Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt
Institut für
Vernetzte Energiesysteme

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projekt FEAT

Flexibel, Erklärbar, Akkurat –
Maschinelles Lernen in komplexen Systemen unter Unsicherheit

Kurzbericht des Teilvorhabens des DLR

Projektziele

Simulationen der Energiemärkte werden immer komplexer: Mehr fluktuierende Erneuerbare und weniger konventionelle Kraftwerke führen zu einer stärkeren Marktdynamik. Die zunehmende Anzahl von Flexibilitätsoptionen (FO), z. B. Pumpspeicher oder Batterien, führt gleichzeitig zu mehr Wettbewerb. Um rentabel zu sein, benötigen FO intelligente Gebotsstrategien, die auf präzisen Preisvorhersagen beruhen. Das Projekt FEAT zielte daher darauf ab, neue Algorithmen des maschinellen Lernens (ML) zu entwickeln, die solche hochwertigen Vorhersagen liefern können. Diese Arbeiten wurden beim Projektpartner (Universität Tübingen) durchgeführt. Die Anwendbarkeit der entwickelten Algorithmen sollte dann in Kombination mit dem hochentwickelten Strommarktsimulationsmodell AMIRIS durch das DLR getestet werden.

Ergebnisse

In FEAT wurden neue ML-Algorithmen entwickelt, die Strompreise in komplexen Energiemärkten robust vorhersagen können – auch aus Parameterbereichen, die während des Trainings nicht gesehen wurden. Zu diesem Zweck wurden Netzwerke auf der Grundlage von Temporal-Fusion-Transformer- und Masked-Autoencoder-Architekturen eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass die Unsicherheit ihrer Ausgaben richtig kalibriert werden kann. Diese Algorithmen können effizient in Strommarktsimulationen integriert werden. Die erzielten Preisvorhersagen haben eine angemessene Präzision und können für die Disposition konkurrierender Speichereinheiten verwendet werden.

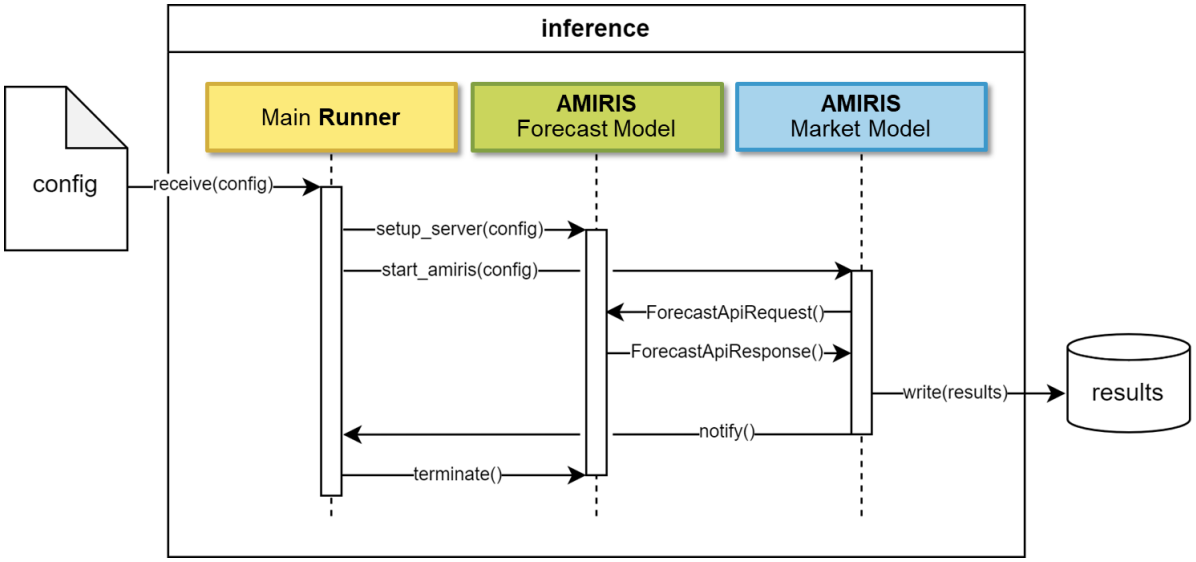


***Abbildung 1**: Getrennte Module für Prognosen und Marktmodellierung, lose verbunden durch eine REST-API und koordiniert durch ein Runner-Skript.*

AMIRIS wurde im Rahmen des Projekts erheblich verbessert. Es kann nun ML-basierte Prognosen verwenden, indem es eine zweistufige Architektur verwendet, wie in Abbildung 1 dargestellt: eine für die Preisprognose und eine für die Strommarktmodellierung. Durch die Trennung dieser beiden

Module können beide unabhängig voneinander verwendet und entwickelt werden. Dadurch wird die Anwendbarkeit der in FEAT entwickelten Tools und Methoden für Dritte vereinfacht.

Veröffentlichungen

Im Rahmen des FEAT-Projekts wurde ein Szenariogenerator für AMIRIS entwickelt und quelloffen veröffentlicht. Auf der Grundlage dieses Generators konnten Tausende von Trainingsszenarien zum Trainieren und Testen der ML-Modelle erstellt werden. Das offene Strommarktmodell AMIRIS wurde erweitert, um die Integration von ML-Prognosen zu ermöglichen. Diese Änderungen wurden mit AMIRIS v3.4 veröffentlicht. AMIRIS-PriceForecast, eine Wrapper-Architektur für die Bereitstellung von ML-Prognosen über eine REST-Schnittstelle, wurde entwickelt und öffentlich freigegeben. Eine Temporal-Fusion-Transformer-Architektur wurde vom DLR eingesetzt, um die Anwendbarkeit der Methode für Preisprognosen zu demonstrieren. Entsprechende Ergebnisse wurden in Energy Reports veröffentlicht. Dies ermöglichte eine Bewertung der Rentabilität von Flexibilitätsoptionen mit AMIRIS. Die entsprechende Veröffentlichung wurde in Advances in Applied Energy veröffentlicht. Abbildung 2 zeigt den in FEAT entwickelten Arbeitsablauf, um ML-basierte Strompreisprognosen in AMIRIS zu ermöglichen.

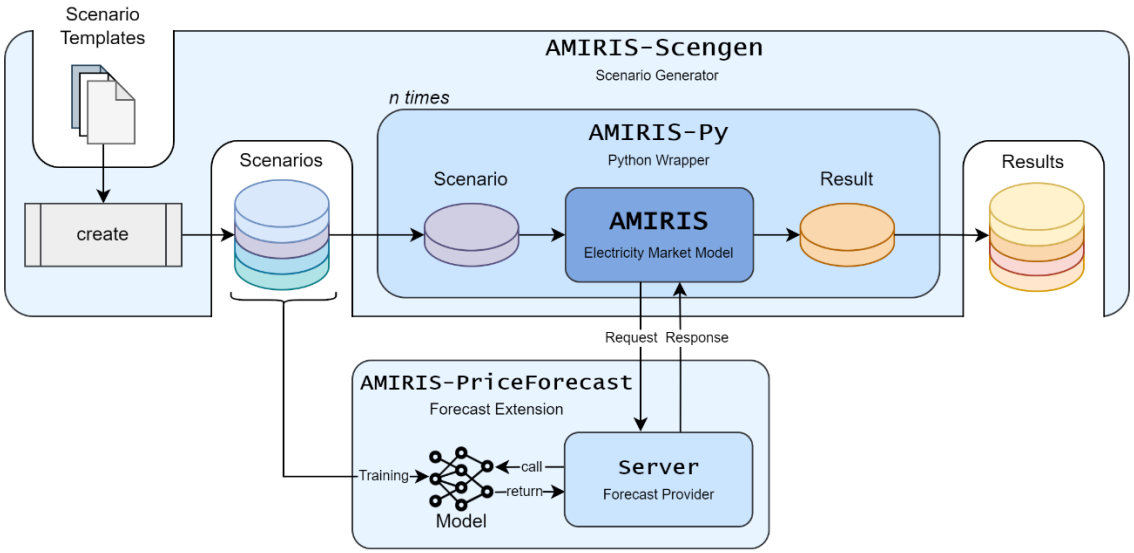


***Abbildung 2**: Arbeitsablauf der in FEAT entwickelten Tools, um ML-basierte Strompreisprognosen in AMIRIS zu ermöglichen.*

Transfer

Die Projektergebnisse wurden der interessierten Öffentlichkeit im Rahmen eines Symposiums vorgestellt, das sich an Akteure aus Wissenschaft und Industrie richtete. Das eintägige Symposium fand am 1. Dezember 2025 in Frankfurt statt und zog 32 externe Teilnehmer an. Es umfasste nicht nur Folien zu den Projektergebnissen, sondern auch zwei praktische Sitzungen, die es den Teilnehmern ermöglichten, die offen veröffentlichten Projektwerkzeuge selbst anzuwenden. Alle im Projekt vom DLR erarbeiteten Ergebnisse könne auf Zenodo eingesehen werden. Ebenso sind alle erarbeiteten Softwaremodule auf GitLab frei verfügbar.

Kontakt

Dr. Christoph Schimeczek
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Christoph.Schimeczek@dlr.de

Dr. Felix Nitsch
BOKU University
felix.nitsch@boku.ac.at