

Digitalisierung macht die Energieproduktion effektvoller und führt zusätzlich zu erheblichen Energieeinsparungen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Sankol
HAW Hamburg

Philip Modler, Dr.-Ing. Hiren Gandhi
Mycon GmbH Bielefeld

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

51. Kraftwerkstechnisches Kolloquium 22. und 23.10.2019 Dresden



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

mycon GmbH



51. KRAFTWERKSTECHNISCHES KOLLOQUIUM
22. und 23. Oktober 2019 | Internationales Congress Center Dresden

Das Thema unserer Zeit:

Daten gewinnen und
aus den Daten Informationen machen!



Agenda:

1. Einleitung
2. Einfluss der Verschmutzung auf den Betrieb von Luftkondensatoren in Kraftwerken
3. Definition eines Gütefaktors zur Beurteilung des Kraftwerksprozesses
4. Anwendung des Gütefaktors für den Einsatz einer automatisierten Reinigungsanlage für Luftkondensatoren in einem Kraftwerk
5. Fazit

1. Einleitung

- Fouling ist in der Prozesstechnik ein dauerhaftes Problem.
- Aufgrund von Ausfall- und Wartungskosten sowie Effizienzverlusten und Überdimensionierung führte Fouling im Jahr 1985 Schätzungen zufolge in industrialisierten Ländern zu Kosten in Höhe von 0,25% des Bruttosozialproduktes
- Das betrifft auch berippte luftgekühlte Wärmeübertragungsapparate, die in der Industrie häufig eingesetzt werden, um Abwärme an die Umgebung abzugeben



Bild: 1
Trockener Luftkondensator

Es wird über die Ergebnisse eines neu entwickelten, digital gestützten Verfahrens zur energetischen Optimierung des Betriebes von Lamellenwärmeübertragungsapparaten zur Kühlung mittels Luft in der Industrie berichtet.

2. Einfluss der Verschmutzung auf den Betrieb von Luftkondensatoren in Kraftwerken

Für die Berechnung von Wärmeübertragungsapparaten muss die Wärmebilanzgleichung und die Wärmetransportgleichung in Übereinstimmung gebracht werden.

Wärmebilanzgleichung für einen Kondensator:

$$\dot{Q} = \dot{m}_D \cdot r \quad \dot{Q} - \text{Wärmestrom [kW]}$$

r - Verdampfungsenthalpie r des Wassers bei Kondensationstemperatur [kJ/kg]

\dot{m}_D - Dampfmassenstrom [kg/s]

Wärmetransportgleichung für einen Wärmeübertragungsapparat:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta_M$$

k – Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

A – Heizfläche [m^2]

$\Delta\vartheta_M$ - mittlere logarithmische
Temperaturdifferenz [K]

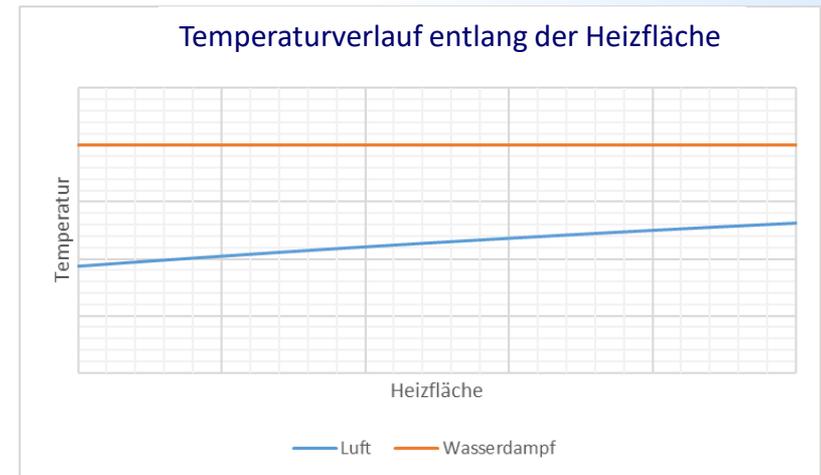


Bild 2:
Temperatur-Heizflächen-Schaubild

Luftgekühlte Apparate verwenden Umgebungsluft zur Kühlung:

- arbeiten mit unbehandelter Außenluft und sind deshalb sowohl natürlichen (z.B. Pollen) als auch menschengemachten (z.B. Industriestaub) Verschmutzungen ausgesetzt. Die Verschmutzung behindert den Wärmetransport.
- Durch die Verschmutzung werden auch die Luftkanäle verengt, was zu einer Reduzierung des Luftmassenstromes führt
- Wegen der hohen Investitionskosten wird der Kondensator nicht auf die Jahreshöchsttemperatur ausgelegt. Es wird häufig der Kompromiss geschlossen, als Auslegungstemperatur den Jahresmittelwert der Umgebungstemperatur für den Standort zu nehmen. Dadurch ist der Kondensator die eine Hälfte des Jahres über- und die andere Hälfte unterdimensioniert.
- Der untersuchte Kondensator wurde beispielsweise auf eine Umgebungstemperatur von 12 Grad Celsius ausgelegt.

