

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 sechs Tutorials werden Grundlagen der Energie- und Kostenoptimierung von industriellen Prozessen mit **PinCH** vermittelt:

PinCH-Tutorial 0	Einführung und Überblick
PinCH-Tutorial 1	Kontinuierliche Produktionsanlage
PinCH-Tutorial 2	Produktionsanlage mit mehreren Betriebsfällen
PinCH-Tutorial 3	Nicht-kontinuierliche Produktionsanlage
PinCH-Tutorial 4	Integration thermischer Energiespeicher
PinCH-Tutorial 5	Integration von Wärmepumpen

Die Tutorials sind aufeinander aufbauend gestaltet. Wenn Sie **PinCH** zum ersten Mal benutzen, empfehlen wir Ihnen, mit **Tutorial 0** zu starten.

Auf der Website www.pinch.ch können die Tutorials und die dazugehörigen PinCH-Dateien mit der jeweiligen Musterlösung heruntergeladen werden. Die Tutorials können mit der Testversion von **PinCH** (Vollversion, befristet auf 15 Tage, limitiert auf 6 Prozessströme) gelöst werden. Um die Testversion 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 softwarebezogene 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** „Einführung und Überblick“.

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.ch)
- R. Smith: Chemical Process - Design and Integration. 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2016; Pinch-Analyse ab Kap. 15 (ISBN 978-1-1199-9013-0)
- 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 das [PinCH-Tutorial 3](#) vor sich. Darin geht es um die Analyse und Optimierung einer Produktionsanlage der chemischen Industrie. Es handelt sich dabei um eine nicht-kontinuierliche Produktionsanlage zur Herstellung eines Nährsalzes. Das [Tutorial 3](#) ist wie folgt aufgebaut:

Inhaltsverzeichnis

I. Einführung Tutorial 3	2
II. Fallbeispiel: Herstellung eines Nährsalzes	3
III. 10 Steps in PinCH	8
IV. Optimierter Prozess	22

I. Einführung Tutorial 3

Lernziel: Sie können eine Pinch-Analyse für eine nicht-kontinuierliche Produktionsanlage mit [PinCH](#) durchführen.

Dauer: 2-3 Stunden

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

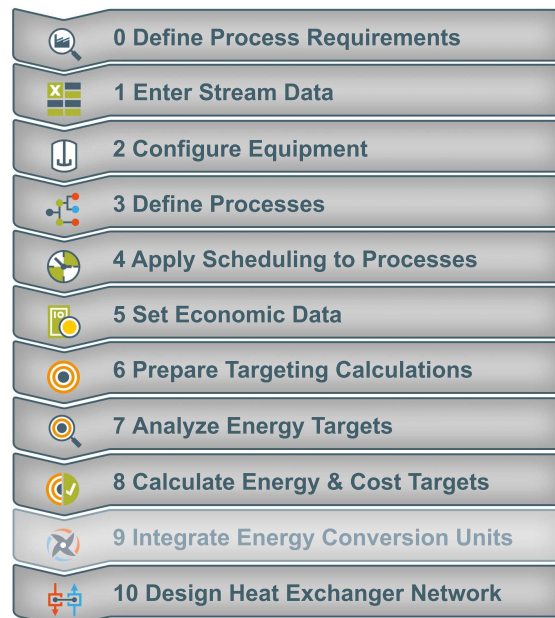


Abbildung 1: Ablauf in PinCH für die Optimierung eines nicht-kontinuierlichen Prozesses

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

II. Fallbeispiel: Herstellung eines Nährsalzes

Prozessbeschreibung

In einer Produktionsanlage der Düngemittelindustrie wird zur Herstellung eines Nährsalzes ein Batch-Reaktor mit anschliessender Kühlungskristallisation betrieben (siehe Abbildung 2). Als Ausgangsrohstoff dient anorganisches 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 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.

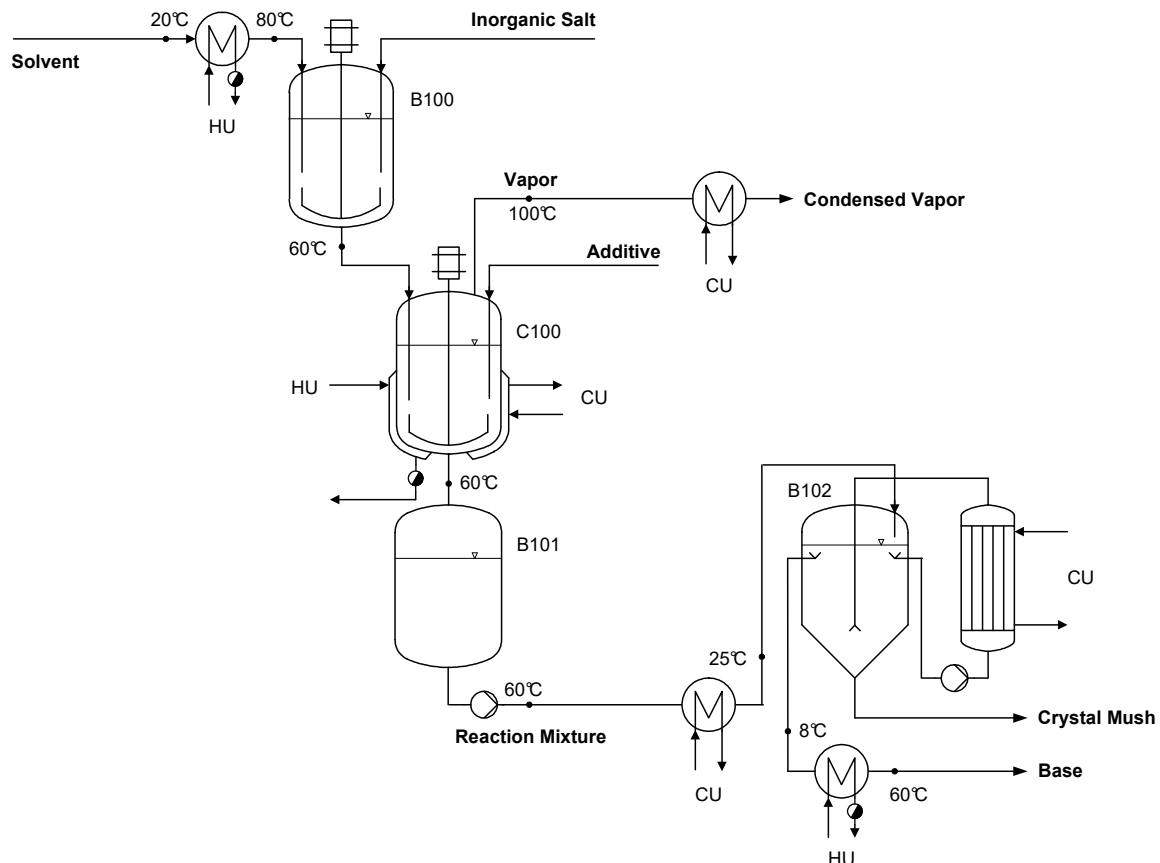


Abbildung 2: Verfahrensflussbild der bestehenden Produktionsanlage

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 Kristallisator auf 25 °C vorgekühlt. Mutterlauge (Base) und Kristallbrei (Crystal Mush) werden währenddessen aus dem Kristallisator 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 Betrachtung der nachfolgenden Wäsche des Kristallbreis sowie der Verarbeitung der Mutterlauge verzichten.

Tabelle 1: Mengenangaben pro Batch, spezifische Wärmekapazitäten und Wärmeübertragungskoeffizienten

Stoff	m [t]	c_p [kJ/(kg K)]	α [W/(m ² 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
Brüden (Vapor)*	2.0	2.00	4'000
Reaktionsgemisch (Reaction Mixture)	7.5	3.50	500
Kristallbrei (Crystal Mush)	2.5	3.00	300
Mutterlauge (Base)	5.0	3.00	500

* Die Kondensationsenthalpie des Brüdens beträgt bei 1 bar(a) 2'257 kJ/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.

