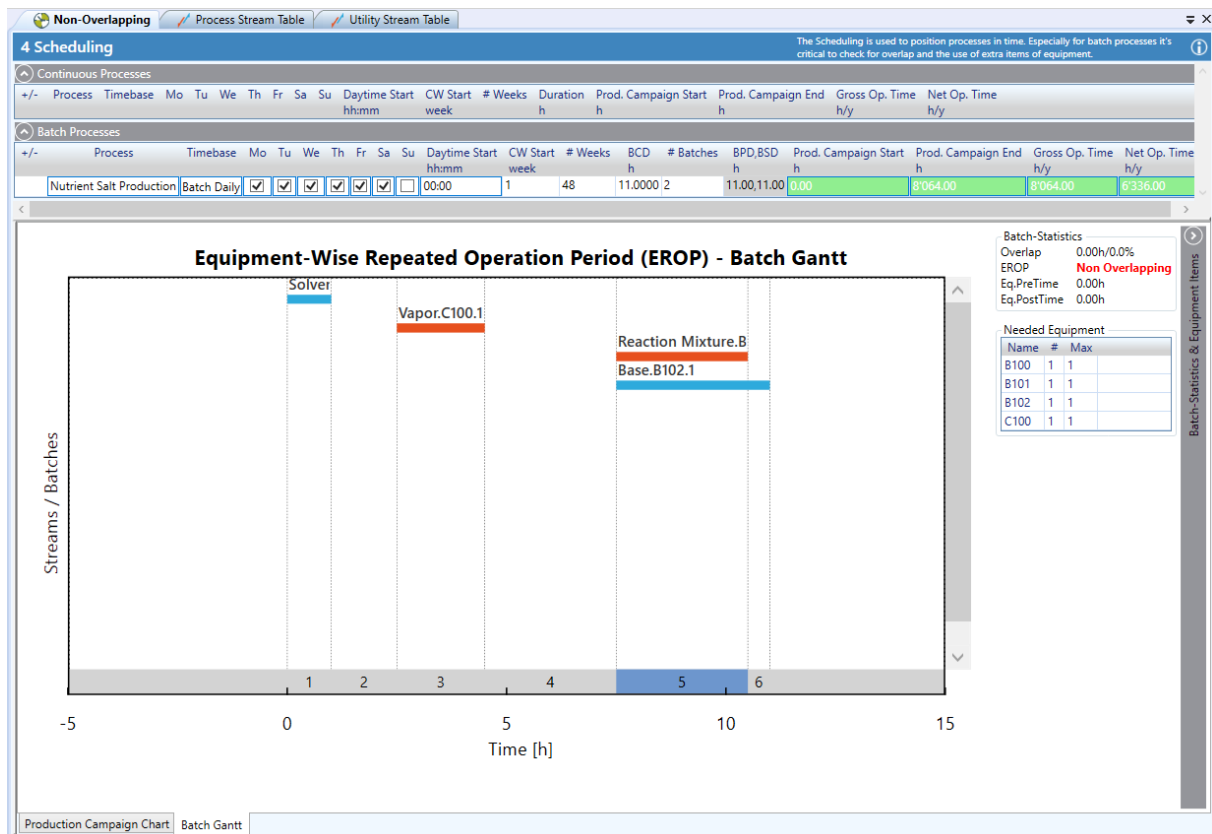


Abbildung 9: Equipment-Wise Repeated Operation Period (EROP) des nicht-überlappenden Batch-Prozesses

Die Equipment-Wise Repeated Operation Period (EROP) gibt an, nach welcher Zeit die identifizierten TSs periodisch wiederkehren. In unserem Fall wird hier genau ein Batch-Prozess dargestellt, da es keine Überlappung gibt.

Erstellen Sie nun einen zweiten OC Scheduling und benennen Sie diesen als "Overlapping". In diesem Scheduling werden wir denselben Batch-Prozess überlappen, indem wir die BCD von 11 h auf 5.5 h verkürzen und die Anzahl der Batches pro Tag von 2 auf 3 erhöhen. Dadurch kann die Anzahl Produktionswochen von 48 auf 32 verringert werden, ohne dass sich die Produktionsmenge ändert. In Abbildung 10 ist die EROP des überlappenden Batch-Prozesses abgebildet. Es ist ersichtlich, dass die Prozessströme Vapor, Reaction Mixture und Base zeitgleich existieren und dadurch das direkte WRG-Potenzial ansteigt.

**Hinweis:** Auf der rechten Seite neben dem EROP wird angegeben, wie viele Male jedes Equipment benötigt wird und wie viele Male es maximal verwendet werden darf (dies wurde in [Step 2](#) konfiguriert).

Die Anzahl eines Equipment wird erhöht, wenn dieses in verschiedenen Batches gleichzeitig benötigt wird. Es ist ersichtlich, dass in beiden Schedules (Non-Overlapping und Overlapping) jedes Equipment nur ein Mal benötigt wird.

