

# Handbuch zum klimaaktiv Pinchtool

zur Analyse der Abwärmeströme in produzierenden Betrieben zur Auslegung von Wärmetauschern mittels Pinch-Analyse

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie,  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autoren: Jürgen Fluch, Wolfgang Glatzl, Christoph Brunner

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE GmbH, Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf

## **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autoren ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autoren dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [eebetriebe@klimaaktiv.at](mailto:eebetriebe@klimaaktiv.at).

## Inhalt

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Motivation .....	4
1.2 Grundlagen der Pinch-Analyse .....	4
1.3 Begriffe.....	6
<b>2 Tool</b> .....	<b>8</b>
2.1 Angewandte Methodik .....	8
2.2 Integrierter Pinch-Algorithmus.....	9
2.2.1 Manuelle Definition von Wärmetauschern .....	10
2.3 Eingabeparameter .....	12
2.4 Darstellung des Wärme- und Kältebedarfs der Prozesse und Ergebnisse Pinch- Analyse .....	14
2.5 Definition des Wärmetauscher-Netzwerks .....	17
2.5.1 Wahl eines Utilitystroms als heißen Strom .....	24
<b>3 Zusammenfassung der Ergebnisse und deren Interpretation</b> .....	<b>25</b>
<b>Über klimaaktiv</b> .....	<b>26</b>
Kontakt .....	26
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>27</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Ausgangslage der vorliegenden Tool-Entwicklung im Rahmen des Projektes der Austrian Energy Agency mit dem Projektkürzel „ka:aab 2014“ ist es, das Potential vorliegender Abwärmeströme in produzierenden Betrieben der österreichischen Industrie hinsichtlich ihrer weiteren thermischen Nutzung darzustellen. Damit soll ein wichtiger Beitrag zur weiteren Effizienzsteigerung der eingesetzten Primärenergie geleistet, der Anteil ungenutzter Abwärme reduziert und Betriebe bei der Identifikation dieser noch nutzbaren Abwärmeströme unterstützt werden, um die Grundlage für eine energetische, ökologische und ökonomische Bewertung zu schaffen.

Ziel des entwickelten Tools ist es, dem Nutzer basierend auf einer einfach zu bedienenden Oberfläche (GUI – Graphical User Interface) die Möglichkeit zu geben,

- die Methodik der Pinch-Analyse anzuwenden,
- unterstützt und geleitet ein Wärmetauschernetzwerk zu generieren und
- dieses zu bewerten.

## 1.2 Grundlagen der Pinch-Analyse

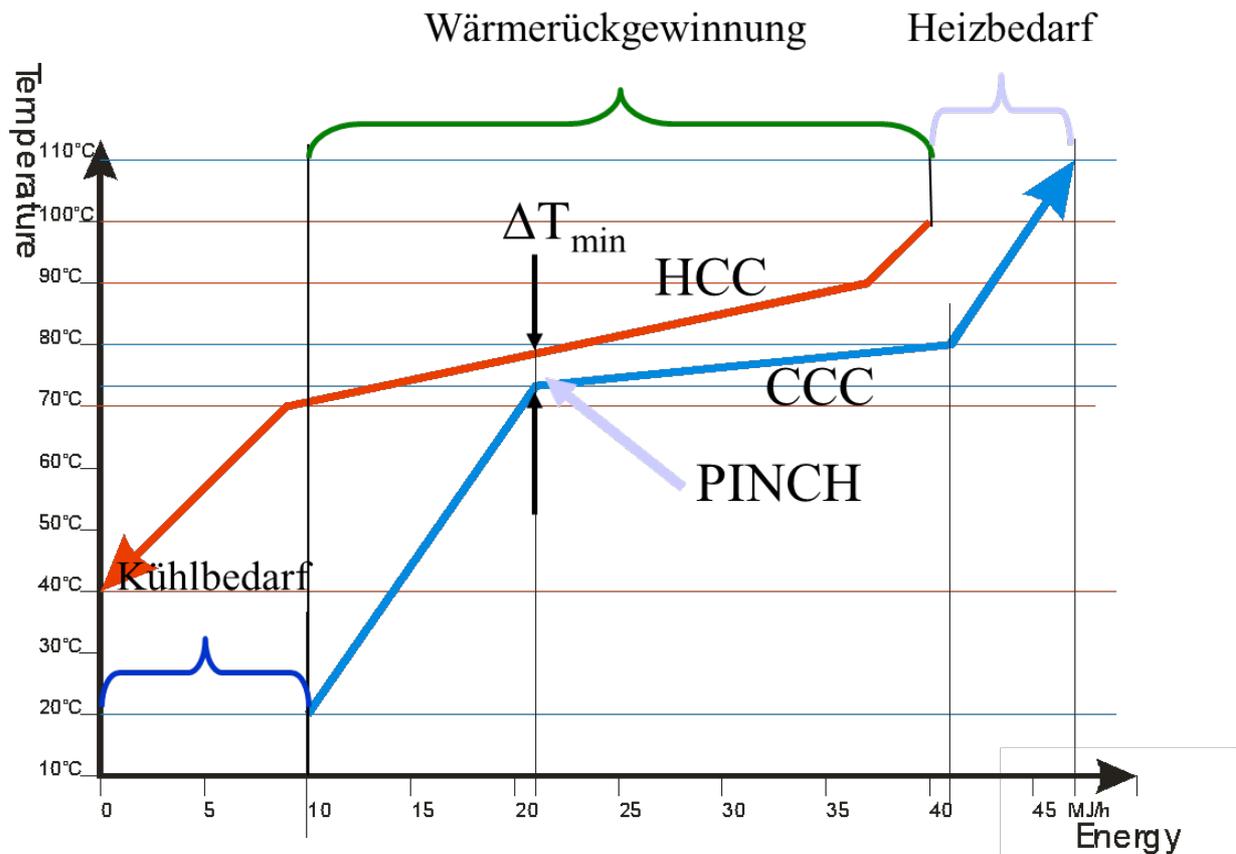
Die Pinch-Analyse ist eine thermodynamische Methode, um den gesamten Wärme- und Kältebedarf der Prozesse zu erfassen und grafisch darzustellen. Über die Anfangs- und Endtemperaturen, den Massenstrom, den spezifischen Wärmekapazitäten der Prozessströme beziehungsweise deren Verdampfungs- und Kondensationsleistungen werden diese erfasst und bilanziert. Durch eine vektorielle Addition der Ströme mit einem Wärmebedarf (kalte Ströme) wird der gesamte Leistungs- beziehungsweise Wärmebedarf berechnet und in einem Temperatur-Energiefluss-Diagramm als Cold Composite Curve (CCC) dargestellt. Gleichzeitig werden jene Prozessströme, die in der Produktion abgekühlt werden müssen oder können (heiße Ströme z.B. Abwärmeströme) in der Hot Composite Curve zusammengefasst. Damit können der kumulierte Heiz- und Kühlbedarf der Prozesse bei den jeweiligen Temperaturniveaus gegenübergestellt werden.