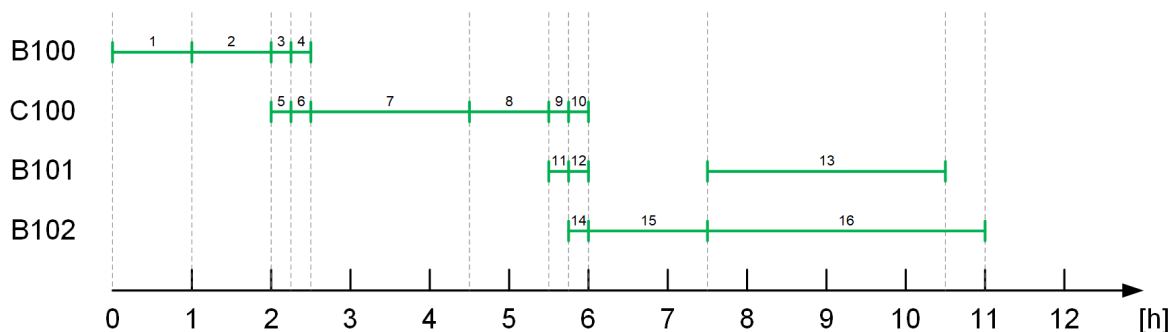


Abbildung 3: Gantt-Diagramm eines Batches zur Herstellung eines Nährsalzes

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

Tabelle 2: Prozessschritte eines Batchs

Equip.	#	Prozessbeschreibung	Betriebsart	Start	Dauer
B100	1	Vorwärmen 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 Reaktionsgemisch (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, Befüllen (6.5 t), Entleeren Mutterlauge (5 t) und Kristallbrei (2.5 t)	Processing	7 h 30 '	3 h 30 '

Energieversorgung (Utilities)

Für das Heizen und Kühlen der Prozessströme stehen die **Utilities** aus Tabelle 3 zur Verfügung. Als Hot Utility (HU) wird Heizdampf (Heating Steam) verwendet. Der Heizdampf liegt als Sattedampf vor, daher wird der Druck p und der Dampfgehalt x anstelle der Eintritts- (T_{in}) und Austrittstemperatur (T_{out}) angegeben. Die Cold Utility (CU) entspricht 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)]	α [W/(m ² K)]	c [€/kWh]
Heizdampf (Heating Steam, HU)	$x=1$	$x=0$	2.5	5'000	0.08
Kühlwasser (Cooling Water, CU)	8	14	1.0	2'000	0.03

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

Hinweis: Ein TS ist ein Zeitintervall, in welchem Heiz- und/oder Kühlbedarf vorhanden ist. Der Übergang von einem TS in ein anderes kennzeichnet sich dadurch, dass sich Änderungen im Heiz- und/oder Kühlbedarf ergeben.

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

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

Um die jährlichen Betriebskosten zu berechnen, müssen zuerst die Prozessanforderungen den jeweiligen TSs zugeordnet werden.

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) zu berücksichtigen sind, gilt für die gesamten Investitionskosten C_{Inv} :

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

wobei $a = 6'000 \text{ €}$, $C_b = 15'000 \text{ €}$, $A_b = 40 \text{ m}^2$, $m = 0.67$ und $f_L = 5$ ist (siehe [Tutorial 1](#)). Diese Werte werden für die Kostenberechnung aller HEXs mit der entsprechenden HEX-Fläche A verwendet.

Gesamtkosten

Die jährlichen Gesamtkosten C_{tot} [€/a] setzen sich aus dem Annuitätsfaktor A , den Investitionskosten C_{Inv} sowie den jährlichen Betriebskosten C_{Op} 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:

- Abschreibungszeitraum (Depreciation Period): $n = 10 \text{ a}$
- Zinsfaktor (Interest Rate): $Z = 5 \%$

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 $C_{tot} = C_{Op}$.

Problemstellung

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



Step 0: Define Process Requirements

Definieren Sie die [Prozessanforderungen](#), indem Sie die relevanten Daten extrahieren (siehe [Tutorial 1](#) für Hinweise zur Datenextraktion).

Hinweis: Prozessanforderungen sind nicht unbedingt an strömende Fluide gebunden. Auch das Erwärmen oder Abkühlen einer Lösung in einem Behälter ist eine Prozessanforderung. Welche Art der energetischen Modellierung in diesen Fällen zielführend ist, müssen Sie genau abwägen. Weitere Informationen hierzu finden Sie im [BFE-Handbuch](#).

Bei der Definition der Prozessanforderungen muss folgendes berücksichtigt werden: Es handelt sich bei der Beheizung des Reaktors um eine erzwungene Beheizung mit Heizdampf. Der Heizmantel des Reaktors ist aus verfahrenstechnischer Sicht nicht wegzudenken.

Die Modellierung des Reaktorinhalts selbst, die aufzuheizende und einzudampfende Lösung, gibt die eigentliche energetische Anforderung zwar wieder, aber diese Herangehensweise würde die Annahme zugrunde legen, dass das Beheizen über einen beliebigen Prozessstrom (der über ein Wärmeangebot auf einem ausreichend hohen Temperaturniveau verfügt) erfolgen könnte. Externes Beheizen, bei dem der Reaktorinhalt über einen Kreislauf mit einem Wärmeübertrager gepumpt wird, ist jedoch oft nicht möglich.

Auch eine Beheizung über einen beliebigen Prozessstrom im bestehenden Reaktormantel ist aus verfahrenstechnischer Sicht meist nicht machbar (ungleichmässiges Heizen, Temperaturspitzen und begrenzte Wärmeübertragerfläche). Sie können den Wärmebedarf allenfalls über den Heizdampf modellieren.

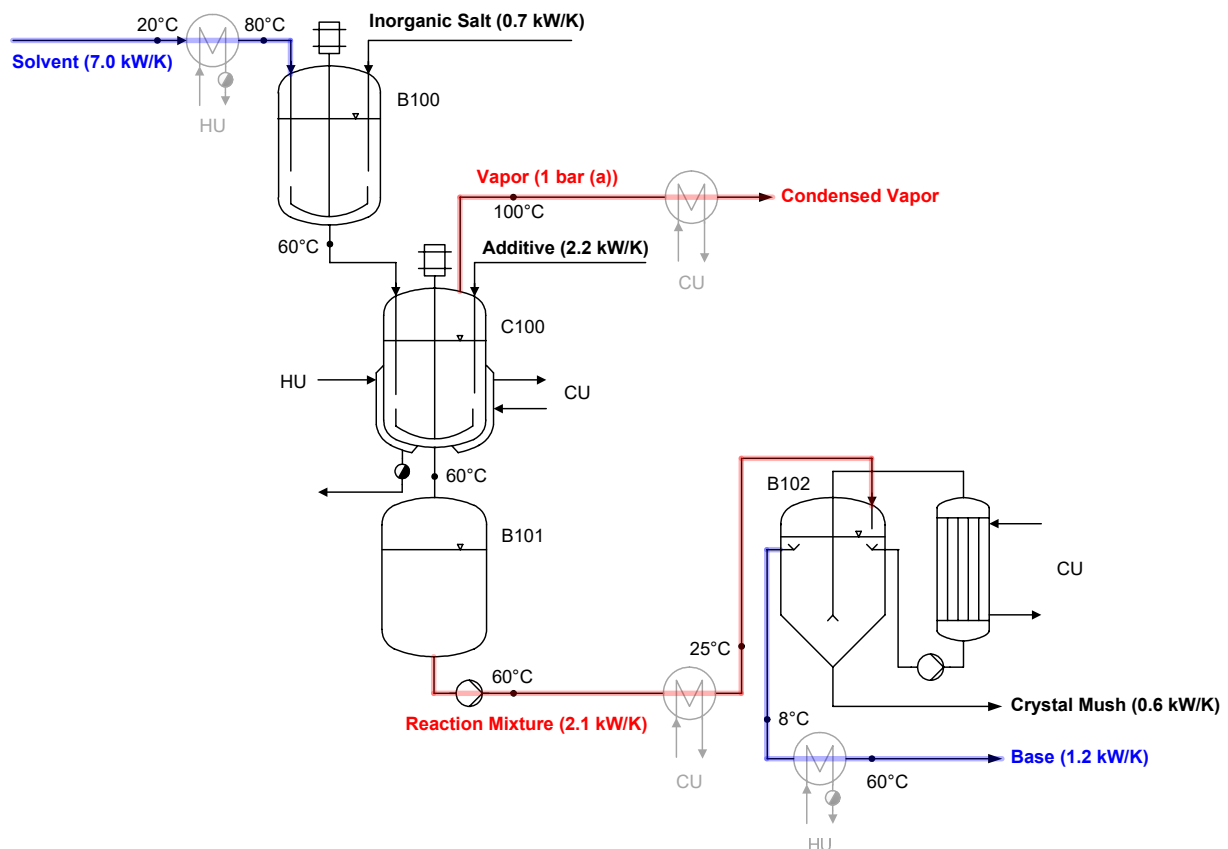


Abbildung 4: Verfahrensfliessbild mit Prozessanforderungen

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 des Brüdens, das Kühlen des Kristallisator-Feeds (Reaction Mixture) und das Erwärmen der entnommenen Mutterlauge (Base) müssen nicht zwingend Utilities verwendet werden. Daher müssen diese als Prozessanforderungen modelliert werden. In Abbildung 4 sind die Prozessanforderungen der Nährsalzproduktion aufgezeigt.

