

Potentialanalyse zur Energieoptimierung und Wärmerückgewinnung in der thermischen Abfallverwertung durch Rauchgaskondensation

Prozessmodellierung am Beispiel eines Biomasseheizkraftwerks zur Altholzverwertung

Jakob Hüllsieck^{1,2}, Ulf Dippel², Dr. Dietmar Kuhn¹, Prof. Dr.-Ing. Daniel Banuti¹

¹ Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für thermische Energietechnik und Sicherheit (ITES)

² umwelttechnik & ingenieure GmbH, Hannover

Motivation

- Steigendes ungenutztes industrielles Abwärmepotential
 - Seit 2023: Bei jährlichem Energieverbrauch von > 7,5 GWh verpflichtende Erfassung der Abwärmeströme
- Steigender Wasserdampfgehalt im Rauchgas aufgrund von Brennstoffzusammensetzung und Art der Rauchgasreinigung
 - Wandel von fossil betriebenen Dampfkesseln zu regenerativen Energieträgern, bspw. Biomasse, Ersatzbrennstoff
- Effizienzsteigerung durch Nutzung der latenten Wärme mittels Rückgewinnung der Kondensationsenthalpie
 - Erhöhung des Brennstoffausnutzungsgrades
 - Indirekte Vermeidung von CO₂-Zertifikatskosten

Methodik

- Ganzheitliche Betrachtung einer Rauchgaskühlung und Rauchgaskondensation hinsichtlich:
 - Energetisches Potential
 - Technische Machbarkeit
 - Wirtschaftlichkeit
- Mathematische und thermodynamische Prozessmodellierung
- Referenzkraftwerk
 - Biomasseheizkraftwerk auf Basis von Altholz
 - Feuerungswärmeleistung > 70 MW
 - Trockene Rauchgasreinigung
 - Auskopplung von elektr. Energie, Prozessdampf und Fernwärme

