

TECHNISCHER BERICHT: AUSLEGUNG DES RÜCKKÜHLSYSTEMS FÜR FLÜSSIGKEITSGEKÜHLTE SINAMICS- FREQUENZUMFORMER S120

Anlage:
Mahlanlage



Projekt: Mahlanlage

1. Einleitung

Für eine Pfeiffer-Mühle wurden die vorhandenen flüssigkeitsgekühlten REFU-Umrichter durch flüssigkeitsgekühlte Sinamics- Umrichter ersetzt.

Der Grund dafür war, dass nach 25 Betriebsjahren keine Ersatzteile mehr verfügbar waren und sich die Störungen häuften.

Die Antriebsmotoren für die Mühle und der Ventilator blieben unverändert.

Bei der Auslegung des Umrichters für den Mühlenantrieb war das erforderliche Anlaufmoment und die Anlaufzeit zu berücksichtigen.

Der Anlauf der Mühle ist unproblematisch, wenn noch Mahlbett vorhanden ist.

Der Hochlauf erfolgt bis 25 Hz mit ca. 575 A, was knapp über Nennstrom liegt.

Beim Anlauf der Mühle ohne Mahlbett erreicht der Strom ca. 1050 A über eine Zeit von ca. 60 sec.

Zum Einsatz kamen Einbaugeräte IP00:

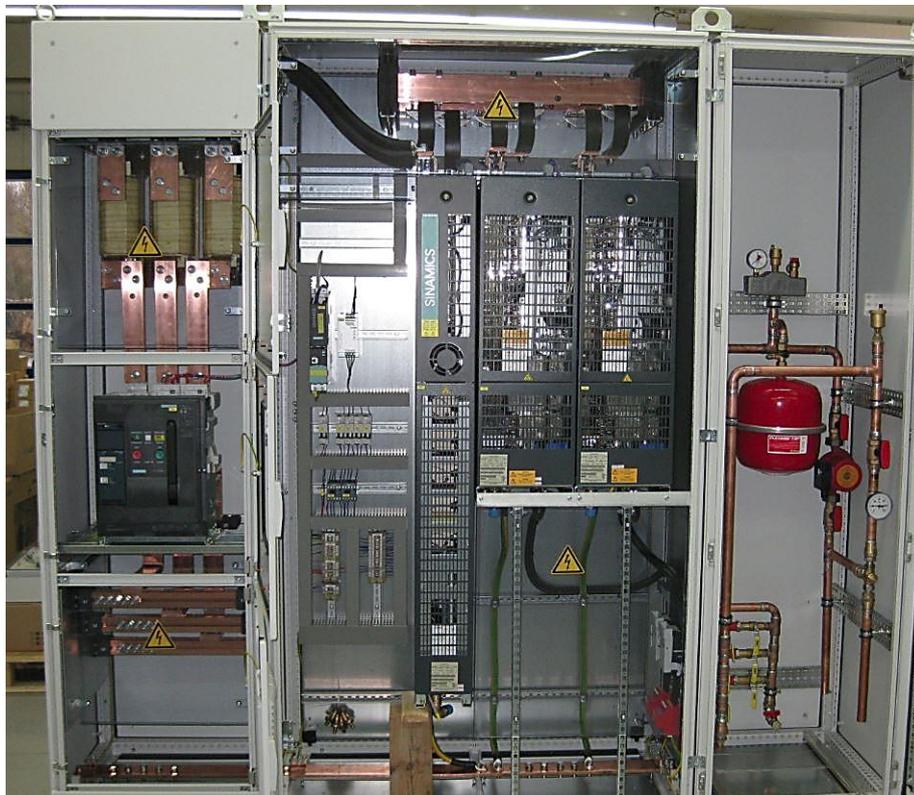
-Motor Module Ventilator: 6SL3325-1TG35-8AA3, Ausgang 500V/560kW

-Motor Module Mühle: 6SL3325-1TG37-1AA3, Ausgang 500V/710kW.

-Basic Line Module: 6SL3335-1TG41-3AA3, 1300A, mit Netzdrossel 6SL3000-0CH41-2AA0

Nachzuweisen war, ob die neu errichtete Rückkühlung so dimensioniert wurde, dass die thermische Verlustleistung der Frequenzumrichter (Einspeisung, Mühle, Gebläse) unter ungünstigsten Betriebsbedingungen abgeführt werden kann.