Durch eine Verschiebung der beiden Kurven zueinander lässt sich das theoretische Potential für eine Wärmerückgewinnung ermitteln, wobei eine notwendige Temperaturdifferenz durch den Temperaturgradienten in einem Wärmetauscher gegeben ist ( $dT$  für Plattenwärmetauscher 2K,  $dT$  für einen Rohrbündelwärmetauscher 5K). Der geringste Abstand der beiden Kurven stellt den Pinch-Punkt dar, der Bereich der Überlappung von CCC und HCC das Wärmerückgewinnungspotential. Die restliche minimale Erwärmung beziehungsweise Kühlung der Prozesse muss aus externen Quellen (Kessel, Solarthermie, Kältekompressoren et cetera) abgedeckt werden. Beispielhaft sind die CCC und HCC sowie die daraus abgeleiteten Potentiale in Abbildung 1 dargestellt. Die Differenz der beiden Kurven ergibt die Grand Composite Curve GCC.

Grundsätzlich werden in der Pinch-Analyse nur Prozesse erfasst und Ströme von Erzeugungsanlagen (utilities z. B. Kessel oder Kälteanlagen) nicht inkludiert, da diese stark vom optimierten Energiebedarf der Prozesse abhängen. Abwärmeströme (Prozessmedium, Wasser et cetera) aus Prozessen, die keinen direkten Kühlbedarf haben (nicht zwingend gekühlt werden müssen) müssen jedoch unbedingt berücksichtigt werden, da mit ihrer Energie ein Wärmebedarf gedeckt werden kann.

Die Theorie der Pinch-Analyse besagt, dass in einem Wärmetauscher nur entweder Ströme unter oder über dem Pinch-Punkt kombiniert werden sollen (1. Pinch-Regel). Also kein Wärmetauscher Energie über den Pinch-Punkt überträgt. Außerdem soll über dem Pinch-Punkt keine zusätzliche Kühlung notwendig sein (2. Pinch-Regel) und unter dem Pinch-Punkt keine zusätzliche Heizung (3. Pinch-Regel). Aus praktischen Gründen wird die erste Pinch-Regel in einem realen Wärmetauschernetzwerk nicht berücksichtigt, um die Anzahl an notwendigen Wärmetauschern zu minimieren (Reduktion der Investitionskosten). Die zweite und dritte Pinch-Regel kann in der Realität auch nur bedingt befolgt werden.

Abbildung 1: Darstellung der CCC und HCC der Pinch-Analyse



Erläuterungen:  $\Delta T_{\min}$ : Pinchpunkt, HCC: Hot Composite Curve, CCC: Cold Composite Curve

Quelle: AEE INTEC

### 1.3 Begriffe

- Pinch-Analyse: thermodynamische Methode zur Identifikation des gesamten Heiz- und Kühlbedarfes der Prozesse sowie des daraus abzuleitenden Potentials zur Wärmerückgewinnung und des minimalen Heiz- und Kühlbedarfs bei bestimmten Temperaturen
- Prozessströme: Ströme in der Produktion mit einem Heiz- (kalter Strom) oder Kältebedarf (heißer Strom)
- Wärmebedarf: unbedingt aufzubringende Energie zur Erwärmung beziehungsweise Verdampfung des Prozessmediums beziehungsweise dem Halten der Prozesstemperatur

- Kältebedarf: aufzubringende Energie zur Kühlung beziehungsweise Kondensation des Prozessmediums beziehungsweise dem Halten der Prozesstemperatur. Hier werden jene Ströme berücksichtigt, die für den Produktionsprozess unbedingt gekühlt werden müssen oder jene „Abfallströme“, die gekühlt werden können (z. B. Abwasser, Abluft et cetera)
- Wärmetauschernetzwerk: Kombination eines oder mehrerer Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung zwischen heißen und kalten Prozessströmen zur bestmöglichen Nutzung der eingesetzten Energie
- Energetische Bewertung: Bewertung der Reduktion des extern notwendigen Energieeinsatzes durch den Einsatz eines Wärmetauschernetzwerks
- Exergie: Teil der Gesamtenergie die Arbeit verrichten kann
- Ökologische Bewertung: Bewertung der Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch fossile Energieträger (Primärenergie) durch den Einsatz eines Wärmetauschernetzwerks
- Ökonomische Bewertung: Bewertung der notwendigen Investitionskosten für eine Wärmetauschernetzwerk im Verhältnis der dadurch eingesparten Energiekosten
- Nutzbare Abwärmeströme von Energieversorgungs-Anlagen: z. B. Rauchgas, Abluft, Kühlluft von Kältemaschinen et cetera
- Utilities: Energieversorgungsanlagen (Kessel, Kälteanlagen et cetera)

# 2 Tool

## 2.1 Angewandte Methodik

Ziel des vorliegenden Tools ist die Erstellung und Bewertung eines Wärmetauschernetzwerks basierend auf der Definition der Prozessströme mit einem Wärme- und Kältebedarf. Die Ströme werden über die Anfangs- und Endtemperaturen, den Massenstrom, die spezifischen Wärmekapazitäten der Prozessströme beziehungsweise deren Verdampfungs- und Kondensationsleistungen sowie über die Betriebsstunden oder den Energiebedarf erfasst und bilanziert und darüber hinaus durch die Definition von Betriebszeiten charakterisiert.

Dabei werden die Prozesse in kalte Ströme (mit einem Wärmebedarf) und heiße Ströme (mit einem Kühlbedarf) unterteilt und in den Pinch-Kurven CCC und HCC kumuliert dargestellt. Weiters ist es möglich Abwärmeströme (Utility-Ströme) aus Anlagen (z. B. Kessel: Rauchgas, Kälteanlagen: Abwärme) zu definieren, die allerdings der Pinch-Analyse folgend nicht in den Pinch-Kurven erfasst werden. Über der in einem Wärmetauscher notwendigen Temperaturspreizung (Gradient – dT-Plattenwärmehauser = 2K, dT-Rohrbündelwärmehauser = 5K) werden die Pinch-Kurven so zu einander verschoben, dass das maximal mögliche Wärmerückgewinnungspotential ohne den Abwärmeströmen aus Utilities identifiziert werden kann. Weiters ergibt sich daraus der theoretisch minimale Heiz- und Kühlbedarf der Produktion.

Das theoretisch mögliche Wärmerückgewinnungspotential ist als Bezugspunkt anzusehen, wie gut oder schlecht das tatsächlich realisierte Wärmetauschernetzwerk an dieses Potential herankommt.