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

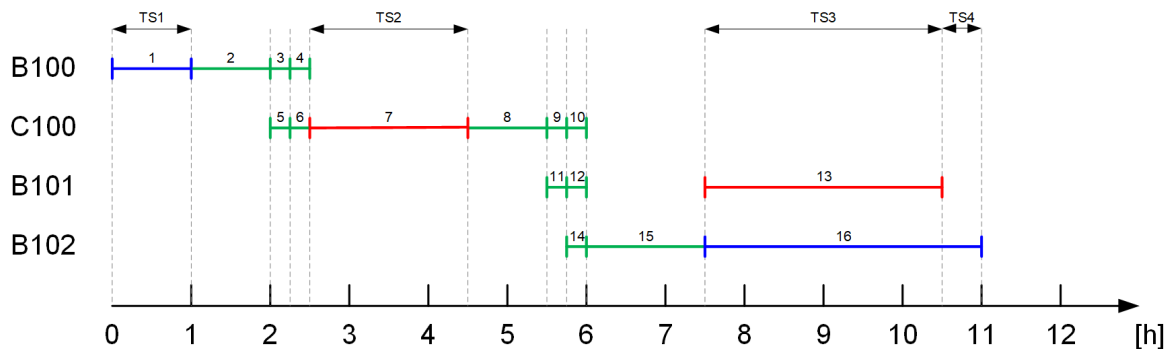


Abbildung 5: Heiz- und Kühlbedarf eines Batches

Der Heizbedarf (Cold Streams) ist im Gantt-Diagramm blau, der Kühlbedarf (Hot Streams) rot und das Pre- und Postprocessing (Prozessschritte, welche das Equipment blockieren, aber keinen Heiz- und/oder Kühlbedarf haben, z. B. die 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 muss. In Tabelle 4 sind der Utility-Bedarf sowie die daraus resultierenden jährlichen Betriebskosten C_{Op} aufgelistet.

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

TS	Δt [h/Batch]	τ [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	21'667
TS3	3.0	1'728	62	74	12'436
TS4	0.5	288	62	-	1'438
Total	6.5	3'774	-	-	54'895

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 ggf. anzupassen. Da in unseren Tutorials die Kosten in € (mit einem Wechselkurs von 1 CHF/€) angegeben werden, muss die Währung unter Umständen in den Einstellungen angepasst werden. Des Weiteren wird in diesem Tutorial mit den Einheiten in kW und kWh gearbeitet. Wie Sie bei der Anpassung vorgehen, wird im [Tutorial 0](#) erläutert.

Das Tutorial folgt den [10 PinCH Steps](#) (vgl. [Tutorial 0](#)). In den [Steps 1-5](#) werden die prozess-relevanten Daten im [Project Explorer](#) erfasst. In den [Steps 6-10](#) 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 Registerkarte **Process Stream Table**.

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

anklicken.

Oder:

Rechtsklick ins leere Feld des Registers **Process Stream Table**

Add Batch Process Stream wählen

Benennen Sie die Prozessströme 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 jeweiligen Vorgangs berechnen. Die Zeiten **tstart** und **tstop** eines Batch-Prozessstroms 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	$\dot{m}$ kg/s	c_p kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m² K)	Pressure bar(a)	CP kW/K	ΔH kW	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg	Soft	tstart dd:hh:mm	tstop dd:hh:mm
	Solvent		20	80	1.66667	4.2	-	2000	-	7	420	Simple	-	☐	00:00:00	00:01:00
	Vapor		x1	x0	0.27778	-	2257.44	4000	1	-	627.07	Water	-	☐	00:02:30	00:04:30
	Reaction Mixture		60	25	0.60185	3.5	-	500	-	2.11	73.73	Simple	-	☐	00:07:30	00:10:30
	Base		8	60	0.39683	3	-	500	-	1.19	61.91	Simple	-	☐	00:07:30	00:11:00

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 daher.

Die vollständige **Utility Stream Table** sieht folgendermassen aus:

+/-	Name	Hot/Cold	Tin °C	Tout °C	c_p kJ/(kg K)	Phase Change kJ/kg	α W/(m² K)	Pressure bar(a)	Utility Cost EUR/kWh	Fluid	Humidity Ratio In kg/kg
	Heating Steam (HU)		x1	x0	-	2181.14	5000	2.5	0.08	Water	-
	Cooling Water (CU)		8	14	4.1938	-	2000	1	0.03	Water	-

Abbildung 7: Utility Stream Table



Step 2: Configure Equipment

Damit die einzelnen Batches zur Erhöhung der Produktivität und des direkten WRG-Potenzials zeitlich überlappt werden können, muss garantiert werden, dass kein Equipment zur selben Zeit in zwei verschiedenen Batches verwendet wird. Ansonsten würden mehrere Exemplare dieses Equipments benötigt werden. Dabei ist wichtig, dass die Equipments während des Pre- und Postprocessing (z. B. der 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 Prozessstrom 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 ergeben sich folgende Zugehörigkeiten:

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

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

- ☞ Wählen Sie ein Equipment an.
- ☞ Klicken Sie unterhalb des **Target Explorer** auf **Properties**.
- ☞ Geben Sie die Zeitdauer des Pre- und Postprocessings 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 häufig 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 ein Equipment vorhanden ist, tragen Sie bitte für jedes Equipment die Zahl 1 ein.

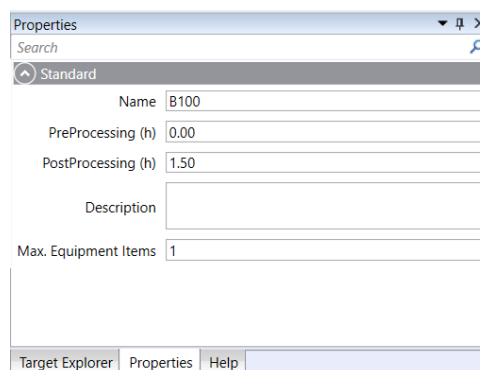


Abbildung 8: Properties des Equipments B100



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** ( **BaseCase**  **Processes**)
-  **Remove Process** wählen
-  Rechtsklick auf **Processes**
-  **Add Batch Process** wählen

Benennen Sie den Batch-Prozess nun in „Nutrient Salt Production“ um (F2) und weisen Sie diesem alle definierten Prozessströme zu. Benennen Sie anschliessend den Ordner „BaseCase“ in „Non-Overlapping Case“ um.



Step 4: Apply Scheduling to Processes

Zeitpläne (Schedules) werden zur Definition des zeitlichen Ablaufs der in [Step 3](#) definierten Prozesse benötigt. Gibt es mehrere, zumindest teilweise parallel ablaufende Prozesse, können Betriebsfälle (Operating Cases) auftreten, während derer ein Wärmetransfer zwischen den Prozessen möglich ist. In diesen Fällen muss ein [Operating Case Schedule](#) entsprechend ausführlich beschrieben werden. Benennen Sie „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
-  Für **# Batches** 2 eingeben
-  Als Betriebstage Mo-Sa anwählen
-  **Daytime Start** auf 00:00 Uhr einstellen
-  Für **CW Start** 1 eingeben
-  Für **# Weeks** 48 eingeben
-  Für **Batch Cycle Duration (BCD)** 11 h eingeben

Hinweis: Die **Batch Cycle Duration (BCD)** ist die Zeitdauer vom Beginn eines Batches bis zum Beginn des nächsten Batches. Im Fall einer Stafflung/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 Prozessschritte entnehmen. Auf der horizontalen Achse können Sie neben der Zeit (in unserem Fallbeispiel der Tageszeit) auch die Anzahl und Dauer der TSs entnehmen. Wenn Sie mit dem Mauszeiger über die einzelnen Abschnitte im grauen Balken fahren, erhalten Sie Informationen zu jedem einzelnen TS.

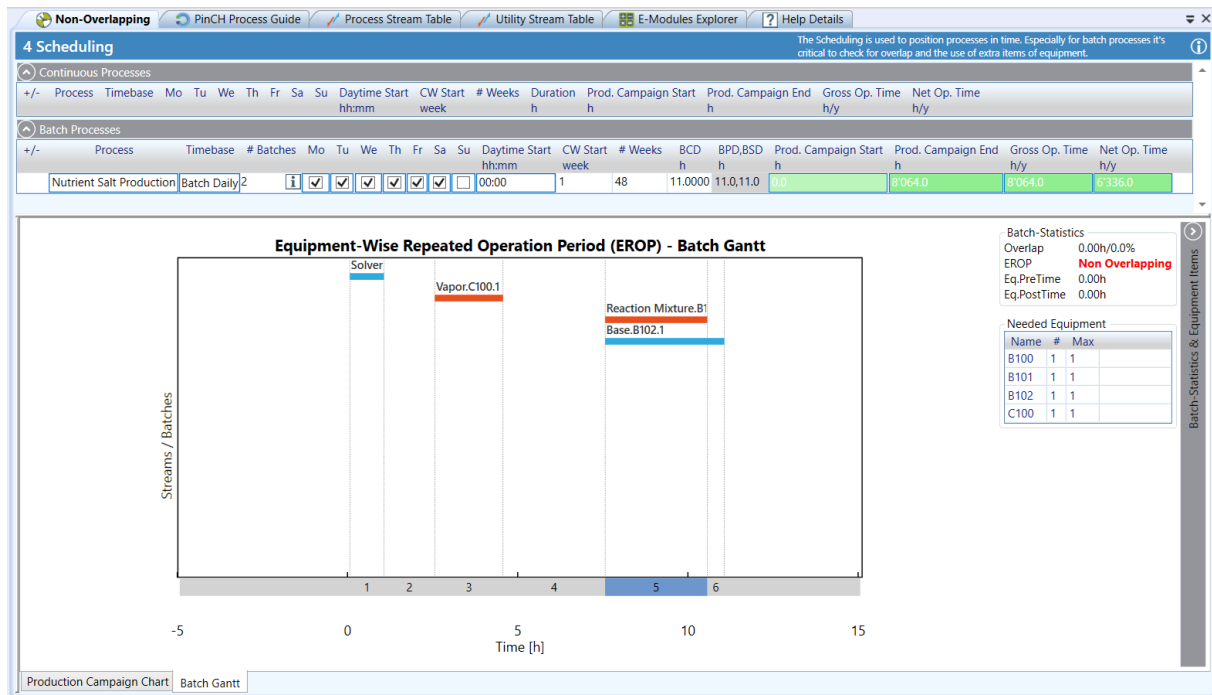


Abbildung 9: Equipment-Wise Repeated Operation Period (EROP) des sich nicht-überlappenden Batch-Prozesses

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.