Das nachfolgende Bild zeigt eine vergleichbare Umrichteranlage.



2. Meteorologische Ausgangsdaten zur Auslegung der Rückkühlung

Die aktuelle VDI2078 „Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)“ verweist hinsichtlich der maximalen Temperaturbedingungen zur Lastauslegung auf die DIN4710 sowie auf die TRJ Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Anhand der Klimakarte aus der DIN4710 „Meteorologische Grundlagen für die Technische Gebäudeausrüstung“ - Abbildung 1 - lässt sich für den betreffenden Werksstandort nicht eindeutig eine Zuordnung zu einer Klimazone ableiten, da der Standort auf dem Übergang zwischen Zone 6 und 7 liegt. Bezugsstation wäre daher entweder Bad Marienberg oder Kassel. Entsprechend der Klimazone ergeben sich unterschiedliche Auslegungspunkte, siehe Tabelle 1.

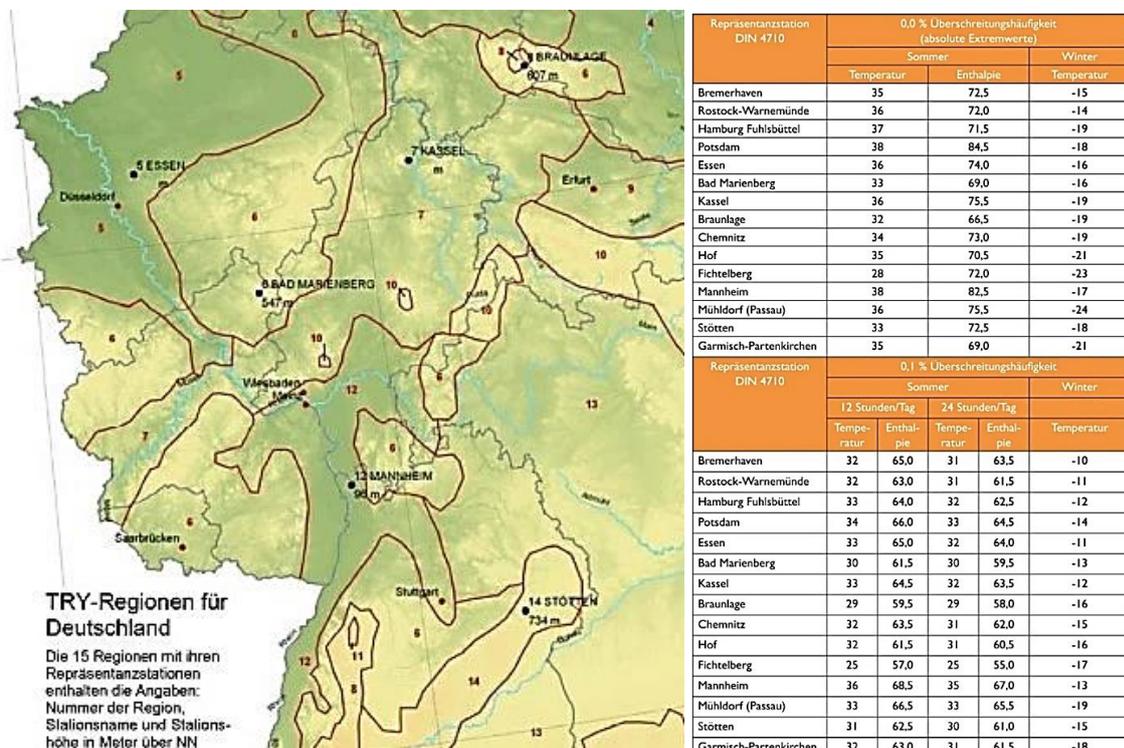


Abbildung 1 und Tabelle 1: Klimakarte und Daten nach DIN4710

In der VDI2078 wird für Orte, welche nicht direkt durch die DIN4710 benannt sind, empfohlen, die entsprechenden TRJ Daten als Auslegungsgrundlage zu verwenden.

