

Diplomarbeit Nr. 05/2025

Simulation des theoretischen Energiebedarfes für die Aufbereitung von Reinraumluft und Vergleich mit realen Daten zum Energieverbrauch



Bearbeiter: Salah Habib

Motivation

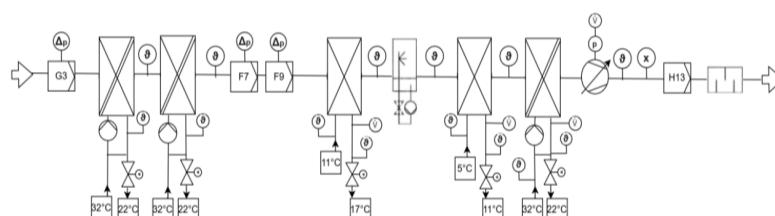
Die Reinraumluftaufbereitung in der Halbleiterfertigung erfordert sehr hohe Luftvolumenströme und verursacht einen erheblichen Energiebedarf. Wechselnde Außenbedingungen und Betriebszustände erschweren eine belastbare Abschätzung des Energiebedarfs einzelner Anlagen im Betrieb.

Ziel der Arbeit

Simulation des Energiebedarfs auf basis gemessener Betriebsdaten und Validierung an Messwerten

Betrachtete Klimaanlage

Untersucht wird eine zentrale Reinraum Zuluftanlage einer Waferfabrik. Der Betrieb wird für Winter und Sommer betrachtet



- Aufbau: Vorerhitzer VE1 und VE2, Sprühbefeuchter, Kühler KÜ1 und KÜ2, Nacherhitzer, Zuluftventilator, Filterstufen, Schalldämpfer.
- Aufgabe: Zuluftkonditionierung auf Soll-Temperatur und Sollwert der absoluten Feuchte.
- Prozessketten: Winterbetrieb mit Heizen, Befeuchten, Nachheizen. Sommerbetrieb mit Kühlen, Entfeuchten, Nachheizen
- In der Tagesbilanz dominiert die thermische Luftaufbereitung. Ventilator und Pumpen sind nachrangig

Ansatz der Modellierung

Die Luftaufbereitung wird je Betriebsfall als Prozesskette modelliert.

- Bei den Heizregistern wird nur sensibler Wärmestrom bilanziert
- In Kühlregistern werden sensible und latente Anteile berücksichtigt, Entfeuchtung durch Kondensation wird abgebildet
- Befeuchtung: adiabatischer Prozess mit Sollwert und Grenzwerten

Wärmeübertragungsmodell für alle Register:

- White Box: Kreuzstrom Wärmeübertrager mit ϵ -NTU Ansatz und Energiebilanz. Unterschiede zwischen den Registern ergeben sich aus den jeweiligen Regelzielen.
- Black Box: Der UA-Wert wird aus Messdaten bestimmt und mit einem Regressionsmodell XGBoost parameterabhängig vorhergesagt. Die vorhergesagte UA-Werte werden anschließend in der NTU-Berechnung verwendet.

Ergebnisse

Exemplarisch wird der Vorerhitzer VE1 über Luftaustrittstemperatur und momentane Heizleistung bewertet:

- Die simulierte Luftaustrittstemperatur nach VE1 liegt im gleichen Bereich wie die Messung und bildet die Sollwertregelung ab.
- Abweichungen liegen im Rahmen von Messunsicherheit und Modellannahmen.

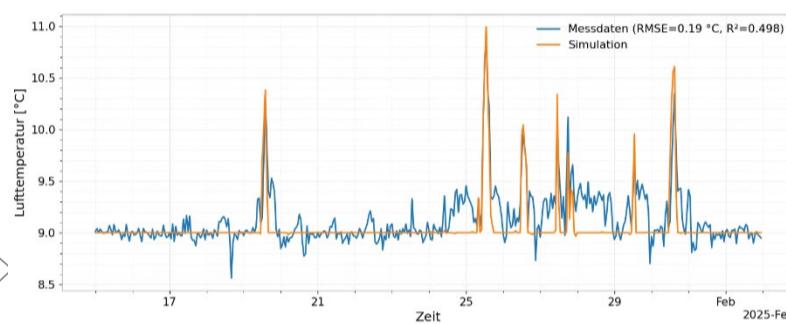


Abb. 1: Vergleich der Messung und Simulation der Luftaustrittstemperatur nach VE1

- Die aus Luftseitendaten berechnete Heizleistung von VE1 wird durch die Simulation im zeitlichen Verlauf sehr gut reproduziert. Energiesumme und Gütemaße bestätigen die Übereinstimmung

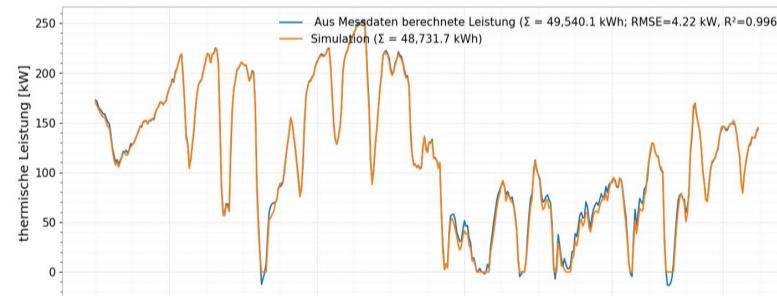


Abb. 2: Vergleich der Messung und Simulation der momentanen Heizleistung

Weitere Anwendungen des Tools

Neben der Simulation des Energiebedarfs ermöglicht das Tool die Bewertung von Betriebsstrategien:

- Rückluftmischung reduziert im Winterbetrieb den Heizenergiebedarf der Luftaufbereitung stark, im Sommerbetrieb ist der Einfluss geringer.
- Saisonale Sollwerte für die absolute Feuchte senken den Energiebedarf gegenüber einem konstanten Feuchtesollwert.

Ausblick

- Kopplung mit Wetterprognosen ermöglicht vorausschauende Energieabschätzung und virtuelles Testen von Betriebsstrategien.

In Zusammenarbeit mit GlobalFoundries

Mitglied im Netzwerk von:

