

WEGE ZUR KLIMANEUTRALEN UND KOSTENEFFIZIENTEN WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG VON INDUSTRIESTANDORTEN

Simon MÖHREN¹, Jörg MEYER¹, Hartmut KRAUSE²

Einleitung

Die Industrie trägt zu knapp 29 % des Endenergiebedarfs der Bundesrepublik Deutschland bei. Der Bedarf an Prozesswärme von jährlich knapp 504,14 TWh verursacht den mit Abstand größten Teil des Endenergiebedarfs der Industrie. Die Wärmebereitstellung erfolgt dabei fast ausschließlich durch die Verfeuerung fossiler Brennstoffe. Der Anteil erneuerbarer Energien beträgt hier gerade einmal 5,3 %. Entsprechend hoch ist die Emission klimaschädlicher Treibhausgase und darunter vor allem CO₂ durch industrielle Feuerungsanlagen. [1]

Die systematische Nutzung von industrieller Abwärme kann einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung des Endenergiebedarfs sowie von CO₂-Emissionen beitragen. Das theoretische Potential zur Abwärmenutzung in Deutschland wurde im Jahr 2017 mit einem bottom-up Ansatz auf 64 bis 70 TWh/a quantifiziert [2]. Im Jahr 2018 wurde das theoretische Potenzial für Deutschland mit einem top-down Ansatz auf 77 TWh/a geschätzt [3]. Für das Bundesland Nordrheinwestfalen wurde im Rahmen der „Potenzialstudie Industrielle Abwärmenutzung“ im Jahr 2019 das technisch nutzbare Abwärmepotenzial auf 44 bis 48 TWh/a abgeschätzt [4]. Die Auswertung der Auditberichten von insgesamt 400 Unternehmen hat dabei gezeigt, dass durch Abwärmenutzung die größte Energieeinsparung erzielt werden kann und dieses Potenzial bislang weitestgehend unerschlossen ist [5].

Zur systematischen Nutzung von Abwärmepotenzialen kann die Methode der Wärmeintegration genutzt werden. Mithilfe der Pinch-Analyse [6] und mathematischer Optimierung [7] kann die benötigte Energie des Gesamtsystems minimiert werden. Durch Anpassen der Zielfunktion und Randbedingungen kann die Methodik systematisch zur Minimierung von CO₂-Emissionen und Kosten erweitert werden.

Methodik

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das von Cerda et al. [7] entwickelte mathematische Verfahren zur Minimierung des Utilitybedarfs zur Optimierung der Gesamtkosten und der CO₂-Emissionen des Gesamtsystems für mehrperiodische Probleme erweitert. Hierfür wurde die Zielfunktion des linearen Wärmetransportproblems sowie dessen Randbedingungen für Probleme mit beliebigen Zeitschritten t angepasst. In Abbildung 1 ist die Methodik schematisch dargestellt.

Durch Integration von thermischen Energiespeichern wird ein Wärmetransport zwischen verschiedenen Zeitschritten ermöglicht. Bei der Wärme- und Kältebereitstellung werden anhand spezifischer Kosten- und CO₂-Funktionen relevante, konventionelle und regenerative Technologien verglichen. Die Berechnung der Kostenfunktionen erfolgt nach VDI 6025 und 2067. Hierdurch kann für jeden Industriebetrieb die individuell Kosten- oder CO₂-optimale Wärme- und Kälteversorgung ermittelt werden.

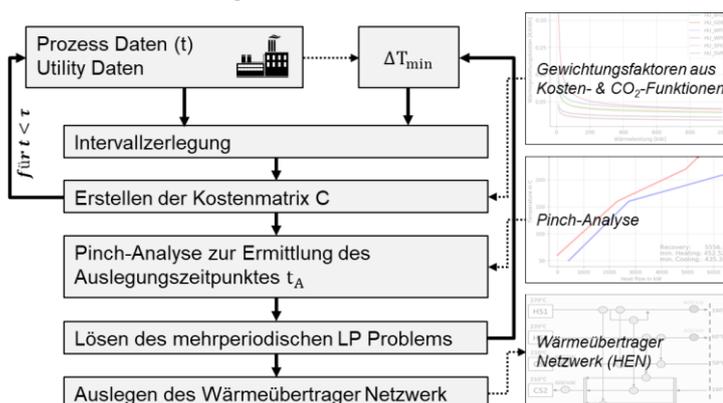


Abbildung 1: Methodik der Linearen Wärmeintegration zur Reduzierung von Kosten und CO₂-Emission für Mehrperiodische LP Probleme