Dublizieren Sie nun den Ordner „Non-Overlapping Case“ im **Project Explorer** und benennen Sie diesen zu „Overlapping Case“ um. Ändern Sie ebenfalls das OC Scheduling zu „Overlapping“ um. In diesem Scheduling werden wir den vorherigen 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 sich überlappenden Batch-Prozesses abgebildet. Es ist ersichtlich, dass die Prozessströme Vapor, Reaction Mixture und Base zeitgleich existieren und dadurch das direkte WRG-Potenzial ansteigt.

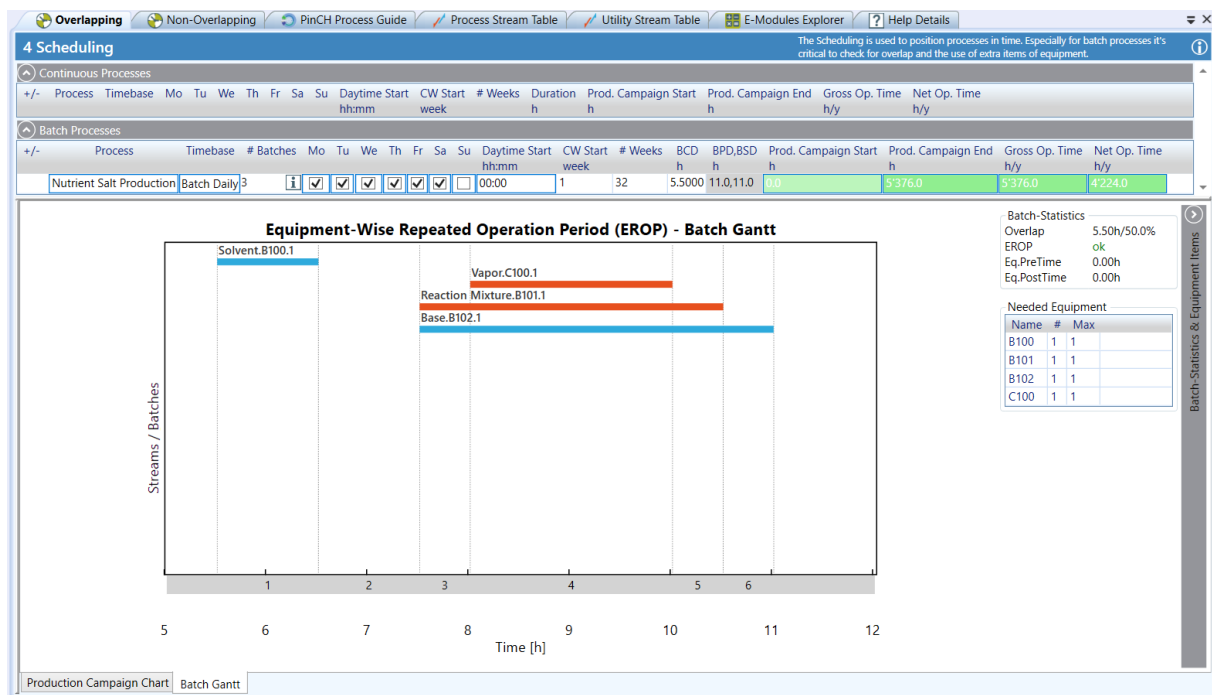


Abbildung 10: EROP des sich überlappenden Batch-Prozesses

Hinweis: Auf der rechten Seite neben dem **EROP** wird angegeben, wie häufig jedes Equipment benötigt wird und wie oft es maximal zeitgleich verwendet werden darf. Dies wurde in **Step 2** konfiguriert. Die Anzahl eines Equipments wird erhöht, wenn dieses in verschiedenen Batches gleichzeitig benötigt wird. Es ist ersichtlich, dass in den beiden Schedules Non-Overlapping und Overlapping jedes Equipment nur einmal benötigt wird.



Step 5: Set Economic Data

Für die Berechnung der Investitionskosten ist die Angabe von wirtschaftlichen Kenngrößen erforderlich. In **PinCH** werden die Kosten der notwendigen HEXs zur Erfüllung der definierten Prozessanforderungen berechnet. Darin enthalten sind HEXs zwischen zwei Prozessströmen (WRG) und HEXs zwischen einem Prozessstrom 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-HEXs auf Null gesetzt werden.

Hinweis: Die beiden zuvor definierten Batch-Prozesse verfügen jeweils über eine eigene Registerkarte **Economic Data**. Die wirtschaftlichen Kenngrößen können (und müssen) daher für beide Prozesse unabhängig voneinander definiert werden.

Die Registerkarten **Economic Data** sollten nun beide wie folgt aussehen:

5 Economic Data

The economic data is used throughout the software PinCH for calculating costs associated with an heat exchanger network (HEN), energy conversion units and the

Heat Exchanger Costs

$$C = a + C_b \cdot (A/A_b)^m \cdot f_L$$

A = Heat Exchanger Area in m²

Type	Fixed Cost a EUR	Base Cost C _b EUR	f _L	Base Area A _b m ²	Exponent m
Process Heat Exchanger	6000	15'000	5.00	40	0.67
Hot Utility Heat Exchanger	0	0	1.00	100	0.71
Cold Utility Heat Exchanger	0	0	1.00	100	0.71
ISSP Heat Exchanger	0	0	3.00	100	0.71

Storage: Tank Costs

$$C = a + C_b \cdot (V/V_b)^m \cdot f_L$$

V = Tank Volume in m³

Storage	Fixed Cost a EUR	Base Cost C _b EUR	f _L	Base Volume V _b m ³	Exponent m	Storage Type
FTVM	0	50'000	3.00	100	0.71	FTVM
Stratified	0	50'000	3.00	100	0.71	Stratified

Storage: Media Costs and Media Properties

$$C = C_b \cdot m_{sm}$$

m_{sm} = 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	0.001	1000	2'000	4.19
Heat Transfer Oil	5	800	1'000	2.00

Note: Open Circuit Media is handled in the ISSP properties

Amortisation Parameters

Depreciation Period: 10 y

Interest Rate: 5 %

Annuity Factor: 0.130 1/y

Abbildung 11: Economic Data

Nach der Durchführung von **Step 1-5** hat Ihr **Project Explorer** nun folgenden Aufbau:

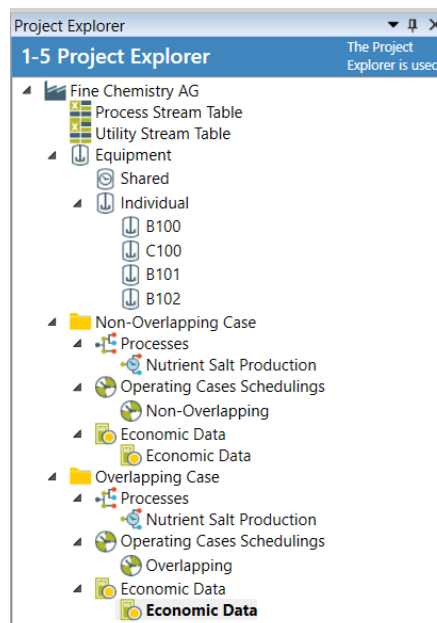


Abbildung 12: Project Explorer



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** für jeden vorhandenen Ordner eine **Target Group** erstellen. Benennen Sie diese in „Non-Overlapping Case“ und „Overlapping Case“ um, passend zum jeweiligen Ordner.

Ihr **Target Explorer** sollte nun folgenden Aufbau haben:

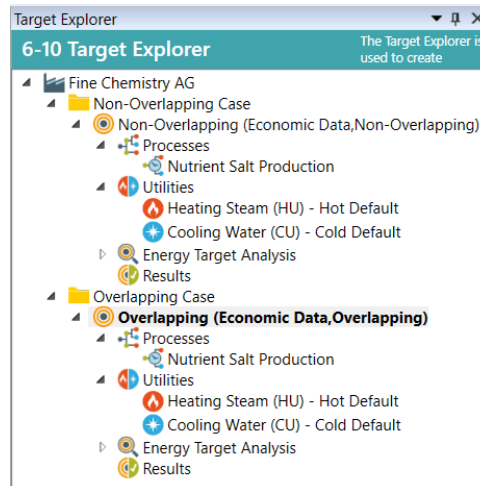


Abbildung 13: Target Explorer

Wenn Sie Probleme mit dem Erstellen der **Target Group** haben sollten, konsultieren Sie bitte **Tutorial 1**. Dort wird in **Step 6** das Vorgehen erläutert.



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 den WRG-Potenzialen für das betrachtete Szenario (Target Group) durchführen.