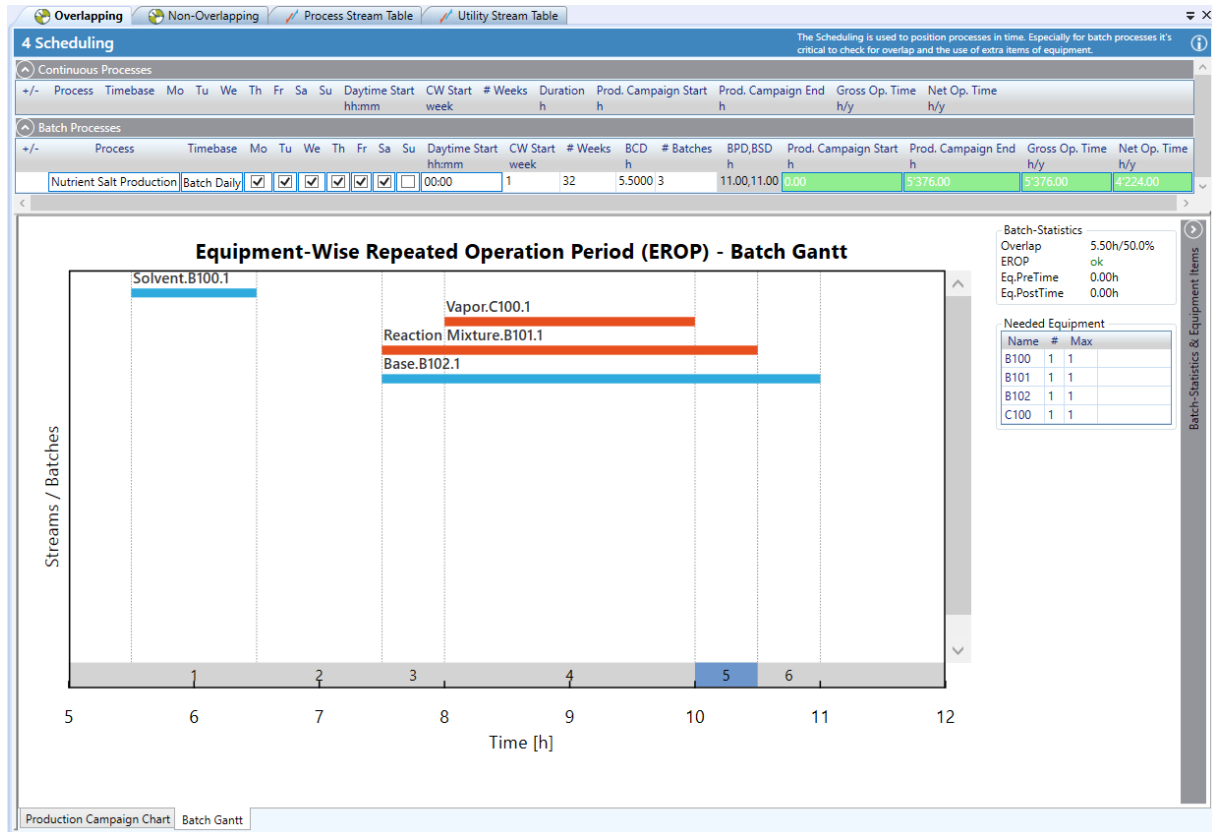


Abbildung 10: EROP des überlappenden Batch-Prozesses



### Step 5: Set Economic Data

Die Angabe von wirtschaftlichen Kenngrößen ist erforderlich für die Berechnung der Investitionskosten. In PinCH werden die Kosten der notwendigen Wärmeübertrager zur Erfüllung der definierten Prozessanforderungen berechnet. Darin enthalten sind Wärmeübertrager zwischen zwei Prozessströmen (WRG) und Wärmeübertrager zwischen einem Prozess-Ström und einem Utility-System. Öffnen Sie das Register Economic Data und passen Sie die Kenngrößen gemäss den Vorgaben im Abschnitt "Investitionskosten" auf Seite 6 an. Da es sich um eine bestehende Anlage handelt, können die Investitionskosten für die Utility-Wärmeübertrager auf null gesetzt werden. Die Registerkarte Economic Data sollte nun wie folgt aussehen:

**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**

$$C = C_0 + C_b (A/A_b)^m$$

A = Heat Exchanger Area in m<sup>2</sup>

Type	Fixed Cost C <sub>0</sub> EUR	Base Cost C <sub>b</sub> EUR	Base Area A <sub>b</sub> m <sup>2</sup>	Exponent m
Process Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71
Hot Utility Heat Exchanger	0	0.0	100	0.71
Cold Utility Heat Exchanger	0	0.0	100	0.71
ISSP Heat Exchanger	0	110'000.0	100	0.71

**Storage: Tank Costs**

$$C = C_0 + C_b (V/V_b)^m$$

V = Tank Volume in m<sup>3</sup>

Storage	Fixed Cost C <sub>0</sub> EUR	Base Cost C <sub>b</sub> EUR	Base Volume V <sub>b</sub> m <sup>3</sup>	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<sub>sm</sub> = Mass of Storage Media in kg

Media	Base Cost C <sub>b</sub> EUR/kg	Density kg/m <sup>3</sup>	α W/(m <sup>2</sup> K)	c <sub>p</sub> kJ/(kg K)
Water	0.0010	1000	2000	4.18789
Heat Transfer Oil	5.0000	800	1000	2.00000

**Amortisation Parameters**

Pay Off Period:  y      Independent:  EUR

Interest Rate:  %      Personnel:  %/y Investment Costs

Annuity: 0.237 1/y      Maintenance:  %/y Investment Costs

**Electricity**

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

Abbildung 11: Economic Data

Nach der Durchführung von [Step 1-5](#) hat Ihr Project Explorer nun folgenden Aufbau:

**Project Explorer** The Project Explorer is used to setup the project

**1-5 Project Explorer**

- Fine Chemistry AG
  - Process Stream Table
  - Equipment
    - Shared
    - Individual
      - B100
      - C100
      - B101
      - B102
  - BaseCase
    - Processes
      - Nutrient Salt Production
    - Operating Cases Scheduling
      - Non-Overlapping
      - Overlapping
    - Economic Data
      - Economic Data

Abbildung 12: Project Explorer

## Step 6: Prepare Targeting Calculation

Nach Bearbeitung der [Steps 1-5](#) sind alle für die Pinch-Analyse benötigten Daten im Project Explorer abgelegt. Sie können nun die Energie- und Kostenziele berechnen, indem Sie im [Target Explorer](#) zwei Target Groups erstellen. Benennen Sie diese in Non-Overlapping und Overlapping um. Wählen Sie für die Target Group Overlapping den OC Schedule Overlapping aus:

- ☞ Rechtsklick auf Target Group "Overlapping"
- ☞ Reassign Operation Case Schedule ☞ "Overlapping"

Ihr Target Explorer sollte nun folgenden Aufbau haben:



Abbildung 13: Target Explorer

Wenn Sie Probleme mit dem Erstellen der Target Group haben, konsultieren Sie bitte [Tutorial 1](#). Dort wird in [Step 6](#) das Vorgehen Schritt für Schritt erklärt.

## Step 7: Analyze Energy Targets

Nach der Bearbeitung von [Step 6](#) sind die Vorbereitungen für die Berechnung der Energie- und Kostenziele abgeschlossen. Bevor wir diese in [Step 8](#) berechnen, können wir mit dem Tool [Energy Target Analysis \(ETA\)](#) umfassende Analysen zu WRG-Potenzialen für das betrachtete Szenario (Target Group) durchführen.

**Hinweis:** Die ETA ist ein Tool zur Analyse des WRG-Potenzials unter Berücksichtigung des zeitlichen Prozess-Ablaufs. Insbesondere können einzelne Prozess-Ströme oder TSs ausgeblendet werden, um sich auf die signifikanten WRG-Potenziale zu konzentrieren. Dabei können sowohl direkte WRG-Potentiale als auch indirekte WRG-Potenziale (Speicherung) untersucht werden. Mit dem Time Average Model (TAM) kann die maximal mögliche WRG (direkt und indirekt) aufgezeigt werden. Mit dem GCC-basierten Indirect Source Sink Profile (ISSP) können indirekte WRG-Potentiale visualisiert werden. Bei der Untersuchung von gesamten Firmenstandorten (Total Site Analysis, TSA) können mit der Split GCC WRG-Potenziale zwischen verschiedenen Prozessen analysiert werden.

