

Forschungsvorhaben deepDHC: „Deep Learning for District Heating and Cooling” Untersuchung maschineller Lernverfahren für die Lastprognose in Fernwärmenetzen

deepDHC



Partner:



fernwärme digital

Matthias Finkenrath, Fabian Behrens, Stefan Leiprecht, Christian Pressa
Hochschule Kempten, Webseite: deepDHC.de

Projektüberblick

KWKflex Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
 2016 - 2020 (270 Tsd. €) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

„Digitaler Zwilling“
Kraftwerke & Speicher

„Digitaler Zwilling“
Anlageneinsatzplanung

Neuentwicklung Lastprognose mittels Machine Learning

Deep Learning Workstation I



Kraftwerksverbund Fernwärme Ulm **FUG** FERNWÄRME ULM

Kraftwerkspark

Leitstand

Fernwärmenetz Ulm



deep DHC Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
 2020 - 2023 (430 Tsd. €) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

„Untersuchung und Weiterentwicklung modernster maschineller Lernverfahren für die hochgenaue Lastprognose in Fernwärmenetzen“

FUG FERNWÄRME ULM **ZAK**

Maschinellem Lernen („Künstliche Intelligenz“, „Deep Learning“)

Deep Learning Workstation II

Entwicklung von Lastprognosen mit maschinellen Lernverfahren seit 2016

Motivation für Erstellung von Wärmelastprognosen

- Optimierung von Anlageneinsatz bzw. Wärmebereitstellung

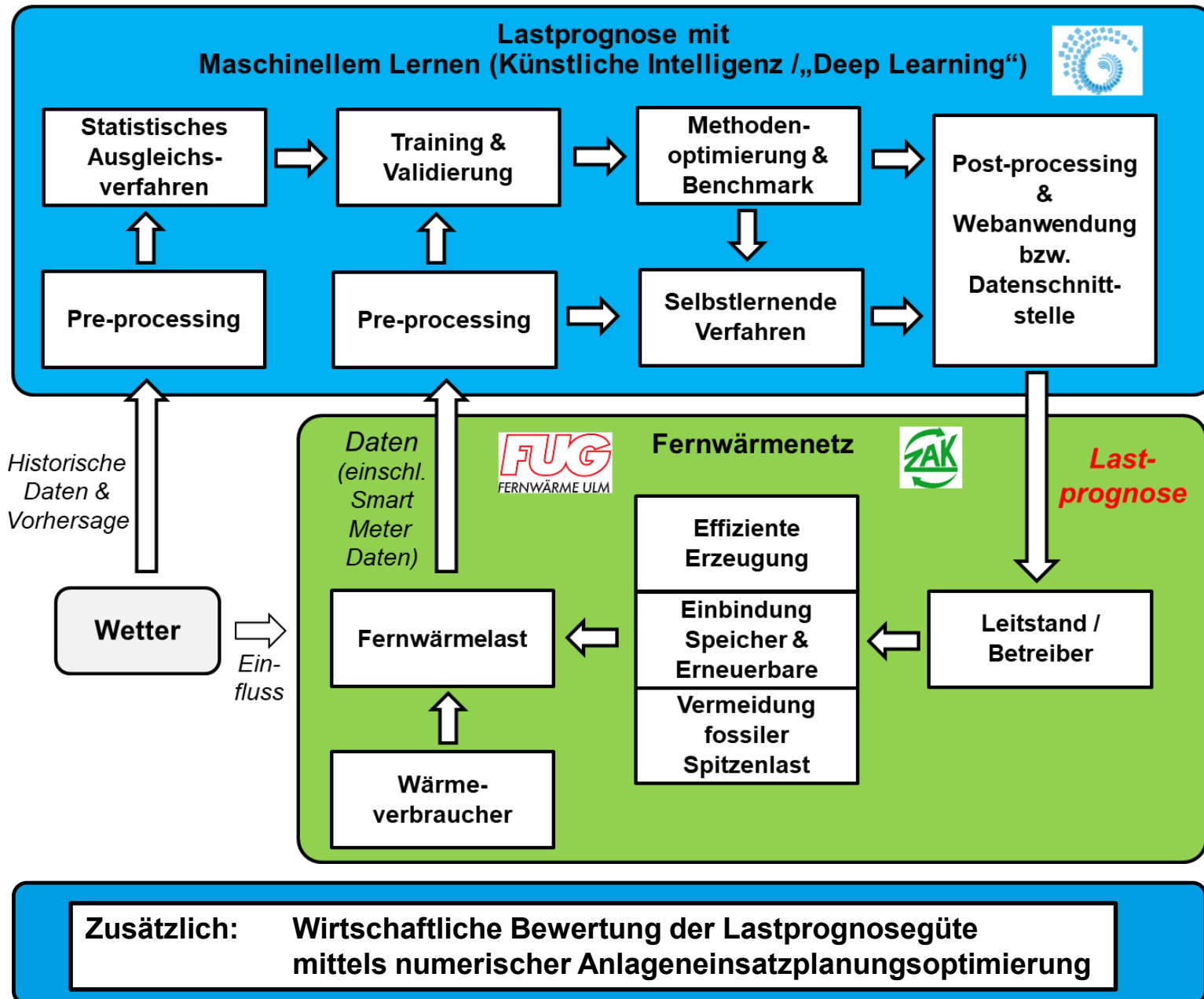
Ziele

