

Energieeffizienz und Korrosion

Dr. Ragnar Warnecke, GKS

Christian Daublebsky von Eichhain, KED

Inhalt

1. Effizienz
2. Einflussgrößen thermo-chemischer Prozesse
3. Temperatur und Druck in Wasser-Dampf-Kreisprozessen
4. Temperatur und Spezies unter Korrosions-Gesichtspunkten
5. Wechselwirkung zwischen Wasser-Dampf-Kreisprozess und Korrosion
6. Zusammenfassung und Ausblick

1. Effizienz

$$Eff = \frac{Nutzen}{Aufwand} \leq 1$$

Effizienz ist relativ!

Mit der Abzehrung eines korrodierenden Rohres:

- **steigt** bezüglich der Effizienz der Festigkeit ($\sigma_{\min} / \sigma_{\text{Ist}}$)
- **sinkt** bezüglich der Effizienz der Standzeit ($t_{\text{Ist}} / t_{\text{Soll}}$)
- **unverändert** bezüglich der Effizienz der Brennstoffumwandlung trotz zeitweiser Stillstände ($E_{\text{Dampf}} / E_{\text{Brennstoff}}$)

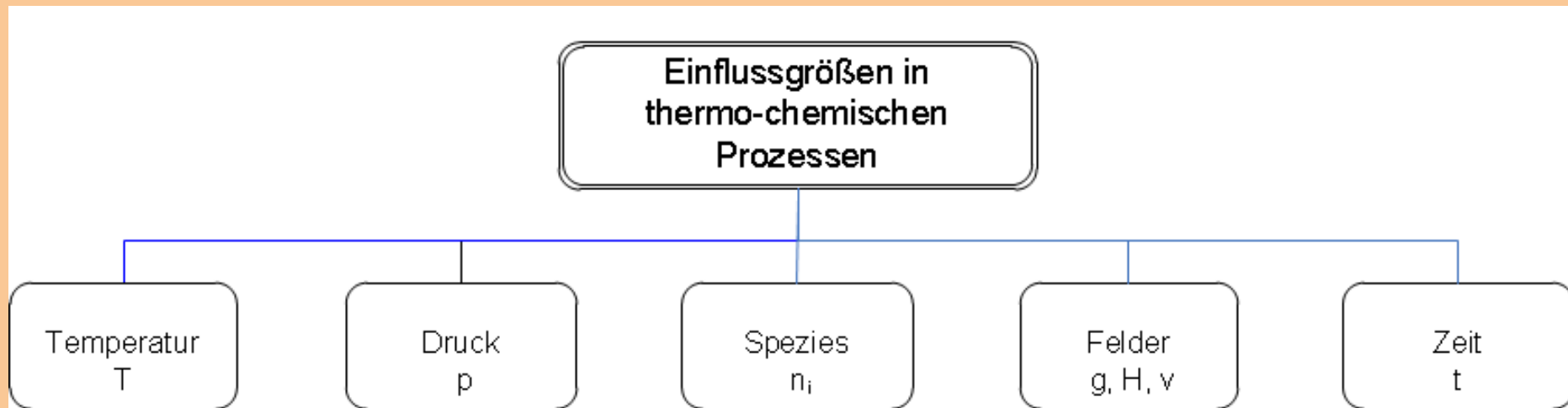
um in einer „Unstetigkeit“ zu enden.

Effizienz ist relativ!

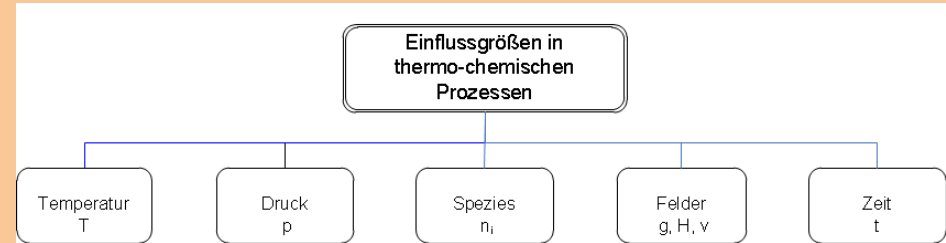
Effizienz ist abhängig:

- vom Gegenstand der Betrachtung
- von der Bezugsgröße
- vom Betrachtungszeitraum

2. Einflussgrößen in thermo-chemischen Prozessen



Einflussgrößen



Gilt:

- auf der energieabgebenden Seite (z.B. Rauchgas):
variabel: T , n_i , v , t
- auf der energieaufnehmenden Seite (z.B. Wasser/Dampf):
variabel: T , p , (v, t)

Einflussgrößen

	Wasser-Dampf-Seite		Rauchgas-Seite	
	variabel	quasi-konstant	variabel	quasi-konstant
Temperatur	X		X	
Druck	X			X
Spezies		X	X	
Felder	[X (Geschwindigkeit)]	X (Gravitation, elektr. Felder ...)	X (Geschwindigkeit)	X (Gravitation, elektr. Felder ...)
Zeit		X	X	

3. Temperatur und Druck im Wasser-Dampf-Kreisprozess

$$Eff = \frac{\textit{Strom} + \textit{Wärme}}{\textit{Brennstoffenergie} + \textit{Zusatzenergie}}$$

Unterschiede in der Effizienz

Unterschiedliche Effizienzen (Müllkessel):

- „Wärme-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 60 - 85 \%$
- „Strom-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 15 - 35 \%$
- „KWK-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 40 - 70 \%$

Unterschiede in der Effizienz

Unterschiedliche Effizienzen (Müllkessel):

- „Wärme-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 60 - 85 \%$; $T_{\text{H}_2\text{O}} = 150-300^\circ\text{C}$
- „Strom-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 15 - 35 \%$; $T_{\text{H}_2\text{O}} = 400-600^\circ\text{C}$
- „KWK-Kessel“: $E_{\text{eff}} = 40 - 70 \%$; $T_{\text{H}_2\text{O}} = 350-550^\circ\text{C}$

Je geringer die Temperatur, desto höher die Effizienz!?