Für Batch-Prozesse können im Energy Target Analysis Tool das direkte und indirekte WRG-Potenzial verglichen werden. In diesem Tutorial liegt der Fokus auf der direkten WRG. Sie öffnen das Tool wie folgt:

- ☞ Rechtsklick auf Energy Target Analysis im Target Explorer
- ☞ Open Energy Target Analysis wählen

Das neue Register beinhaltet drei Fenster:

- **Time Charts:** Hier sind verschiedene Gantt-Diagramme zu sehen. Unter Batch TS ist wieder das EROP dargestellt, bei welchem nun die vier relevanten TSs grün hervorgehoben werden. Damit dies ersichtlich ist, müssen Sie unter Processes den gewünschten Prozess anwählen.
- **TS Data:** In der Tabelle sind das gewählte  $\Delta T_{min}$ , das WRG-Potenzial sowie der Bedarf an Utilities für jeden TS aufgelistet.
- **TS Charts:** Hier werden die Diagramme zu den in der Tabelle TS Data angewählten TSs dargestellt.

Zunächst betrachten wir das maximal mögliche WRG-Potenzial der Betriebsweise "Non-Overlapping". Gehen Sie dabei wie folgt vor:

- ☞ Wählen Sie im Fenster Time Charts "Batch TS" an (bei Processes muss "Nutrient Salt Production" angewählt sein)
- ☞ Wählen Sie im Fenster TS Charts am unteren Rand die Registerkarte "TAM" an

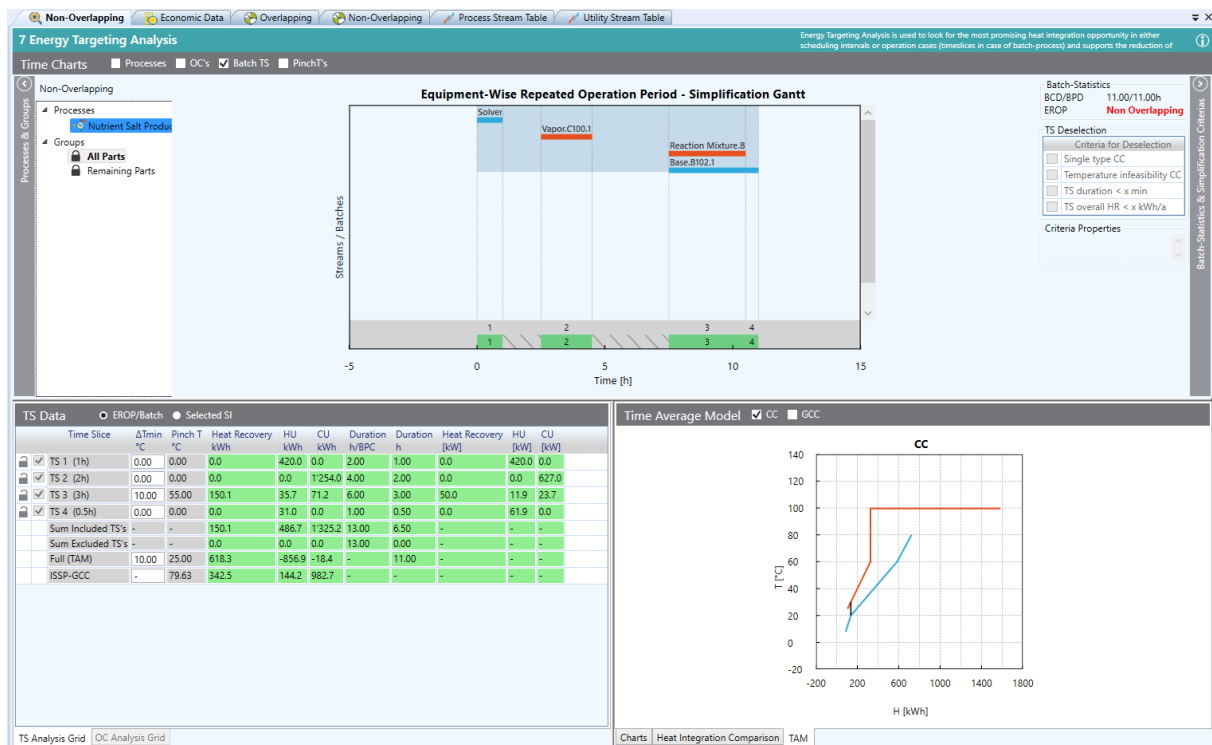


Abbildung 14: Energy Targeting Analysis der nicht überlappenden Betriebsweise mit Visualisierung des maximal möglichen WRG-Potenzials im TAM



Die Überlappung der Composite Curves im TAM ist das maximal mögliche WRG-Potenzial (direkt und indirekt) in kWh/Batch für ein bestimmtes  $\Delta T_{min}$  ( $\Delta T_{min} = 10$  K ist ein Default Wert und basiert nicht auf einer Kostenoptimierung). Im Fenster TS Data kann das  $\Delta T_{min}$  für den gesamten Prozess in Zeile "Full (TAM)" oder für jeden einzelnen TS angepasst werden.

**Hinweis:** Es wird empfohlen, für alle TSs das gleiche  $\Delta T_{min}$  zu wählen. Dadurch wird ermöglicht, für jedes TS ein Wärmeübertragernetzwerk (MER HEN) mit ähnlicher Struktur zu designen. Die HENs der einzelnen TS können später einfacher zu einem Gesamt-Netzwerk zusammengeführt werden.