Eine hundertprozentige Umsetzung ist in den meisten Fällen aufgrund folgender Gründe nicht möglich:

- Keine Nutzbarkeit von Prozessströmen in einem Wärmetauscher (festes Medium, fertiges Produkt et cetera) durch
  - Örtliche Distanz von Prozessströmen, die eine energetisch und vor allem ökonomisch sinnvolle Nutzung in einem Wärmetauscher verhindern
  - Verluste bei der Verteilung der Energie (Leistungsverluste)
  - Keine Gleichzeitigkeit von Prozessströmen (unterschiedliche Betriebszeiten), die einen Speicher notwendig machen würden
  - Unterschied von Batch- und kontinuierlichen Prozessen

Bei der Identifikation von sinnvollen Wärmetauschern hat der oder die Anwender:in zwei Möglichkeiten:

- Die Nutzung vorgeschlagener Wärmetauscher basierend auf einem integrierten Algorithmus
- Die manuelle Adaptierung von vorgeschlagenen Wärmetauschern basierend auf Erfahrungswerten, Prozessanforderungen, Einbeziehung örtlicher Gegebenheiten et cetera

## 2.2 Integrierter Pinch-Algorithmus

Mit dem vorliegenden Tool steht dem oder der Anwender:in ein integrierter Algorithmus zur Verfügung, der ein maximal sinnvolles Wärmetauschernetzwerk unter Berücksichtigung folgender Kriterien vorschlägt:

- Exergie: die möglichst sinnvolle Nutzung der Energie der Prozessströme aus exergetischer Sicht durch die Nutzung hoher Temperaturen von heißen Strömen zur Erreichung möglichst hoher Temperaturen kalter Ströme
- Energie: möglichst maximale übertragene Energie im Wärmetauschernetzwerk
- Leistung: Installation von Wärmetauschern mit möglichst großer Leistung um Investitionskosten zu reduzieren

Dafür wird jede mögliche Kombination von Prozess- und Utilityströmen in einem Wärmetauscher simuliert und anhand der definierten Kriterien bewertet. Die Exergie ist

dabei standardmäßig mit einem Gewichtungsfaktor von 40 % inkludiert, Energie und Leistung jeweils mit 30 %. Der Algorithmus kombiniert ausgehend von jenem heißen Prozessstrom mit dem größten Energieinhalt jeden heißen Strom mit jedem kalten Strom. Nach der nicht vollständigen Nutzung eines heißen Stroms zur Erwärmung eines kalten Stroms wird dieser Reststrom wieder in die Liste der verfügbaren heißen Ströme integriert und auch der Restbedarf des kalten Stroms berücksichtigt. Dadurch wird dem oder der Anwender:in eine Liste an verfügbaren und sinnvollen Wärmetauschern vorgeschlagen, aus denen sich dieser dann die für ihn sinnvollsten Ströme auswählt und genau spezifiziert. Als zusätzliche Information wird der Wärmetauscher in der Spalte „Bewertung“ gereiht. Die Prozentzahl gibt an, wie „gut“ die definierten Kriterien vom vorgeschlagenen Wärmetauscher definiert werden. Geringe Werte stehen für eine schlechte prozentuelle Nutzung, hohe Werte für eine gute Nutzung des Stroms.

Der Algorithmus bilanziert die vorgeschlagenen Wärmetauscher anhand der verfügbaren beziehungsweise übertragenen Energie, wobei Nicht-Gleichzeitigkeiten (Prozesse laufen nicht zur selben Zeit ab) der Prozessströme dahingehend berücksichtigt werden, dass der oder die Anwender:in bei unterschiedlichen Gesamtbetriebsstunden über das Jahr die Information bekommt, dass mit dem Einsatz eines Speichers mehr Energie übertragen werden könnte. Der Einsatz eines Speichers fließt jedoch nicht in die Bewertung ein.

Neben der Übereinstimmung der übertragenen Energie beziehungsweise Leistung werden eine Reihe von Temperaturchecks durchgeführt, mit denen die angeführten Temperaturgradienten von Wärmetauscher eingehalten werden oder aus exergetischer Sicht eine sinnvolle Nutzung des heißen Stroms gewährleistet werden.

Hinweis: Im angewandten Algorithmus werden die drei Pinch-Regeln nicht berücksichtigt, um die Anzahl der zu installierenden Wärmetauscher zu minimieren.

### **2.2.1 Manuelle Definition von Wärmetauschern**

Der oder die Anwender:in hat basierend auf der vorgeschlagenen Prioritätenliste nach exergetischen, energetischen und leistungsspezifischen Kriterien (siehe Kapitel 2.2) die Möglichkeit, daraus die für ihn sinnvollsten Wärmetauscher zu spezifizieren. Dabei stehen grundsätzlich alle möglichen Strom-Kombinationen in der vorgeschlagenen Liste zur Verfügung. In der Methodik besteht die Möglichkeit, maximale beziehungsweise minimale Temperaturen zu definieren, aufgrund derer der Wärmetauscher abschließend bilanziert

wird. Dasselbe gilt für den Fall, dass der oder die Anwender:in die vorgeschlagene Spezifikation übernimmt.

**Wichtig:** Zeitliche Abhängigkeiten durch Nicht-Gleichzeitigkeiten von Prozessströmen (unterschiedliche Betriebszeiten) werden nur bedingt berücksichtigt. Der oder die Anwender:in wird bei der Spezifikation der Wärmetauscher grundsätzlich auf einen zeitlichen Konflikt beziehungsweise den möglichen Bedarf eines Speichers hingewiesen, sofern die Betriebszeiten der Prozessströme ausreichend genau definiert wurden. Weiters wird auf den Unterschied von Batch- beziehungsweise kontinuierlichen Prozessen nicht im Detail eingegangen.

Nach der Definition der Wärmetauscher werden diese bilanziert. Ausgehend von den definierten Temperaturen und Massenströmen berechnet das Tool alle Austrittstemperaturen, die übertragene Leistung und die übertragene Energie. Dabei wird auch der Temperaturgradient je nach definiertem Wärmetauschertyp (Platten- und Rohrbündelwärmetauscher) berücksichtigt. Dieser beträgt für den ersten Fall 2K und für den zweiten 5K.

Über die Bilanzierung der Wärmetauscher ist die Grundlage für deren Bewertung gegeben. Der oder die Anwender:in spezifiziert die notwendigen Investitionskosten des Wärmetauschers und bekommt über die eingesparte Energie und über die definierten Primärenergiekosten eine statisch berechnete Payback-Zeit ausgegeben. Bei den Primärenergiekosten ist der Wirkungsgrad des Kessels einzubeziehen, um die tatsächlichen Energiekosten zu bewerten.

Nach der Definition und Bilanzierung eines vorgeschlagenen Wärmetauschers, wird ein möglicher verbleibender Reststrom eines kalten oder heißen Stroms wieder in die Prioritätenliste übernommen und mit dem Suffix „split“ versehen.

