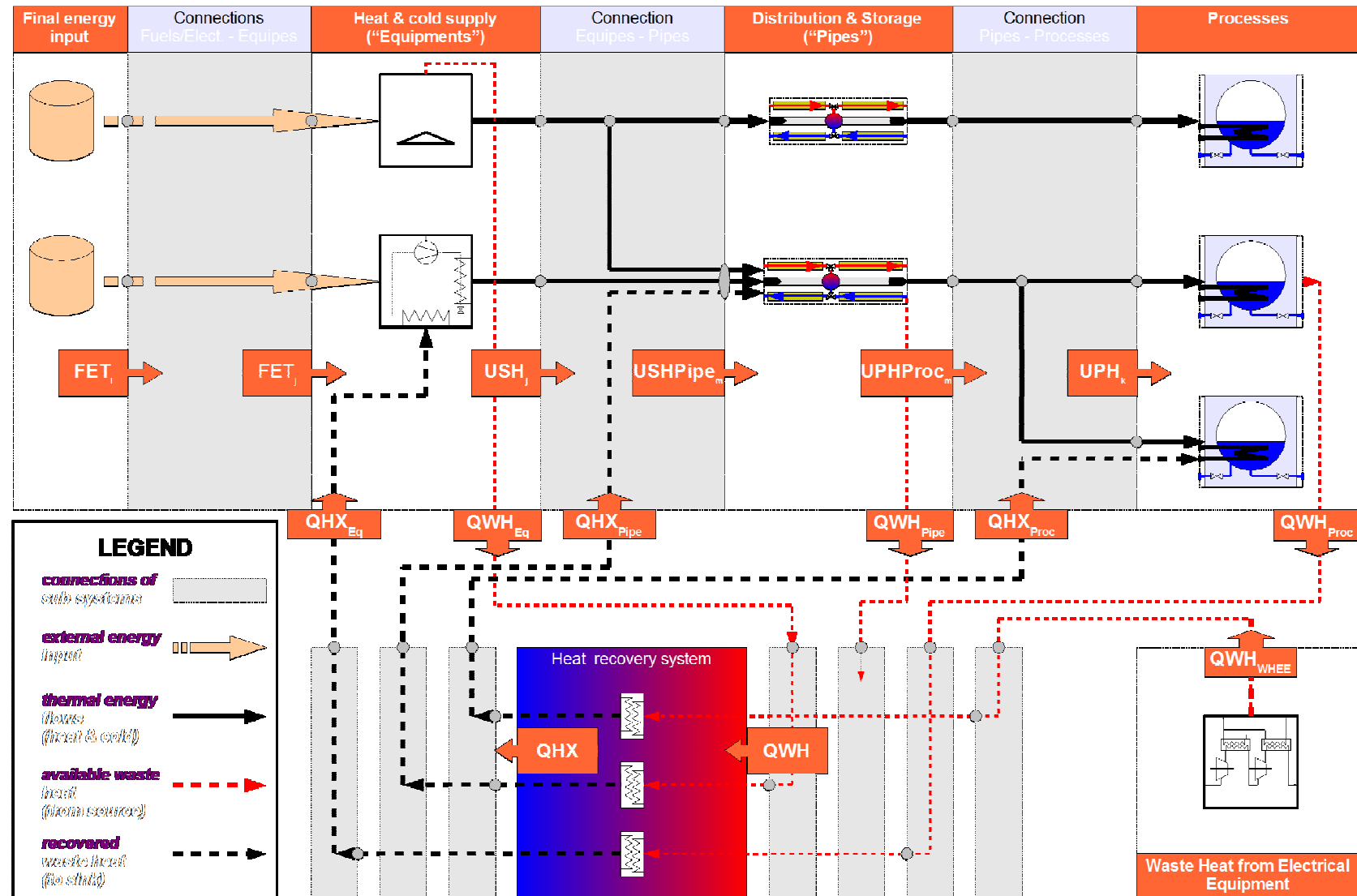


# AT03

## *Kühlmodul*

# Kühlanlage

EINSTEIN thermal energy industry audit



Parameter fürs Kühlen: USH – USC, UPH – UPC, QWH – QWC

# Kühlanlage Typen

EINSTEIN beschreibt 7 Typen von Kühlanlagen:

1. Kompressionskältemaschine: Produziert Kaltwasser (indirekte Verdunstung), braucht Elektrizität
  - a) Wassergekühlt: Gibt die Wärme über einen Nasskühlturm an die Umgebungsluft ab (indirekte Kondensation).
  - b) Luftgekühlt: Gibt die Wärme direkt an die Umgebungsluft ab (direkte Kondensation).
2. Thermisch angetriebene Kältemaschine: Wie Kompressionskältemaschine, nutzt aber Wärme als Hauptantriebsenergie (Absorption-, Adsorptionskältemaschine).
  - a) luftgekühlt und b) wassergekühlt.
3. Kühlturm (trocken): Produziert Kühlwasser in einem Kühlturm mittels Luftzirkulation.
4. Kühlturm (nass): Produziert Kühlwasser in einem Kühlturm mittels Luft- und Wasserzirkulation
5. Frisch- und Grundwasser: Kühlwasser wird aus dem Grundwasser oder aus einem Fluss entnommen

# Kühlmodul Theorie

- Die Kälteproduktion USC wird in EINSTEIN entsprechend der Prozessnachfrage berechnet.
- Der elektrischer Verbrauch wird folgendermaßen berechnet:

$$FETj(t) = \frac{USCj(t)}{EER_{sys}(t)}$$

- USCj: Der Verbrauch von Kühlenergie, welcher von der Kühlanlage verbraucht wird
- FETj: Der Verbrauch von Antriebsenergie (elektrisch), welcher von der Kühlanlage verbraucht wird
- $EER_{sys}$ : Energetischer Wirkungsgrad; berücksichtigt Temperaturniveaus und Effizienzverluste durch Teillast (falls zutreffend)

# Kühlmodul Theorie

$$FET_j(t) = \frac{USC_j(t)}{EER_{sys}(t)}$$

- $EER_{sys}$  Werte für Trocken- und Nasskühltürme sowie für Frisch- und Grundwasser bestehend aus Konstanten (22,222; 33,333 und 100).
- $EER_{sys}$  Werte für luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschinen sind abhängig von:
  - Verdunstungstemperatur
  - Kondensationstemperatur und
  - Teillastverhalten

# Kühlmodul Theorie

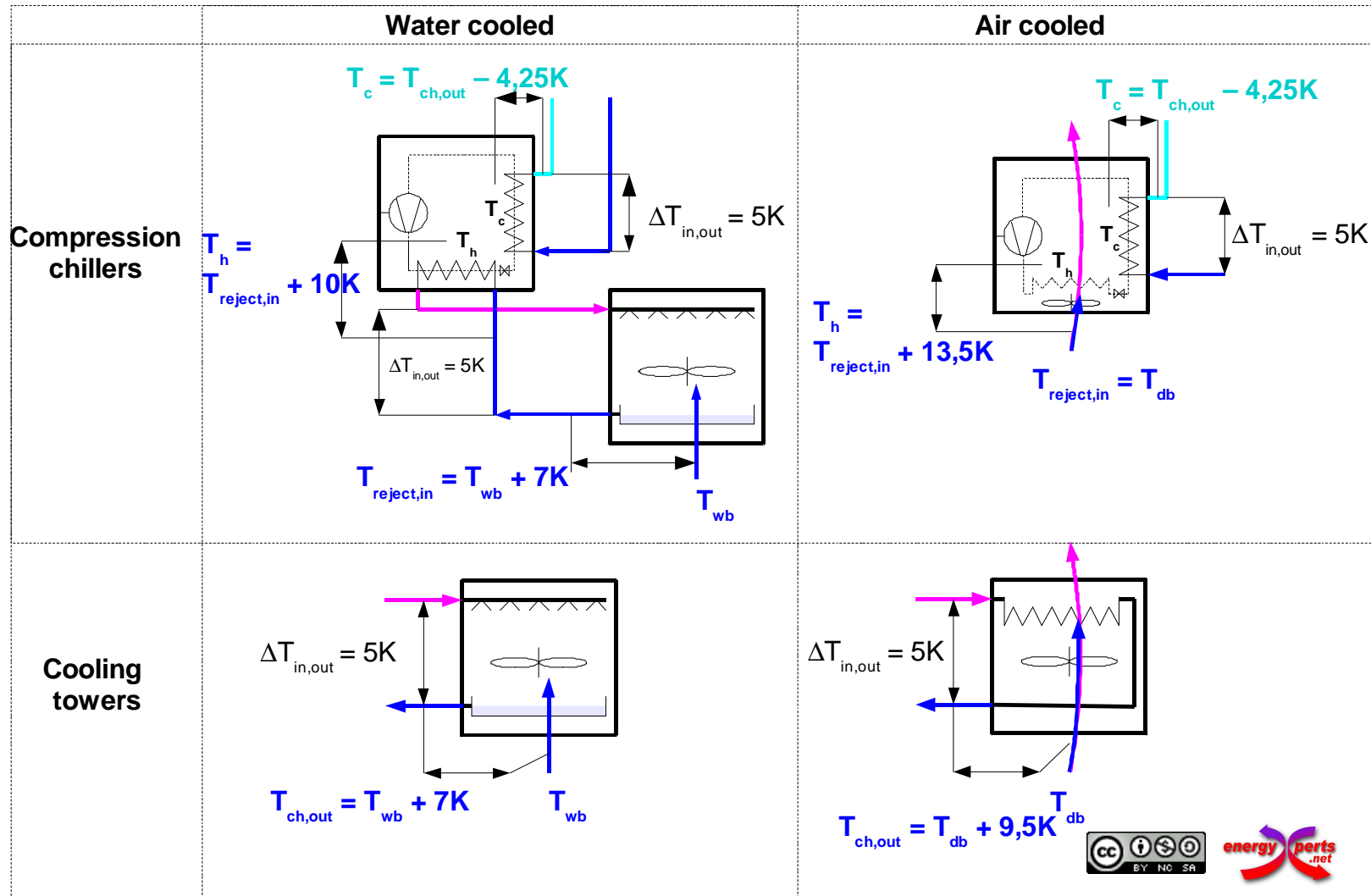
- Verdunstungs- und Kondensationstemperatur:
  - EER wird mit einem theoretischen Carnot Wirkungsgrad mit Benutzerparametern (Temperatur von Wärme-/ Kälteversorgung und Temperatur der Rückkühlung) berechnet und wird anschließend korrigiert um die Verdunstungs- und Kondensationstemperatur ( $T_c$  und  $T_h$ ) zu erhalten