Das maximal mögliche WRG, welche im TAM visualisiert ist, kann in der Zeile "Full (TAM)" in der Spalte "Heat Recovery" abgelesen werden (618.3 kWh/Batch). Das direkte WRG-Potenzial ist in derselben Spalte für jeden TS einzeln aufgeführt. Das indirekte WRG-Potenzial ist in Zeile der "ISSP-GCC" aufgeführt (342.5 kWh/Batch). Dieses Potenzial kann mit der ISSP-GCC visualisiert werden. Gehen Sie wie folgt vor:

- Wählen Sie im Fenster TS Charts am unteren Rand in die Registerkarte "Charts" an
- Wählen Sie im Fenster TS Charts "ISSP-GCC" an

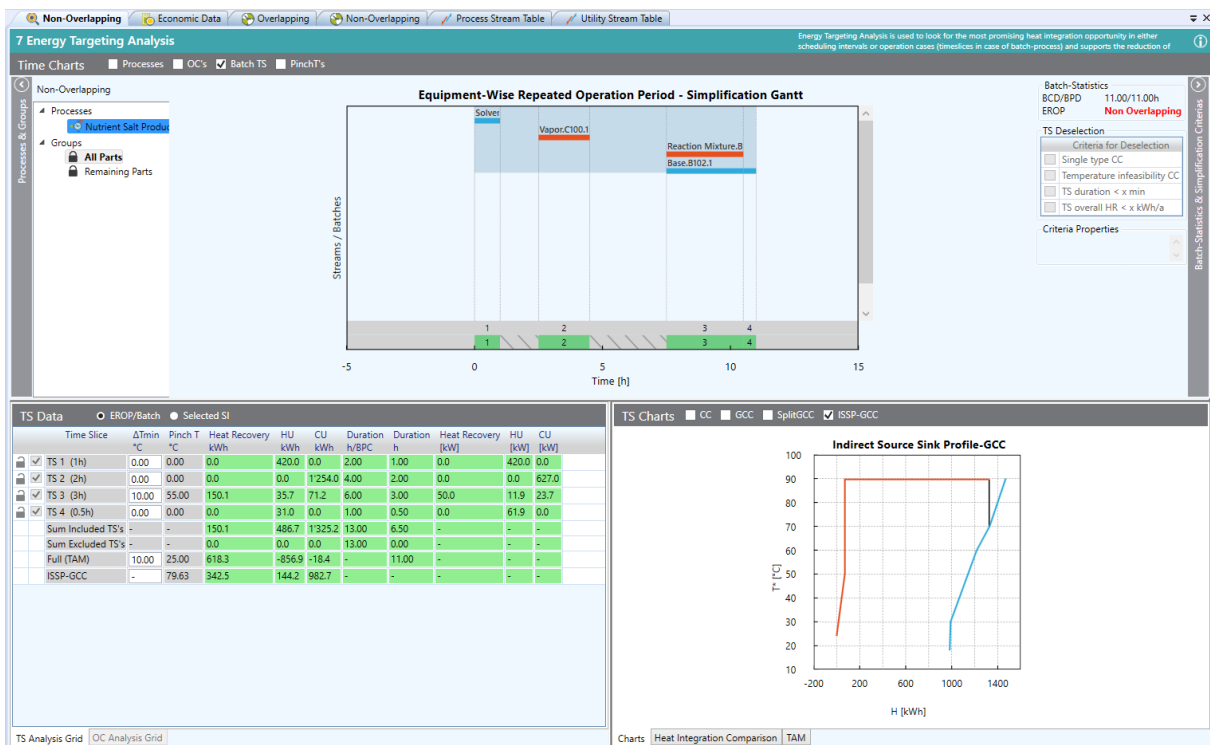


Abbildung 15: Energy Targeting Analysis der nicht überlappenden Betriebsweise mit Visualisierung des indirekten WRG-Potenzials in der ISSP-GCC

**Hinweis:** Mit dem Time Average Model (TAM) wird die sich zyklisch wiederholende Periode betrachtet und das Wärmeangebot bzw. der Wärmebedarf jedes Stroms über die ganze Dauer der Periode gemittelt (vgl. [BFE-Handbuch](#)). Die ISSP-GCC zeigt die Heiz- und Kühlanforderungen an, welche nach der direkten WRG übrig bleiben und somit indirekt mit thermischen Energiespeichern genutzt werden können (vgl. [BFE-Handbuch](#)).

Um nur das direkte WRG-Potenzial zu betrachten, wird eine [Simplified Target Group](#) erstellt. Eine Simplified Target Group wird immer dann benötigt, wenn man zur Vereinfachung des Problems einzelne TSs ausblenden will. Gehen Sie wie folgt vor:

- ☞ Rechtsklick auf "Groups" im Fenster Time Charts (bei Processes muss Nutrient Salt Production angewählt sein)
- ☞ Wählen Sie [Add Simplified Target Group](#) und benennen Sie die Simplified Target Group in "Direct Heat Recovery" um.
- ☞ Klicken Sie im Overall Gantt Chart auf den gestrichelten Balken (unter Nutrient Salt Production)
- ☞ Wählen Sie das Kästchen Processes ab und Batch TS an (im Fenster Time Charts)
- ☞ Wählen Sie [Single type CC](#) auf der rechten Seite des Fensters unter [TS Deselection](#) an. Alle TSs, in welchen kein direktes WRG-Potenzial vorhanden ist, werden nun ausgeblendet.
- ☞ Klicken Sie auf das Schloss um die Simplified Target Group im [Step 8](#) weiterverwenden zu können. Sie erscheint nun im Target Explorer unter Energy Target Analysis.

Es ist ersichtlich, dass nur im TS3 direktes WRG-Potenzial vorhanden ist. Im Fenster TS Data ist das direkte WRG-Potenzial unter Sum Included TSs mit 150.1 kWh/Batch angegeben. Das WRG-Potenzial jedes einzelnen TS kann in derselben Zeile des jeweiligen TS abgelesen werden.

Da für die indirekte WRG thermische Energiespeicher benötigt werden, welche zusätzliche Kosten verursachen, sollte im Allgemeinen direkte WRG der indirekten WRG vorgezogen werden. Das direkte WRG-Potenzial kann durch Überlappen von Batches vergrößert werden. Ein weiterer Vorteil von überlappenden Batch-Prozessen ist die höhere Produktivität. Die Überlappung schränkt aber die Flexibilität in der Produktionsplanung ein. Die verschiedenen Aspekte müssen jeweils sorgfältig betrachtet und abgewogen werden.

Führen Sie die selben Schritte für die Target Group Overlapping durch. Die Energy Target Analysis für die Overlapping Target Group sollte nun wie folgt aussehen:

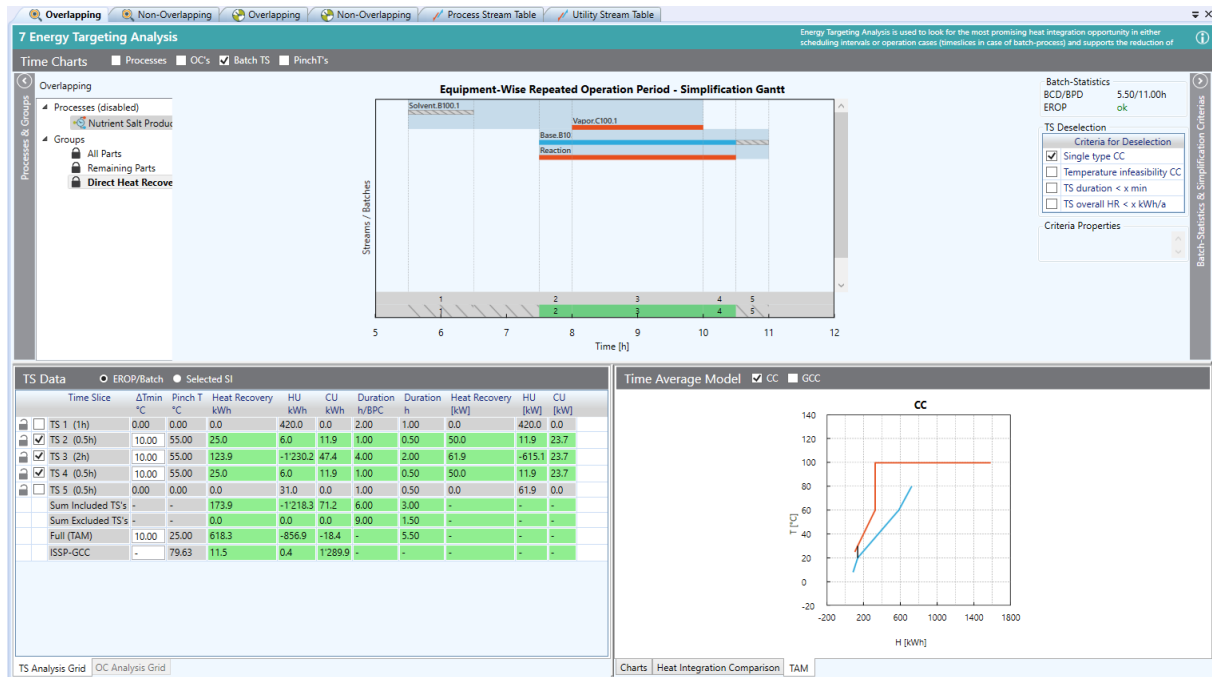


Abbildung 16: Energy Targeting Analysis der überlappenden Betriebsweise

Es ist ersichtlich, dass durch das Überlappen der einzelnen Batches ein zusätzlicher TS entsteht. Zudem ist nun direktes WRG-Potenzial in TS2 und TS4 entstanden. In Tabelle 5 werden die WRG-Potenziale des nicht-überlappenden und des überlappenden Batch-Prozesses miteinander verglichen. Die maximal mögliche WRG gemäss TAM berücksichtigt sowohl direkte als auch indirekte WRG, deshalb ist der Wert für beide Betriebsweisen gleich. Es ist ersichtlich, dass das direkte WRG-Potenzial (Sum Included TSs) in der überlappenden Betriebsweise um 16 % gestiegen und das indirekte WRG-Potenzial um 7 % gesunken ist.

Durch die Überlappung von Batches wird die Flexibilität eingeschränkt: Durch Wärmeübertragung zwischen den verschiedenen Batches sind diese stark voneinander abhängig. Da mit der Überlappung nur eine Erhöhung des direkten WRG-Potenzials von 23.8 kWh/Batch erreicht werden kann und die Flexibilität eingeschränkt würde, wird im Fallbeispiel die Betriebsweise ohne Überlappung weiterverfolgt.

Tabelle 5: Vergleich zwischen überlappender und nicht-überlappender Betriebsweise bezüglich WRG-Potenzial

Betriebsweise	Maximale WRG [kWh/Batch]	Direkte WRG [kWh/Batch]	Indirekte WRG* [kWh/Batch]
nicht überlappend (BCD = 11 h)	618.3	150.1	342.5
überlappend (BCD = 5.5 h)	618.3	173.9	319.6

\* Um das gesamte indirekte WRG-Potenzial des Prozesses zu sehen muss unter Groups im Fenster Time Charts All Parts angewählt sein.



## Step 8: Calculate Energy & Cost Targets

Ein Schlüsselaspekt der Pinch-Analyse ist die Berechnung von Energie- und Kostenzielen *vor* der (ansonsten oft subjektiv beeinflussten) Untersuchung einzelner WRG-Massnahmen.

**Hinweis:** Der Leitsatz der Pinch-Methode lautet **Targets before Design!**

Das in **Step 8** durchgeführte **Targeting** berechnet den optimalen Einsatz an Utilities, das optimale WRG-Potenzial, die optimale zu installierende Wärmeübertragungsfläche, die benötigte Anzahl an zu installierenden Wärmeübertragern und die damit verbundenen minimalen jährlichen Gesamtkosten.

Hier wird das Vorgehen zur Berechnung der Energie- und Kostenziele für die nicht-überlappenden Betriebsweise gezeigt. Starten Sie das Targeting für die Target Group Non-Overlapping:

- ☞ Rechtsklick auf **Direct Heat Recovery** (unter Energy Target Analysis in der Target Group Non-Overlapping)
- ☞ **Calculate Target Result with...** ☞ **Separate Design** wählen
- ☞ Rechtsklick auf **Sep\_Design 1\_2 (Direct Heat Recovery)**... ☞ **Open Target Results** wählen (unter Results in der Target Group Non-Overlapping)

In der TS Data (unterstes Fenster) sind alle TSs aufgelistet, welche für die direkte WRG berücksichtigt werden. Durch anwählen von "Show Ignored TS", werden die ausgeschlossenen TSs eingeblendet. Da im Fallbeispiel nur in TS3 direktes WRG-Potential entsteht, kann das  $\Delta T_{min}$  bezüglich Gesamtkosten optimiert werden, ohne dass die anderen TSs beeinflusst werden und somit das gesamte Wärmeübertragernetzwerk verkompliziert werden würde. Im Diagramm **Cost Curve** im Fenster TS Data wird das Kostenoptimum aufgezeigt. Es ist ersichtlich, dass die Gesamtkosten bei einem  $\Delta T_{min} = 15$  K ihr Optimum haben. Passen Sie daher in Tabelle TS Data den Wert für  $\Delta T_{min}$  an. Die resultierenden Energie- und Kostenziele können nun der Tabelle TS Data aus Abbildung 17 entnommen werden.

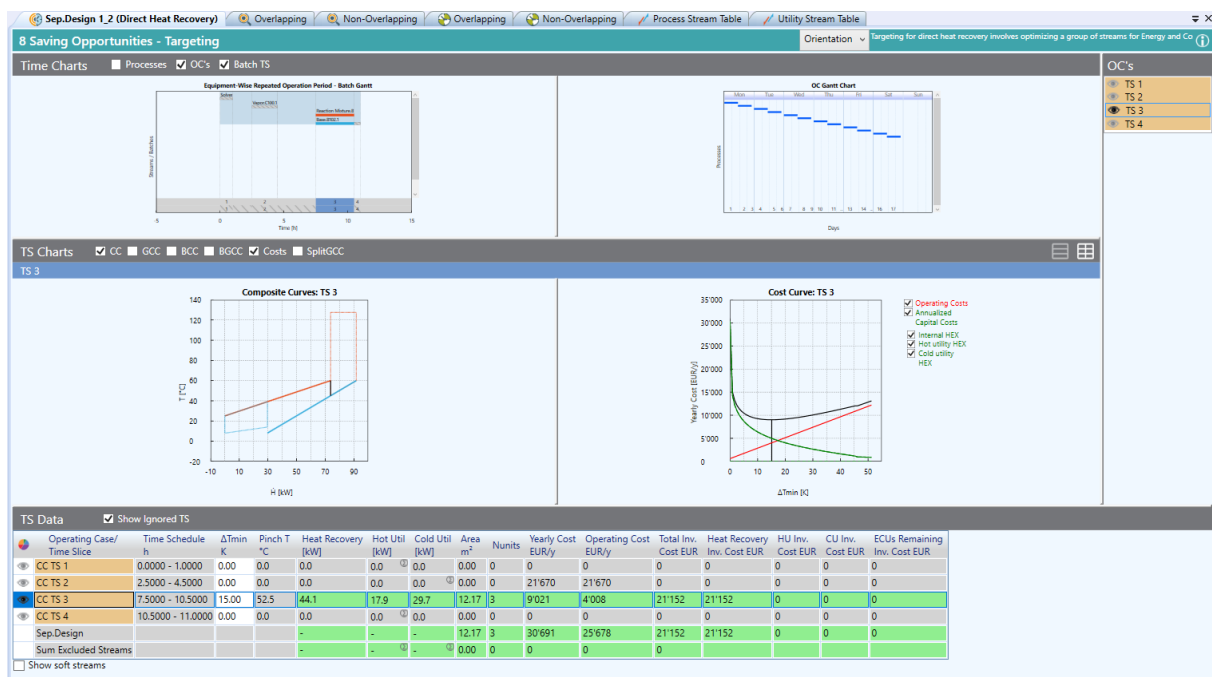


Abbildung 17: Energie- und Kostenziele der Target Group Non-Overlapping



### Step 9: Integrate Energy Conversion Units (ECUs)

In vielen industriellen Prozessen ist trotz WRG der Heiz- und Kühlbedarf gross. In diesen Fällen lohnt es sich, die Integration einer ECU zu überprüfen. Eine ECU kann einerseits eine Wärmekraftmaschine sein, deren Abwärme im Prozess genutzt wird und somit HU ersetzt. Die mechanische Energie der Wärmekraftmaschine wird in den meisten Fällen in einem Generator in elektrische Energie umgewandelt (z. B. Blockheizkraftwerk, BHKW). Andererseits kann eine ECU auch eine Wärmepumpe sein, die mittels elektrischer Energie Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anhebt. Die höherwertige Wärme wird wiederum verwendet, um HU zu ersetzen.

Die Pinch-Analyse ist ein hervorragendes Instrument, um die Integration einer ECU zu analysieren. Um eine Optimierung (und damit Kostenreduktion) der Energieversorgung vorzunehmen, kann in PinCH die korrekte Integration einer Wärmepumpe, eines mechanischen oder thermischen Brüdenverdichters, einer ORC-Anlage sowie eines BHKW durchgeführt werden.

In diesem Fallbeispiel könnte eine Brüdenverdichtung zur Reduktion des Utility-Bedarfs von Interesse sein. Dabei könnten die CU zur Kondensation der Brüden sowie die HU reduziert werden. Die Optimierung des Utility-Systems würde den Umfang dieses Tutorials sprengen, daher wird die Integration eines Brüdenverdichters hier nicht weiter untersucht.



### Step 10: Design Heat Exchanger Network (HEN)

Gratulation! Sie haben das Targeting als Grundlage einer energetischen und wirtschaftlichen Optimierung des Prozesses erfolgreich abgeschlossen. Nun stellt sich eine weitere wichtige Frage: *Wie sollen die Energie- und Kostenziele in der Praxis realisiert werden?* Mit Hilfe von PinCH können Sie ein HEN aufbauen. Das HEN ist weniger komplex als ein typisches Verfahrensfließbild. Es zeigt auf, welche Prozess-Ströme in welcher Reihenfolge mit Wärmeübertragern verbunden werden sollen. Basierend auf dieser Grundlage kann ein optimiertes Anlagendesign erarbeitet werden.

Für einen Batch-Prozess muss für jeden TS, in welchem direktes WRG-Potenzial vorhanden ist, ein MER HEN erstellt werden. Die einzige WRG-Massnahme ist im TS3 möglich. Das resultierende MER HEN für TS 3 ist in Abbildung 18 dargestellt. Für alle anderen TSs muss der Heiz- und Kühlbedarf mit Utilities gedeckt werden (jeweils ein Wärmeübertrager zwischen Prozess-Strom und HU- oder CU-Strom), was in der bestehenden Produktionsanlage bereits realisiert ist.