## 2.3 Eingabeparameter

In Abbildung 2 ist die Startseite des Tools dargestellt. Über die Eingabemaske werden die Prozess- und Utilityströme mit Wärme- und Kühlbedarf definiert. Dazu steht im Tool ein Sheet zur Verfügung (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4), in denen folgende Infos in den weißen Feldern definiert werden müssen:

- Prozess-oder Stromname
- Starttemperatur [°C]
- Endtemperatur [°C]
- Massenstrom [kg/s]
- Spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
- Medium
- Definition der Betriebszeiten über jährliche Betriebsstunden
- Definition Prozess- oder Utilitystrom

Alternativ zur Definition des Stroms über den Massenstrom kann auch die benötigte Energiemenge definiert werden. Unbedingt notwendig sind hier aber trotzdem die Definition der Start- und Endtemperatur sowie der Betriebsstunden.

Daraus werden berechnet:

- Definition ob der Strom ein heißer oder kalter Strom ist
- Produkt aus Massenstrom und spezifischer Wärmekapazität [kJ/Ks]
- Spezifische Enthalpie [kJ/kg]
- Enthalpie [kW]
- Jährliche übertragbare Energie [MWh] (falls nicht definiert)

### Löschen von Strömen:

1. Markierung des Stroms in der Spalte „D“
2. Klick auf den Button „Strom löschen“

## Hinweise:

1. Ist ein Strom nicht korrekt definiert, erhält der oder die Anwender:in die Information, dass selbiger aufgrund fehlender oder fehlerhafter Eingabe nicht verwendet wird.
2. Die Definition negativer Temperaturen ist nicht möglich
3. Definition von Verdampfung beziehungsweise Kondensation über die Energiemenge (Verdampfungs- und Kondensationsenthalpie) und ein minimales Temperaturfenster mit  $dT$  von  $0,1\text{ °C}$  (Beispiel: Wasserverdampfung:  $99,9\text{ °C}$  auf  $100\text{ °C}$ , Dampfkondensation:  $100\text{ °C}$  auf  $99,9\text{ °C}$ )

Abbildung 2: Pinchen Starten

## Pinchen Starten



**klimaaktiv** Pinch-Tool

Das **klimaaktiv** Pinch-Tool ermöglicht eine sehr rasche und unkomplizierte Durchführung der Pinch-Analyse zur Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Das Tool bietet dem Anwender die Möglichkeit, basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung ein Wärmetauschernetzwerk zu kreieren und zu bewerten.

Dazu unterstützt das Tool die Analyse in fünf Schritten:

- Schritt 1 Eingabe der Liste der Wärme- und Kälteströme über den Anwender
- Schritt 2 Darstellung der Pinch-Kurven
- Schritt 3 Vorschläge für die einzusetzenden Wärmetauscher
- Schritt 4 Möglichkeit zur manuellen Adaptierung der Wärmetauscher
- Schritt 5 Ökonomische und ökologische Bewertung der Wärmetauscher

Das **klimaaktiv** Pinch-Tool wurde im Programm „energieeffiziente betriebe“ erstellt, das Teil der Klimaschutzinitiative **klimaaktiv** des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) ist.

**Strategische Gesamtkoordination**  
Abt. „Energie- und Wirtschaftspolitik“, - Dr. Martina Schuster, Dr. Katharina Kowalski, Elisabeth Bargmann BA, DI Hannes Bader

**Initiator und Auftraggeber**  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Stubenring 1, 1010 Wien

---

**Kontakt**  
Programmmanagement **klimaaktiv** energieeffiziente betriebe  
Österreichische Energieagentur  
Mariahilferstraße 136++43 (0) 1586 15 24 - 0  
office@energyagency.at, eebetriebe@klimaaktiv.at, www.klimaaktiv.at/eebetriebe

**Für den Inhalt verantwortlich**  
Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE GmbH  
Feldgasse 13  
8200 Gleisdorf

Stand: September 2014

**Urheberrecht und Haftungsausschluss**  
Die Rechte am **klimaaktiv** Pinch-Tool liegen ausschließlich bei den Urhebern und dem Auftraggeber. Jede Vervielfältigung, Weitergabe, Integration in Websites ist nur mit Zustimmung des Auftraggebers zulässig.  
Die Ergebnisse aus der Anwendung des Tools dienen lediglich zur Orientierung und gelten weder gegenüber Behörden noch Dritten als Nachweis oder Gutachten. Eine Haftung für direkte oder indirekte Schäden aufgrund der Nutzung dieses Tools und errechneter Ergebnisse wird hiermit ausdrücklich ausgeschlossen.



 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

Abbildung 3: Maske zur Eingabe und Löschen der Prozess- und Utilityströme mit einem Wärme- und Kühlbedarf, linker Abschnitt

Schritt 1 / Stromliste			Standardwerte (level 1) erzw. #Menge/Prozessströme/Objekt	Standardwerte				
Strom ID	Heißer Strom ID	Kalter Strom ID	Strom Name	Start-Temperatur	End-Temperatur	Heiß/Kalt	Massenstrom	Spezifische Wärmekapazität
				[°C]	[°C]		[kg/s]	[kJ/kg.K]
1		1	WW-Bedarf	20,00	70,00	cold	6,20	4,20
2	1		WW-AW	55,00	10,00	hot	6,20	4,20
3		2	Prod 1	10,00	35,00	cold	2,70	1,90
4		3	Prod 2	35,00	70,00	cold	2,70	1,90
5		4	Luft	11,00	90,00	cold	9,00	1,00
6	2		Abluft	75,00	10,00	hot	9,00	1,00
7		5	Reinigung	10,00	45,00	cold	1,40	4,20
8	3		Komp-AW	65,00	10,00	hot	5,00	1,00

Abbildung 4: Maske zur Eingabe und Löschen der Prozess- und Utilityströme mit einem Wärme- und Kühlbedarf, rechter Abschnitt

MCP-Wert	Spezifische Enthalpie	Enthalpie	Betriebsstunden	Optionale Eingabe für jährliche Energie	Jährlich übertragbare Energie	Stromart	mcp hot	23	24
[kJ/K.s]	[kJ/kg]	[kW]	[h/Jahr]	[MWh/Jahr]	[MWh/Jahr]			mcp cold	
26,04	210,00	1.302,00	2.500		3.255,00	Prozess			26,04
26,04	189,00	1.171,80	2.500		2.929,50	Prozess		26,04	
5,13	47,50	128,25	2.500		320,63	Prozess			5,13
5,13	66,50	179,55	2.500		448,88	Prozess			5,13
9,00	79,00	711,00	3.000		2.133,00	Prozess			9,00
9,00	65,00	585,00	3.000		1.755,00	Prozess		9,00	
5,88	147,00	205,80	500		102,90	Prozess			5,88
5,00	55,00	275,00	5.500		1.512,50	Utility		5,00	

## 2.4 Darstellung des Wärme- und Kältebedarfs der Prozesse und Ergebnisse Pinch-Analyse

Aus den so definierten Prozessströmen werden die Pinch-Kurven Hot Composite Curve und Cold Composite Curve durch vektorielle Addition erstellt (über Button „**Stromliste laden und Pinch Kurven anzeigen**“). Das Potential der Utilityströme wird der Pinch-Analyse folgend nicht in den Kurven dargestellt, um zum einen das theoretisch maximal mögliche Wärmerückgewinnungspotential und zum anderen den so identifizierten minimalen Heiz- und Kühlbedarf nicht zu verfälschen.