$$EER_{carnot}(T_c, T_h) = \frac{T_c [K]}{(T_h - T_c)}$$

- Der theoretische Carnot Wirkungsgrad wird mit dem Parameter  $\eta_{ex,nom}$  korrigiert (enthalten im Nenn-EER, welcher vom User eingegeben wird)

$$EER_{ch, real, fullLoad}(t) = \eta_{ex, nom} * EER_{carnot}(T_{c, real}(t), T_{h, real}(t))$$

# Kühlmodul Theorie



# Kühlmodul Theorie

- Teillast:
  - Der Volllast EER ist korrigiert, um das Teillastverhalten zu berücksichtigen:

$$EER_{ch, real} = EER_{ch, real, fullLoad} * PLC$$

- In EINSTEIN v2.0, wird PLC folgendermaßen berechnet:

$$PLC = 0.9 + 0.1 * PLR_{average}$$

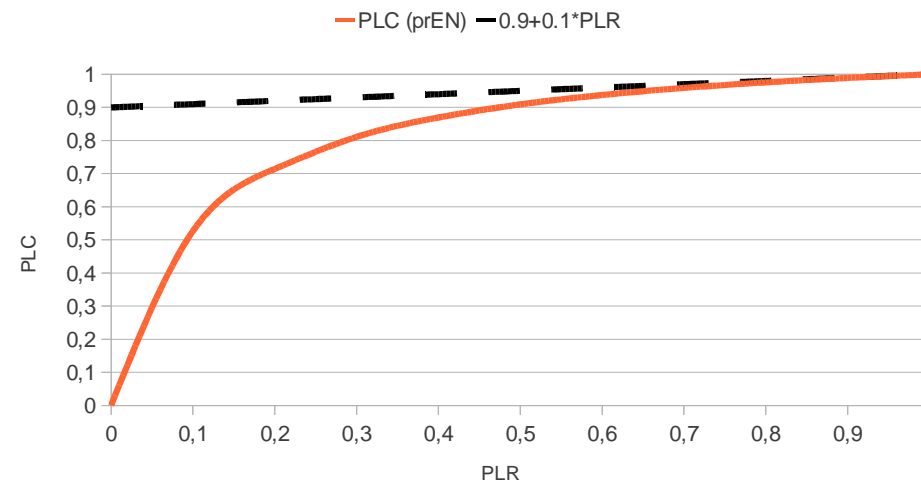
- $PLR_{average}$  ist der Mittelwert zwischen der aktuellen Kühllast und der (maximalen) Nennkühllast:

$$PLR = Q_{Load} / Q_{Nom}$$



# Kühlmodul Theorie

- Das Teillastverhalten in EINSTEIN (schwarze Linie), ist aus Gründen der Modellierung, im Vergleich zu einem realen Teillastverhalten von Kompressionskältemaschinen (orange Linie) vereinfacht angenommen worden.