2. Einfluss der Verschmutzung auf den Betrieb von Luftkondensatoren in Kraftwerken

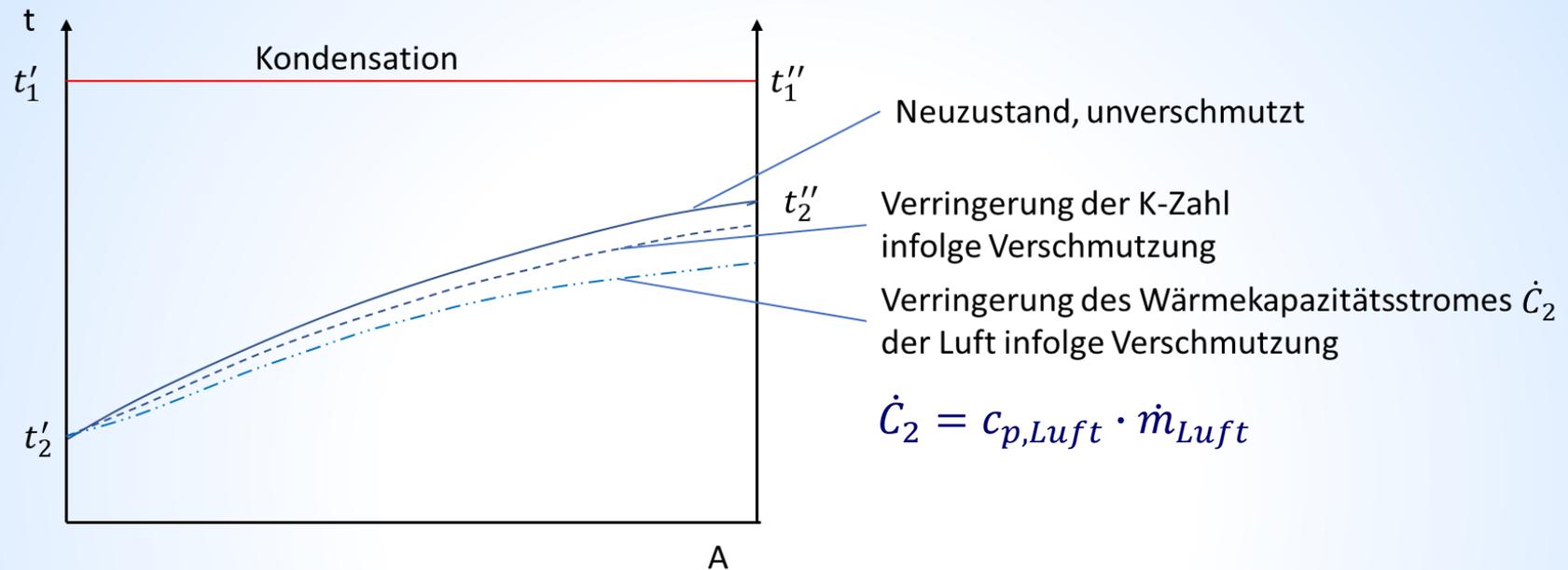


Bild 3: t-A-Schaubild für einen Kondensator ohne Kondensatunterkühlung

Frage:

Kann man diese Einflüsse bewerten und zur Verbesserung des Betriebes einsetzen?