Hinweis: Die **ETA** ist ein Tool zur Analyse des WRG-Potenzials unter Berücksichtigung des zeitlichen Prozessablaufs. Insbesondere können einzelne Prozessströme oder TSs ausgeblendet werden, um sich auf die signifikanten WRG-Potenziale zu konzentrieren. Dabei können sowohl direkte 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-Potenziale visualisiert werden. Bei der Untersuchung von gesamten Firmenstandorten (**Total Site Analysis, TSA**) können mit der **Split GCC** WRG-Potenziale zwischen verschiedenen Prozessen analysiert werden.

Im **Energy Target Analysis Tool** können das direkte und das indirekte WRG-Potenzial für Batch-Prozesse 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** (Wir beginnen mit dem Non-Overlapping Case.)
-  **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 die **EROP** dargestellt, bei welcher nun die vier relevanten TSs grün hervorgehoben werden.

Damit dies sichtbar wird, müssen Sie unter **Processes** zuerst den gewünschten Prozess, hier Nutrient Salt Production, auswählen.

- **TS Data:** In der Tabelle sind das gewählte ΔT_{min} , das WRG-Potenzial sowie der Bedarf an Utilities für jedes TS aufgelistet.
- **TS Charts:** Hier werden die Diagramme zu den in der Tabelle **TS Data** ausgewählten TSs dargestellt.

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

- ☛ Wählen Sie im Fenster **Time Charts** das Kontrollkästchen bei **Batch TS** an. (Bei **Processes** muss Nutrient Salt Production ausgewählt sein.)
- ☛ Wählen Sie im Fenster **TS Charts** am unteren Rand die Registerkarte **TAM** an.

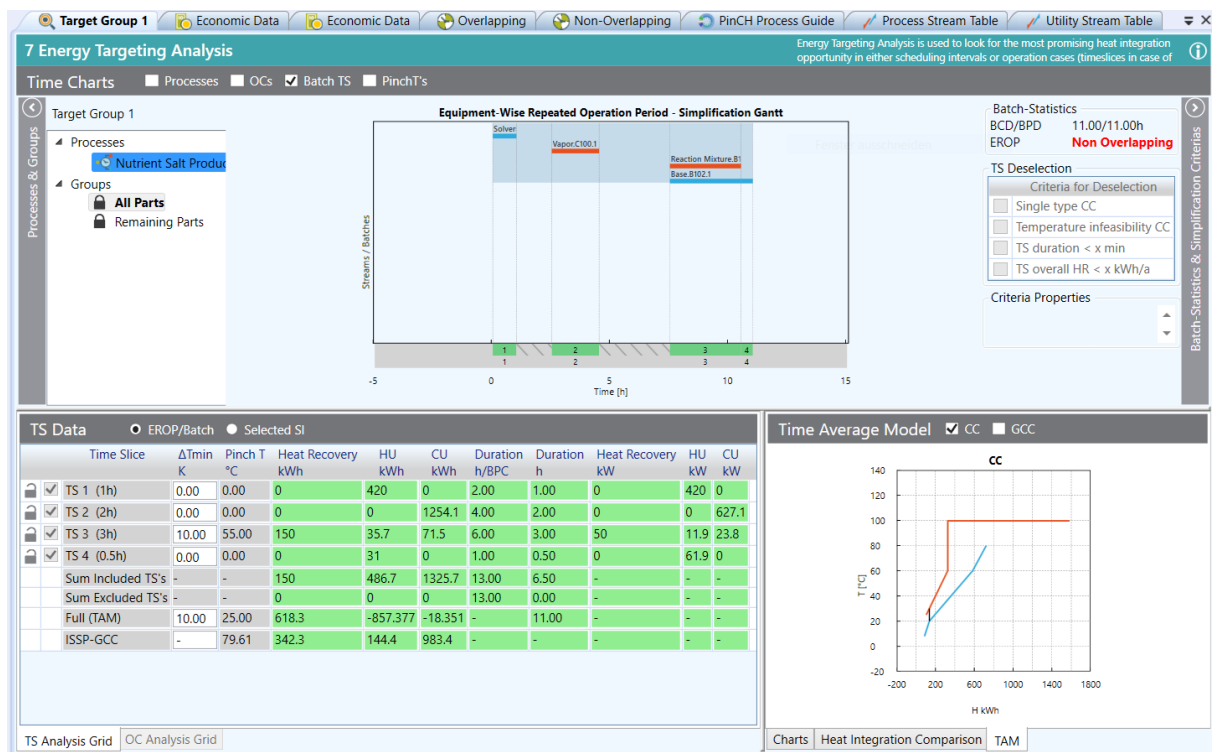


Abbildung 14: Energy Targeting Analysis des sich nicht-überlappenden Betriebs mit Visualisierung des maximal möglichen WRG-Potenzials im TAM

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

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

Die 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 jedes TS einzeln aufgeführt. Das indirekte WRG-Potenzial ist in Zeile der **ISSP-GCC** aufgeführt (342.3 kWh/Batch). Dieses Potenzial kann mit der **ISSP-GCC** visualisiert werden.

Gehen Sie wie folgt vor:

- ☛ Wählen Sie im Fenster **Time Average Model** am unteren Rand die Registerkarte **Charts** an.
- ☛ Wählen Sie das Kontrollkästchen **ISSP-GCC** im Fenster **TS Charts** (vorher **Time Average Model**) an.

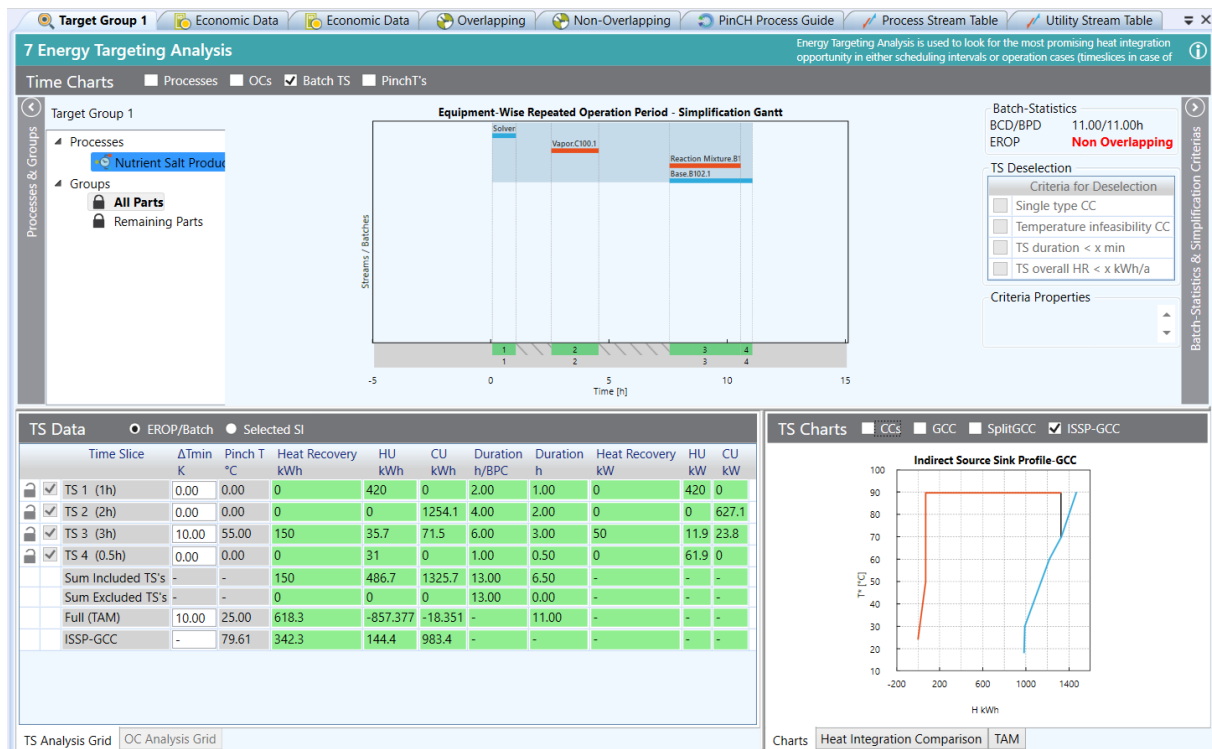


Abbildung 15: Energy Targeting Analysis des sich nicht-überlappenden Betriebs mit Visualisierung des indirekten WRG-Potenzials in der ISSP-GCC

Hinweis: Mit dem **TAM** wird die sich zyklisch wiederholende Periode betrachtet und das Wärmeangebot bzw. der Wärmebedarf jedes Stroms über die gesamte Periodendauer 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 hierbei wie folgt vor:

- ☛ Rechtsklick auf **Groups** im Fenster **Time Charts**
- ☛ Wählen Sie **Add Simplified Targeting-Group** und benennen Sie "New Group" in "Direct Heat Recovery" um.

- ☞ Klicken Sie im **Overall Gantt Chart** auf den gestrichelten Balken in der Abbildung
- ☞ Wählen Sie das Kontrollkästchen **Processes** ab und stattdessen **Batch TS** an
- ☞ 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 als gestrichelte Balken dargestellt. Ausserdem werden die Zeilen der jeweiligen TSs im Fenster **TS Data** automatisch ausgewählt und grau hinterlegt.
- ☞ Klicken Sie auf das Schloss-Symbol, 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 TS's** mit 150 kWh/Batch angegeben.