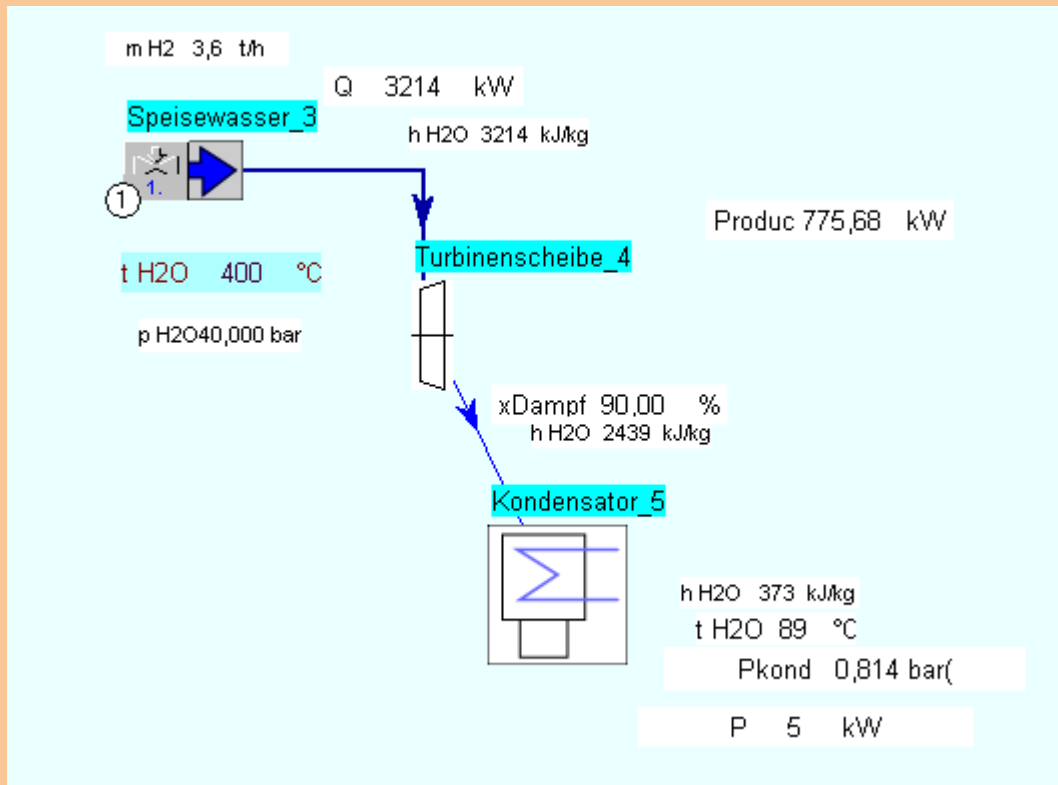
Effizienz und Bedarf

Ausnutzungsgrad A:

- „Wärme-Kessel“: $A = \text{jahreszeitabhängig}$
- „Strom-Kessel“: $A = \text{marktabhängig}$
- „KWK-Kessel“: $A = \text{flexibel}$

vor Allem aber standortabhängig!

Betrachtung der Strom-Effizienz

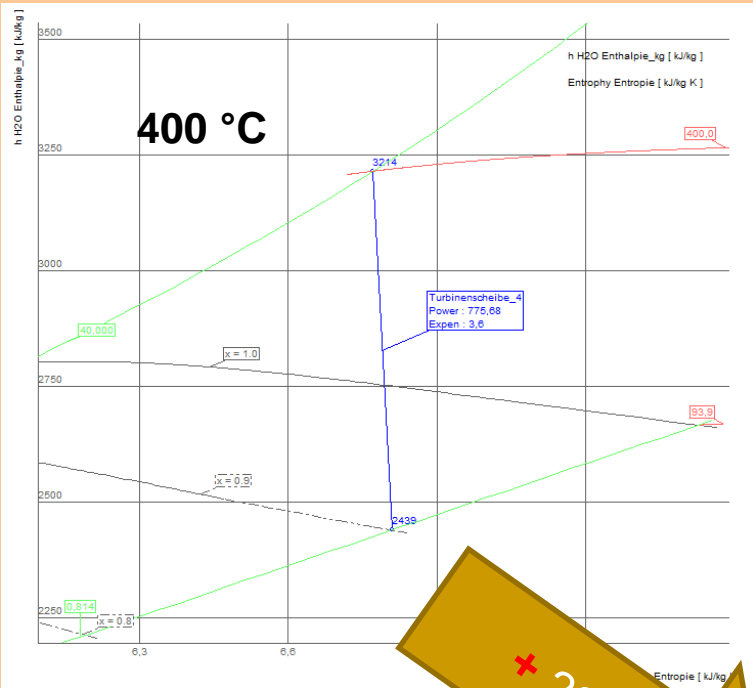


Randbedingungen:

Idealer Prozess

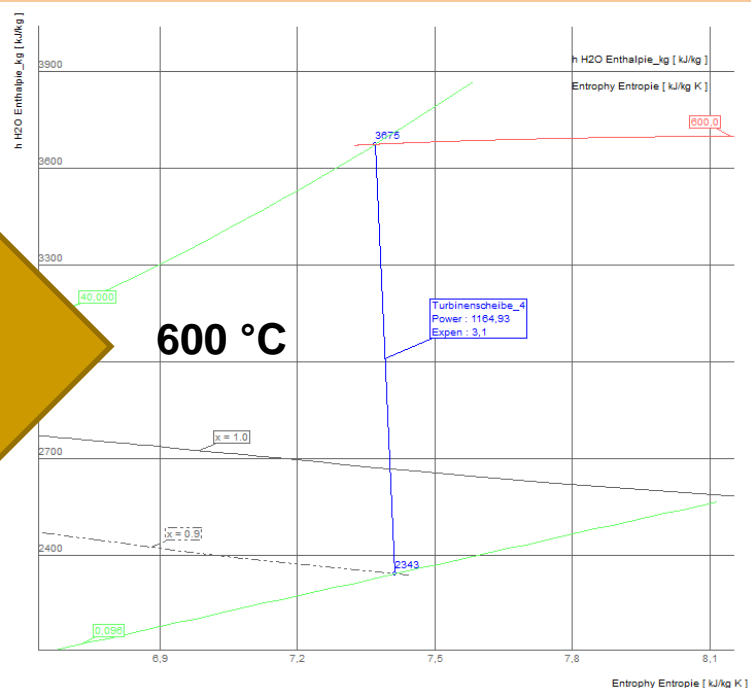
Gleiche Dampfleistung = 3.214 kW

Gleiches x_{Dampf} = 0,9

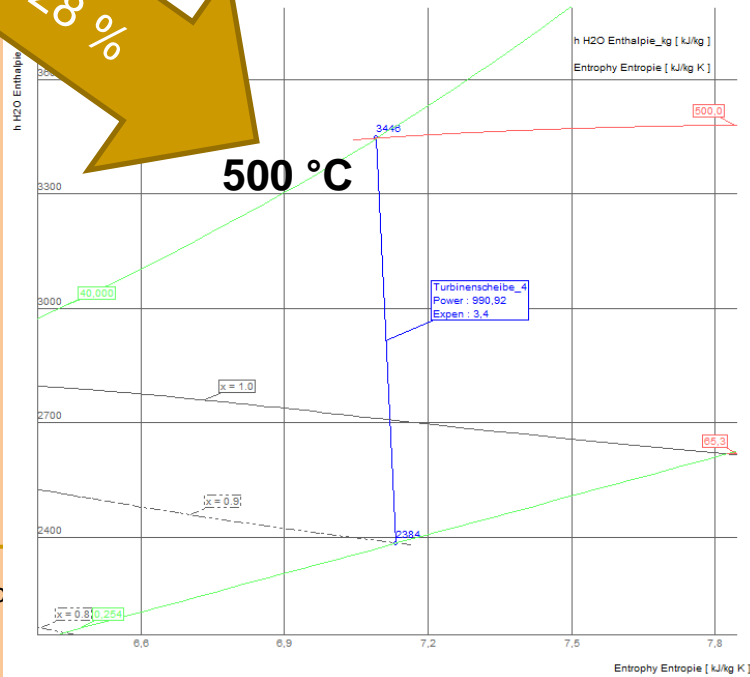


40 bar

+ 50 %



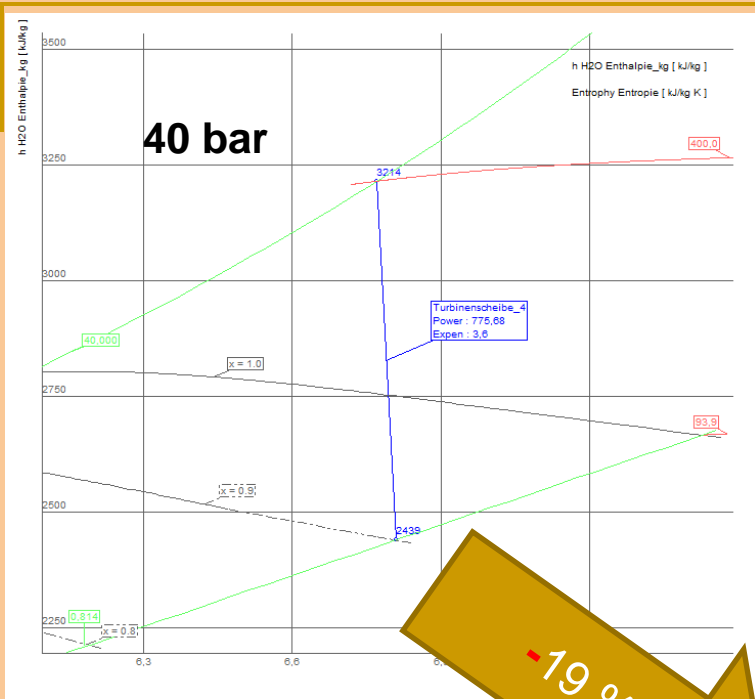
+ 28 %



Allerdings Faktor 8 niedrigeres Vakuum

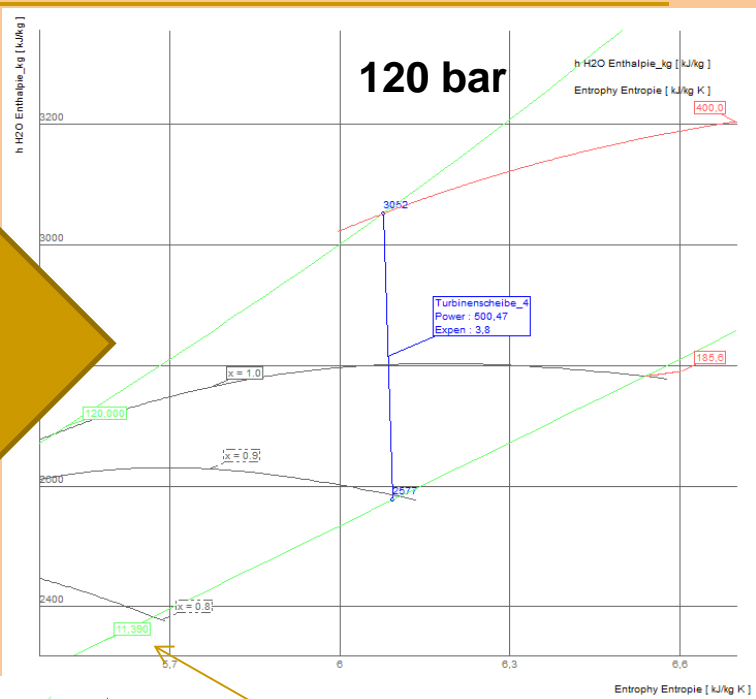