- Prüfer sollen sich bewusst sein, dass im Falle einer starken Schwankung der Kühlung, welche von einer Kompressionskältemaschine bereitgestellt wird, der Stromverbrauch möglicherweise unterschätzt wird.

# Modellierung Kühlanlage

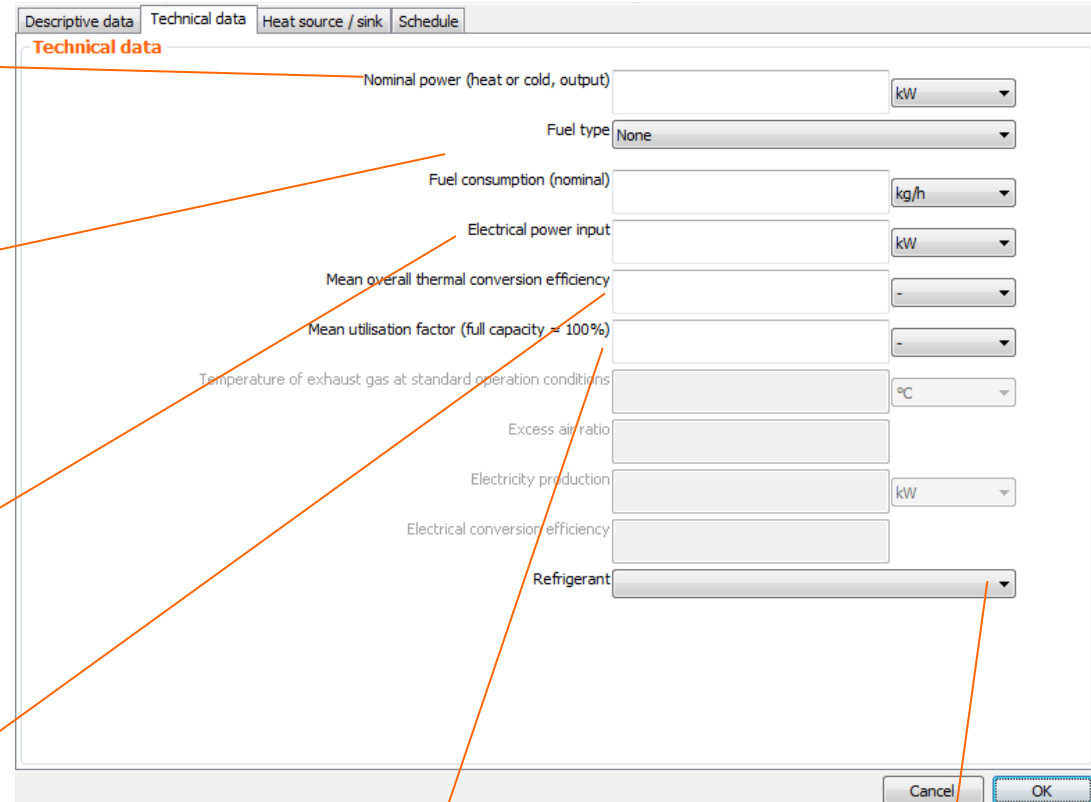
**EINSTEIN** thermal energy  
industry audit