Die TRJ Daten sind unter <https://kunden.dwd.de/obt/> frei zugänglich.

Projekt: Mahlanlage

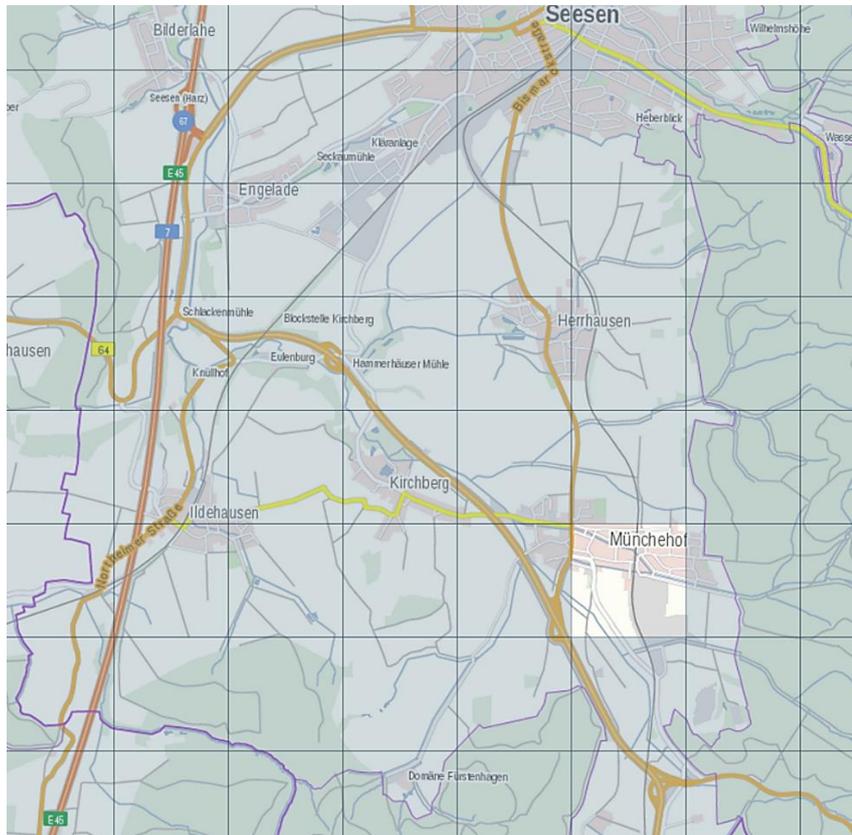


Abbildung 2: Koordinaten-Quadrat der verwendeten TRJ Daten

Für das betreffende Werk (siehe Abbildung 2) sind die verfügbaren TRJ Daten vom Zeitraum 1995 bis 2012 hinsichtlich maximaler Umgebungstemperatur ausgewertet worden, wobei stündliche Temperaturwerte gemittelt über den gesamten Zeitraum als auch für das Jahr mit dem wärmsten Sommer vorliegen. In den folgenden Abbildungen sind die Temperaturdaten grafisch dargestellt.

Temperatur (stündlich) gemittelt über 1995 - 2012 Koordinaten 51,8463° N - 10,1878° O

