

## Diplomarbeit Nr. 05/2025

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



## Bearbeiter: Salah Habib

### Motivation

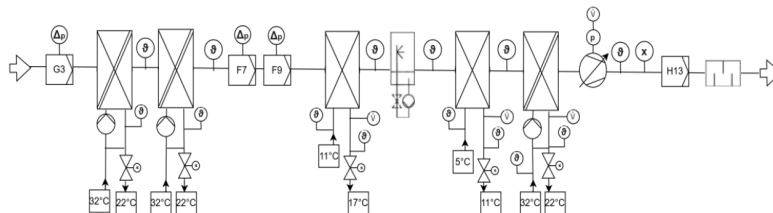
Die Reinraumluftaufbereitung in der Halbleiterfertigung erfordert sehr hohe Luftvolumenströme und verursacht einen erheblichen Energiebedarf. Wechselnde Außenbedingungen und Betriebszustände erschweren eine belastbare Abschätzung des Energiebedarfs einzelner Anlagen im Betrieb.

### 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  $\epsilon$ -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.

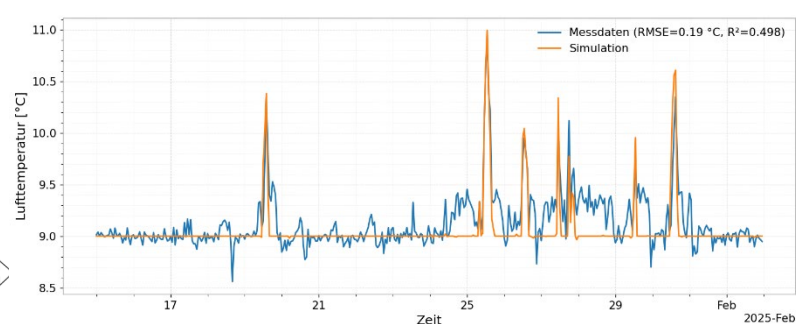


Abb. 1: Vergleich der Messung und Simulation der Luftaustrittstemperatur nach VE1

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

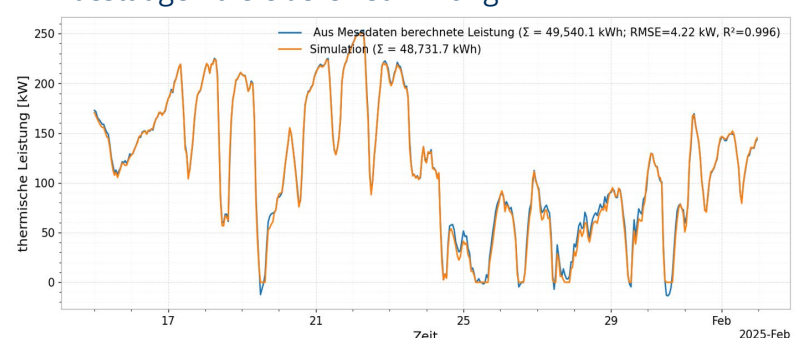


Abb. 2: Vergleich der Messung und Simulation der momentanen Heizleistung

### 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: