



KI-basiertes Forecasting zur Vorhersage zukünftiger Engpässe im Verteilnetz

Dr. Felix Lossin | felix.lossin@enerlytica.com | +49 89 210 938 33 | +41 44 515 61 51

© Enerlytica 2025

Spin-off

ETH zürich



swiss made software

BESCHREIBUNG DES ANWENDUNGSFALLS

Frühzeitige Erkennung zukünftiger Abregelungen erleichtern interne Prozessabläufe

▶ **Verteilnetzbetreiber zahlen mitunter hohen Strafen, wenn die Einspeisung in die übergeordnete Netzebene gewisse Grenzwerte überschreitet**

▶ **Aus diesem Grund werden Windkraft- und PV-Anlagen automatisiert abgeregelt, sobald definierte Schwellwerte der Einspeisung überschritten werden**

▶ **Das erneute Hochregeln der Anlagen erfolgt manuell durch ausgewählte Mitarbeitende, welche dies oftmals im Bereitschaftsdienst von zu Hause aus erledigen**

▶ **Zur Optimierung des Netzmanagements und zur Entwicklung einer Basis für die Einführung automatisierter Prozesse ist eine verlässliche Prognose erforderlich**

MODELLANSATZ

Modellierung der Einspeisung in die übergeordnete Netzebene

Vorhersage:

Wie hoch ist die maximale
Einspeisung (in MW) innerhalb
der nächsten x Stunden?

Modellierung mittels eines Machine-Learning-Modells

- Umsetzung als Gradient Boosting Machine (Ensemble-Learning-Ansatz, bei dem mehrere Modelle seriell kombiniert werden)
- Modellierung erlaubt die Nutzung aller Leistungsdaten

Modellierung der Einspeisung in minütlicher Auflösung der Leistung (MW)

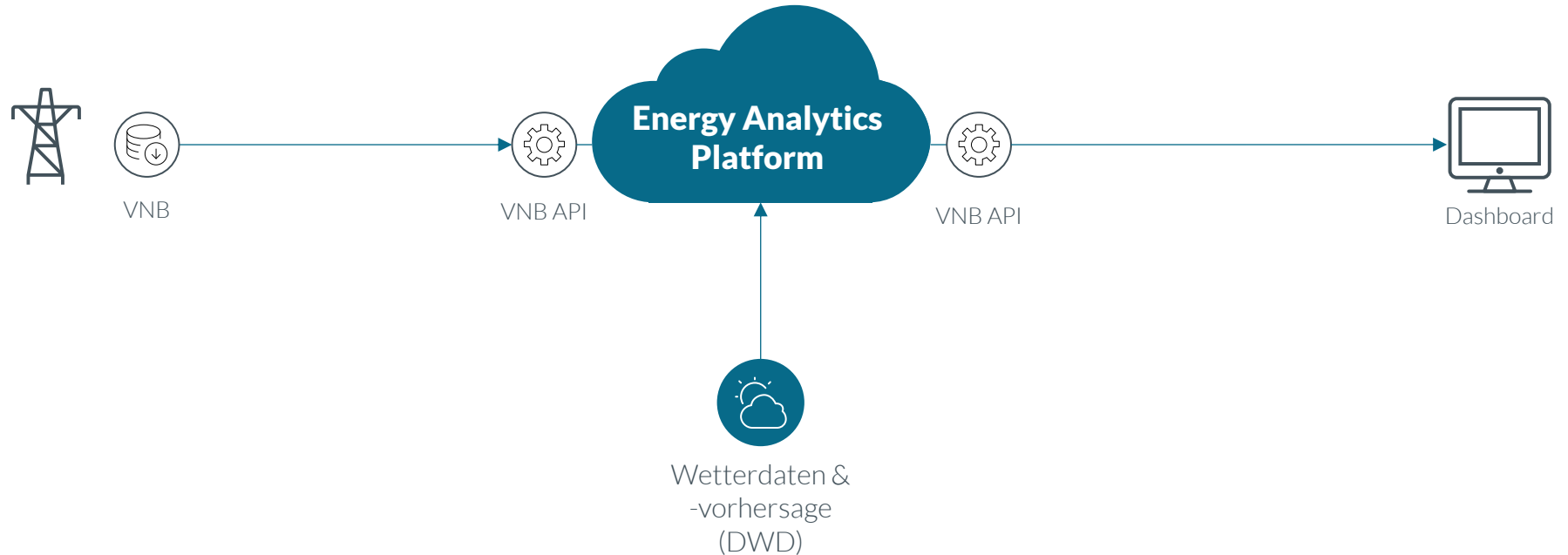
- Werte sind >0 , wenn eine Einspeisung stattgefunden hat
- Werte sind $=0$, wenn keine Einspeisung oder ein Bezug stattgefunden hat (dieser Ansatz hat die Güte des Modells weiter verbessert)

Alternativer Ansatz der separaten Modellierung von Wind- und PV-Produktion

- Produktionsdaten zeigen eine höhere Varianz und führen zu schlechter Modellgüte
- Auch sind viele Elemente im Netz nicht modellierbar, da diese nicht gemessen werden (Verbrauch, Eigenverbrauch, Einspeisung privater PV-Anlagen, etc.)