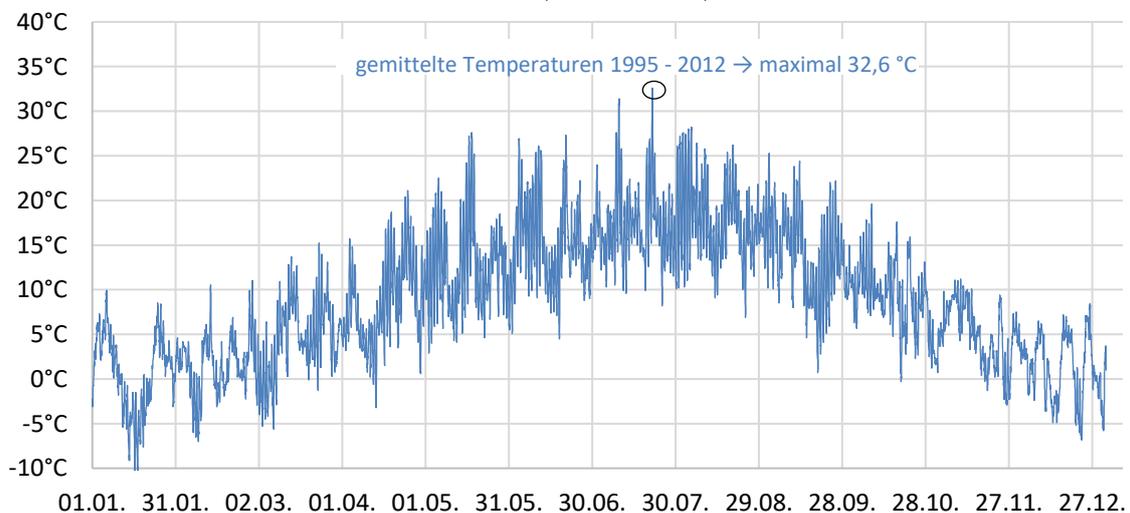


Abbildung 3: gemittelte Temperaturwerte des Zeitraums 1995 – 2012 für den Standort (TRJ Daten)

Projekt: Mahlanlage

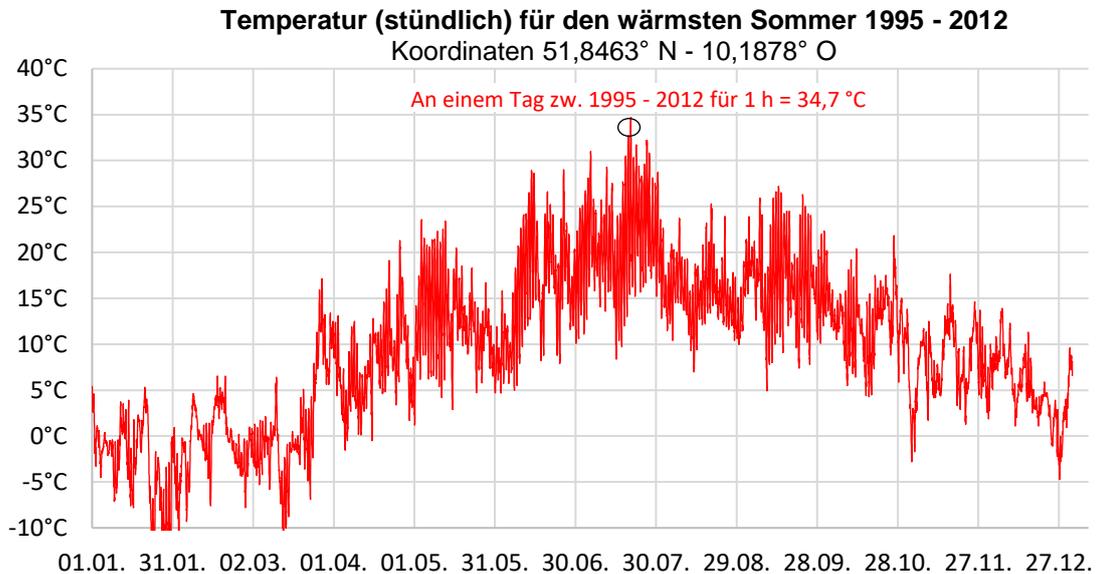


Abbildung 4: Temperaturwerte für den wärmsten Sommer des Zeitraums 1995 – 2012 für den Standort (TRJ Daten)