Durch eine sinnvolle Nutzung der Utilityströme ist somit eine höhere Wärmerückgewinnung möglich, als in der Pinch-Analyse eigentlich berechnet wurde.

In Abbildung 4 sind die Kurven beispielhaft dargestellt. Wie zu erkennen ist, zeigt der Bereich in dem sich die beiden Kurven überschneiden das theoretisch mögliche Wärmerückgewinnungspotential an. Der Bereich darüber steht für den minimalen Heizbedarf, der Bereich darunter für den minimalen Kühlbedarf. Weiters ist der Punkt, an dem sich die beiden Kurven am nächsten kommen, der Pinch-Punkt. Der Abstand ist über den notwendigen Temperaturgradienten eines Wärmetauschers definiert. In einem Plattenwärmetauscher beträgt er laut Grundeinstellung 2K, in einem Rohrbündelwärmetauscher 5K.

Abbildung 5: Beispielhafte Pinch-Kurven Hot Composite Curve und Cold Composite Curve

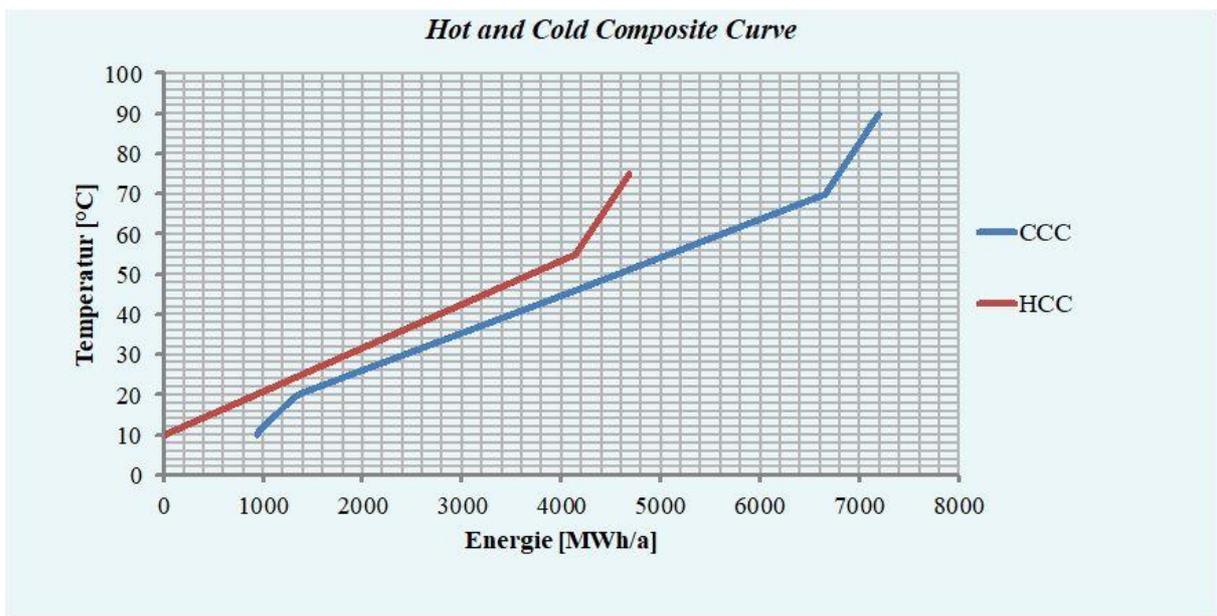
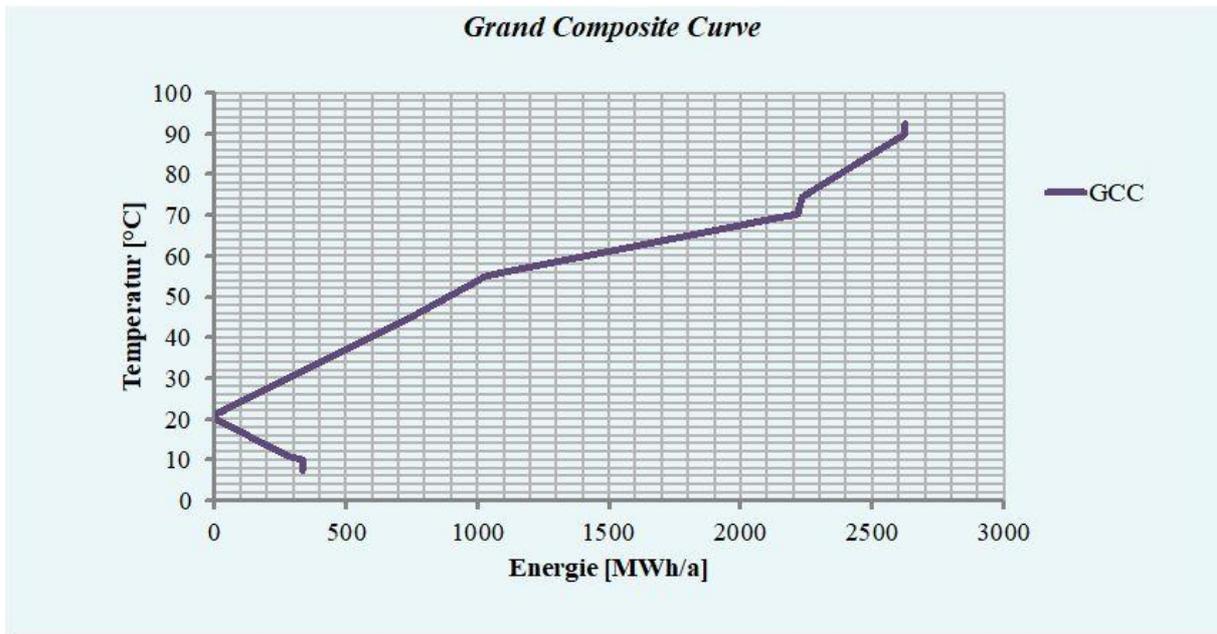


Abbildung 6: Beispielhafte Pinch-Kurve Grand Composite Curve



Durch eine Veränderung des definierten minimalen Temperaturunterschieds können die Kurven zueinander verschoben werden. Nach einer Änderung dieser Spezifikation werden die Kurven über den Button „**Grafiken aktualisieren**“ neu berechnet und dargestellt. Zusätzlich wird auch die Pinch-Temperatur angegeben, die für jene Temperatur steht, bei der sich die Kurven am nächsten sind (minimale Temperaturdifferenz).