Da für die indirekte WRG thermische Energiespeicher benötigt werden, welche zusätzliche Kosten verursachen würden, sollte die direkte WRG im Allgemeinen der indirekten WRG vorgezogen werden. Das direkte WRG-Potenzial kann durch das Überlappen der Batchs vergrössert werden. Ein weiterer Vorteil ist dabei die höhere Produktivität. Die Überlappung schränkt allerdings die Flexibilität in der Produktionsplanung ein. Die verschiedenen Aspekte müssen deshalb jeweils sorgfältig betrachtet und abgewogen werden.

Führen Sie dieselben Schritte für die **Target Group** Overlapping Case durch. Die **Energy Target Analysis** sollte wie folgt aussehen:

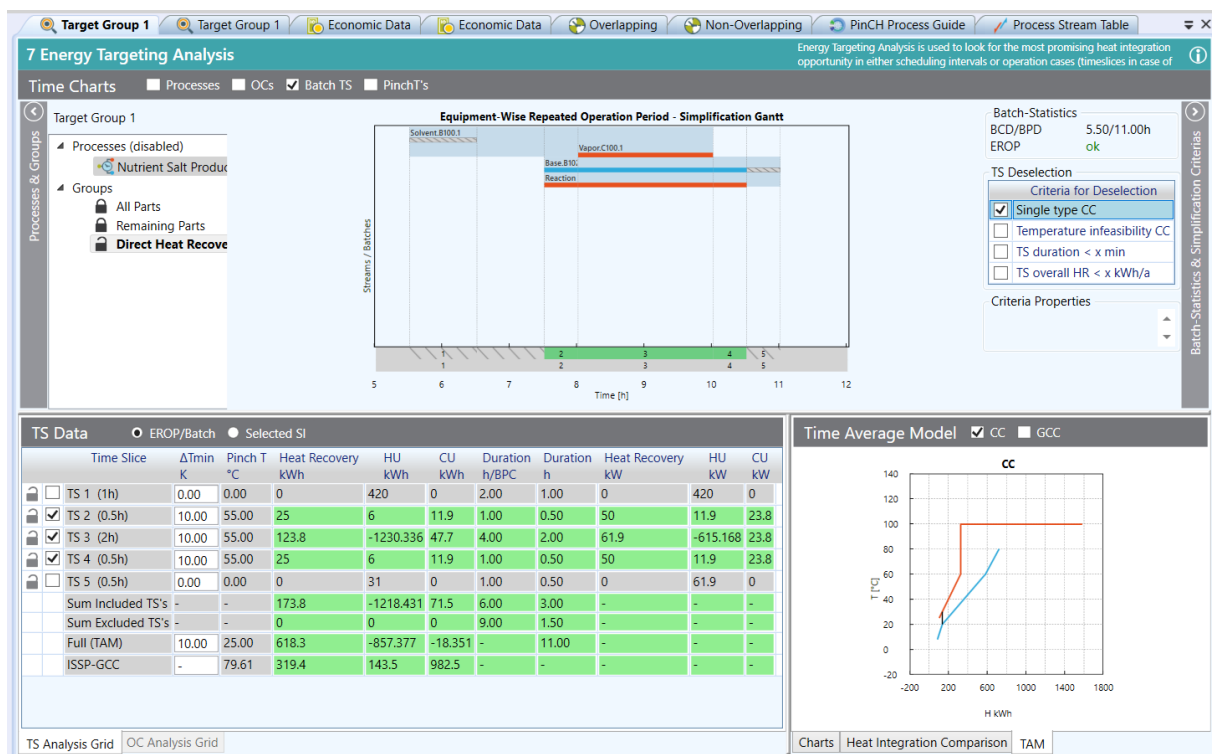


Abbildung 16: Energy Targeting Analysis des sich überlappenden Betriebs

Es ist ersichtlich, dass durch das Überlappen der einzelnen Batchs ein zusätzliches TS entsteht. Zudem ist nun direktes WRG-Potenzial in TS2 und TS4 entstanden. In Tabelle 5 werden die WRG-Potenziale des sich nicht-überlappenden und des sich überlappenden Batch-Prozesses miteinander

der verglichen. Die maximal mögliche WRG gemäss [TAM](#) berücksichtigt sowohl direkte als auch indirekte WRG, deshalb ist der Wert für beide Betriebsweisen gleich. Das direkte WRG-Potenzial ([Sum Included TS's](#)) für den sich überlappenden Betrieb ist jedoch um 16 % gestiegen und das indirekte WRG-Potenzial um 7 % gesunken.

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 sich überlappendem und sich nicht-überlappendem Betrieb bezüglich WRG-Potenzial

Betriebsweise	Maximale WRG [kWh/Batch]	Direkte WRG [kWh/Batch]	Indirekte WRG* [kWh/Batch]
nicht-überlappend (BCD = 11 h)	618.3	150.0	342.3
überlappend (BCD = 5.5 h)	618.3	173.8	319.4

* 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 optimal zu installierende HEX-Fläche, die benötigte Anzahl an zu installierenden HEXs und die damit verbundenen, minimalen jährlichen Gesamtkosten.

Hier wird das Vorgehen zur Berechnung der Energie- und Kostenziele für den sich nicht-überlappenden Betrieb 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)
-  [Create Target Result from Group with...](#)  [Supertargeting \(Global \$\Delta T_{min}\$ \)](#) wählen
-  Rechtsklick auf [Supertargeting \(Global \$\Delta T_{min}\$ \) 1_2 \(Direct Heat Recovery\)](#)
-  [Open Target Result](#) 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 des Kontrollkästchens [Show Ignored TS](#) werden die ausgeschlossenen TSs eingblendet. Da im Fallbeispiel nur in TS3 direktes WRG-Potenzial besteht, kann das ΔT_{min} bezüglich der Gesamtkosten optimiert werden, ohne dass die anderen TSs beeinflusst werden und somit das gesamte Wärmeübertragernetzwerk verkompliziert wird. Im Diagramm [Cost Curves](#) im Fenster [TS Charts](#) wird das Kostenoptimum aufgezeigt. Es ist ersichtlich, dass die Gesamtkosten bei einem $\Delta T_{min} = 10$ K ihr Optimum haben. Passen Sie daher in Tabelle [TS Data](#) den Wert für ΔT_{min} an. Die resultierenden Energie- und Kostenziele können nun der Tabelle [TS Data](#) aus Abbildung 17 entnommen werden.

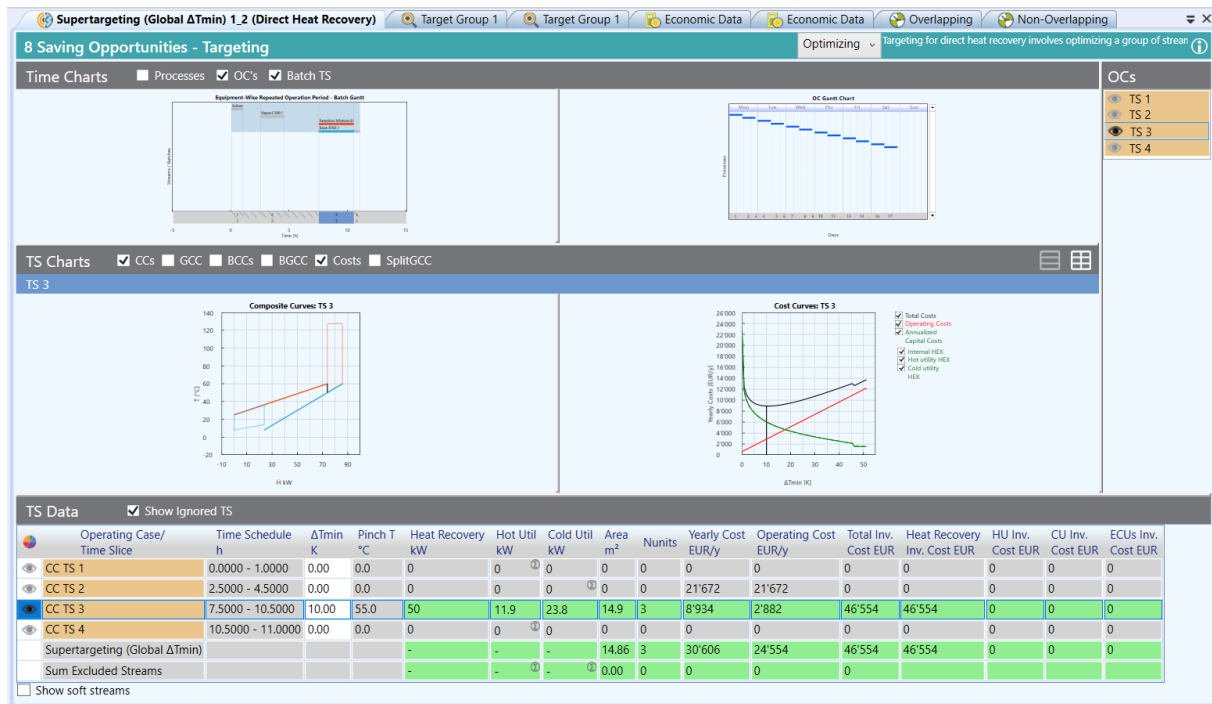


Abbildung 17: Energie- und Kostenziele der Target Group Non-Overlapping Case



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 des Brüdens 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 Verfahrensflussbild. Es zeigt auf, welche Prozessströme in welcher Reihenfolge mit HEXs verbunden werden sollen. Basierend auf dieser Grundlage kann ein optimiertes Anlagendesign erarbeitet werden.

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

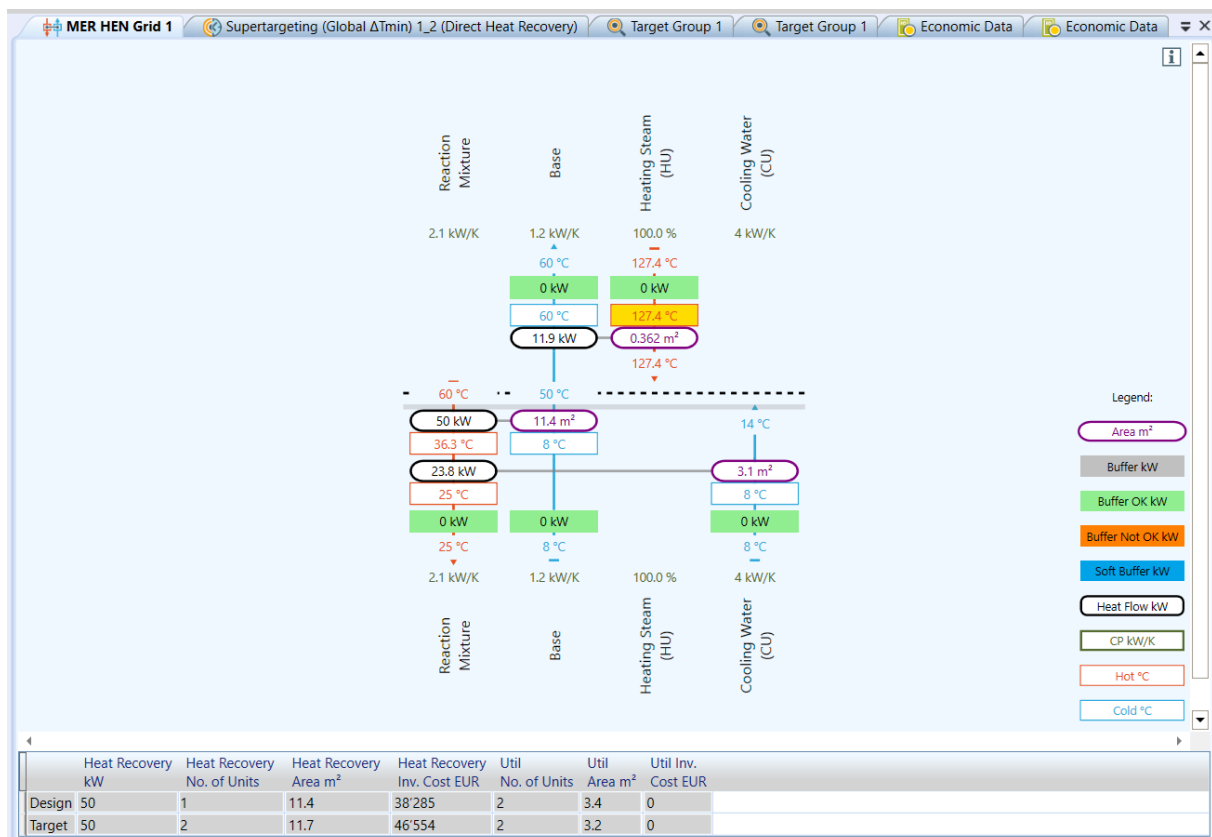


Abbildung 18: MER HEN des TS3

IV. Optimierter Prozess

Nun übertragen wir das erstellte **MER HEN** auf das zu Beginn des Tutorials gezeigte Verfahrensflussbild. In den Abbildungen 19 bis 22 ist das Verfahrensflussbild des optimierten Prozesses für die verschiedenen TSs dargestellt. Für TS1, TS2 und TS4 ergibt sich keine Veränderung gegenüber der Bestandsanlage.