**Nennleistung der Kühlanlage**

**Brennstofftyp & Brennstoffverbrauch = keiner für mechanische Kühlanlage**

**Elektrische Leistung der Kühlanlage**

**EER von der Kompressionskältemaschine bei Volllast und Nennarbeitsbedingungen**



**$PLR = Q_{Load} / Q_{nom}$   
(berechnet von EINSTEIN)**

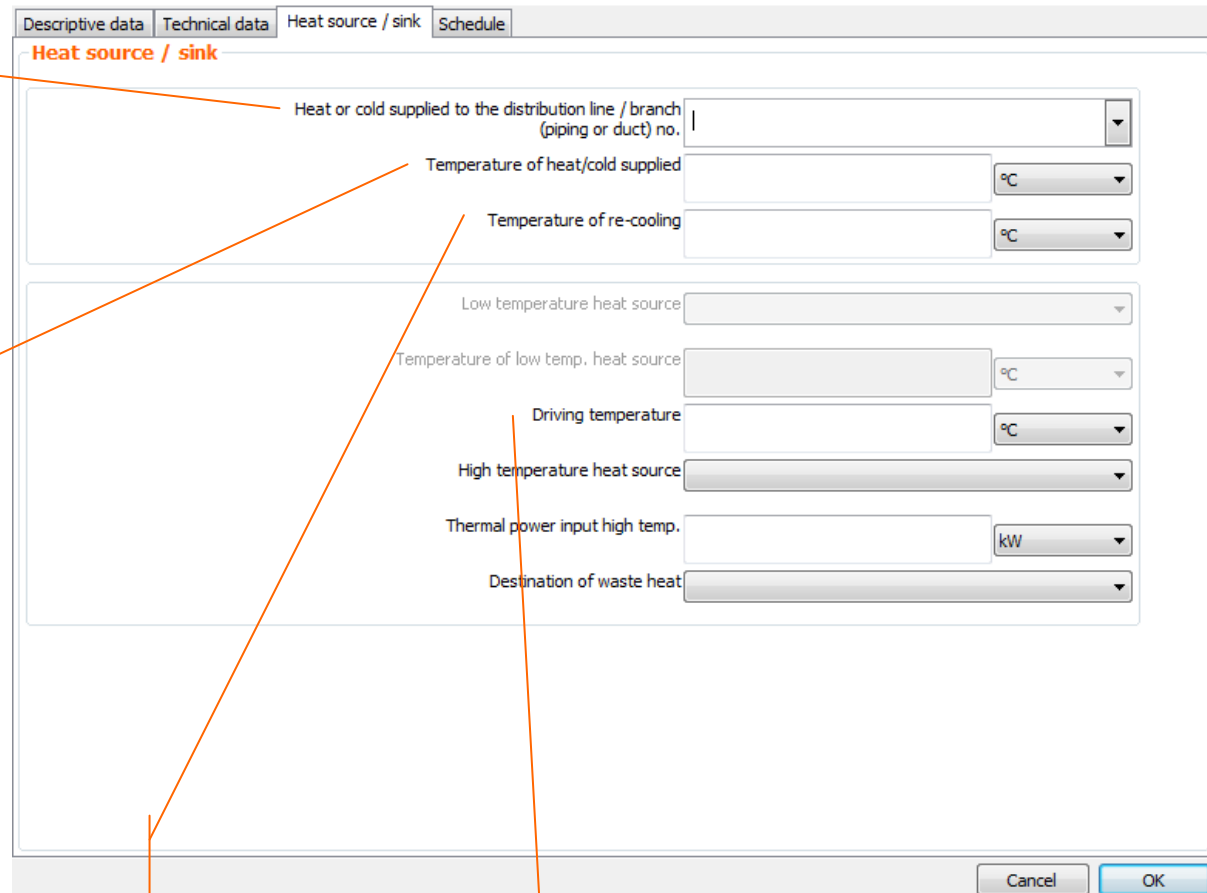
**Kältemitteltyp ist in der aktuellen Version 2.0 nicht enthalten**

# Modellierung Kühlanlage

**Kälteverteilung**

**Austrittskalt-  
wassertemperatur  
der Anlage**

**Kühllufttemperatur bzw.  
Wassertemperatur  
(luftgekühlte- bzw.  
wassergekühlte  
Kompressionskältemaschine)**



Descriptive data | Technical data | **Heat source / sink** | Schedule

**Heat source / sink**

Heat or cold supplied to the distribution line / branch (piping or duct) no.

Temperature of heat/cold supplied  °C

Temperature of re-cooling  °C

Low temperature heat source

Temperature of low temp. heat source  °C

Driving temperature  °C

High temperature heat source

Thermal power input high temp.  kW

Destination of waste heat

Cancel OK

**Felder nicht relevant für  
mechanische  
Kompressionskälte-  
maschinen**

# Kalibrierung von Simulationen von Kühlanlagen

Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen und dem gegenwärtigen Stand der Analysen können dadurch entstehen, dass die nominal angenommenen Arbeitsbedingungen anders sind als die Arbeitsbedingungen, welche in der Simulation angenommen wurden:

- ⇒ Die Vorlauftemperatur in der Simulation ist abhängig von der erforderlichen minimalen Temperatur in dem Prozess.
- ⇒ Die Rückkühltemperatur in der Simulation abhängig von der Umgebungstemperatur (nass oder trocken abhängig vom System) und der Standardtemperatur sinkt (abhängig vom Systemtyp)

Wie kann man die Simulation kalibrieren:

- Passen Sie den nominalen EER an, sodass Sie den korrekten realen EER Werte erhalten
- Passen Sie die nominalen Arbeitsbedingungen an (Temperatur Kaltwasser, Lufttemperatur und Rückkühltemperatur) -> Abstimmen mit realen Arbeitsbedingungen

Ziel: => Übereinstimmung Verbrauch Antriebsenergie (elektrisch) in Wirklichkeit und Simulation