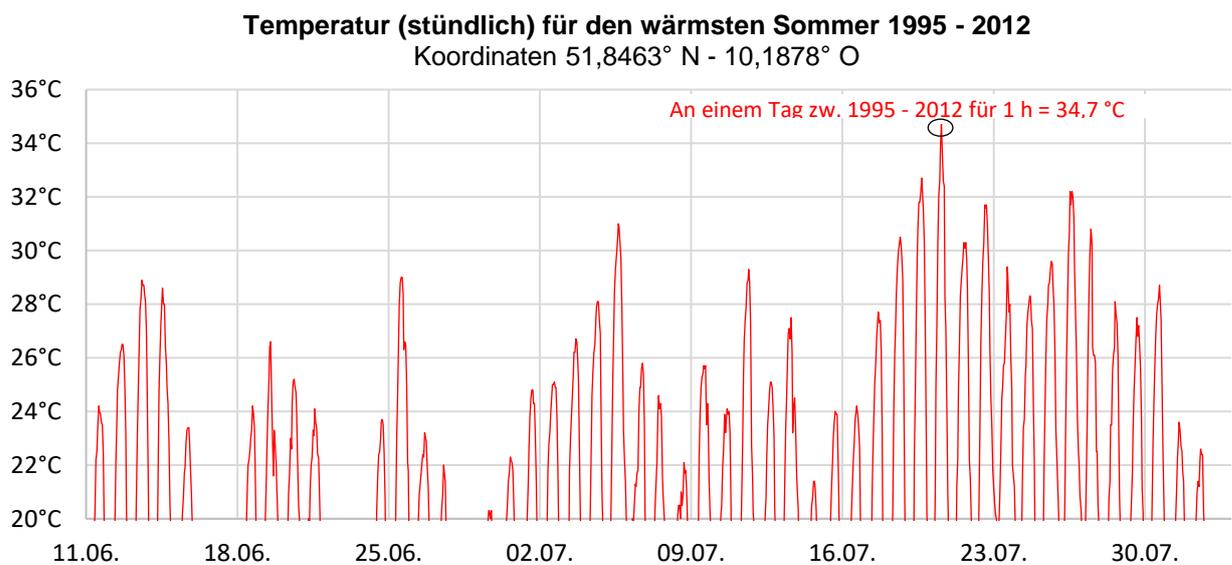


Abbildung 5: Detaildarstellung - Temperaturwerte für den wärmsten Sommer (1995 – 2012) (TRJ Daten)

Nach TRJ- Daten betrug die maximal gemessene Temperatur im Zeitraum von 1995 bis 2012 am betreffenden Standort 34,7°C über einen Zeitraum von einer Stunde. Die absolute Umgebungstemperatur überstieg an diesem einzigen Tag den Wert von 33°C.

Die gemittelte Umgebungstemperatur für den Zeitraum betrug maximal 32,6°C. Beim Vergleich der TRJ Daten mit DIN4710 Klimazone 6 und 7 ist ersichtlich, dass das Profil der Klimazone 6 anzuwenden ist.

Es ist zu prüfen, ob die Rückkühlanlage für eine maximale Umgebungstemperatur von 33°C ausreichend dimensioniert ist.

Dieser Wert wurde innerhalb von 17 Jahren in der Anlage einmal für eine Stunde überschritten.

Projekt: Mahlanlage

3. Technische Ausgangsdaten

3.1 Verlustleistungen der Umrichter

Die Ermittlung der abzuführenden Verlustleistung erfolgt unter der Annahme, dass die Antriebsmotoren für die Mühle und den Ventilator im Bemessungspunkt arbeiten. Die Werte in der nachfolgenden Tabelle basieren auf technischen Daten von Siemens und von vor- Ort- Messungen.

	Bemessungsleistung in kW	Bemessungsstrom in A	tatsächlicher Strom in A, gemessen am 16.10.2018	Umrichter-Verluste bei Bemessungsleistung in kW, an Kühlmittel abgegeben	Teillastfaktor bei Betrieb der Motoren mit Bemessungsleistung	Umrichter-Verluste in kW bei Motorbemessungsleistung
Mühle	355 kW	488 A				
Ventilator	355 kW	488 A				
Umrichter 1	560 kW	810 A	438 A	6,55 kW	0,63	4,15 kW
Umrichter 2	400 kW	575 A	363 A	4,00 kW	0,89	3,55 kW
Einspeisemodul	750 kW	1070 A	791 A	4,55 kW	0,95	4,31 kW
Gesamt				15,10 kW		12,01 kW

Bei Betrieb mit Bemessungsleistung entstehen Wärmeverluste von 12,01 kW. Die tatsächlichen Verluste sind - abhängig vom Mahlbetrieb - geringer. Die weiteren Betrachtungen werden für den Betrieb der Motoren mit Bemessungsleistung gemacht.