2. Einfluss der Verschmutzung auf den Betrieb von Luftkondensatoren in Kraftwerken

Der Einfluss der Verschmutzung soll anhand einer Beispielrechnung erläutert werden

| Beispielrechnung Luftkondensator | | | | |
|----------------------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Massenstrom 1 (Dampf/Kondensat) | kg/s | 28 | 26,18 | 24,186 |
| Eintrittstemperatur | °C | 40 | 40 | 40 |
| Kondensationsenthalpie | kJ/kg | 2357,6 | 2357,6 | 2357,6 |
| Austrittstemperatur | °C | 40 | 40 | 40 |
| Wärmestrom Bilanz | kW | 66.013 | 61.716 | 57.022 |
| Massenstrom 2 (Luft) | kg/s | 4000 | 4000 | 4000 |
| Spezifische Wärmekapazität 2 | kJ/kgK | 1,005 | 1,005 | 1,005 |
| Eintrittstemperatur | °C | 12 | 12 | 12 |
| Austrittstemperatur | °C | 28,4 | 27,4 | 26,2 |
| Wärmedurchgangszahl | W/m ² K | 40 | 36 | 32 |
| Abwertung k-Zahl | - | | 0,90 | 0,80 |
| DT gross | K | 28 | 28 | 28 |
| DT klein | K | 11,6 | 12,6 | 13,8 |
| DTM Gegenstrom | K | 18,6 | 19,3 | 20,1 |
| Heizfläche (berippt) | m² | 88.743 | 88.743 | 88.743 |
| Wärmestrom Transport | kW | 66.013 | 61.716 | 57.022 |

3. Definition eines Gütefaktors zur Beurteilung des Kraftwerksprozesses

Ausgang:

Die Temperatur der Abluft nach Verlassen des Kondensators beträgt:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Luft} \cdot c_{p,Luft} \cdot (\vartheta_{Abluft} - \vartheta_U) \quad \Rightarrow \quad \vartheta_{Abluft} = \vartheta_U + \frac{\dot{Q}}{c_{p,Luft} \cdot \dot{m}_{Luft}}$$

Durch die Verengung der Luftkanäle erhöht sich der Druckverlust der Luft über die Lamellen. Bei gleicher Leistung der Ventilatoren verringert sich damit der Luftmassenstrom.

Die Veränderung des Luftmassenstroms durch seine Abweichung vom idealen Luftmassenstrom bei saubereren Lamellen wird berechnet:

$$\dot{m}_{Luft} = f_{Luft} \cdot \dot{m}_{Luft,ideal}$$

Faktor f_{Luft} beschreibt dabei die Abweichung des Luftmassenstroms vom Luftmassenstrom im idealen Zustand.

Verringert sich der Luftmassenstrom beispielsweise um 30%, würde $f_{Luft} = 0,7$ betragen.

3. Definition eines Gütefaktors zur Beurteilung des Kraftwerksprozesses

Gleichung zur Berechnung der Ablufttemperatur unter Berücksichtigung von f_{Luft} :

$$\vartheta_{Abluft} = \vartheta_U + \frac{\dot{Q}}{f_{Luft} \cdot \dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}$$

Berechnung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz für den realen Fall

$$\Delta\vartheta_{M,real} = \frac{\frac{\dot{Q}}{f_{Luft} \cdot \dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}}{\ln \left(\frac{\vartheta_K - \vartheta_U}{\vartheta_K - \vartheta_U - \frac{\dot{Q}}{f_{Luft} \cdot \dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}} \right)}$$

Abweichung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz

$$\Delta\vartheta_{M,real} = F \cdot \Delta\vartheta_{M,ideal}$$

mittlere Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{M,ideal}$, die sich einstellen würde, wenn der Luftmassenstrom dem Idealwert $\dot{m}_{Luft,ideal}$ entspräche.

F ist ein Faktor, der definiert wurde um die Abweichung der realen mittleren Temperaturdifferenz von der bei idealem Luftmassenstrom darzustellen.

3. Definition eines Gütefaktors zur Beurteilung des Kraftwerksprozesses

Der Faktor F kann unter Berücksichtigung der vorherigen Gleichungen auch ausgedrückt werden durch:

$$F = \frac{\ln\left(1 - f \cdot \left(1 - e^{\frac{k \cdot A}{\dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}}\right)\right)}{\frac{k \cdot A}{\dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}}$$

Grundgleichung für die Wärmeübertragungsapparate unter Berücksichtigung von F :

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot F \cdot \Delta\vartheta_{M,ideal}$$

Die von der Verschmutzung beeinflussten Werte zu einem Faktor F_G zusammengefasst:

$$F_G = k \cdot A \cdot F$$

Der Gütefaktor wird definiert:

$$G = \frac{F_G}{F_{G,ideal}} \quad \text{oder} \quad G = \frac{\ln\left(1 - f \cdot \left(1 - e^{\frac{-k \cdot A}{\dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}}\right)\right)}{\frac{k_{ideal} \cdot A}{\dot{m}_{Luft,ideal} \cdot c_{p,Luft}}}$$