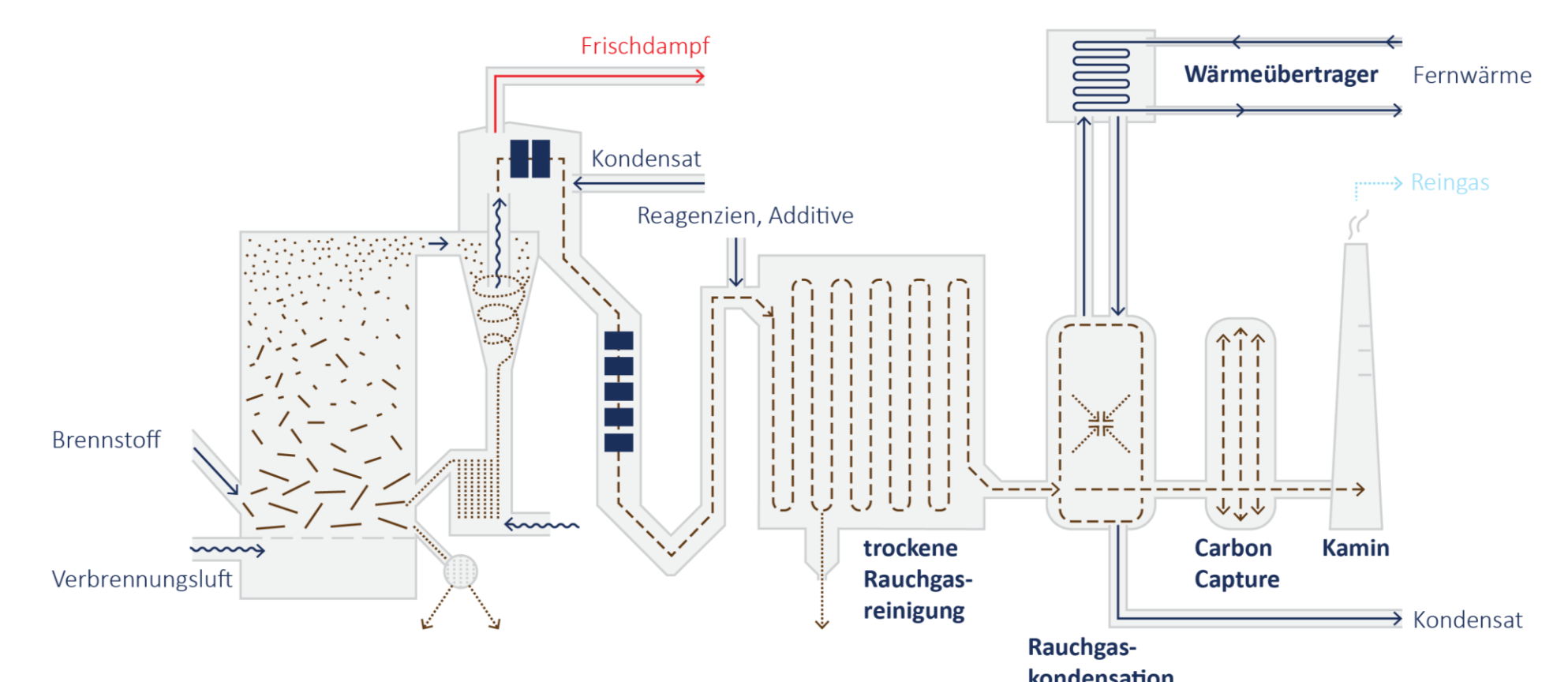


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Referenzkraftwerkes

Ergebnisse

- Sensitivitätsanalyse hinsichtlich Wasserdampfanteil ($\pm 20\%$)
- Kennzeichnung der Betriebspunkte
 - Rauchgaskühlung: 76 °C (grün)
 - Rauchgaskondensation: 40 °C (rot)