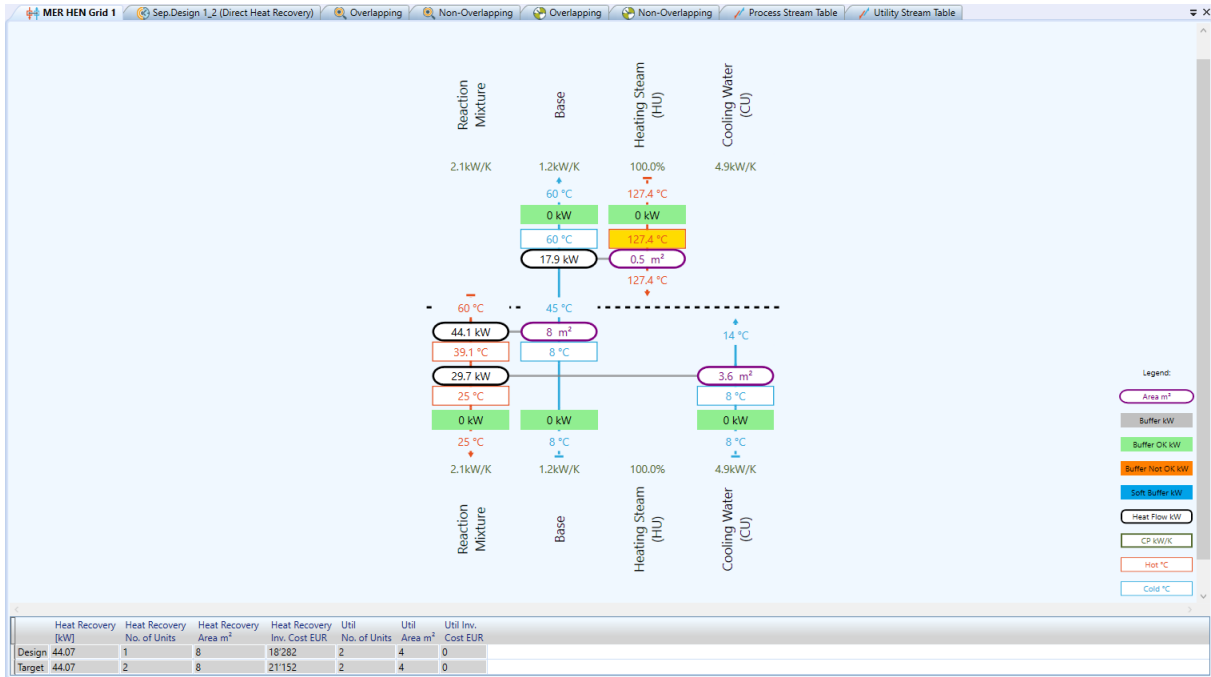


Abbildung 18: MER HEN des TS3

#### IV Optimierter Prozess

Nun übertragen wir das erstellte MER HEN auf das zu Beginn des Tutorials gezeigte Verfahrensfliessbild. In den Abbildungen 19 bis 22 ist das Verfahrensfliessbild des optimierten Prozesses für die verschiedenen TSs dargestellt.