3.2 Auslegungsparameter

Max. Temperatur Kühlmittel vor FU's = 50°C, da Teillastbetrieb
 Volumenstrom_{minimal} für FU's = 50 Liter/min
 Wärmeleistung an den FU's = 12,01 kW (in den Flüssigkeitskreis eingebracht)
 Außentemperatur = 33°C

Projekt: Mahlanlage

4. Auslegungsrechnung

4.1 Berechnung der maximalen Kühlmittel-Temperatur nach FU's

Der Energieeintrag an den Wärmetauschern erfolgt parallel an die Einspeiseeinheit, FU- Mühle und FU- Gebläse. Da die Volumenströme der einzelnen FU- Wärmetauscher im Anschluss zusammengeschlossen werden, kann für die weiterführende Rechnung wie mit einem einzigen Wärmetauscher gerechnet werden. Damit ergeben sich unter maximalen Betriebsbedingungen folgende Parameter:

Temperatur Ein-FU: 50°C, da Teillastbetrieb
Volumenstrom: 50 Liter/min (0,83 Liter/s)
Leistung thermisch: 12,01 kW
Kühlmittel: Wasser + 20 Vol% Frostschutz (10l auf 50 l Gesamthalt)
Antifrogen N: 1,14 kg/Liter und 2,3 kJ/(kg · K)
Dadurch ergeben sich folgende Eigenschaften vom Kühlmittel:

- Wärmekapazität ($c_{\text{Kühl}}$) = 3,806 kJ/(kg · K)
- Dichte = 1,03 kg/Liter

$$\text{Massestrom (Kühlmittel): } 0,83 \frac{\text{Liter}}{\text{s}} \cdot 1,03 \frac{\text{kg}}{\text{Liter}} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Erwärmung vom Kühlmittel: } P_{FU's} = \dot{m}_{\text{Kühl}} \cdot c_{\text{Kühl}} \cdot \Delta t_{\text{Kühl}}$$

$$12,01 \text{ kW} = 0,86 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,806 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \Delta t_{\text{Kühl}}$$

$$\Delta t_{\text{Kühl}} = \frac{12,01 \text{ kW}}{0,86 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3,806 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}} = 3,68 \text{ K}$$

Die maximale Auslauftemperatur vom Kühlmittel aus den FU's beträgt demnach 53,7°C ($t_A = 50^\circ\text{C} + 3,7\text{K}$) bei Betrieb der Motoren mit Bemessungsleistung. Die Messungen vor Ort ergaben erwartungsgemäß um ca. 0,5- 0,7°C geringere Werte.

4.2 Auslegungsrechnung für Kühlsystem

Für die Dimensionierung des Kühlsystems ergab sich entsprechend den Spezifikationen des Vorlaufs folgender maximaler Leistungspunkt:

Volumenstrom: 50 Liter/min
Kühlmittel Temp-Ein: 53,7 °C
Kühlmittel Temp-Aus: max. 50°C
Außenlufttemperatur: 33°C
Kühlmittel: Wasser + 20% Frostschutz

Projekt: Mahlanlage

Die Energieübertragung von Kühlkörpern auf Luft ist stark von den spezifischen Eigenschaften des Kühlkörpers abhängig (z.B. Anzahl der Kühllamellen, Struktur der Lamellen, strömungstechnische Verteilung der Luft usw.) und kann daher nicht direkt berechnet werden.

Für die Auslegung wurden daher die vom Hersteller angegebenen Kenndaten und heuristische Berechnungen verwendet.