Energetisches Potential

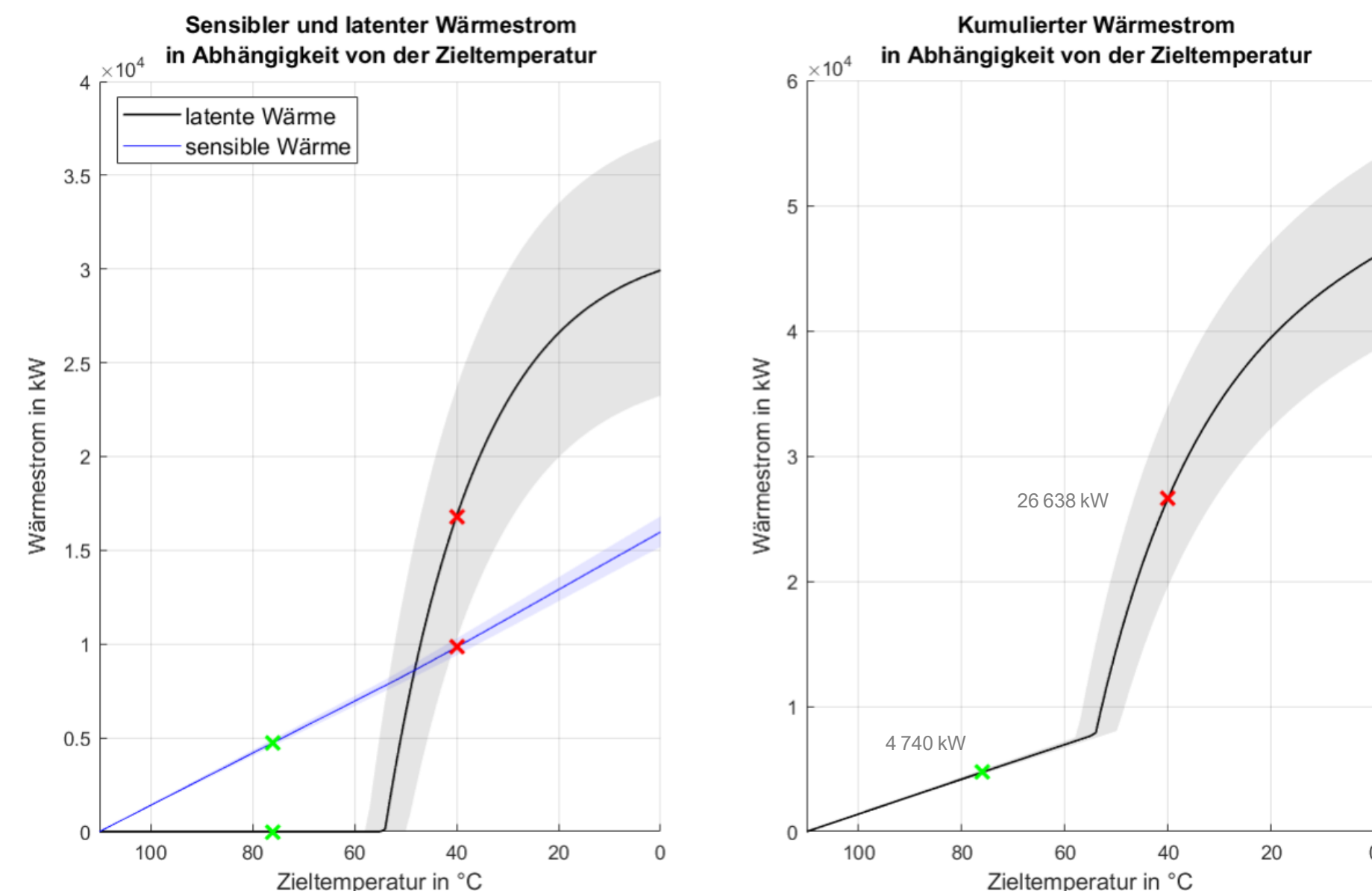


Abbildung 3: Sensibler und latenter Wärmestrom (links) sowie kumulierter Wärmestrom (rechts) in Abhängigkeit von der Zieltemperatur

- Sensible Wärme
 - Ab Kondensationstemperatur Zunahme der spez. Wärmekapazität und somit Anstieg der freiwerdenden sensiblen Wärme
- Latente Wärme
 - Kondensatmassenstrom und damit freiwerdende latente Wärme nimmt mit abnehmender Zieltemperatur geringer zu
 - Begrenzung durch Kondensationsenthalpie des Wasserdampfes
- Kondensatmassenstrom bei 40 °C: 25 322 kg/h

Anwendungsspezifisches Potential

- Freiwerdende Energie einer Rauchgaskondensation unter Berücksichtigung von anwendungsspezifischen Energiebedarfen, Verlusten und dynamischen Einschränkungen
- Verwendung einer KWP:
 - Elektrischer Energiebedarf : 9 461 kW
 - Fernwärmeleistung: 35 498 kW
- Verwendung einer AWP:
 - Elektrischer Energiebedarf : 3 970 kW
 - Fernwärmeleistung: 46 650 kW
- Vergleich mit energetischem Potential:
 - Elektrischer Energiebedarf: + 2,6 %
 - Fernwärmeauskopplung: - 1,0 %
 - Kondensatmassenstrom: - 1,9 %

Wirtschaftlichkeit

- Vergütung:
 - Elektrische Energie: 70 €/ MWh
 - Fernwärme: 25 €/ MWh
- Gewinn:
 - Kühlung: 23,02 € / (MWh)_{FW}
 - KWP: 6,34 € / (MWh)_{FW}
 - AWP: 19,08 € / (MWh)_{FW}
- Jahresumsatz:
 - Kühlung: 880 000 €/a
 - KWP: 1 801 000 €/a
 - AWP: 7 122 000 €/a
- Angaben ohne Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungskosten

Aufstellungsmaße

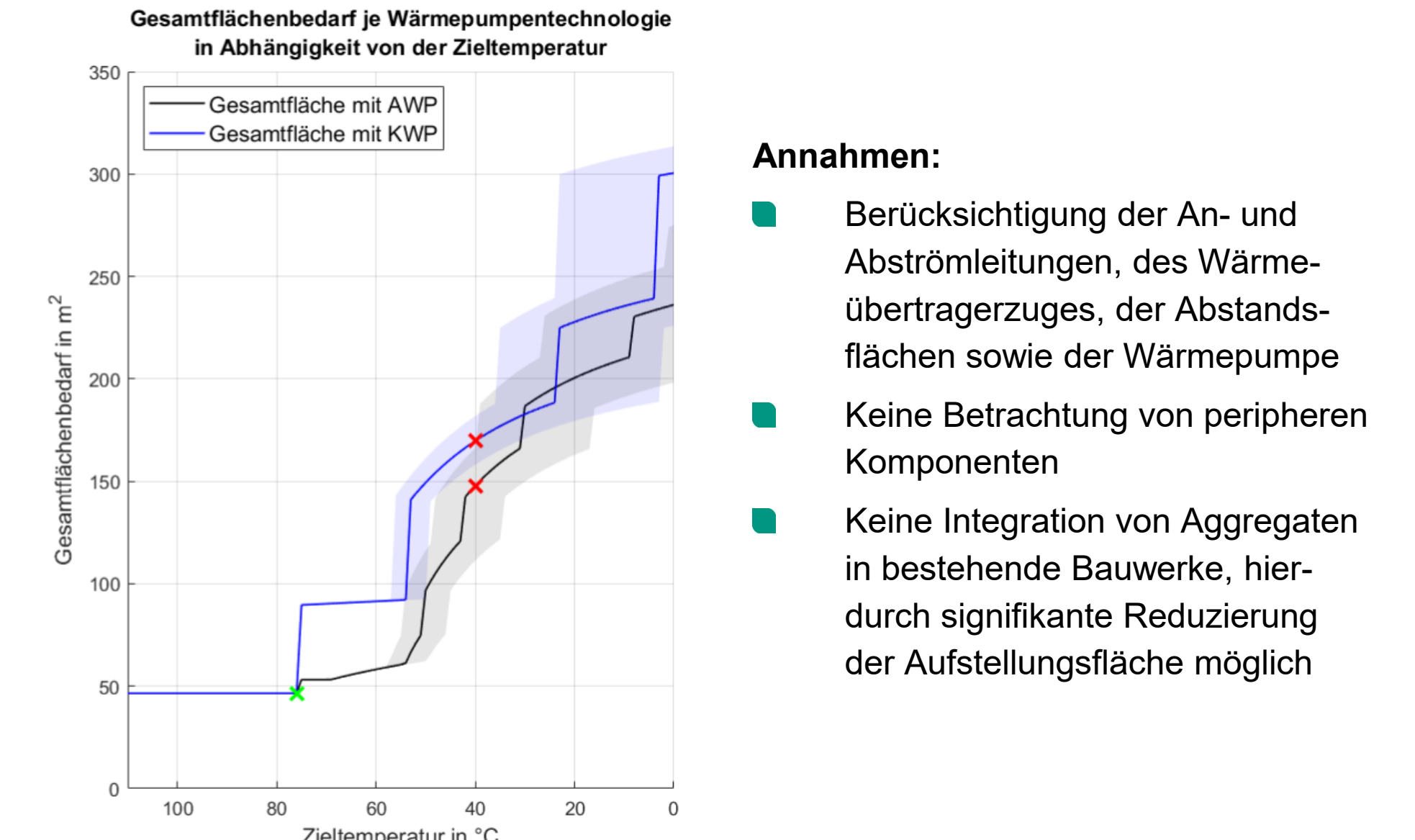


Abbildung 2: Gesamtflächenbedarf der Hauptaggregate in Abhängigkeit von der Zieltemperatur und der Wärmepumpentechnologie

- Konstanter Flächenbedarf des Wärmeübertragerzuges
- Plateauartiger Anstieg der Aufstellungsfläche bedingt durch notwendige Wärmepumpenanzahl

Rauchgaskühlung vs. Rauchgaskondensation

- Energieeffizienz:
 - Rauchgaskondensation 7,5 × effizienter als Rauchgaskühlung
 - Rückgewinnung von bis zu 16 % der Feuerungswärmeleistung
- Flächenbedarf
 - Rauchgaskondensation bis zu 3 × größer als Rauchgaskühlung
 - AWP überwiegend kleiner als KWP
- Wasserdampfanteil
 - Rauchgaskühlung unabhängig vom Wasserdampfanteil
 - Wasserdampfanteil beeinflusst signifikant Kondensatmassenstrom

Diskussion

Zielkonflikt

max. Wärmestrom \nleftrightarrow min. Kondensatmassenstrom

- Verhältnis aus Wärmemenge zu Kondensatmassenstrom steigt, je niedriger die angestrebte Rauchgasaustrittstemperatur
 - Je höher der Wasserdampfanteil, desto höher die mögliche Rauchgasaustrittstemperatur, jedoch auch der Kondensatmassenstrom, bei konstantem frei werdenden Wärmestrom
 - Wasserdampfanteil kaum beeinflussbar, folgt aus Brennstoff und Art der Rauchgasreinigung
- Niedrige Zieltemperatur erstrebenswert, optimalerweise:
 - Rauchgaskühlung: 76 °C
 - Rauchgaskondensation: Winter: 5,7 °C, Sommer: 21,7 °C

