

## ENTROPIA

Entwicklung einer modellprädiktiven Regelung zur optimierten Einsatzplanung in Heiz(kraft)werken

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.04.2024	<b>Projektende</b>	31.10.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektaufzeit</b>	19 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

In Österreich erfolgt der Ausbau der Nah- und Fernwärme sehr rasch, so dass sich der Wärmeabsatz in den letzten 30 Jahren verdreifacht hat. Nah- und Fernwärmesysteme werden im Zuge der Wärmewende durch die verstärkte Einbindung von Wärmepumpen und industrieller Abwärme immer komplexer. Bestehende KWK-Anlagen müssen sich zudem in einem zunehmend dynamischen Strommarkt behaupten. Bei der Installation von Wärmepumpen werden häufig großflächige Photovoltaikanlagen installiert, deren Überschüsse ebenfalls möglichst gewinnbringend am Spotmarkt verkauft werden müssen. Die bisher auf den Strommarkt beschränkte Dynamik greift somit sukzessive auf den Wärmemarkt über.

Häufig werden Nah- und Fernwärmesysteme jedoch noch nach altem Muster, d.h. mit konstanter Vorlauftemperatur, betrieben und Prognosen werden nicht herangezogen. Dabei stehen mit den etablierten Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) bereits heute die Werkzeuge für eine erfolgreiche Umsetzung zur Verfügung. Das Kessel- und Speichermanagement in Nah- und Fernwärmesystemen erfolgt zumeist noch manuell durch den Betriebsführer (Dispatcher). Dabei steht die Versorgungssicherheit im Vordergrund, die Effizienz wird weniger beachtet.

Um die beschriebene Dynamik bestmöglich zu beherrschen, sind Optimierungssysteme notwendig, die automatisch den Fahrplan aller Aggregate für die nächsten Stunden generieren. In der FernwärmeverSORGUNG hat die Digitalisierung jedoch noch kaum Einzug gehalten. Zwar werden Verbrauchsdaten (historische Daten) in vielen Wärmenetzen schon seit längerem auf firmeneigenen Servern oder in Cloudspeichern erfasst, doch werden diese Daten bisher kaum genutzt. Die Steuerung von Wärmenetzen, d.h. die Fahrweise der einzelnen Wärmeerzeugungsanlagen sowie das Speichermanagement, erfolgt daher heute oft noch manuell auf Basis von Erfahrungswerten.

Im vorliegenden Projekt soll eine modellprädiktive Regelung (MPC...Model Predictive Control) für alle relevanten regelbaren Komponenten von Heiz(kraft)werken entwickelt, simulativ untersucht und schließlich in einem Heizwerk getestet werden. Dies umfasst die Steuerung von Wärmeerzeugungsanlagen und Pufferspeichern. MPC ist für diese Art von Problemen gut geeignet, da es prädiktiver Natur ist, äußere Störungen berücksichtigt und auf Prognosefehler reagiert, indem nach jedem Optimierungszeitschritt die gesamte Optimierung erneut durchgeführt wird. MPC soll ein Optimierungsproblem innerhalb eines vorgegebenen Optimierungshorizonts lösen, der im vorliegenden Projekt voraussichtlich 24 Stunden beträgt. Das bedeutet, dass die Optimierung die optimalen Entscheidungsvariablen über den gesamten Optimierungshorizont, unterteilt in Optimierungszeitschritte, im vorliegenden Projekt voraussichtlich 1 Stunde, ermittelt. Die Entscheidungsvariablen sind die

einzelnen Teillastgrade der wärmeerzeugenden Anlagen sowie die Be- oder Entladeleistung des Pufferspeichers. Aufgrund der Länge der Optimierungszeitschritte werden die Aggregate nicht direkt geregelt, sondern es werden optimierte Führungsgrößen (Sollwerte) für die bereits vorhandenen Regler (z.B. P-Regler) vorgegeben. Es wird also nicht direkt in die Regelung der Aggregate eingegriffen, sondern versucht, über standardisierte Schnittstellen und das Leitsystem auf die Aggregate zuzugreifen.

Mit der zu entwickelnden Software ENTROPIA sind Energieeinsparungen von bis zu 20% in Heiz(kraft)werken möglich. Nach Vorberechnungen, die gemeinsam mit dem Betreiber durchgeführt wurden, liegen die zu erwartenden Einsparungen für das Pilot-Heizwerk im vorliegenden Projekt bei ca. 10%. Dies ist auch der ungefähre Mittelwert der erzielbaren Einsparungen für den gesamten österreichischen Fernwärmemarkt.

## **Endberichtkurzfassung**

Im Projekt ENTROPIA wurde eine innovative Softwarelösung zur modellprädiktiven Regelung (MPC) von Heiz(kraft)werken entwickelt, die Betreiber von Nah- und Fernwärmesystemen bei einer effizienteren, stabileren und wirtschaftlicheren Betriebsführung unterstützt. Ziel war es, eine einsatzfähige Optimierungssoftware mit den drei zentralen Komponenten

Prognosemodul ,  
Digitaler Zwilling und  
Optimierungsalgorithmus

zu realisieren und in realen Anlagenumgebungen zu demonstrieren . Der Schwerpunkt der Untersuchung lag dabei auf biomassegefeuerte Heizungsanlagen von 500 bis 10.000 kW Kesselleistung.

ENTROPIA ist eine cloudbasierte, modular aufgebaute Lösung , die relevante Einflussgrößen – insbesondere die Wärmelast – mithilfe neuronaler Netzwerke prognostiziert. Auf Basis dieser Vorhersagen wird ein optimaler Fahrplan für den Betrieb der Wärmeerzeuger und Speicher erstellt.

Die Optimierung erfolgt über einen 24-Stunden-Horizont in 15-Minuten-Schritten und kann in der Praxis mit kurzer Rechenzeit durchgeführt werden. Dadurch ist ENTROPIA für den kontinuierlichen Einsatz im Heizwerksbetrieb geeignet und lässt sich flexibel an unterschiedliche Anlagenkonfigurationen anpassen.

Ein wesentliches Projektergebnis ist der Aufbau eines Digitalen Zwillings, der zentrale Komponenten wie Biomassekessel, Pufferspeicher, Rauchgaskondensation und Solarthermie modelliert. Dieser digitale Zwilling bildet technische Einschränkungen (z. B. Leistungsgrenzen, Dynamik und Speichergrenzen) ab und ermöglicht damit die Berechnung realistischer, betrieblich umsetzbarer Fahrpläne. Durch die autonome Neuoptimierung und zusätzliche Sicherheitsmechanismen kann ENTROPIA auch mit Prognoseunsicherheiten umgehen und eine robuste Betriebsführung unterstützen.

Die Software wurde im Projekt nicht nur theoretisch entwickelt, sondern unter realen Bedingungen in mehreren Heizwerken technisch integriert. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Heterogenität von Leitsystemen und MSR-Strukturen eine

zentrale Herausforderung darstellt. Im Projekt wurden deshalb mehrere Integrationswege erprobt, u. a. über OPC-UA in bestehenden Leitsystemen, über Brückenslösungen zwischen Teilsystemen sowie über direkte Anbindungen an Kesselregelungen. Dadurch wurde ein wichtiger Schritt hin zu einer skalierbaren Rollout-Strategie für Bestandsanlagen erreicht.

In der praktischen Anwendung wurde ENTROPIA zunächst im digitalen Schattenbetrieb eingesetzt, indem Empfehlungen ausgegeben wurden und anschließend – abhängig von Standort und technischen Rahmenbedingungen – in Richtung autonomer Sollwertvorgabe weiterentwickelt. Dieser schrittweise Übergang erwies sich als geeignet, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten und gleichzeitig Akzeptanz beim Betriebspersonal zu erhöhen. Ergänzend wurde eine übersichtliche Visualisierung der berechneten Fahrpläne bereitgestellt, um Transparenz über die vorgeschlagenen Betriebsstrategien zu schaffen.

Die Evaluierung der Projektergebnisse zeigte wesentliche positive Effekte: Insbesondere konnte eine deutliche Reduktion von Leistungsfluktuationen bei Biomassekesseln erreicht werden, was einen stabileren Betrieb ermöglicht und die Grundlage für bessere Wirkungsgrade sowie geringere Störanfälligkeit schafft. Darüber hinaus wurden Einsparpotenziale durch effizientere Fahrweise und optimierte Nutzung von Speicher- und Netzinfrastruktur aufgezeigt, etwa durch die Vermeidung ungünstiger Teillastbereiche und durch die perspektivische Absenkung von Netzvorlauftemperaturen zur Verringerung von Netzverlusten.

Aus einer Pilotanlage eines Biomasseheizwerks mit 2-Kesselsystem in Kombination mit einer solarthermischen Anlage sowie einem zur Anlagengröße passenden Pufferspeicher konnten konkrete Einsparpotenziale bzw. Effizienzsteigerungen abgeleitet werden. In dieser Konstellation zeigte sich, dass ENTROPIA insbesondere in der Übergangszeit sowie in den Sommermonaten – sofern ein Sommerbetrieb vorgesehen ist – seine Stärken ausspielen kann.

Kesselseitig können in dieser Jahreszeit höhere Wirkungsgradsteigerungen erzielt werden, da die Anlagen häufig in Teillast betrieben werden. Mit einer Stabilisierung des Teillastbetriebs kann der feuerungstechnische Wirkungsgrad um rund 2% erhöht werden. Im Volllastbetrieb ist dagegen mit einer stabilen Betriebsführung (zumindest bei den untersuchten Kesseln) kaum eine Effizienzsteigerung zu vermerken. Zusätzlich kann durch das gezielte Anfahren wirkungsgradoptimierter Teillast-Betriebspunkte, was in der Übergangs- und Sommerzeit leichter realisierbar ist als in der Hauptheizsaison, der feuerungstechnische Wirkungsgrad um einen weiteren Prozentpunkt gesteigert werden. Schließlich kann auch der Strombedarf der Biomassekessel, welcher vorwiegend durch die Ventilatoren entsteht, insbesondere im Teillastbetrieb, um bis zu 15% gesenkt werden.

Schließlich kann der Speicherbetrieb in dieser Periode so optimiert werden, dass auch die Effizienz der Solarthermieanlage steigt. Eine quantitative Bewertung dieses Effekts muss in der Pilotanlage jedoch noch im Jahr 2026 messtechnisch bestätigt werden.

In Summe lassen sich mit ENTROPIA in der Pilotanlage in der Übergangs- und Sommerzeit rund 5 % geringere Betriebskosten erreichen – und das, ohne eine Lastverschiebung über den Wärmezähler des Wärmenetzes vornehmen zu müssen. In der betrachteten Pilotanlage war eine solche Lastverschiebung aus rechtlichen Gründen nicht zulässig, weshalb auch keine zeitweise Absenkung der Netzvorlauftemperatur möglich war. Gerade dieser zusätzliche Effekt würde sich jedoch

ebenfalls vor allem in der Übergangs- und Sommerzeit bemerkbar machen.

Generell lässt sich daher festhalten, dass bei einem konventionellen Biomasseheizwerk ohne Sektorkopplung insbesondere in der Übergangs- und Sommerzeit ein erhebliches Einsparpotenzial zu erwarten ist. In der Hauptheizsaison hängt das Einsparpotenzial hingegen von einer Vielzahl an standortspezifischen Faktoren ab.

In der besagten Pilotanlage wäre ein Eingriff in das Wärmenetz selbst dann technisch nur schwer umsetzbar gewesen, wenn er rechtlich erlaubt gewesen wäre – unter anderem, weil beispielsweise die Netzpumpen bereits an ihrer Leistungsgrenze betrieben wurden.

Eine pauschale Aussage zum Einsparpotenzial von ENTROPIA für Heizwerke ist daher nicht möglich. Durch die Projekterfahrung ist jedoch nun deutlich besser abschätzbar, in welchen Anlagen ein Einsatz von ENTROPIA aus wirtschaftlicher Sicht besonders sinnvoll ist – und wo das Potenzial entsprechend geringer ausfällt.

## **Projektkoordinator**

- Rabensteiner Engineering GmbH

## **Projektpartner**

- Technische Universität Graz