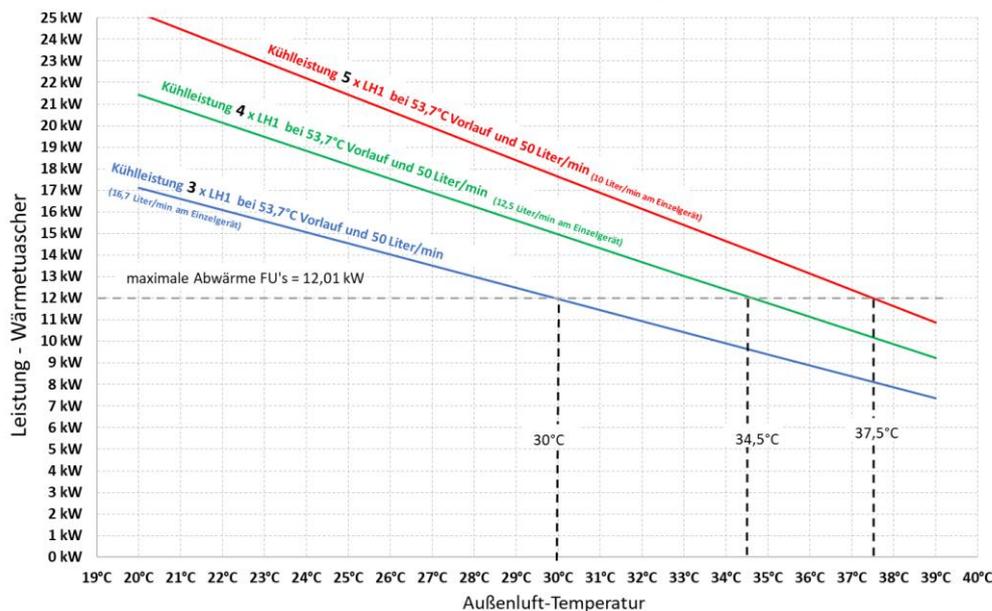
Für die Dimensionierung des Systems wurde ein Variantenvergleich mit dem verwendeten Kühlertyp LH25-1 (Fabrikat: Wolf) durchgeführt, wobei die Varianten 3mal LH1, 4mal LH1 und 5mal LH1 verglichen wurden.

Für die Berechnung der Kühlleistung wurde jeweils angenommen, dass sich der Volumenstrom von 50 Liter/min symmetrisch auf die jeweilige Anzahl von Kühlkörpern aufteilt.

Des Weiteren ist der Prozentsatz an Frostschutz sowie die horizontale Einbauposition der Kühlkörper berücksichtigt worden.

Wolf LH-1 Wärmetauscher - Leistungsdiagramm

Kühlleistung für 3, 4 und 5 Stück (Wandmontage ohne Zubehör)



Aus dem Leistungsdiagramm der betrachteten Wärmetauscher-Konfigurationen (Abb. oben) ist zu entnehmen, dass mit 4 Kühlkörpern der Bemessungs-Leistungspunkt bis zu einer Umgebungstemperatur von 34,5°C beherrscht wird.

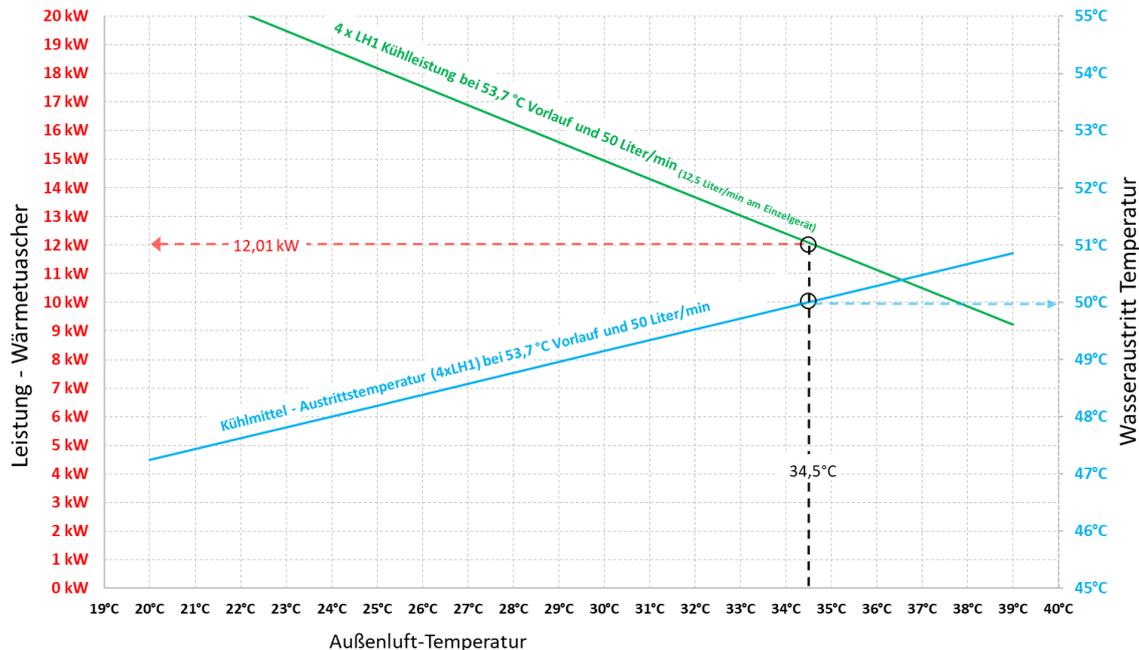
Anordnung der Kühler (Abb. rechts):