¹ Hochschule Niederrhein, SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement, Reinartzstr. 49, 47805 Krefeld, Germany, +49 2151822 6684, simon.moehren@hs-niederrhein.de, www.hs-niederrhein.de/swk-e2

² TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, Gustav-Zeuner-Straße 7, 09599 Freiberg, Germany, +49 373139 3940, Hartmut.Krause@iwtt.tu-freiberg.de, www.gwa.tu-freiberg.de

Ergebnisse

Durch Kombination von Pinch-Analyse und mathematischer Optimierung von linearen Wärmetransportproblemen gemäß Abbildung 1 können der Energiebedarf, die Kosten für die Energiebereitstellung sowie die resultierenden CO₂-Emissionen, je nach Formulierung von Gewichtungsfaktoren, bei mehrperiodischen LP Problemen reduziert werden. Für stationäre Probleme kann mit für die drei verwendeten Solver CBC, CPLEX und GUROBI zuverlässig das globale Minimum bestimmt werden. Für mehrperiodische Probleme ist die Güte der berechneten Lösung abhängig von der Wahl des Auslegungszeitpunktes. In dem Implementierten Python Tool zeigen der CPLEX Solver für kleine und der CBC Solver für komplexere Probleme die beste Performance.

Durch die Wahl des Wärmeerzeugers und der Kälteanlage mit den niedrigsten Wärmegebungskosten für die spezifische Problemstellung, sowie die kostenoptimale Auslegung des Wärmeübertragernetzwerks (HEN) können die Gesamtkosten eines Industriestandortes reduziert werden. Die Lösung des LP Problems stellt die optimale Verschaltung von Abwärmequellen und Wärmesenken mittels HEN sowie den optimalen Einsatz von thermischen Speichern sowie Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen dar. In Abbildung 2 ist exemplarisch das HEN eines einfachen mehrperiodischen Problems mit drei Zeitschritten und jeweils zwei Wärmequellen und Wärmesenken ohne Speicher dargestellt.

Die systematische Wärmeintegration kann einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von CO₂-Emissionen industrieller Standorte leisten. Sie ermöglicht die Identifizierung von ökologisch und ökonomisch sinnvollen Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme und der Einbindung regenerativer Wärmeerzeugungsanlagen.

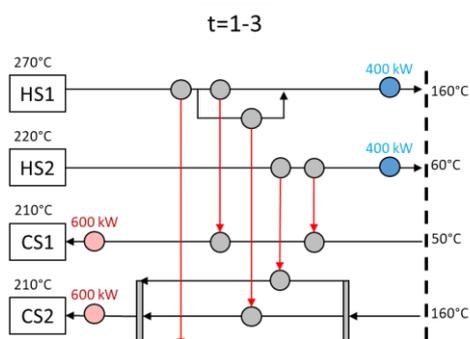


Abbildung 2: Wärmeübertrager-Netzwerk eines mehrperiodischen LP Problems mit 3 Zeitschritten für $t_A = 2$

Referenzen

- [1] BMWI, „Energiedaten - Nationale und Internationale Entwicklung,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2019.
- [2] S. Bruechner, R. Arbter, M. Pehnt und E. Laevemann, „Industrial waste heat potential in Germany - a bottom up analysis,“ *Energy Efficiency*, pp. 513-525, 17 August 2017.
- [3] Ali und C. Rohde, „What about heat integration? Quantifying energy saving potentials for Germany,“ in *ECEEE Industrial Summer Study, Proceedings 2018*, Berlin, 2018.
- [4] M. Reckzügel, M. Meyer, C. Waldhoff, D. Ludwig, A. Tegeler, I. Schröder, O. Kebschull, P. Magnus und U. Niermann, „Potenzialstudie Industrielle Abwärme,“ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), Recklinghausen, 2019.
- [5] E. Dütschke, S. Hirzel, F. Idrissova, M. Mai, U. Mielicke und L. Nabitz, „Energy efficiency networks—what are the processes that make them work?,“ *Energy Efficiency*, pp. 1177-1192, Juni 2018.
- [6] Linnhoff und J. Flower, „Synthesis of heat exchanger networks: I. Systematic generation of energy optimal networks,“ *AIChE Journal*, Bd. 24(4), pp. 633-642, 1978.
- [7] J. Cerda, A. W. Westerberg, D. Mason und B. Linnhoff, „Minimum utility usage in heat exchanger network synthesis - a transportation problem,“ *Chemical Engineering Science*, Bd. 38(3), pp. 373-387, 1983.
- [8] E. Hohmann, „Optimum Network for Heat Exchange,“ University of Southern California, Los Angeles, 1971.