- Benchmarking maschineller Lernverfahren
(Prognosen bis zu 72 h im Voraus, „top-down“ = erzeugerseitig)
- Automatisierung der Prognosen & Bereitstellung über Web-Interface
- Wirtschaftliche Bewertung von Verbesserungen der Prognosegüte

Nutzen

- Identifizierung geeigneter maschineller Lernverfahren
- Einsparung fossiler Brennstoffe zugunsten erneuerbarer Energien
- Optimierung von Brennstoffbeschaffung oder Wartungsarbeiten

Projektübersicht (Gesamtprojekt; Laufzeit 2020 bis 2023)



Lastdaten

- Aktuelle und vergangene Werte
- Zugriff auf Daten der Fernwärme Ulm GmbH, aktuell und von den letzten über 10 Jahren

Wetterdaten

- Verwendung statistisch aufbereiteter Wettervorhersagen vom Deutschen Wetterdienst (DWD), standortgenau, z.B.
 - Temperatur und Taupunkt in 2 m Höhe,
 - Windgeschwindigkeit und -richtung,
 - Niederschlagsmenge und -art,
 - Sonnenscheindauer
 - Luftdruck

**Umfangreiche Datenbasis steht zur Verfügung,
Datenabruf & -aufbereitung, Training und Vorhersage erfolgen vollautomatisch**

Bislang untersuchte Verfahren

Training & Benchmarking unterschiedlicher maschineller Lernverfahren:

Autoregressive Verfahren

- SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average Exogenous model)

Entscheidungsbäume

- Random Forest
- AdaBoost (Adaptive Boosting)
- Extreme Gradient Boosting (XGB)

Neuronale Netze

- Echo State Network (ESN)
- LSTM (Long short-term memory)