Warne

sion

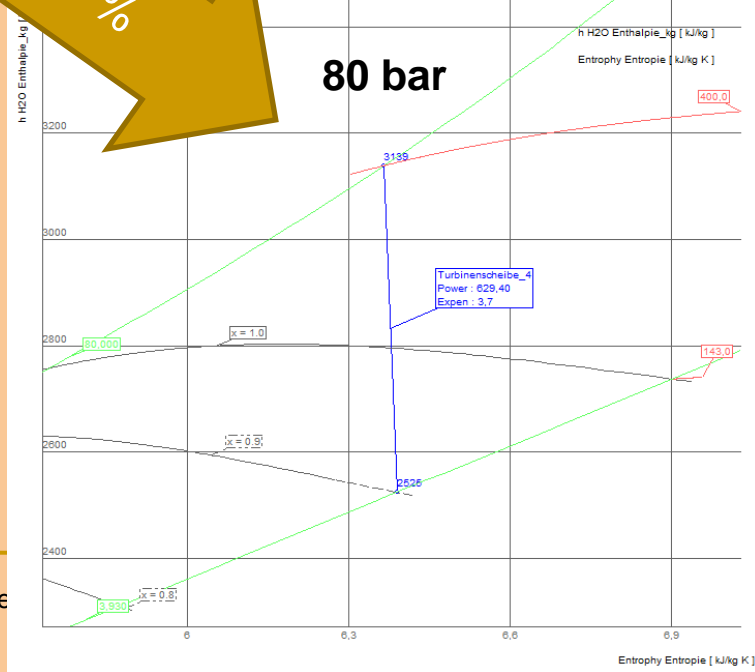


400 °C

- 35 %



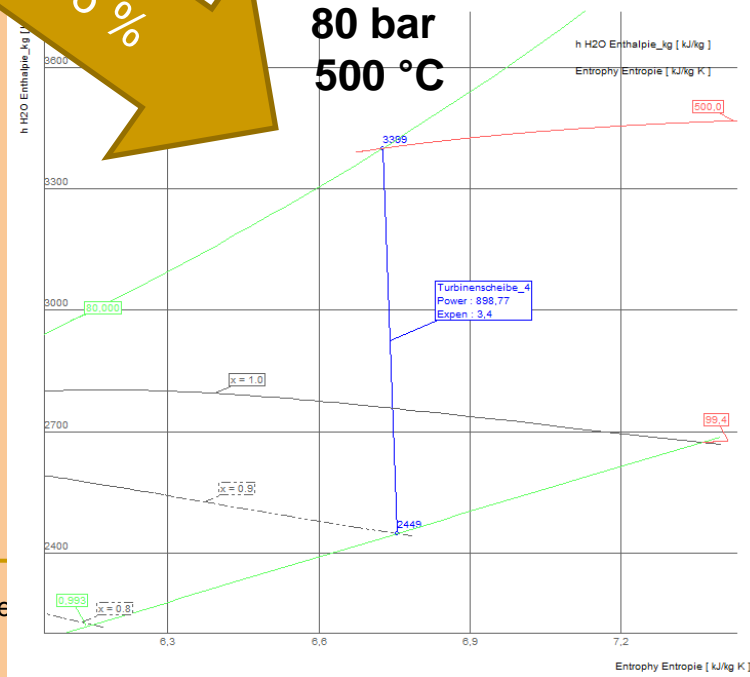
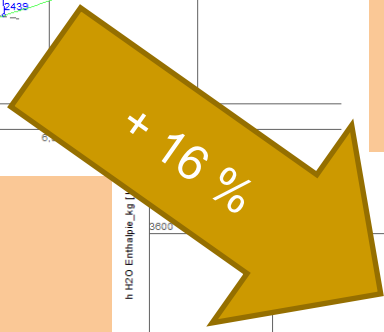
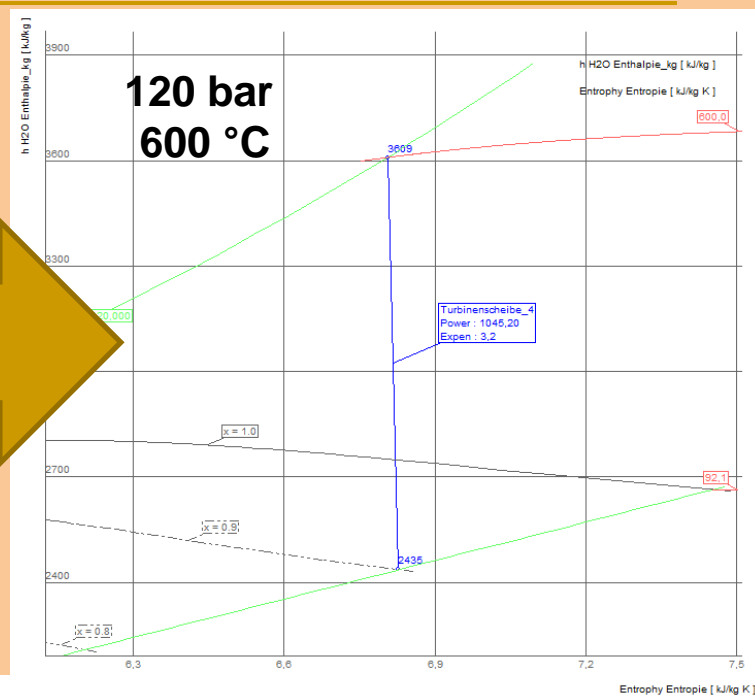
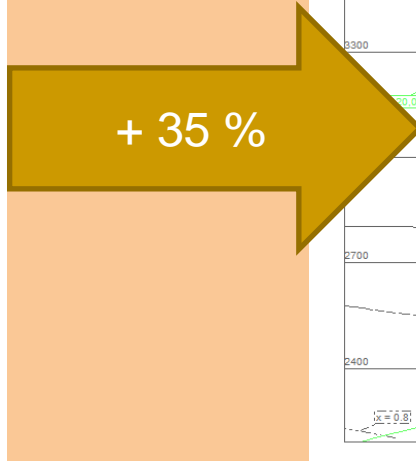
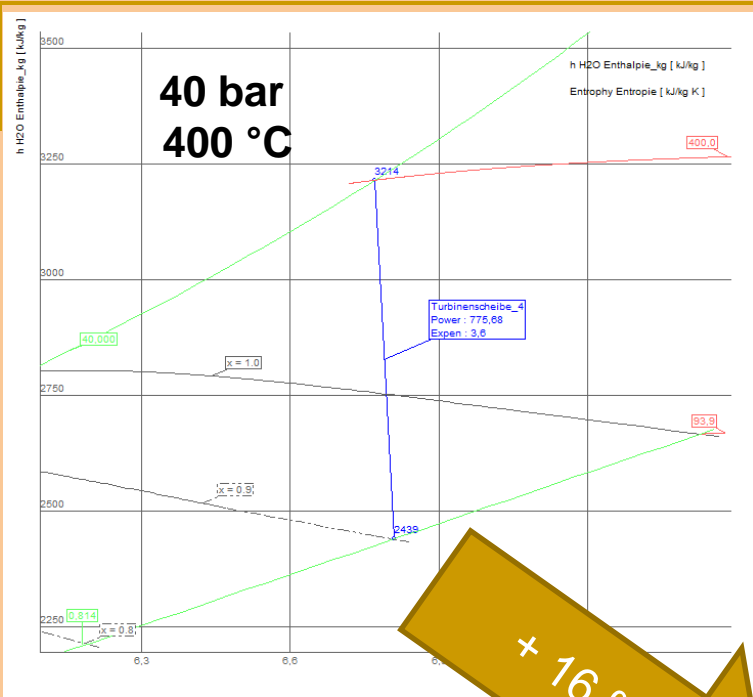
- 19 %