Hinweis: Aufgrund von Rundungsfehlern kann es vorkommen, dass die definierte Temperaturdifferenz nicht ganz erreicht wird. Der oder die Anwender:in bekommt einen entsprechenden Hinweis. Auch kann es vorkommen, dass eine minimale Temperaturdifferenz aufgrund von Kurvencharakteristika nicht unterschritten werden kann. In diesem Fall werden die Kurven sehr weit voneinander dargestellt und der oder die Anwender:in muss den minimalen Temperaturunterschied manuell neu definieren.

## 2.5 Definition des Wärmetauscher-Netzwerks

Aus der Stromliste wird durch den beschriebenen Pinch-Algorithmus (siehe Kapitel 2.2) eine Prioritätenliste der sinnvollsten Wärmetauscher basierend auf den definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung erstellt (siehe Abbildung 7 und Abbildung 8). Die Gewichtung dieser Kriterien kann zuvor definiert werden (siehe Abbildung 6). Der oder die Anwender:in muss darauf achten, dass die Gewichtungssumme 100 % beträgt und bekommt dahingehend auch einen Warnhinweis.

Zu diesem Menü kommt man über den Button „**WT Vorschlag**“. Dabei sind die in der Reihung zuerst angeführten Wärmetauscher unter diesen Gesichtspunkten sinnvoller für eine möglichst effektive Nutzung der eingesetzten Primärenergie.

Abbildung 7: Gewichtung der Pinch-Kriterien Leistung, Energie, Exergie

Minimaler Temperaturunterschied	<input type="text" value="5"/> [K]	<a href="#">Grafiken Aktualisieren</a>
Leistung-Kriterium	<input type="text" value="30"/>	30 %
Energie-Kriterium	<input type="text" value="30"/>	30 %
Exergie-Kriterium	<input type="text" value="40"/>	40 %
Summe Gewichtung		100 %

In dieser Liste sind folgende Informationen angeführt:

- Rang aufgrund der definierten Kriterien (Rang 1 bedeutet hohe Kriterienerfüllung)
- Heißer und kalter Strom, die im Wärmetauscher kombiniert sind
- Wärmetauschernamen
- Name des heißen und des kalten Stroms
- Übertragene Leistung [kW]
- Übertragene Energie [MWh]
- Eintrittstemperatur heißer Strom [°C]
- Austrittstemperatur heißer Strom [°C]
- Eintrittstemperatur kalter Strom [°C]
- Austrittstemperatur kalter Strom [°C]
- Bewertung: Grad der Erfüllung der definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung und Laufzeit

Abbildung 8: Prioritätenliste sinnvoller Wärmetauscher basierend auf den definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung, linker Abschnitt

Schritt 3 / Prioritätenliste				zur Pfadfindung	zur exergiewirtschaftlichen WT		
Rang	Heißer Strom ID	Kalter Strom ID	WT Name	Heißer Strom HS	Kalter Strom KS	Leistung [kW]	Energie [MWh]
1	1	1	1 WT 1 --> 1	WW-AW	WW-Bedarf	781,20	1.953,00
2	2	2	4 WT 2 --> 4	Abluft	Luft	531,00	1.593,00
3	1	1	4 WT 1 --> 4	WW-AW	Luft	351,00	877,50
4	2	2	3 WT 2 --> 3	Abluft	Prod 2	179,55	448,88
5	1	1	2 WT 1 --> 2	WW-AW	Prod 1	128,25	320,63
6	2	2	2 WT 2 --> 2	Abluft	Prod 1	128,25	320,63
7	1	1	5 WT 1 --> 5	WW-AW	Reinigung	205,80	102,90
8	2	2	5 WT 2 --> 5	Abluft	Reinigung	205,80	102,90
9	3	3	2 WT 3 --> 2	Komp-AW	Prod 1	128,25	320,63
10	3	3	3 WT 3 --> 3	Komp-AW	Prod 2	125,00	312,50

Wählen Sie einen Wärmetauscher aus um ihn weiter zu bearbeiten **WT-Auswahl**

Abbildung 9: Prioritätenliste sinnvoller Wärmetauscher basierend auf den definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung, rechter Abschnitt

T HS Ein	T KS Ein	T HS Aus	T KS Aus	Bewertung	WT Laufzeit
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[-]	[h/Jahr]
55,0	20,0	25,0	50,0	69	2.500
75,0	11,0	16,0	70,0	60	3.000
55,0	11,0	41,5	50,0	49	2.500
75,0	35,0	55,1	70,0	42	2.500
40,0	10,0	35,1	35,0	40	2.500
40,0	10,0	25,8	35,0	40	2.500
50,0	10,0	42,1	45,0	39	500
50,0	10,0	27,1	45,0	39	500
40,7	10,0	15,0	35,0	39	2.500
65,0	35,0	40,0	59,4	39	2.500

Aus dieser Liste kann der oder die Anwender:in die für ihn brauchbaren und sinnvollen Wärmetauscher über den Button „**WT-Auswahl**“ wählen. Zu berücksichtigen sind dabei:

- Örtliche Gegebenheiten
- Tatsächliche Nutzbarkeit der Medien in einem Wärmetauscher (nicht nutzbar können Produktströme sein oder Feststoffe et cetera)
- Keine sinnvolle Nutzung aufgrund von Ungleichzeitigkeiten der Prozesse und dem daraus resultierenden Speicherbedarf (so dieser zu kostenintensiv sei)
- Keine sinnvolle Nutzung aufgrund unterschiedlicher Betriebsweisen von Prozessen (Batch-Prozesse, kontinuierliche Prozesse)

Nachdem der oder die Anwender:in einen Wärmetauscher über das Drop-Down-Menü gewählt und ins dafür vorgesehene Fenster geladen hat, kann dieser noch weiter spezifiziert werden:

- Anpassung von Austrittstemperaturen führt zu einer Neubilanzierung des Wärmetauschers
- Der Temperaturgradient ist vorgegeben durch die Definition der minimalen Temperaturdifferenz in der Pinch-Analyse
- Spezifikation der Investitionskosten des Wärmetauschers basierend auf Angeboten oder Erfahrungen
- Spezifikation des Energiepreises: entspricht dem Energieträgerpreis (beispielsweise Erdgas), wobei hier auch der Wirkungsgrad des Kessels oder der Verteilung eingerechnet werden sollte, wodurch dieser Preis etwas höher wird.