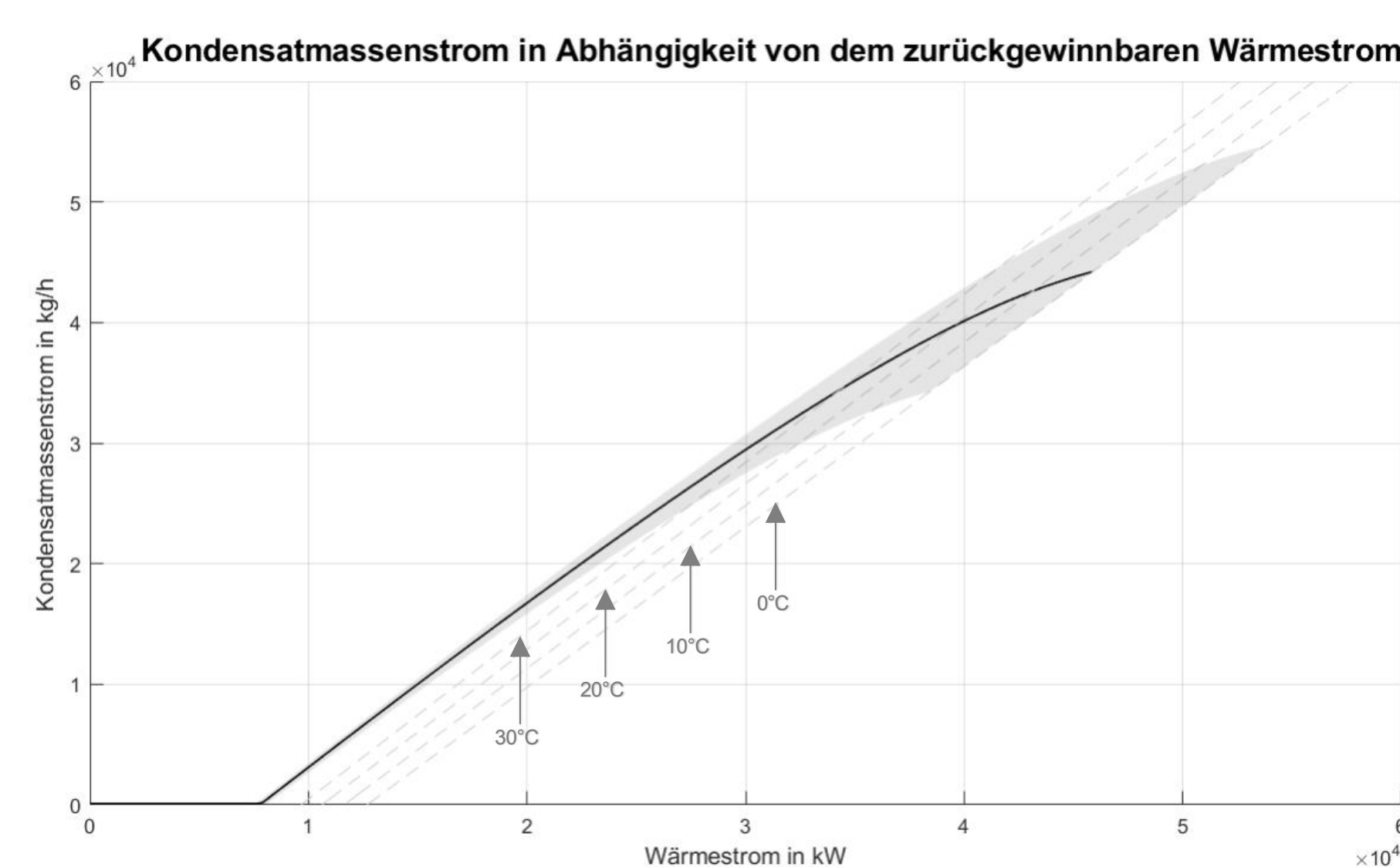


Abbildung 4: Wärmestrom in Abhängigkeit von dem Kondensatmassenstrom unter Angabe konstanter Temperaturniveaus

Fazit

- Effiziente Steuerung der zurückgewinnbaren Wärmemenge durch Anpassung der Rauchgasaustrittstemperatur
 - Variierung der frei werdenden Wärmemenge je Jahreszeit
 - Optimierung der Strom-/Wärmeproduktion
- Größtes Umsatzpotential bei Rauchgaskondensation mit AWP
 - Optimierung des Umsatzes über Rauchgasaustrittstemperatur
 - Energievergütung und Wahl der Wärmepumpentechnologie abhängig von standortspezifischen Gegebenheiten
- Abführung eines säurehaltigen Kondensatmassenstroms in Abhängigkeit des Wasserdampfanteils erforderlich
 - Wasserdampfanteil kaum über Brennstoff regelbar
 - Wasseraufbereitung erforderlich, die Flächenbedarf weiter erhöht

Kontakt:

Jakob Hüllsieck
j.huellsieck@qualitaet.de
+49 511 96985065
www.uigmbh.de