4. Anwendung des Gütefaktors

Anlagenschema für das untersuchte Kraftwerk

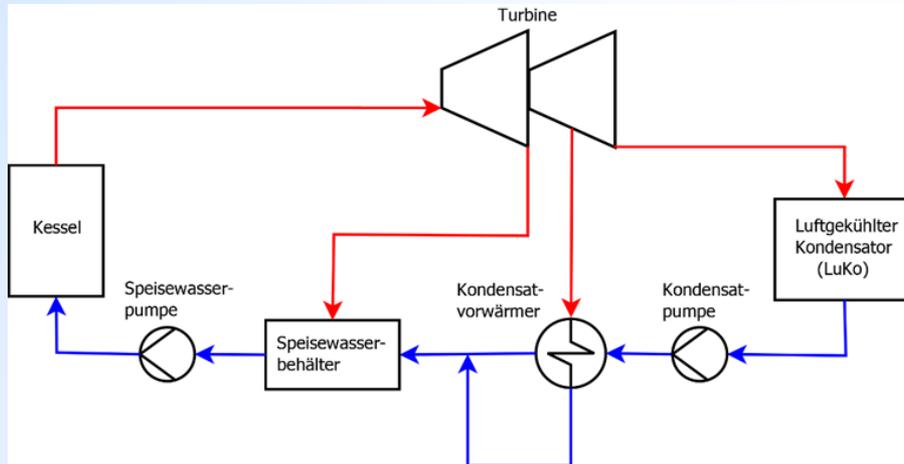


Bild 4:
Schema Wasser-Dampf-Kreislauf für
das untersuchte Kraftwerk

Verlauf des Gütefaktors

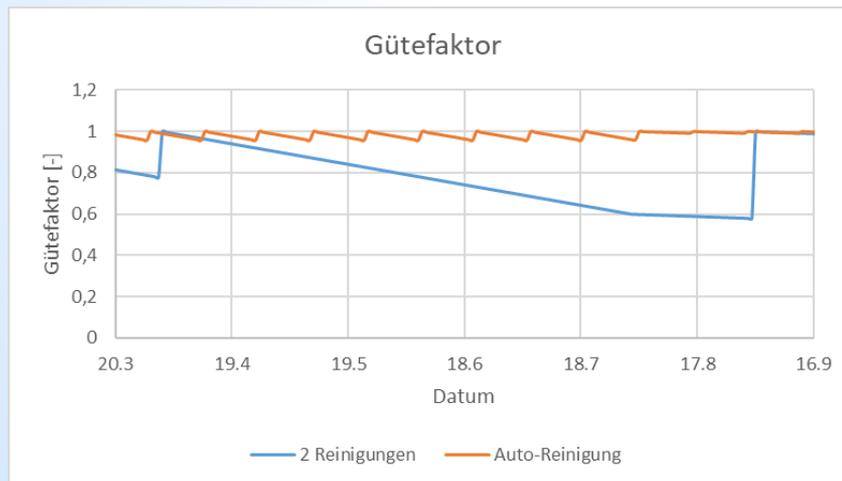


Bild 5:
Verlauf des Gütefaktors über die Zeit

4. Anwendung des Gütefaktors

Beseitigung der Verschmutzungen durch den Betrieb einer automatisierten Reinigungsanlage.



Die Düsen fahren die Oberfläche des Kondensators vollautomatisch ab
befreien die Lamellen oder Rippenrohre von Ablagerungen

Betriebsmittel
Wasser ohne Zusätze
(ca. 4 Liter in der Minute)
Druckluft (ca. 8 bar).
Reinigungsleistung ca. 100 m²/h

Schonende Reinigung

Bild 6: Beispiel für eine automatisierte Reinigungsanlage **JetMasterAS** der Firma mycon GmbH gesteuert durch den ContalMaster

4. Anwendung des Gütefaktors

Einfluss der Reinigung auf die Stromproduktion und den Brennstoffdurchsatz

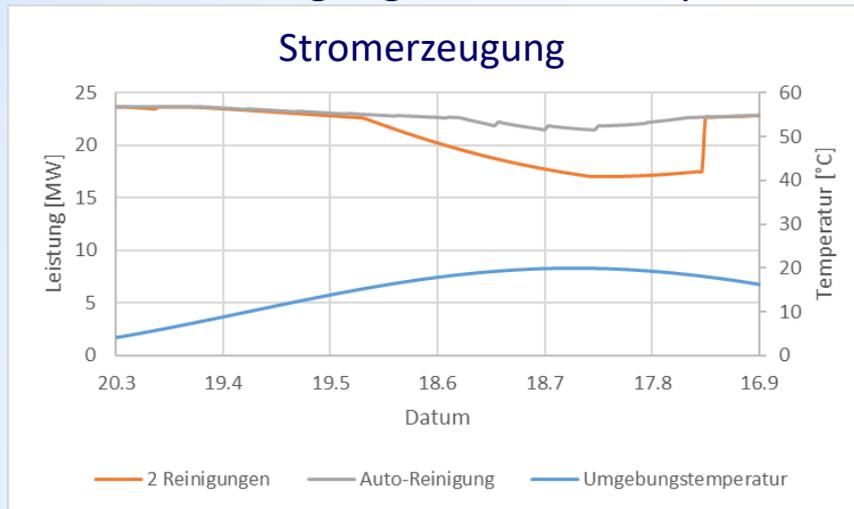


Bild 7:
Einfluss der Reinigung auf die Stromproduktion

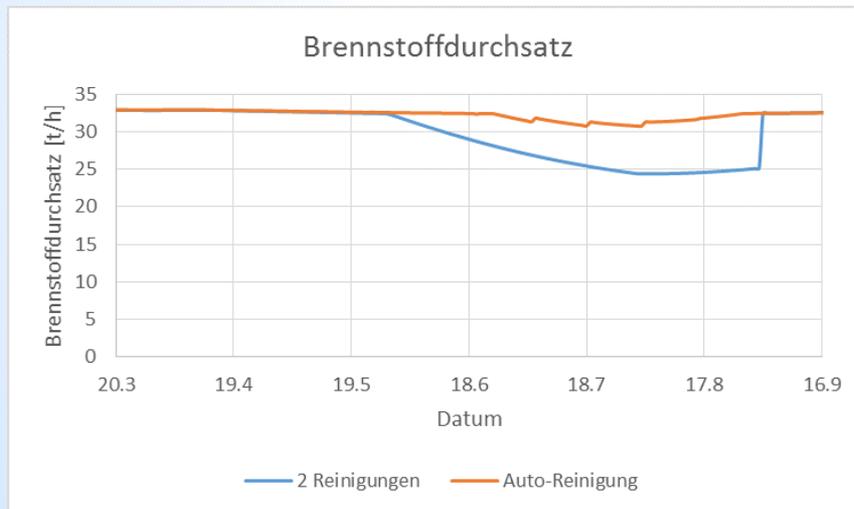


Bild 8:
Einfluss der Reinigung auf den möglichen Brennstoffdurchsatz

5. Fazit

- Aufgrund von verschmutzten Wärmeübertragungsflächen kann es zu erheblichen Einbrüchen in der Produktion kommen, in der Beispielanlage ca. 3% der Jahresproduktion.
- Diese Verluste konnten durch die Installation und den Betrieb einer automatischen Reinigungsanlage fast vollständig verhindert werden.
- Mit dem Gütefaktor wurde ein Kennwert definiert, der sich eignet, um die luftseitige Verschmutzung von mit Luft arbeitenden Wärmeübertragungsapparaten zu beurteilen.
- Mit dem Gütefaktor werden aus den gewonnenen Daten die erforderlichen Informationen zum Handel gewonnen und die Wirkung des Handelns kann beurteilt werden.

Die Daten werden im **ControlMaster** unter Nutzung des Gütegrades verarbeitet

- das ermöglicht das gezielte Durchführen von Maßnahmen und das Betreiben im energetischen Optimum.

Der **ControlMaster** kann:

- Einfluss der Verschmutzungen auf das System, in dem der Wärmeübertragungsapparat integriert ist, berechnen.
- Die sinnvolle automatisierte Reinigung zu jedem Zeitpunkt ermitteln und bestimmen welche Verluste durch die Verschmutzungen des Kondensators entstehen und die Reinigung veranlassen
- Unter Berücksichtigung der Kosten einer Reinigung, bestimmt er den optimalen Zeitpunkt ihrer Durchführung.
Das ist sowohl für manuelle wie auch für automatische Reinigungen möglich.
- Kosten, die durch das Abschalten der Ventilatoren für die Reinigung entstehen, berücksichtigen.
- In Kombination mit einer automatischen Reinigungsanlage die Reinigungen selbstständig starten.
- Die durch die Durchführung der Maßnahme erzielten Einsparungen erfassen

Danksagung

Wir danken dem Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für die Förderung der Forschungsarbeiten mit Finanzmitteln im Rahmen des Förderprojekts Einsparzähler.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Quelle: wir-hausbesitzer.de