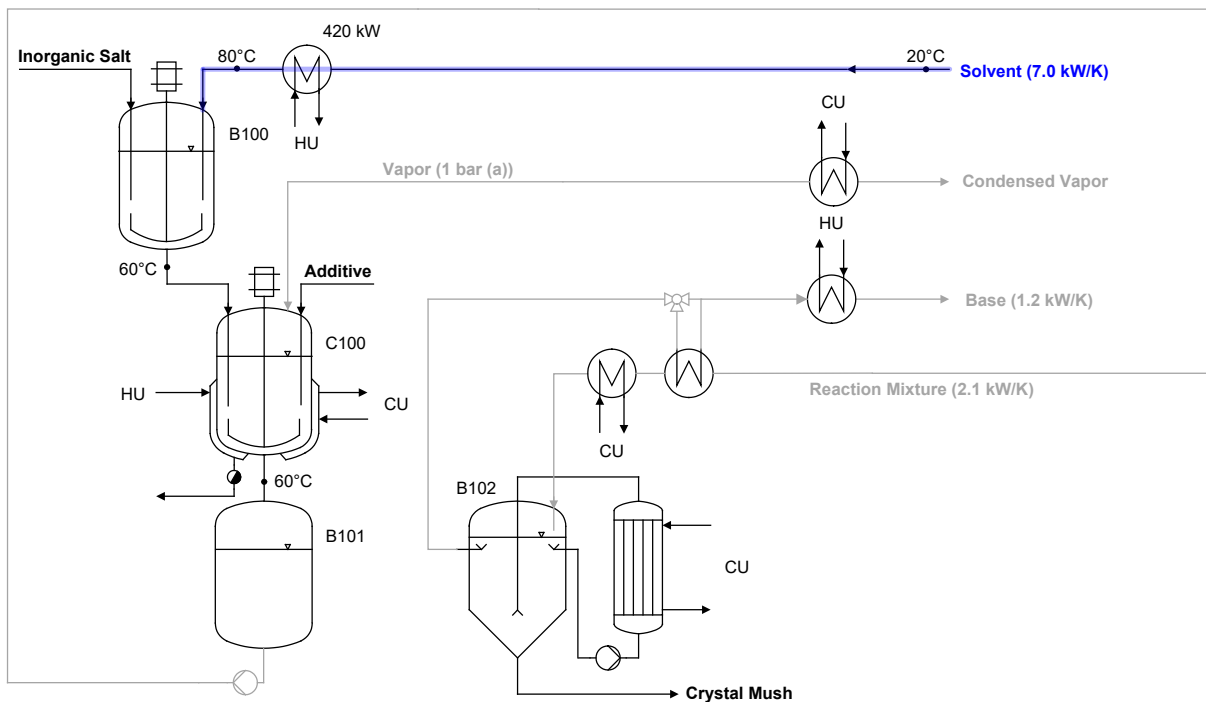


Abbildung 19: Verfahrensfliessbild der optimierten Produktionsanlage im TS1

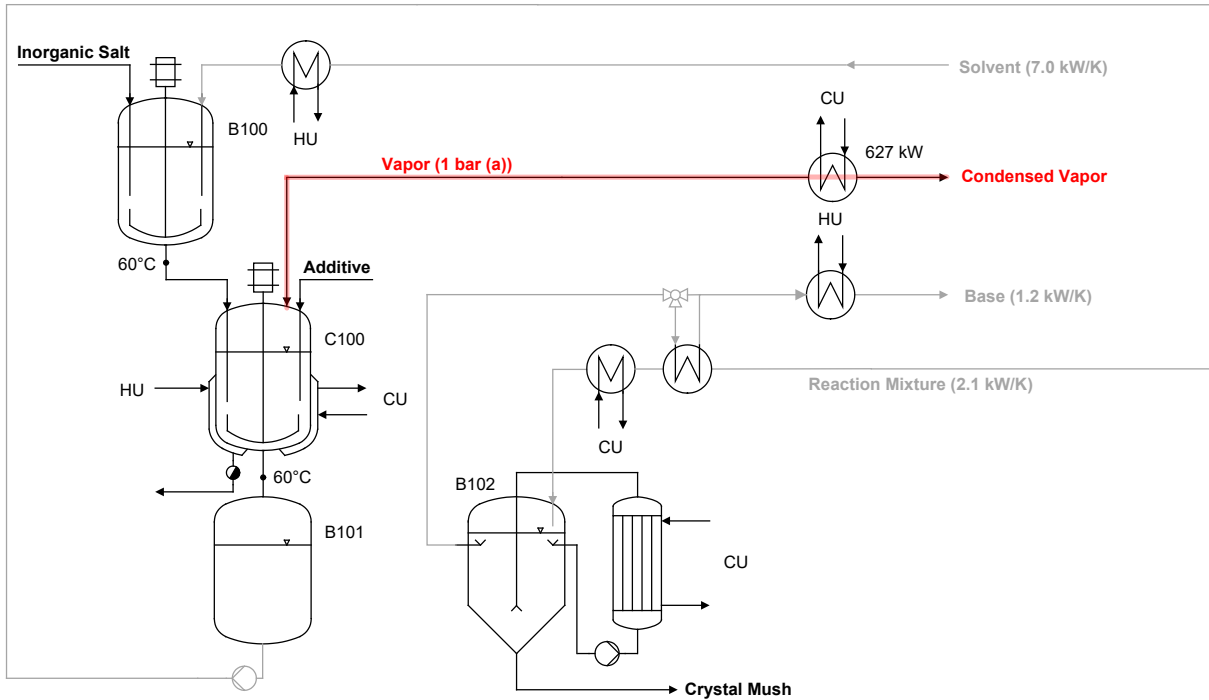


Abbildung 20: Verfahrensflussbild der optimierten Produktionsanlage im TS2

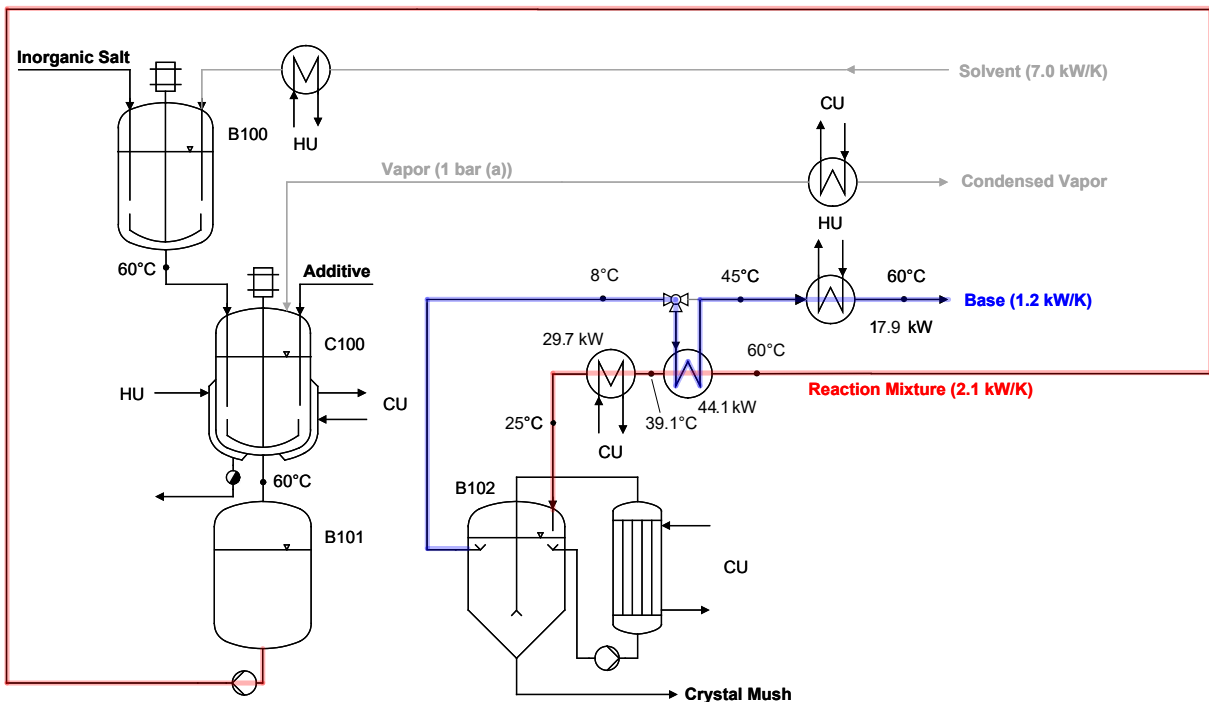


Abbildung 21: Verfahrensflussbild der optimierten Produktionsanlage im TS3 mit der direkten WRG zwischen Reaction Mixture und Base





Tabelle 6: Vergleich der bestehenden Produktionsanlage ohne WRG mit der optimierten Produktionsanlage

	HU		CU		Betriebskosten [€/a]	Jährliche Inv. Kosten [€/a]	Jährliche Gesamtkosten [€/a]
	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]			
<b>Bestehendes Design</b>							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'670	0	21'670
TS3	62	107	74	128	12'407	0	12'407
TS4	62	18	-	-	1'427	0	1'427
Total		367		850	54'858	0	<b>54'858</b>
<b>Optimiertes Design</b>							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'670	0	21'670
TS3	18	31	30	51	4'008	4'333	8'341
TS4	62	18	-	-	1'427	0	1'427
Total		291		773	46'459	4'333	<b>50'792</b>
<b>Einsparung während Amortisationszeit</b>							
TS1	0	0	-	-	0	0	0
TS2	-	-	0	0	0	0	0
TS3	44	76	44	76	8'399	-4'333	4'066
TS4	0	0	-	-	0	0	0
Total		76		76	8'399	-4'333	<b>4'066</b>

In diesem Tutorial lag der Fokus auf indirekter WRG. Neben dem direkten WRG-Potential, wurde in [Step 7](#) das indirekte WRG-Potential mit rund 320 kWh/Batch bestimmt. Indirektes WRG kann allerdings nur mit thermischen Energiespeichern (TES) realisiert werden. Das Vorgehen zur systematischen Integration eines TES in das Fallbeispiel (Herstellung eines Nährsalzes) wird in [Tutorial 4](#) näher erläutert.

## Vielen Dank für Ihre Zeit!

Sie sind nun mit den elementaren Schritten vertraut, um für einen nicht-kontinuierlichen Prozess eine Pinch-Analyse mit PinCH durchzuführen. Wenn Sie Fragen haben, können Sie sich gerne 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 sehr gute 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](http://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](mailto: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](mailto: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](http://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.