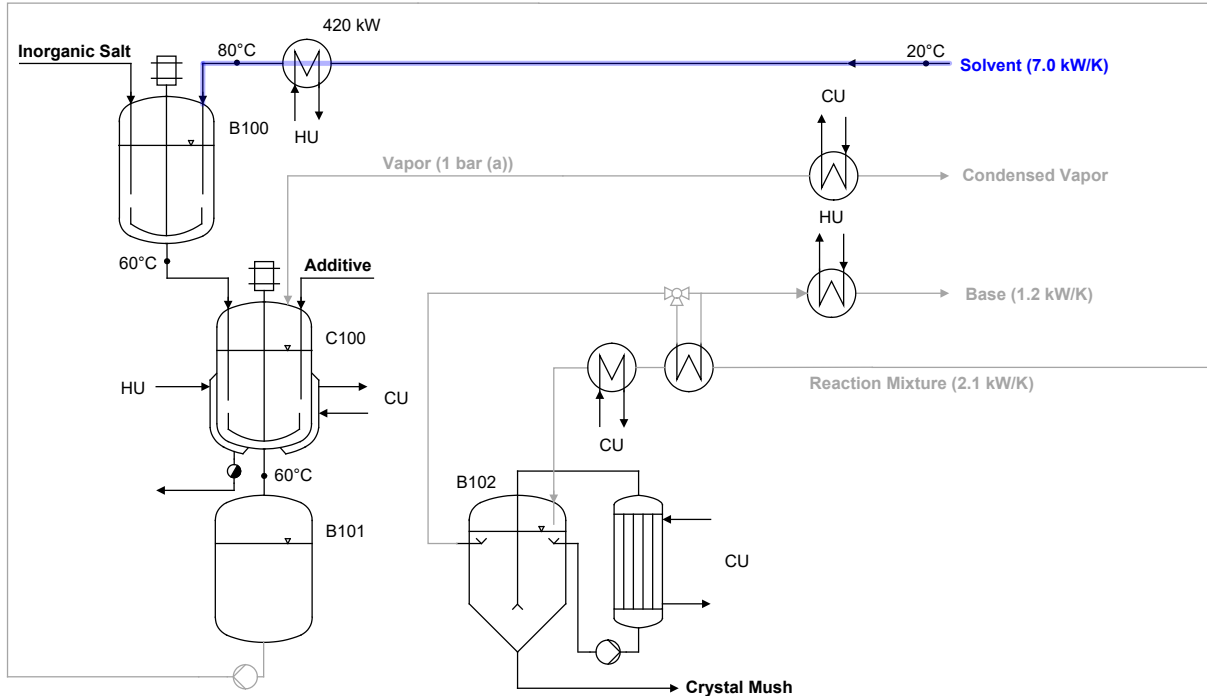


Abbildung 19: Verfahrensflussbild der (optimierten) Produktionsanlage im TS1

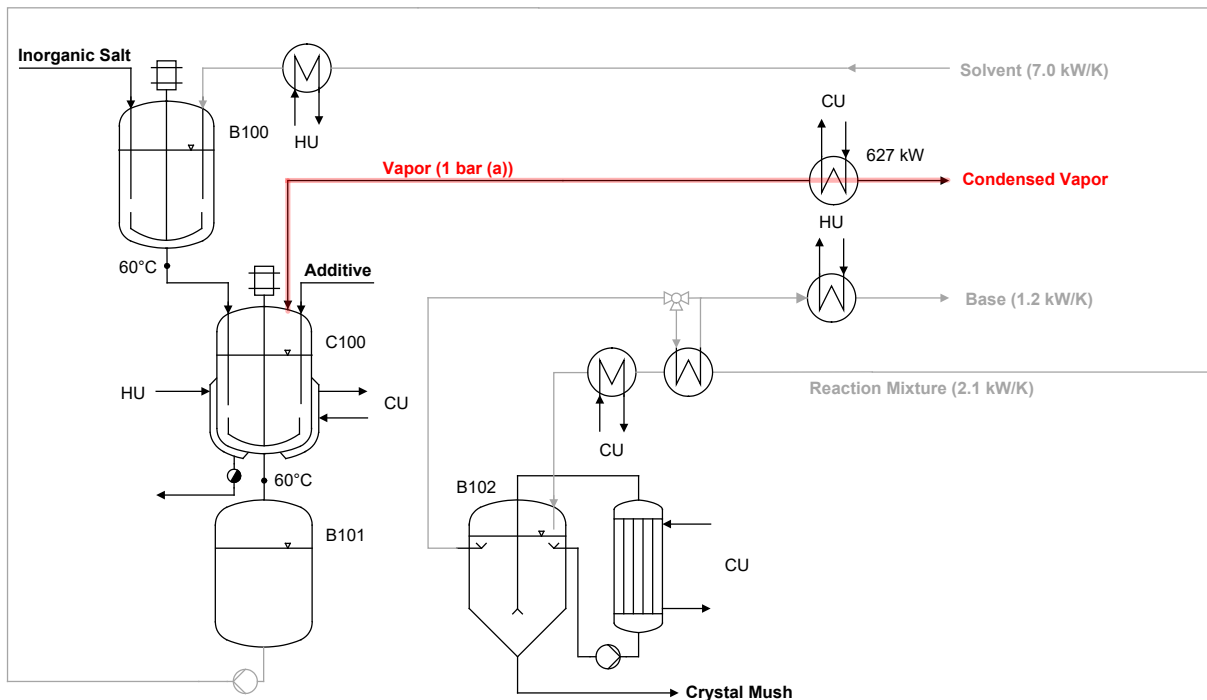


Abbildung 20: Verfahrensflussbild der (optimierten) Produktionsanlage im TS2

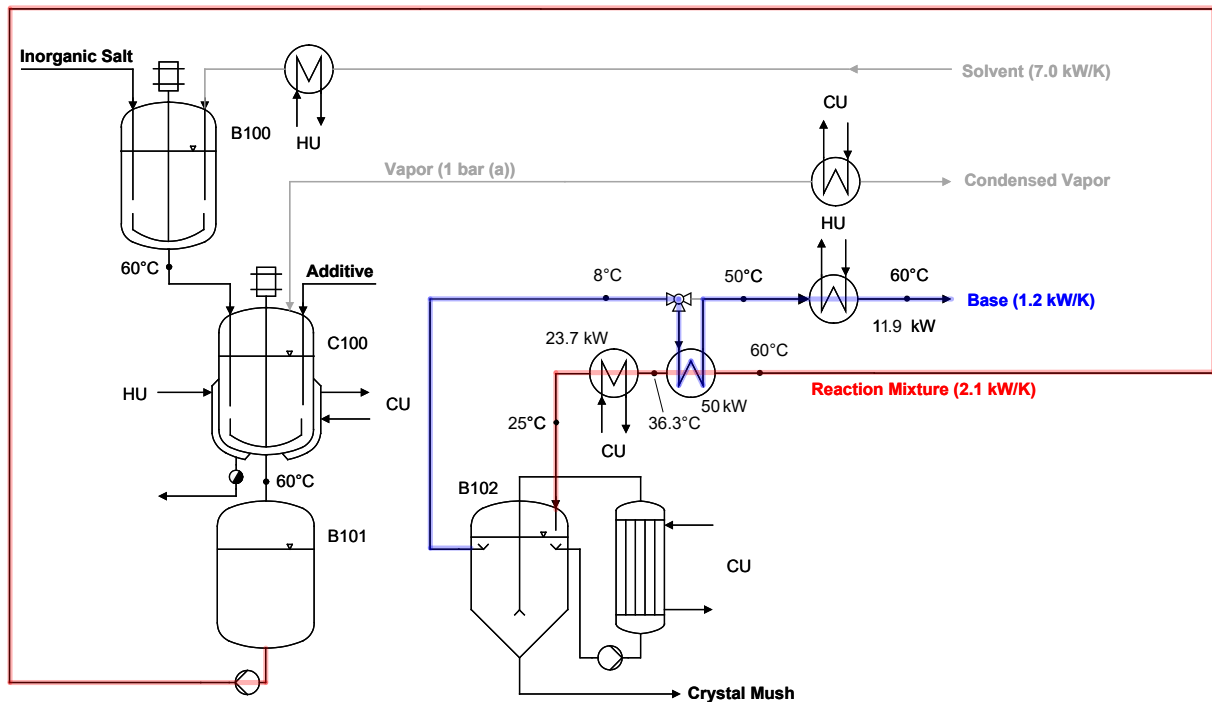


Abbildung 21: Verfahrensflussbild der optimierten Produktionsanlage im TS3 mit direkter WRG zwischen Reaction Mixture und Base

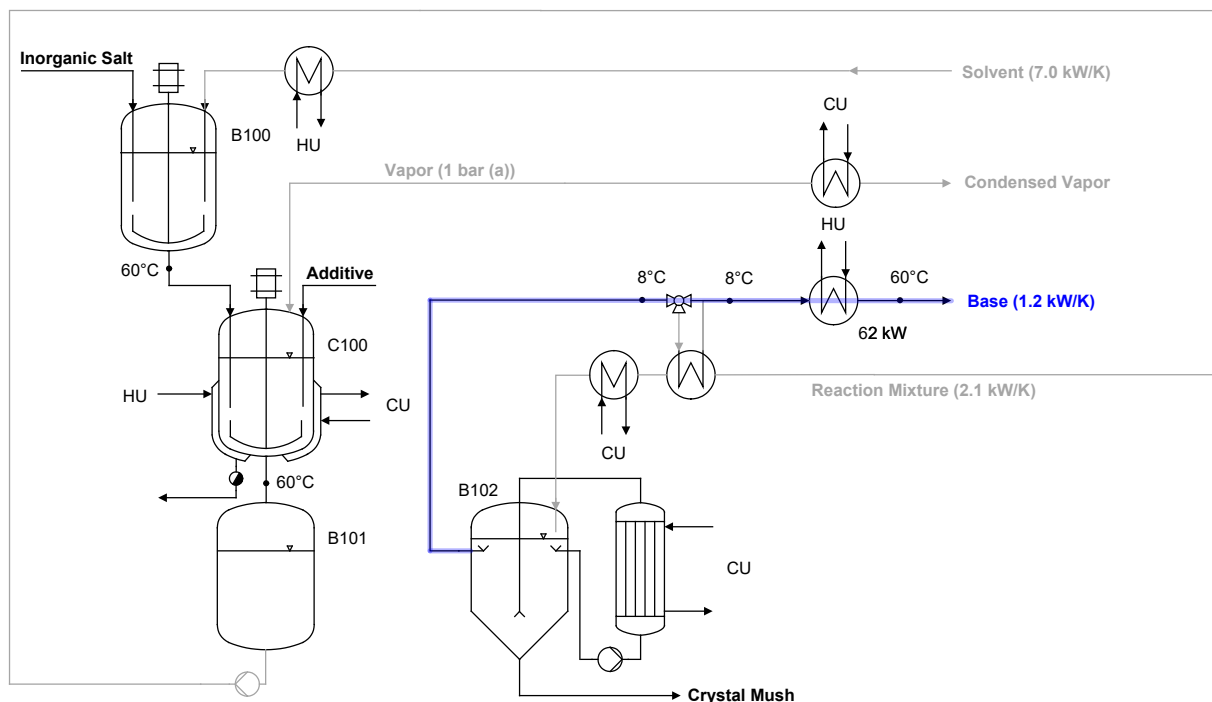


Abbildung 22: Verfahrensflussbild der (optimierten) Produktionsanlage im TS4

In Tabelle 6 ist ersichtlich, dass durch direkte WRG ca. 50 kW an Utilities im TS3 eingespart werden können, ohne dabei Flexibilität zu reduzieren. Damit können jährlich 87 MWh HU und 86 MWh CU eingespart werden. Für die WRG-Massnahme muss ein zusätzlicher HEX installiert werden, welcher Investitionskosten von 38'285 € verursacht. Diese werden über 10 Jahre abgeschrieben, wobei jährliche Investitionskosten von 4'977 €/a entstehen. Während der zehnjährigen Abschreibungszeit führt dies zu einer jährlichen Einsparung der Gesamtkosten von 4'580 €/a. Dies entspricht

einer Reduktion der Gesamtkosten um 8.3 %. Nach der zehnjährigen Abschreibungszeit können 9'557 €/a eingespart werden. Dies entspricht einer Reduktion der jährlichen Gesamtkosten um 17.4 %.

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

	HU		CU		Jährl. Betriebskosten	Jährl. Inv. Kosten	Jährl. Gesamtkosten
	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]	C_{Op} [€/a]	$A \cdot C_{Inv}$ [€/a]	C_{tot} [€/a]
Bestehendes Design							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'667	0	21'667
TS3	62	108	74	127	12'436	0	12'436
TS4	62	18	-	-	1'438	0	1'438
Total		368		849	54'895	0	54'895
Optimiertes Design							
TS1	420	242	-	-	19'354	0	19'354
TS2	-	-	627	722	21'667	0	21'667
TS3	12	21	24	41	2'879	4'977	7'856
TS4	62	18	-	-	1'438	0	1'438
Total		281		763	45'343	4'977	50'315
Einsparung während Abschreibungszeit							
TS1	0	0	-	-	0	0	0
TS2	-	-	0	0	0	0	0
TS3	50	87	50	86	9'557	-4'977	4'580
TS4	0	0	-	-	0	0	0
Total		87		86	9'557	-4'977	4'580

In diesem Tutorial lag der Fokus auf der direkten WRG. Neben dem direkten WRG-Potenzial wurde in [Step 7](#) auch das indirekte WRG-Potenzial mit rund 342 kWh/Batch bestimmt. Indirekte 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.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
pinch@hslu.ch

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
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.ch verfügbar. Es darf nicht kommerziell weiterverbreitet werden. Die Nutzung des Tutorials in kommerziellen Aus- und Weiterbildungskursen, Workshops, Coachings usw. ist nicht gestattet. Die Modifikation des Tutorials ist nicht gestattet.