Allerdings bis zu 11,3 bar Gegendruck

Warne

osion



Gegendruck knapp 1 bar

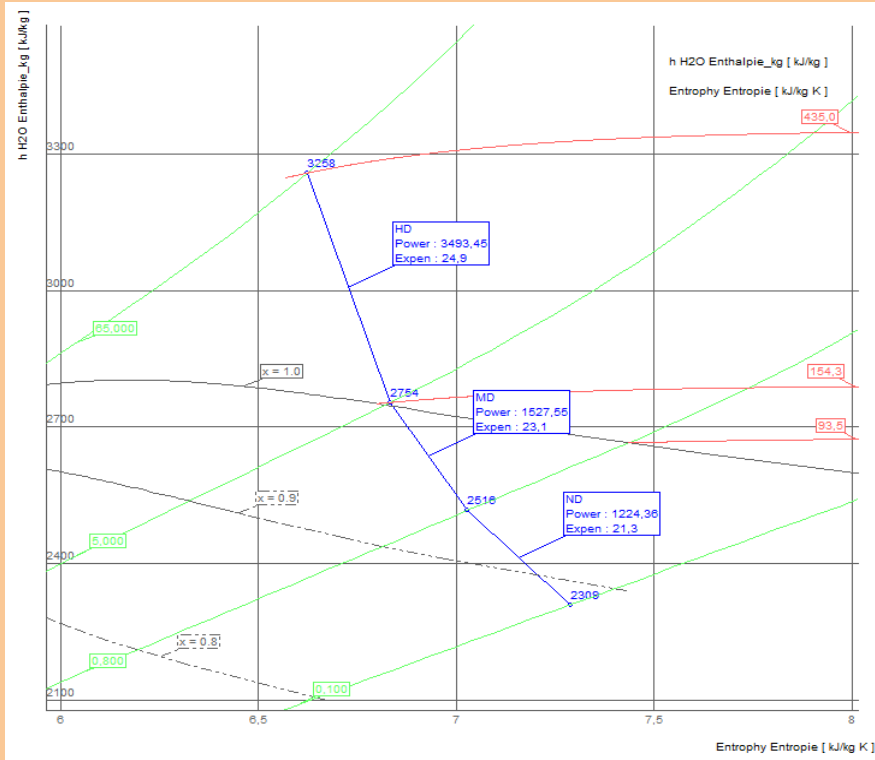
osion

Warne

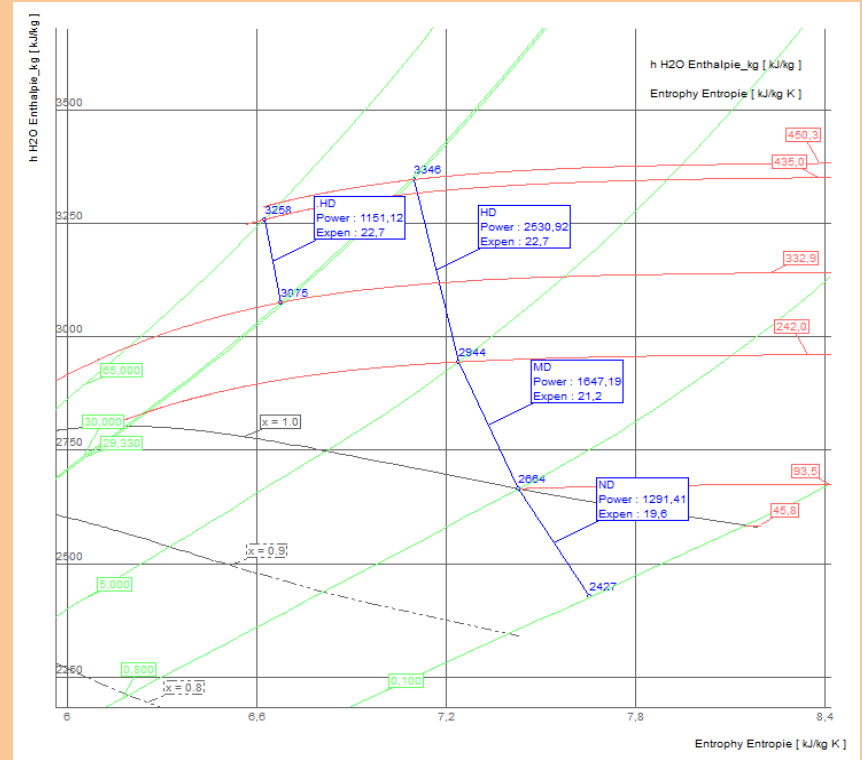
Berechnungsdaten

Fall:	Frischdampf- Druck:	Frischdampf- Temperatur:	Q,Dampf:	m,Dampf:	x,Dampf:	h,Dampf:	h,Turb.,out:	Delta h:	h,Kond.:	p,Kond.:	T,Kond.:	P,el,Turbine:
	[bar]	[°C]	[kW]	[t/h]	[-]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[bar]	[°C]	[kW]
1	40	400	3.214	3,60	0,90	3.214	2.439	775,00	373	0,80	89,00	776,00
2	40	500	3.214	3,40	0,90	3.446	2.384	1.062,00	252	0,30	60,00	991,00
3	40	600	3.214	3,10	0,90	3.675	2.343	1.332,00	167	0,10	50,00	1.165,00
4	80	400	3.214	3,70	0,90	3.139	2.525	614,00	580	3,90	138,00	629,40
5	80	500	3.214	3,40	0,90	3.399	2.449	950,00	396	1,00	94,00	899,00
6	80	600	3.214	3,20	0,90	3.642	2.396	1.246,00	280	0,30	67,00	1.099,56
7	120	400	3.214	3,80	0,90	3.052	2.576	476,00	765	11,30	180,00	502,00
8	120	500	3.214	3,50	0,90	3.350	2.498	852,00	513	2,50	122,00	817,00
9	120	600	3.214	3,20	0,90	3.609	2.435	1.174,00	365	0,80	87,00	1.045,20

