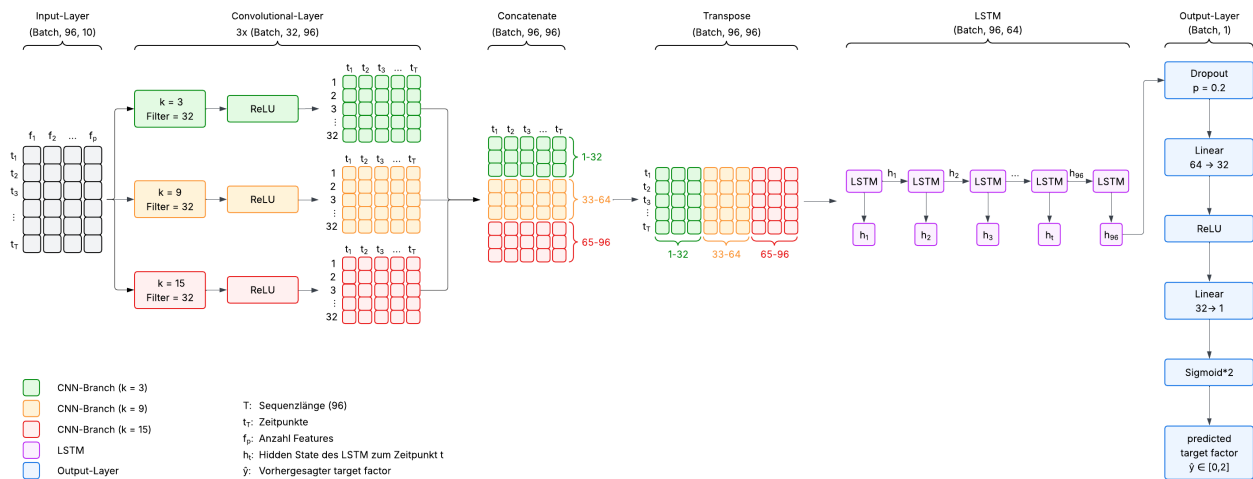


PV4Balancing: Backcasting und Forecasting

Für die Teilnahme von Photovoltaikanlagen am Schweizer Regelenenergiemarkt werden ein belastbarer Ersatzlastgang und zuverlässige Leistungsprognosen benötigt. Diese Arbeit entwickelt übertragbare Machine-Learning-Modelle für Backcasting und Forecasting und bewertet sie im Pilotprojekt PV4Balancing.



Architektur des hybriden CNN-LSTM-Modells für das Backcasting

Ausgangslage und Ziel

Swissgrid untersucht mit PV4Balancing die Teilnahme von Photovoltaikanlagen am Markt für Systemdienstleistungen. Die enalpin AG möchte zusätzliche Anlagen direkt über den Energy Hive anbinden und vermarkten. Dafür sind ein Ersatzlastgang mit einem Pool-nRMSE unter 10 % und Prognosen der verfügbaren Leistung erforderlich.

Ziel war die Entwicklung übertragbarer Modelle für beide Aufgaben. Untersucht wurden unbekannte Anlagen, kurze anlagenspezifische Datenhistorien und die Eignung für den praktischen Betrieb.

Methodik

Beim Backcasting korrigiert ein hybrides CNN-LSTM-Modell die physikalisch mit pvlib simulierte Leistung durch einen erlernten Korrekturfaktor. Für das Forecasting erzeugt ein Temporal Fusion Transformer quantilbasierte Leistungsprognosen mit einem Horizont von 48 h.

Die Modelle wurden mit Messdaten externer PV-Anlagen trainiert und anschliessend auf bisher unbekannte enalpin-Anlagen übertragen. Verglichen wurden der direkte Zero-Shot-Einsatz, Finetuning und vollständig anlagenspezifische Modelle. Bewertet wurden Prognosefehler, Poolwirkung sowie Risiko und Ertrag der Prognosequantile.

Ergebnisse und Einordnung

Das Zero-Shot-Backcasting reduzierte den mittleren nRMSE von 15.00 % auf 11.44 % und verbesserte 27 von 29 Anlagen. Beim Forecasting sank der mittlere nRMSE im Juni 2026 von 14.42 % auf 11.93 %, zudem wurden 16 von 17 Anlagen verbessert.

Finetuning zeigte beim Backcasting ab etwa 90 Tagen einen deutlichen Nutzen, beim Forecasting wurde das beste Ergebnis mit 30 Tagen erreicht. Mit 365 Tagen Finetuning unterschritt der leistungsgewichtete Pool-nRMSE die Swissgrid Präqualifikationsgrenze. Empfohlen wird eine stufenweise Einführung mit Zero-Shot-Modell, Finetuning und kontinuierlichem Monitoring. Die Forecasting-Ergebnisse sind wegen des kurzen Auswertungszeitraums vorläufig.

Quantilprognosen

Quantilprognosen bilden die Unsicherheit der zukünftigen PV-Leistung ab. Das q_{50} entspricht der Medianprognose, während niedrigere Quantile konservativere und höhere Quantile höhere Leistungsprognosen darstellen. Die Wahl des Quantils ermöglicht damit eine gezielte Abwägung zwischen Überprognoserisiko und potenzieller Vorhaltevergütung.

Arbeitsgruppe:

Ralf Pianzola

Auftraggeber:

enalpin AG, Visp und Acceliox AG, Neuenegg

Betreuer:

Prof. Dr. Matthias Resch