Während der Spezifikation eines Wärmetauschers wird der oder die Anwender:in durch einige Warn- und Fehlermeldungen unterstützt:

- Thermodynamisch nicht mögliche Austrittstemperaturen unter Berücksichtigung des in der Pinch-Analyse definierten  $dT$  (minimale Temperaturdifferenz)
- Prozesse laufen nicht gleichzeitig und benötigen für die Kombination in einem Wärmetauscher einen Speicher (Info über unterschiedliche Leistung und Betriebsstunden (siehe rote Markierung in Abbildung 8))
- Information über eine reduzierte Nutzung des tatsächlichen Wärmerückgewinnungspotentials, wenn nur ein sehr geringer Prozentsatz des Energieinhalts des heißen Stroms genutzt wird.
  - Angabe der theoretisch nutzbaren Energie mit Speicher
  - **Wichtig:** Der Wärmetauscher kann nur **ohne** den möglichen Speicher bewertet werden!

Abbildung 10: Definition der Wärmetauscher

**Schritt 4 - Wärmetauscher Adaptierung**

T HS Ein: 60,00  
 Ausnutzungsgrad HS: 42 %  
 deltaTmin: 19 [K]

T CS Aus: 30,50  
 Ausnutzungsgrad CS: 18 %  
 T HS Aus: 39,00  
 T CS Ein: 20,00

Output	WT	WT - Speicher	
Leistung (Q)	87,99	87,99	[kW]
Betriebszeit	500	800	[h/a]
Energie (E)	44,00	70,39	[MWh/a]
Energiepreis			[€/MWh]
Einsparungen			[€/a]
WT-Kosten			[€]

Buttons: Bestätigen, Abbrechen

Wird ein Wärmetauscher definiert und bilanziert, wird berechnet ob der kalte Strom noch einen weiteren Energiebedarf hat und der heiße Strom noch weiter genutzt werden kann. Ist das der Fall, werden diese Ströme mit dem Suffix „split“ integriert.

**Hinweis:** Maximal können im vorliegenden Tool zehn Wärmetauscher definiert werden.

Nachdem der oder die Anwender:in alle sinnvoll erscheinenden Wärmetauscher spezifiziert und in die Liste geladen hat, steht eine Zusammenfassung der Ergebnisse zur Verfügung (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12).

1. Getrennte Definition der Wärmetauscher mit folgenden zusätzlichen Informationen
  - a) Monetäre Einsparungen
  - b) Wärmetauscherkosten
  - c) Statische Amortisationszeit
  - d) Eingesparte Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf den definierten Energieträger
2. Gesamte übertragene Energie in allen Wärmetauschern
3. Somit gesamte eingesparte Primärenergie durch die Installation des Wärmetauschernetzwerks basierend auf der Auswahl des Energieträgers
4. Gesamte ökologische Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Substitution fossiler Energieträger (ökologische Bewertung) basierend auf der Auswahl der Energieträger und des hinterlegten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors
5. Gesamte eingesparte Primärenergiekosten
6. Summe aller notwendiger Investitionen
7. Gesammelte ökonomische Bewertung des identifizierten Wärmetauschernetzwerks (Investitionen gegenüber eingesparten Primärenergiekosten)

Abbildung 11: Auswertung, linker Abschnitt

Heißer Strom ID	Kalter Strom ID	WT Name	Heißer Strom HS	Kalter Strom KS	Leistung	Energie	T HS Ein	T KS Ein
					[kW]	[MWh]	[°C]	[°C]
1	1	WT 1 --> 1	WW-AW	WW-Bedarf	781,20	1.953,00	55,0	20,0
2	4	WT 2 --> 4	Abluft	Luft	531,00	1.593,00	75,0	11,0
3	3	WT 3 --> 3	Komp-AW	Prod 2	125,00	312,50	65,0	35,0
SUMME						3.858,50		

Abbildung 12: Auswertung, rechter Abschnitt

T KS Aus	Bewertung	WT Laufzeit	Energie-Preis	Monetäre Einsparungen	WT Kosten	Statische Amortisationszeit	Eingesparte Primärenergie
[°C]	[-]	[h/Jahr]	[€/MWh]	[€/Jahr]	[€]	[Jahre]	[MWh PE]
50,0	69	2.500	45,00	87.885,00	15.000	0,17	2.285,01
70,0	60	3.000	45,00	71.685,00	10.000	0,14	1.863,81
59,4	39	2.500	45,00	14.062,50	8.000	0,57	365,63
SUMME				173.632,50	33.000,00	SUMME	4.514,45

Abbildung 13: Ökonomische Bewertung

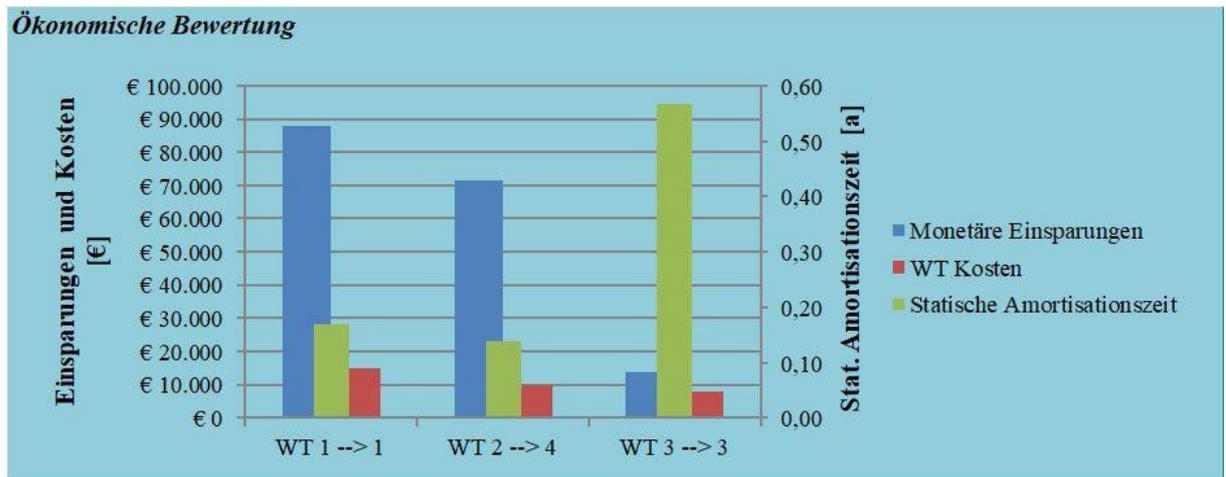
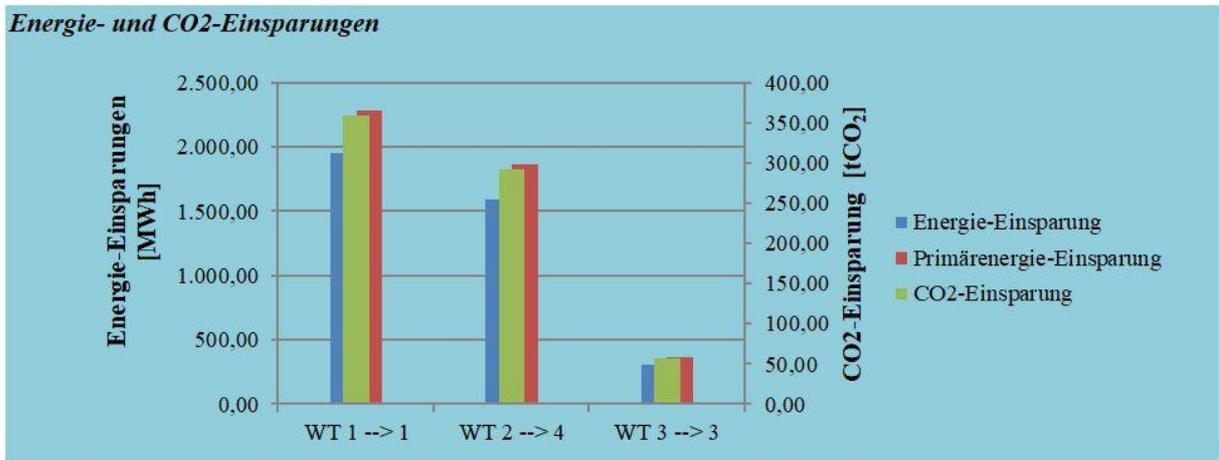