Reale Anlage



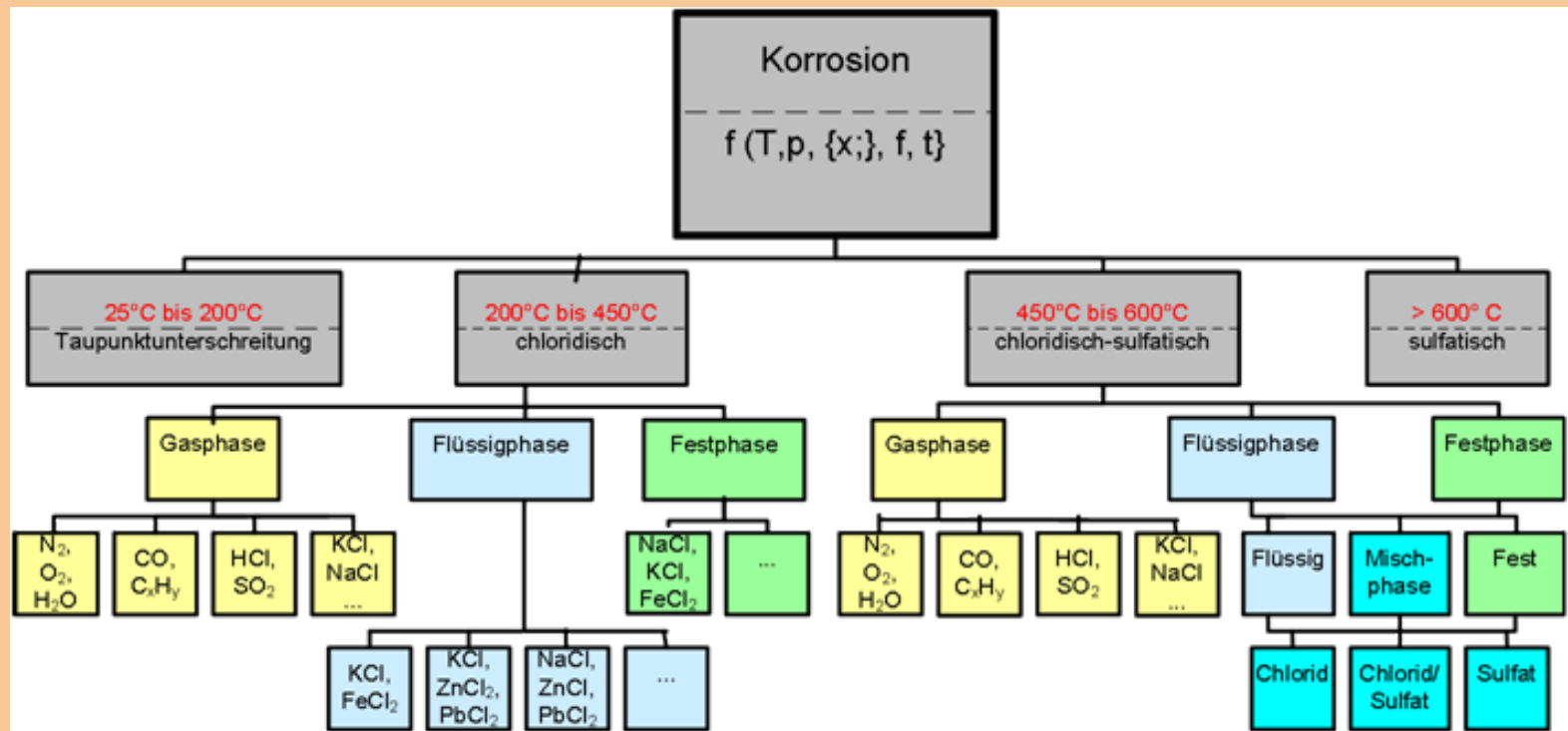
Ohne Zwischenüberhitzung: 6.251 kW



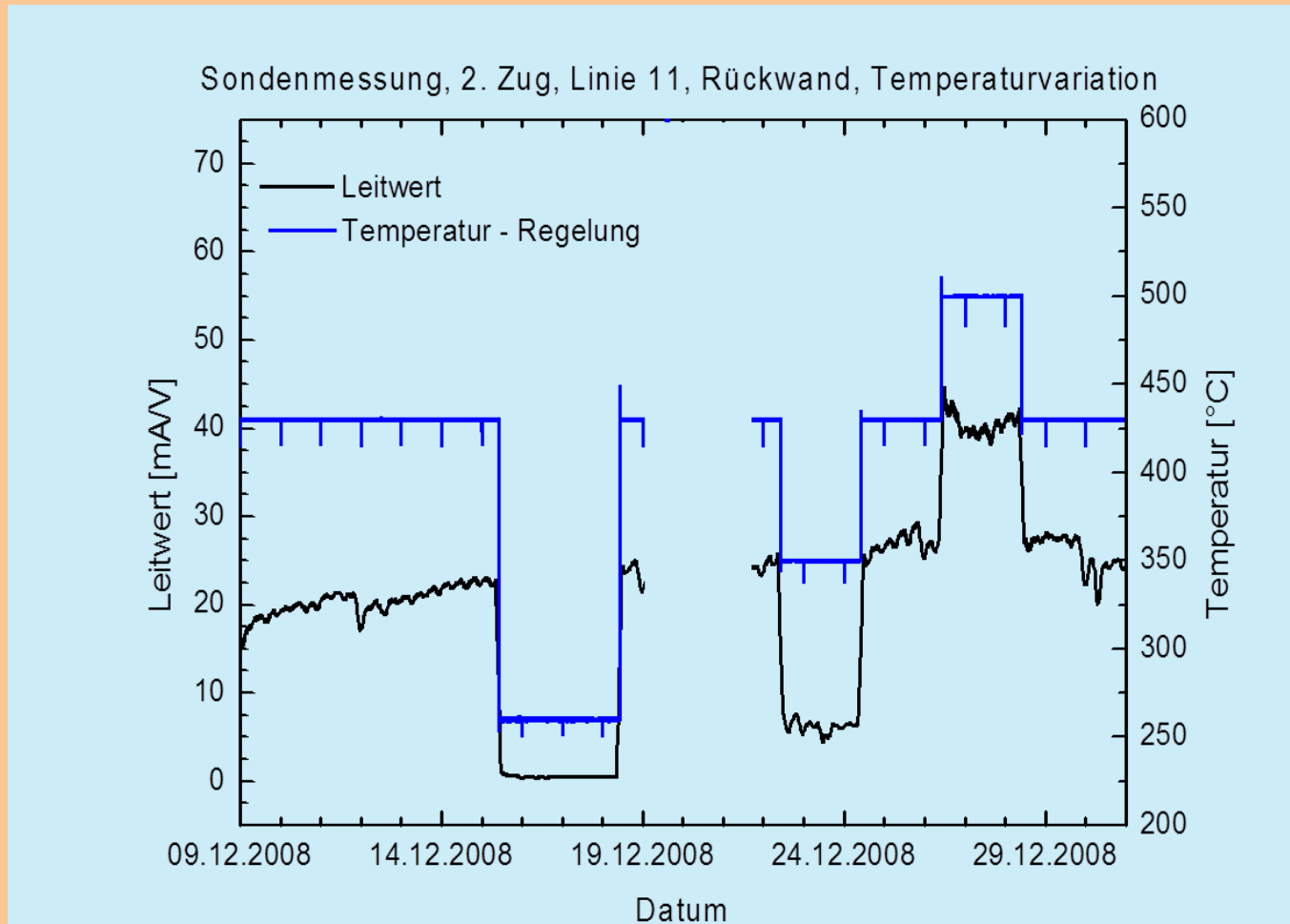
Mit Zwischenüberhitzung: 6.620 kW

Delta: 369 kW = 5,9 %

4. Temperatur und Spezies unter Korrosionsgesichtspunkten



Korrosion und Temperatur

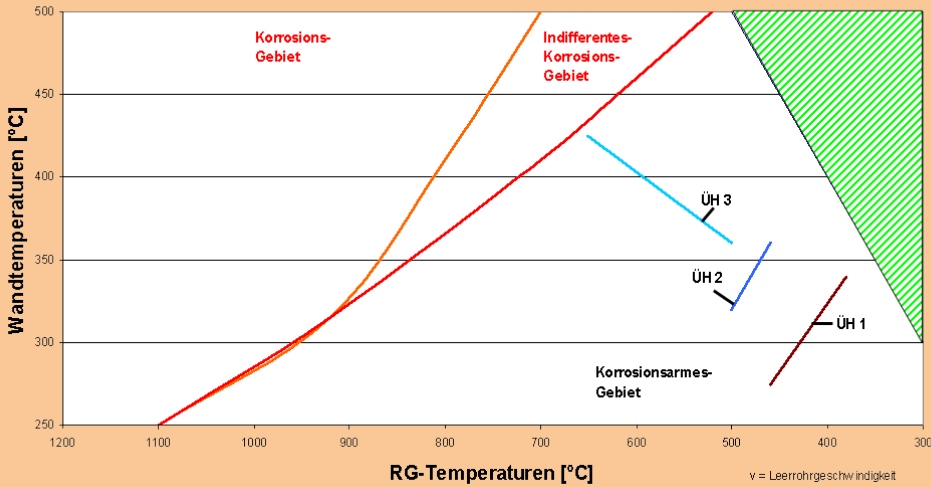


Warnecke, R.; Daublebsky von Eichhain, C.: Energieeffizienz und Korrosion
In: Sidaf (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion, Freiberg, 2013

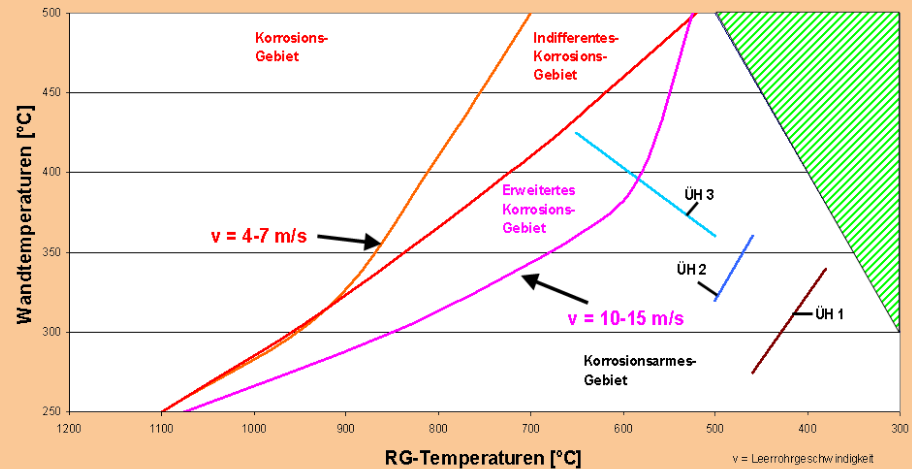
Korrosion und Temperatur

$$k = k_0 \exp\left(-\Delta G_1 \left(\frac{1}{RT_W} - \frac{1}{RT_W^0}\right)\right) \cdot \exp\left(-\Delta G_2 \left(\frac{1}{RT_R} - \frac{1}{RT_R^0}\right)\right) \cdot c \cdot v$$

5. Wechselwirkung von Wasser-Dampf-Kreislauf und Korrosion



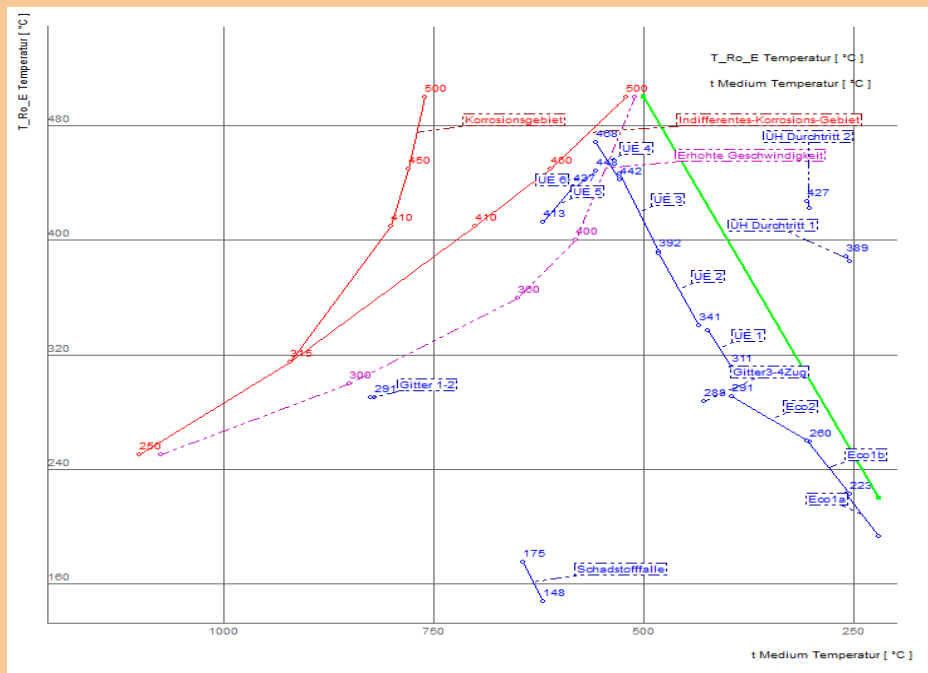
Korrosionsdiagramm [Kümmel 1994]