Projekt: Mahlanlage

Zur Prüfung der realen Leistungsfähigkeit einer Kühlkonfiguration mit 4 Kühlkörpern wurde die Kühlmittelaustritts-Temperatur betrachtet. Im maximalen Auslegungsfall bei 33°C Außentemperatur ist eine Kühlmittelaustrittstemperatur von weniger als 50°C zu erreichen.

Leistungsdiagramm 4 x LH1 (Parallelbetrieb)



Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass bei einer Außentemperatur von 34,5°C eine Kühlmittel-Austritts-Temperatur von 50°C erreicht wird.

5. Zusammenfassung

Bei der durchgeführten Auslegungsrechnung wurde vernachlässigt, dass Kühlleistung auch über das hydraulische Leitungssystem abgegeben wird und dass die Motoren in der Regel unterhalb des Bemessungspunktes betrieben werden.

Erheblichen Einfluss auf die reale Kühlleistung hat eine Verschmutzung der Kühlkörper.

Betriebsbedingt enthält die Umgebungsluft Kalkstaub. Dieser bildet Ablagerungen. Messungen der Eintritts- und Austrittstemperaturen ergaben, dass die reale Leistung der Kühlkörper dadurch ca. 20% geringer war im Vergleich zur nominellen Kühlleistung (siehe nachfolgende Tabelle).

Projekt: Mahlanlage

	Kühler 1	Kühler 2	Kühler 3	Kühler 4	
Vorlauf	39,8 °C	39,1 °C	40,0 °C	39,0 °C	
Rücklauf Ist	36,8 °C	36,7 °C	36,5 °C	36,6 °C	
Rücklauf Soll	36,3 °C	35,7 °C	36,4 °C	35,6 °C	
Δ Temp. Ist	3,0 °C	2,4 °C	3,5 °C	2,4 °C	
Δ Temp. Soll	3,5 °C	3,4 °C	3,6 °C	3,4 °C	
Leistung Ist	2,6 kW	2,1 kW	3,0 kW	2,1 kW	Σ 9,8 kW
Leistung Soll	2,9 kW	3,0 kW	3,1 kW	3,0 kW	Σ 12,0 kW

6. Fazit

Die Auslegung der Rückkühlanlage mit 4 x LH25-1 Kühlkörpern ist formell konform zu den geltenden Regeln der Technik.

Die Sinamics-Frequenzumrichter überwachen die Kühlwasser- Rücklauf- Temperatur und schalten bei Überschreiten von 50°C hart ab.

Die Vor- und Rücklauf- Temperatur in Verbindung mit dem Durchfluß wird in das SPS- Programm eingelesen.

Die SPS kann beim Erreichen von z.B. 47°C die Aufgabemenge verringern und so die Verlustleistung der FU's reduzieren.

Damit kann ein Anlagenstillstand aufgrund von zu hoher Rücklauftemperatur der FU's vermieden werden.

Das SPS- Programm liefert darüber hinaus eine Kühler- Verschmutzungs- Warnung.

Die Ausrüstung mit 5x LH25-1 ist hinsichtlich der realen Staubbelastung sowie der klimatischen Entwicklung der Sommertemperaturen sinnvoll.

*Bei technischen Fragen wenden Sie sich bitte an:
Herrn Guido Wiekert oder an Herrn Dominic Wode.*

Projekt: Mahlanlage

Was sie auch interessieren könnte:

Trouble-shooting bei Problemen mit rückspeisefähigen Antriebssystemen