Transformer

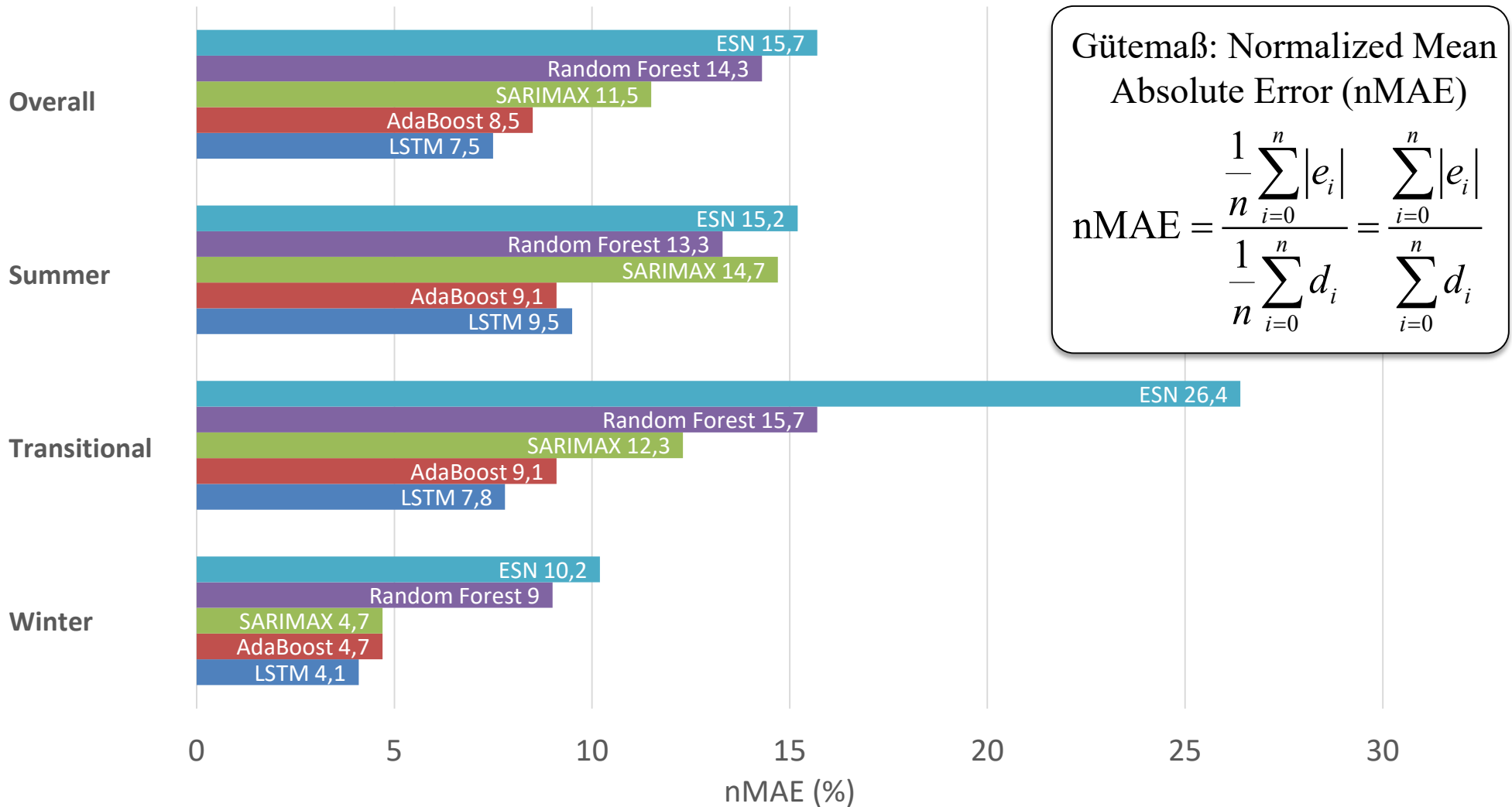
- Temporal Fusion Transformer

Ensemble Verfahren

- Stacking

Vergleich für Winter, Sommer, Übergangszeit und Gesamtzeitraum

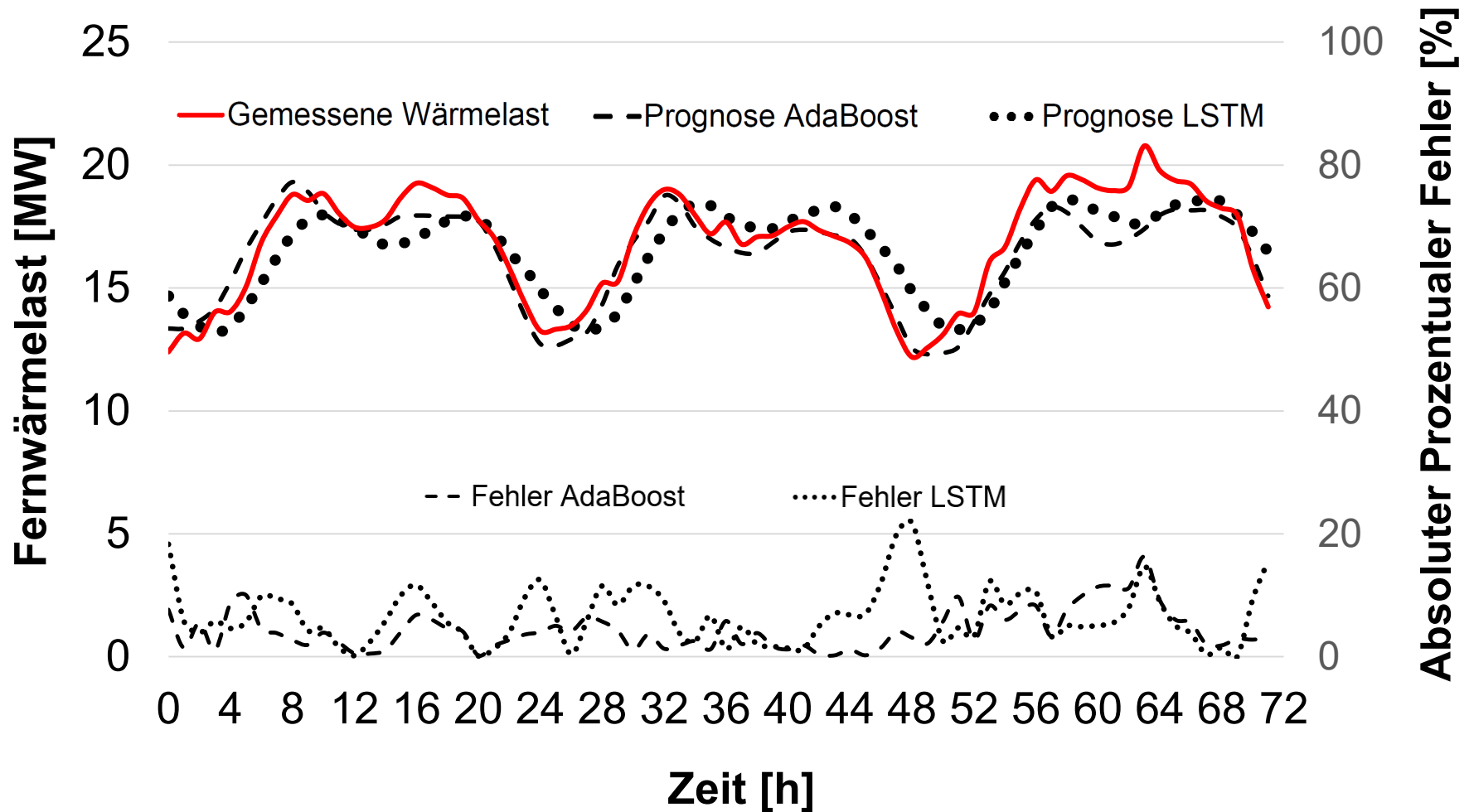
Vergleich der Prognosegüte 72 h im Voraus



⇒ Große Unterschiede in den Prognosegüten

Beispielprognose

Vergleich einer 72 h-Vorhersage mit der tatsächlich eingetretenen Last



Prädiktionen über 72 h-Intervall mit hoher Genauigkeit möglich

Wirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher Prognosegüten

Erwartung:

- Genauere Lastprognose ermöglicht wirtschaftlicheren Betrieb

Herausforderung:

- Quantifizierung des Vorteils genauerer Lastprognosen ist schwierig, da sich der reale Anlageneinsatz nicht wiederholen lässt

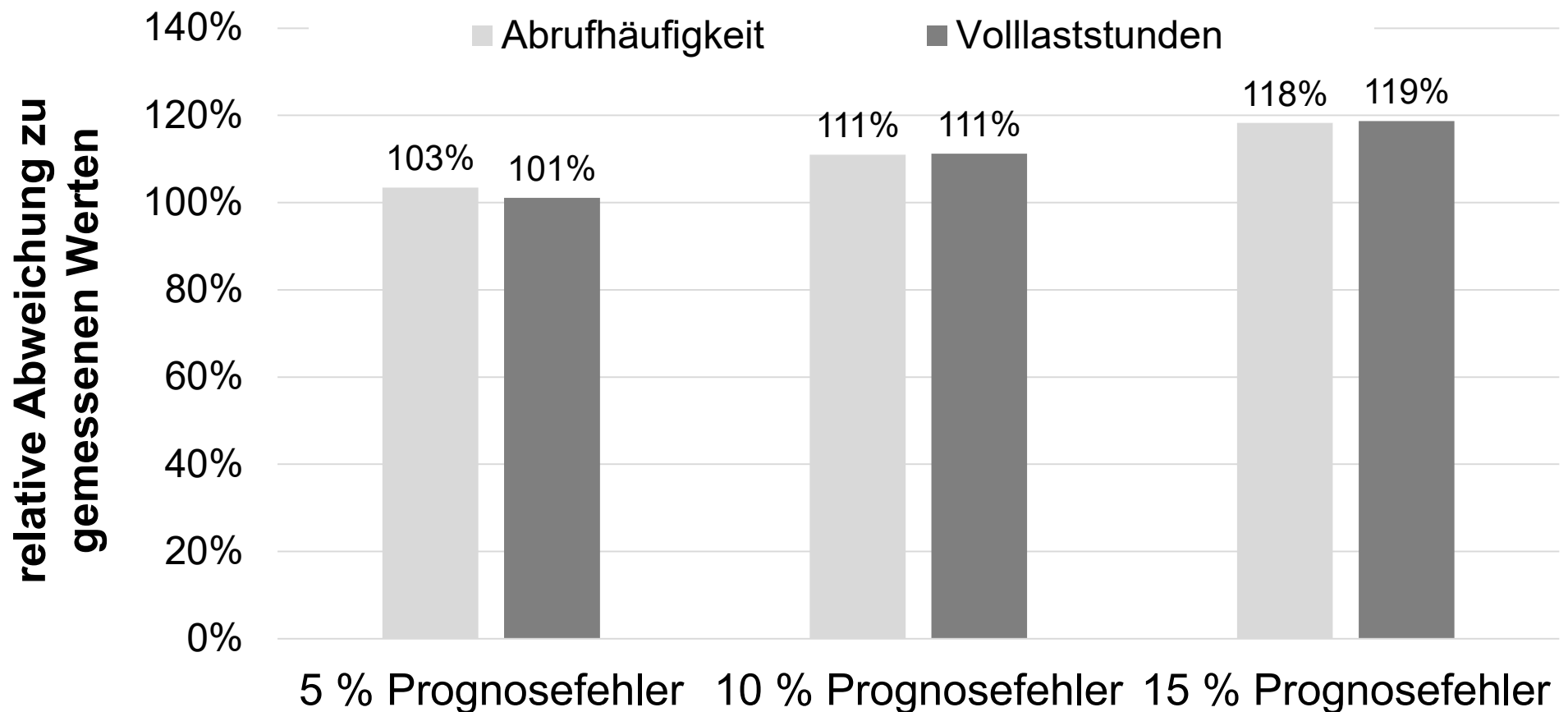
Lösungsansatz:

- Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Lastprognosen mit numerischer Anlageneinsatzplanung:
 - Optimierung mit gemessener Wärmelast („Referenzfall“, Optimum)
 - Wiederholung der Optimierung mit Wärmelast mit 5 %, 10 % und 15 % aufgeprägtem mittlerem Prognosefehler

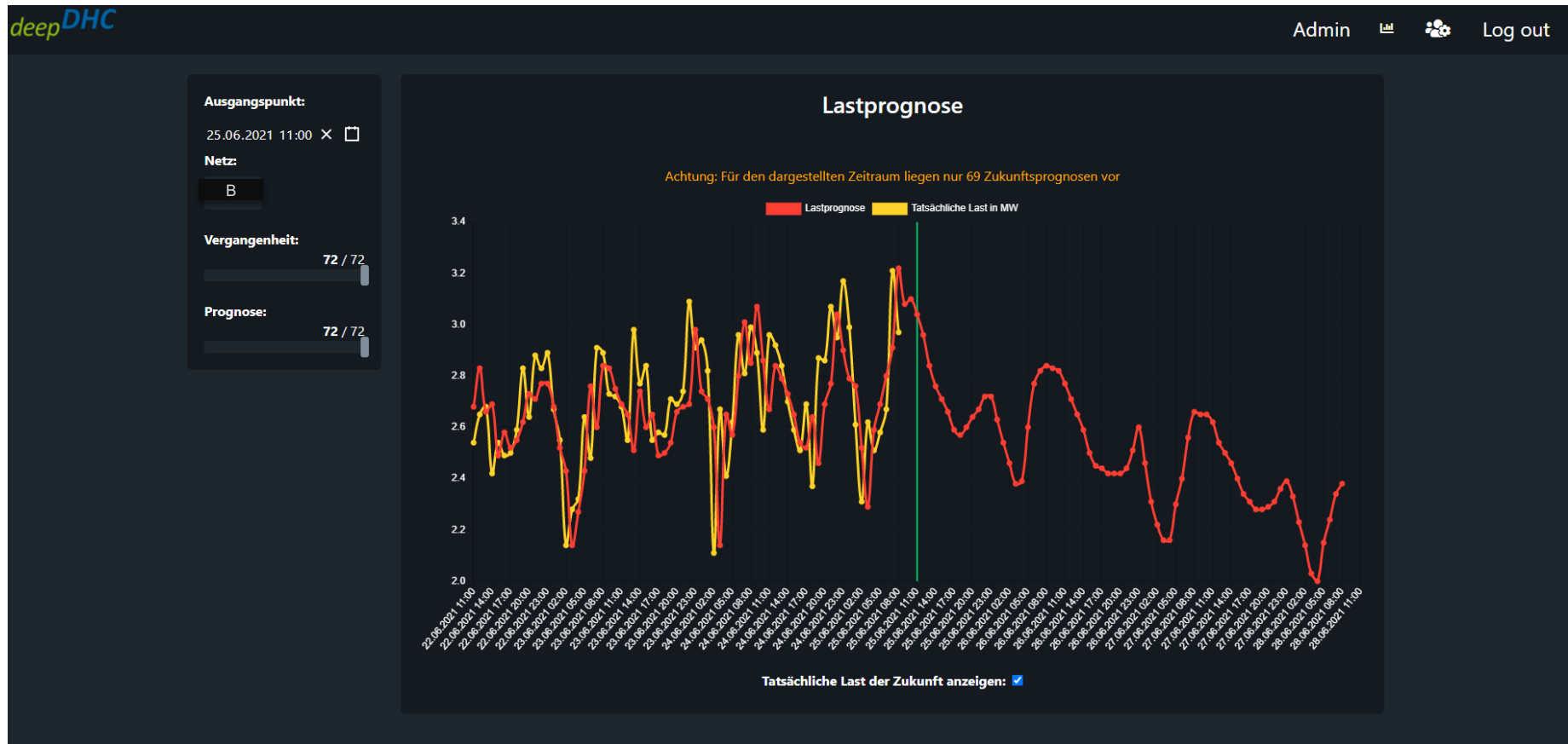
Numerische Anlageneinsatzplanungsoptimierung ermöglicht systematische Untersuchung des Fehlereinflusses

Wirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher Lastprognosegüten

Spitzenlastkessel Einsatz bei unterschiedlichen Prognosegüten

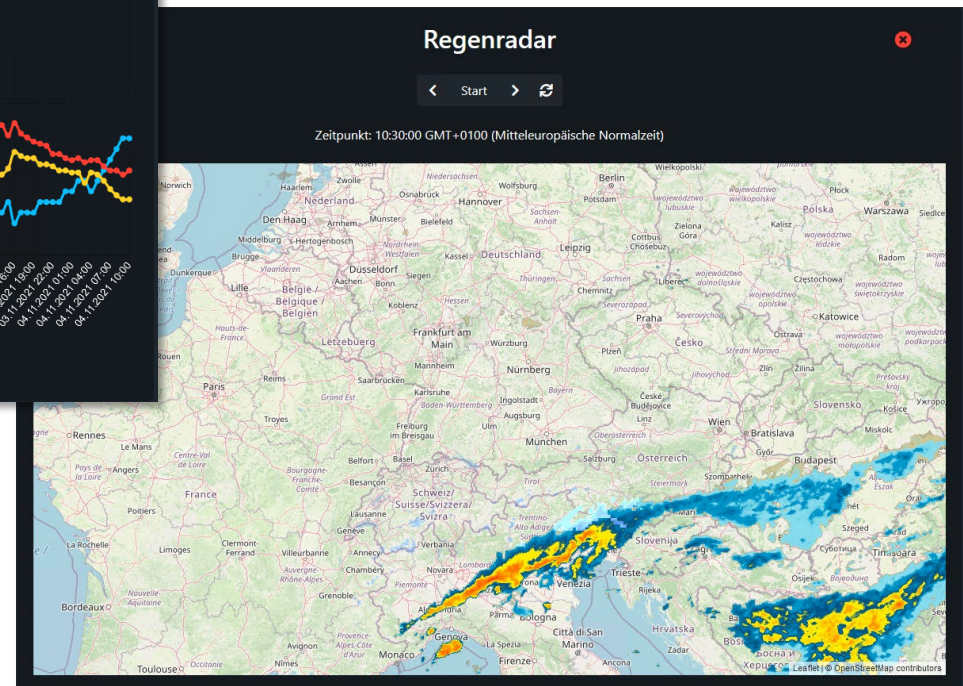
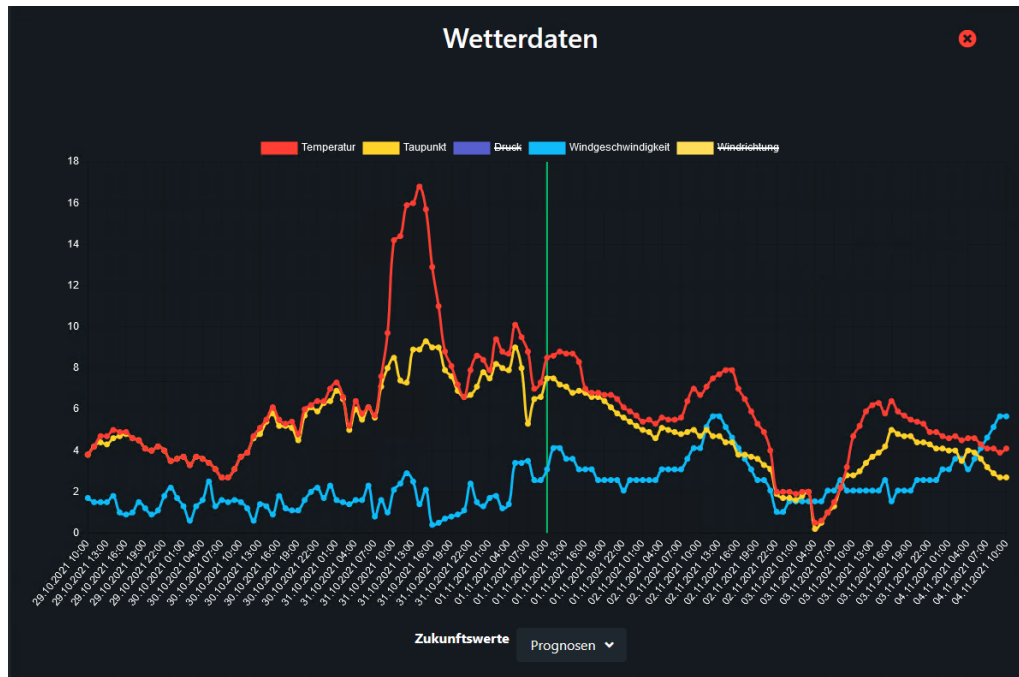