Erweitertes Korrosionsdiagramm [Warnecke 2003]

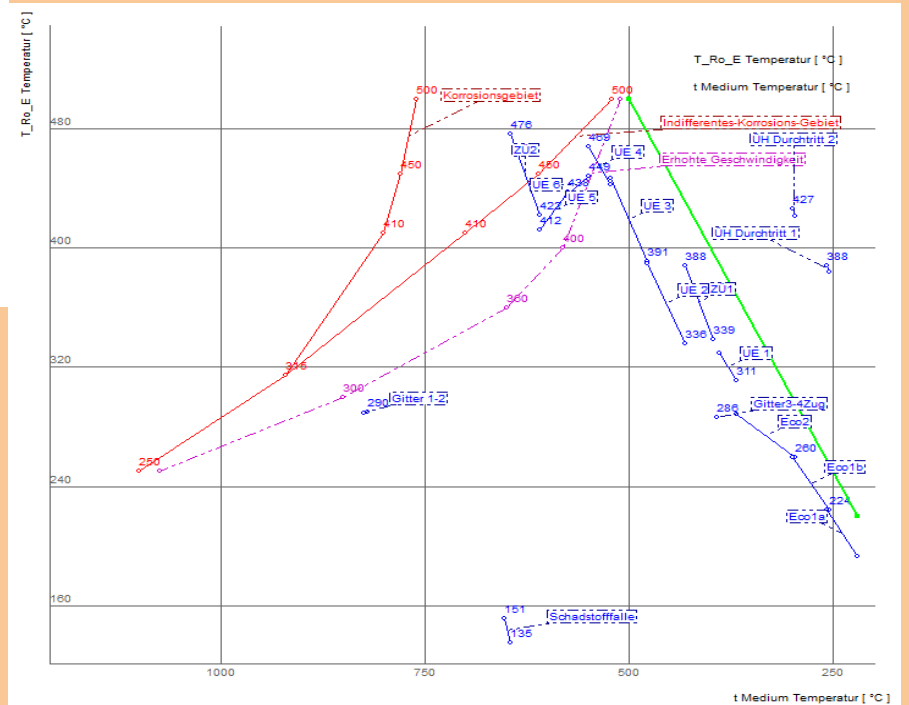
Warnecke, R.; Daublebsky von Eichhain, C.: Energieeffizienz und Korrosion
 In: Sidaf (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion, Freiberg, 2013