Abbildung 14: Zusammenfassung der Bewertung des spezifizierten Wärmetauschnetzwerks



**Hinweis:**

1. Für die Berechnung der Primärenergieeinsparung kann nur ein Energieträger für alle Wärmetauscher definiert werden, dessen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in die entsprechende Bewertung eingeht. Im Falle unterschiedlicher Energieträger in den Wärmetauschern sind diese einzeln zu bewerten und die Summe manuell zu bilden.
2. Über den Button „**WT löschen**“ können alle definierten Wärmetauscher gelöscht werden. In diesem Fall werden auch alle Wärmetauscher auf einmal gelöscht.

### 2.5.1 Wahl eines Utilitystroms als heißen Strom

Wird in einem Wärmetauscher ein Utilitystrom als Wärmequelle (z. B. Abwärmenutzung des Rauchgases eines Kessels) gewählt, so müssen folgende Überlegungen berücksichtigt werden:

1. Der Utilitystrom kommt aus einer Energieversorgungsanlage, die für den Status Quo der Produktion spezifiziert wurde. Dasselbe gilt für die Parameter mit denen dieser Strom definiert wurde.
2. Durch die Installation eines Wärmetauschernetzwerks wird die Energieeffizienz optimiert. Die aus externen Anlagen (Kessel, Kälteanlagen) zur Verfügung gestellte Energie wird dadurch reduziert, ebenso der somit aus dieser Anlage zur Verfügung stehende Utilitystrom.
3. Durch eine solche mögliche Verringerung dieses Utilitystroms könnte der damit spezifizierte Wärmetauscher wiederum kleiner werden und die damit erzielten Einsparungen ebenfalls reduziert.

Aus den angeführten Gründen ist dieser Zirkelbezug bei der Spezifikation eines solchen Wärmetauschers unbedingt zu berücksichtigen.

# 3 Zusammenfassung der Ergebnisse und deren Interpretation

Das vorliegende Tool bietet dem oder der Anwender:in die Möglichkeit, basierend auf realen Betriebsdaten und Prozess- sowie Utilityströmen ein Wärmetauschernetzwerk zu kreieren. Dabei wird er durch einen Pinch Algorithmus unterstützt, der eine Reihung sinnvoller und möglicher Wärmetauscher anhand dreier Kriterien erstellt (Exergie, Energie, Leistung). Der oder die Anwender:in definiert die Wärmetauscher und kann diese energetisch, ökologisch und ökonomisch bewerten.

Die Wärmetauscher werden dem oder der Anwender:in basierend auf dem Pinch Algorithmus vorgeschlagen. Eine reale Prüfung und Machbarkeit sowie technische Umsetzbarkeit der Wärmetauscher durch den Anwender oder die Anwenderin ist dabei unbedingt notwendig. Die Bewertung der Wärmetauscher basiert auf den zur Verfügung gestellten Daten und stellt nur eine grobe erste Abschätzung dar. Eine detaillierte Prüfung im Falle sinnvoller Bewertungen ist unbedingt notwendig. Dem oder der Anwender:in soll das Potential aufgezeigt und eine Unterstützung zur Verfügung gestellt werden. Eine Gewährleistung der Ergebnisse kann nicht übernommen werden.

# Über klimaaktiv

klima**aktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klima**aktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: Jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter [klimaaktiv.at](http://klimaaktiv.at).

Das klima**aktiv** Programm Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good-Practice-Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter [klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz).

## Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klima**aktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Sektion VI – Klima und Energie

Stabsstelle Dialog zu Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klima**aktiv** Betriebe

Österreichische Energieagentur, Petra Lackner

[eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

[klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der CCC und HCC der Pinch-Analyse .....	6
Abbildung 2: Pinchen Starten.....	13
Abbildung 3: Maske zur Eingabe und Löschen der Prozess- und Utilityströme mit einem Wärme- und Kühlbedarf, linker Abschnitt .....	14
Abbildung 4: Maske zur Eingabe und Löschen der Prozess- und Utilityströme mit einem Wärme- und Kühlbedarf, rechter Abschnitt .....	14
Abbildung 5: Beispielhafte Pinch-Kurven Hot Composite Curve und Cold Composite Curve.....	15
Abbildung 6: Beispielhafte Pinch-Kurve Grand Composite Curve .....	16
Abbildung 7: Gewichtung der Pinch-Kriterien Leistung, Energie, Exergie .....	17
Abbildung 8: Prioritätenliste sinnvoller Wärmetauscher basierend auf den definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung, linker Abschnitt.....	18
Abbildung 9: Prioritätenliste sinnvoller Wärmetauscher basierend auf den definierten Kriterien Exergie, Energie und Leistung, rechter Abschnitt.....	18
Abbildung 10: Definition der Wärmetauscher .....	20
Abbildung 11: Auswertung, linker Abschnitt .....	21
Abbildung 12: Auswertung, rechter Abschnitt.....	22
Abbildung 13: Ökonomische Bewertung.....	22
Abbildung 14: Zusammenfassung der Bewertung des spezifizierten Wärmetauschernetzwerks .....	23

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)