**Steigende Betriebskosten (Brennstoff, Verschleiß, etc.)
bei steigendem Prognosefehler**



**Automatisierte Datenverarbeitung,
Livedarstellung bei Fernwärmeunternehmen,
Zugriff über alle Geräte (PC, Handy) aus Firmennetz möglich**

Webanwendung – weitere Features



Weitere Features (Wetterdaten, Regenradar) wurden in die Webanwendung implementiert

Zusammenfassung & Ausblick

- Verschiedene maschinelle Lernverfahren wurden evaluiert & besonders geeignete Verfahren ermittelt.
- Die Lastprognosen läuft vollautomatisiert über ein Webinterface auf einem Server des Partnerfernwärmeunternehmens.
- Lernverfahren werden untersucht & “selbstlernende” Verfahren entwickelt.



Das in diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03EN3017 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Veröffentlichungen & Patentanmeldungen



- [1] Leiprecht, S., Behrens, F., Faber, T., Finkenrath, M.: A comprehensive thermal load forecasting analysis based on machine learning algorithms, 17th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC2021, 6 - 9 September, 2021, Nottingham, UK
- [2] Finkenrath, M., Faber, T., Behrens, F., Leiprecht, S.: Holistic modelling and optimisation of thermal load forecasting, heat generation and plant dispatch for a district heating network. 34th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, June 27 - July 2, 2021, Taormina, Italy
- [3] Faber, T., Finkenrath, M.: KWK-Flex - Hochflexible stromgeführte Kraft-Wärme-Kopplung durch thermische Speicher und "Power-to-Heat"-Technologien, AGFW Forschungsbericht, AGFW Projektgesellschaft für Rationalisierung, Information und Standardisierung mbH, Frankfurt am Main, 2020, ISBN 3-89999-085-4
- [4] Finkenrath, M., Faber, T.: KWK-Flex - Anwenderleitfaden für die Fernwärmebranche, Hochschule Kempten, 2020
- [5] Finkenrath, M., Faber, T.: Optimierte Wärmelastprognose mittels Deep Learning, Kraftwerkstechnik 2019, ISBN 978-3-934409-93-4, 2019
- [6] Faber, T., Finkenrath, M.: Lastprognose für Wärmenetze, 5. KWK.NRW-Forum: Perspektiven für die KWK in NRW, 2019
- [7] Faber, T., Groß, J., Finkenrath, M.: Innovative Lastprognosen mit »Deep Learning«-Methoden, EuroHeat&Power, 2018, Volume 47, 1-2, pp. 35-38
- [8] Faber, T.; Brauer, J.; Finkenrath, M.; Mayer, W.; Schott, M: Optimierung eines Querverbundsystems mittels neuronaler Netze. Europäische Patentanmeldung EP3.432.234.A1. 2017