Korrosionsdiagramme

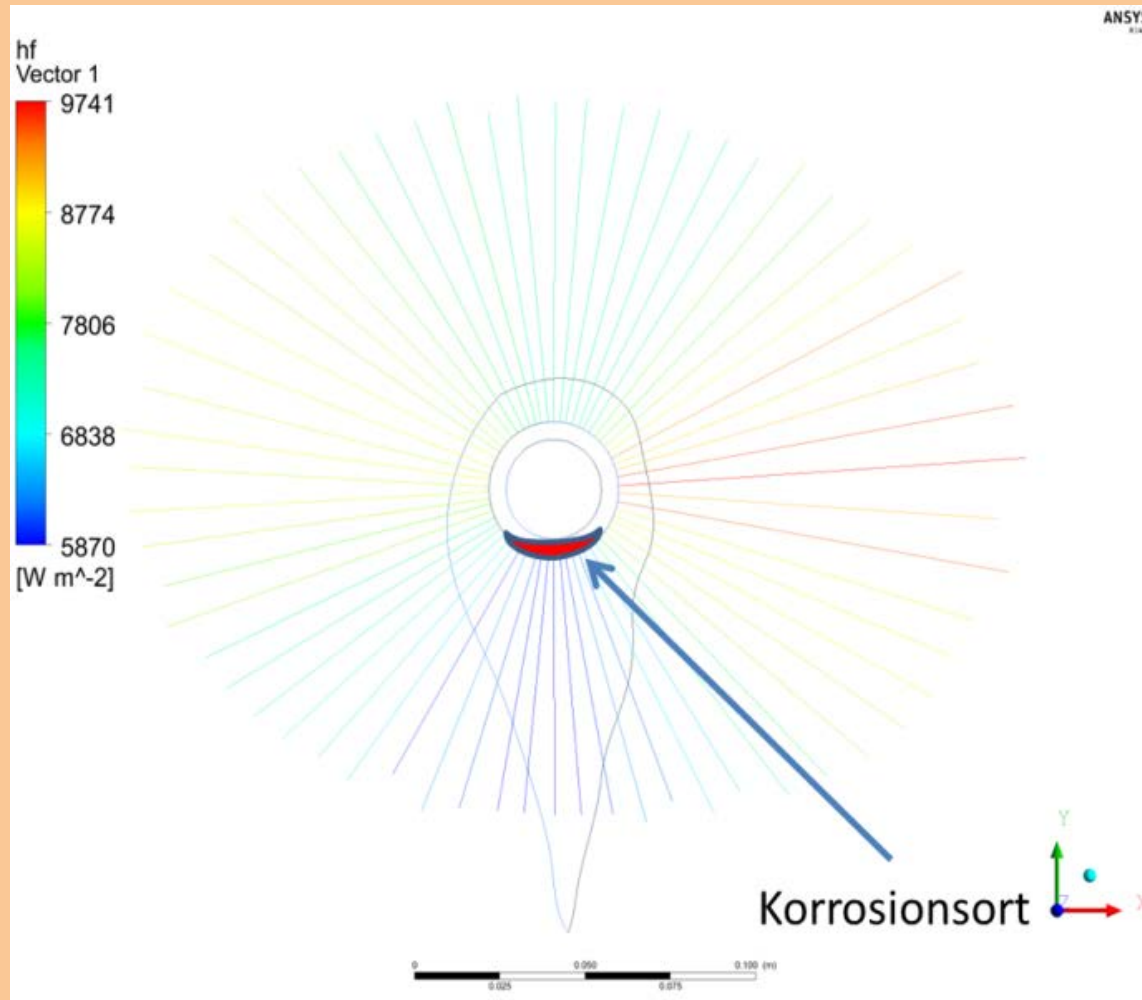


Korrosionsdiagramm **ohne** Zwischenüberhitzung

Korrosionsdiagramm **mit** Zwischenüberhitzung

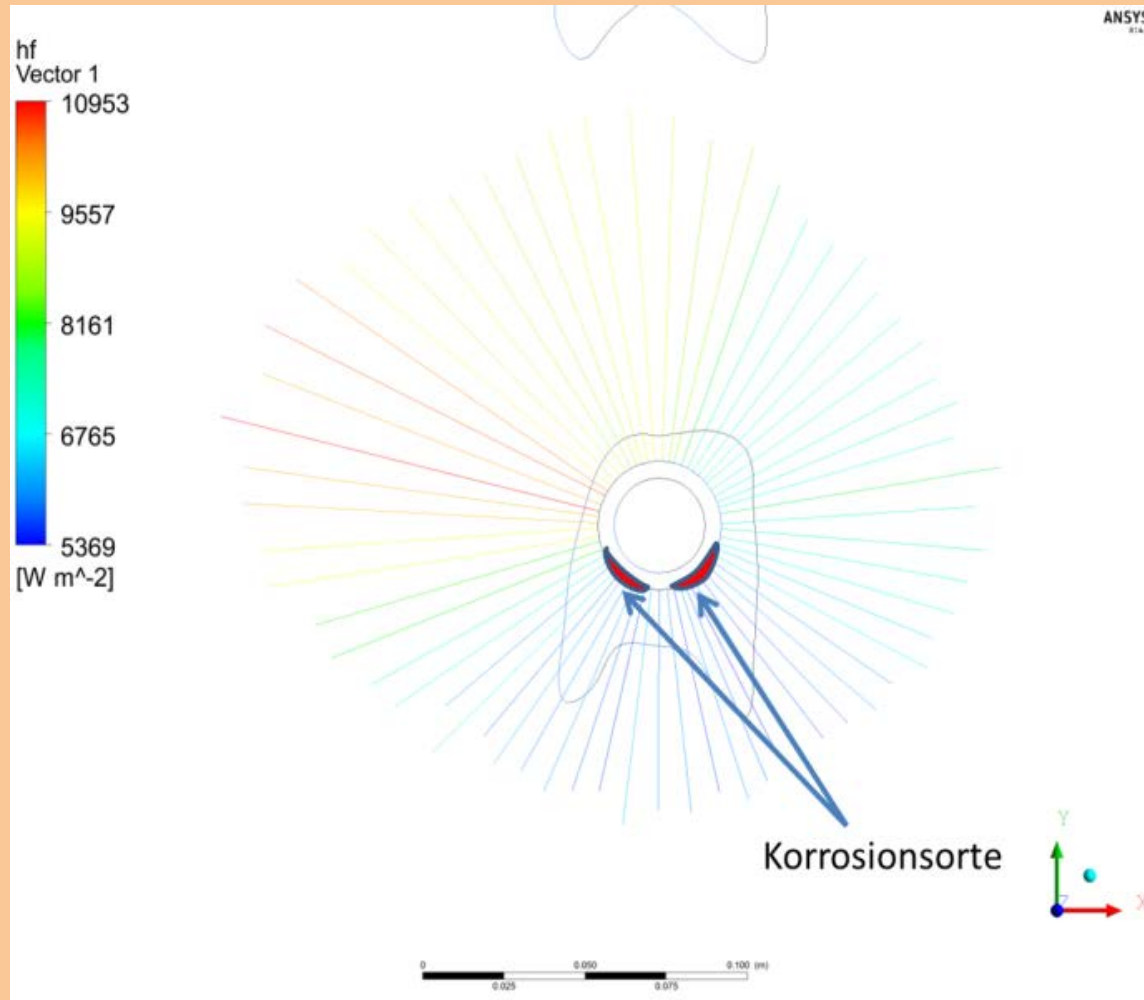


Wärmestrom an ÜH-Rohr (1. RR)



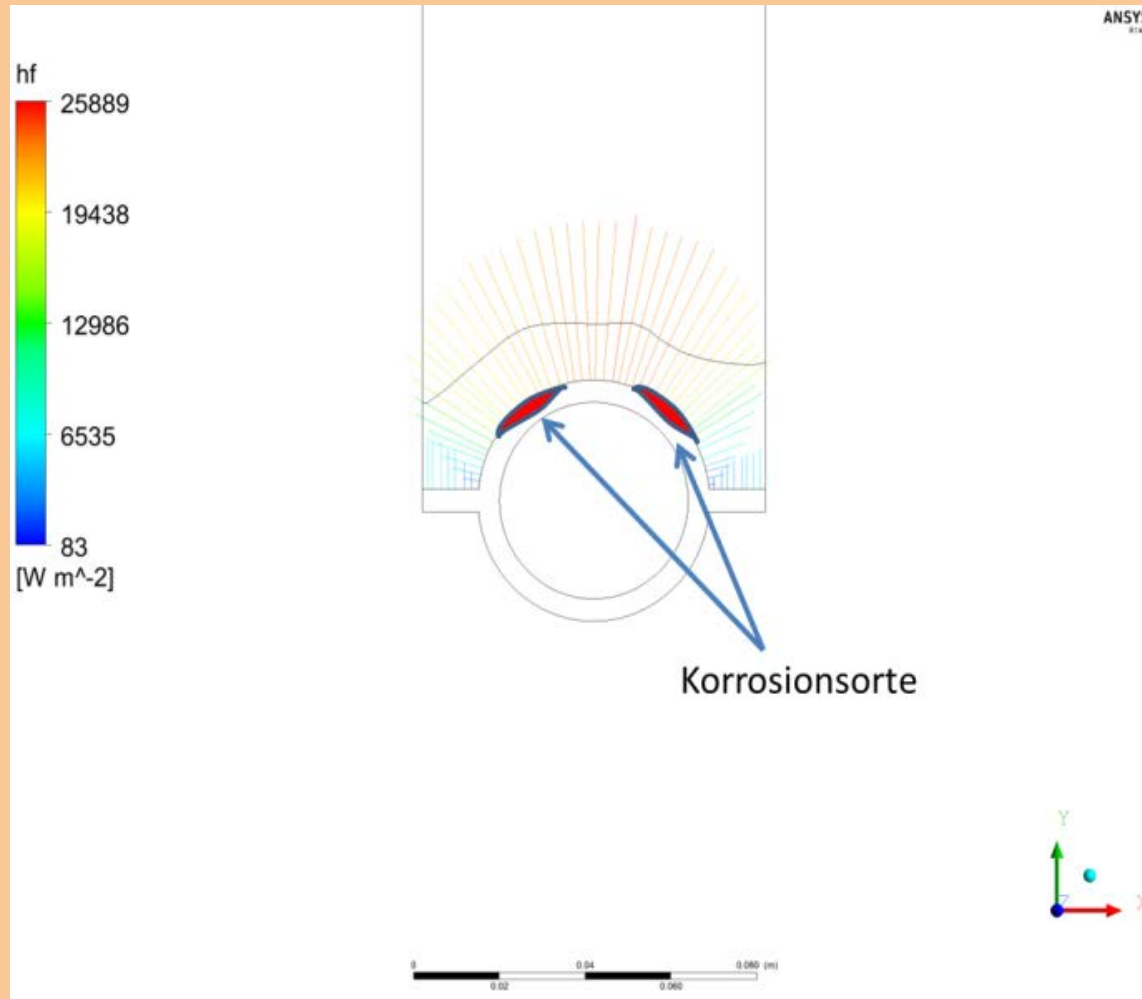
Warnecke, R.; Daublebsky von Eichhain, C.: Energieeffizienz und Korrosion
In: Sidaf (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion, Freiberg, 2013

Wärmestrom an ÜH-Rohr (3. RR)



Warnecke, R.; Daublebsky von Eichhain, C.: Energieeffizienz und Korrosion
In: Sidaf (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion, Freiberg, 2013

Wärmestrom in Verdampferwand



Warnecke, R.; Daublebsky von Eichhain, C.: Energieeffizienz und Korrosion
In: Sidaf (Hrsg.): Dampferzeugerkorrosion, Freiberg, 2013

5. Zusammenfassung und Ausblick

- Effizienz ist relativ!
- Energie-Effizienz hängt grundsätzlich nicht mit der Korrosion zusammen
- Um 100 °C höhere FD-Temperatur bringt rund 15 % höhere Strom-Effizienz bei höherem Korrosionsrisiko
- Zwischenüberhitzung bringt bei 20 °C rund 5 % höhere Strom-Effizienz bei höherem Korrosionsrisiko
- Einfluss des Wärmestroms auf Korrosion ist zu diskutieren