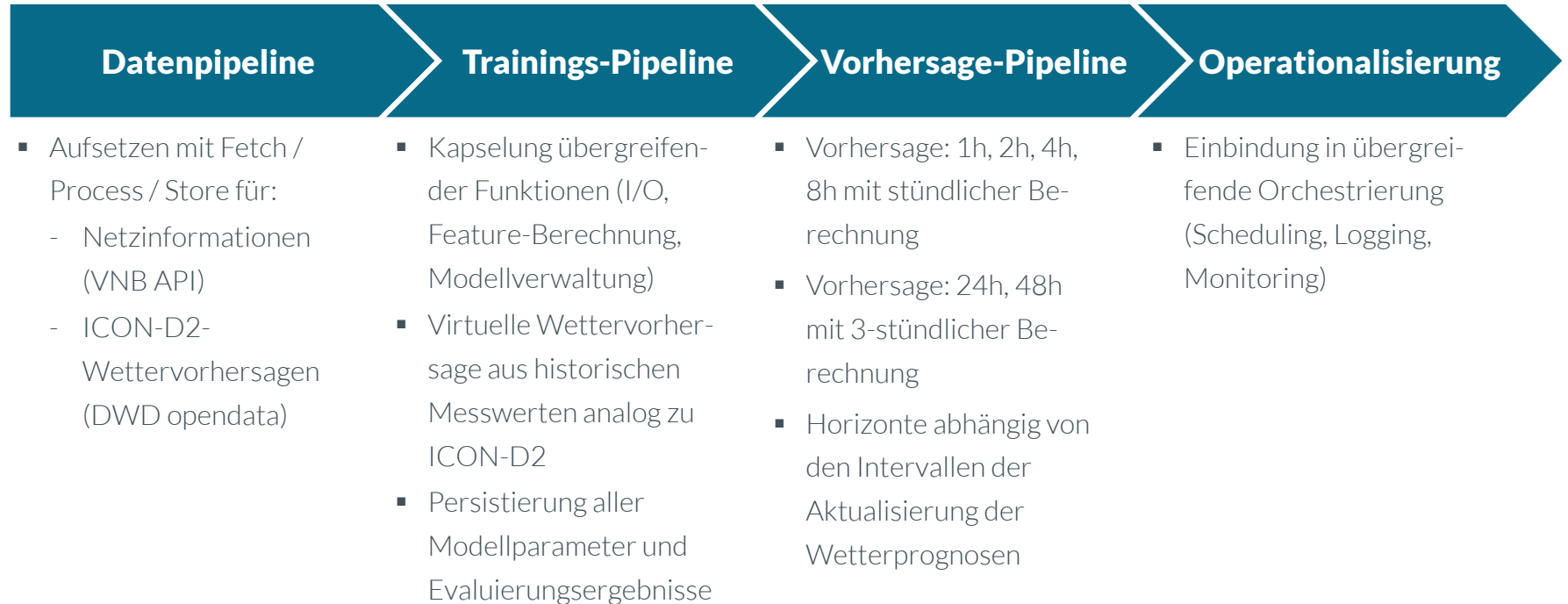
LÖSUNGSSETUP

Schematische Darstellung des Datenflusses unter Einbezug von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes



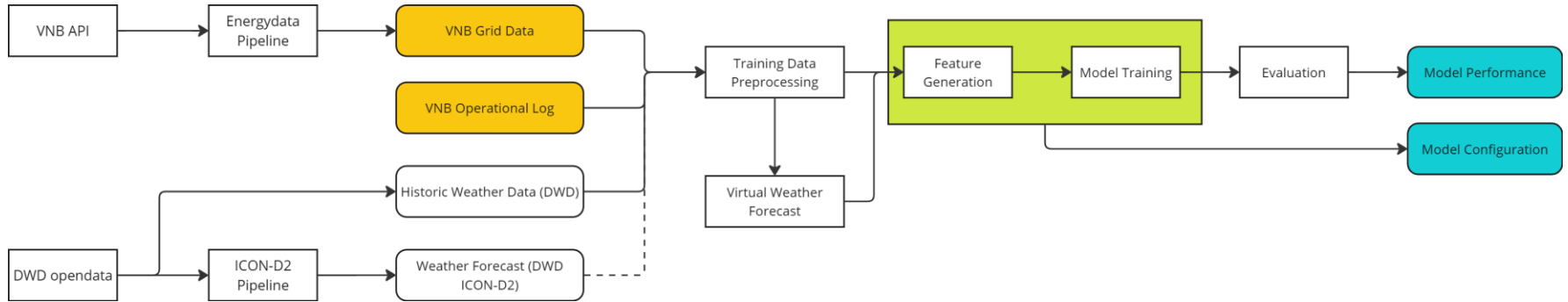
SCHRITTE DER IMPLEMENTIERUNG

Vom Aufsetzen der Datenpipelines bis zur Operationalisierung



ENERGY ANALYTICS PLATFORM

Modell Training-Pipeline

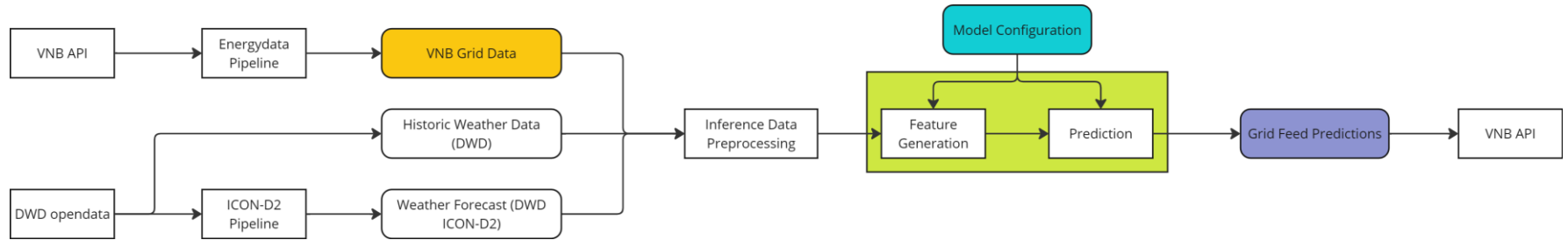


Automatisierte Trigger für neues Training

- Spätestens nach 1 Monat seit dem letzten Training (Start der Trainings-Pipeline)
- Vorher, falls eine wöchentliche Überprüfung der Güte (Evaluierungs-Pipeline) ein vorzeitiges Training initiiert

ENERGY ANALYTICS PLATFORM

Modell Vorhersage-Pipeline



ENERGY ANALYTICS PLATFORM

Erläuterung zur ICON-D2-Pipeline mittels Prefect Data Pipeline Orchestration

Vorgehen

- Herunterladen von ICON-D2-Rasterdaten des DWD für die gesamte DACH-Region (verschiedene Feature für alle Vorhersagehorizonte bis 48h – siehe rechte Seite)
- Neue Vorhersagedaten alle 3h
- Extraktion und Speicherung von VNB-Messdaten
- Extraktion spezifischer Koordinaten (d. h. für die relevanten Koordinaten des Netzgebiets)

Feature

- Temperature at 2m above ground (K)
- Zonal wind at 10m above ground (ms-1)
- Meridional wind at 10m above ground (ms-1)
- Maximum wind at 10m above ground (ms-1)
- Total cloud cover (%)
- High, low & mid level clouds (%)
- Total precipitation
- Mean sea level pressure (Pa)
- Snow-cover fraction
- Surface net solar radiation mean
- Surface down solar direct radiation mean

MODELLERGEBNISSE

Sehr gute Vorhersagegüte mit mittleren, absoluten %-Fehlern von 0.8% bis 2.0%, je nach Zeithorizont

Zeithorizont	Datenpunkte	Ø Fehler (MW)	Ø abs. Fehler (MW)	MAPE*
1h	509213	-0.0106	0.4622	0.0202
2h	506053	-0.0137	0.3684	0.0159
4h	499873	-0.0119	0.3182	0.0136
12h	476244	0.0165	0.2877	0.0122
24h	445652	0.0149	0.2199	0.0093
48h	397863	-0.0023	0.1899	0.0079

Erläuterung für den Zeithorizont 48h

Bei einem tatsächlichen Wert von im Mittel rund 24 MW lag die Vorhersage im Mittel nur ca. 2.3 kW daneben bzw. im Falle absoluter Fehler 189.9 kW

* MAPE = Mean Average Percentage Error

ZUSAMMENFASSUNG

Das Modell liefert sehr gute Ergebnisse, bedarf aber des kontinuierlichen Trainings

▶ **Verteilnetzbetreiber benötigen zunehmend verlässliche Prognosen im Netzmanagement**

▶ **Enerlyticas Prognose-Modell ist unter anderem bei der Kurzfristprognose von Einspeisungen im Einsatz**

▶ **Das Modell besteht aus verschiedenen Pipelines und umfasst ein kontinuierliches Training, um die hohe Güte auch langfristig sicherzustellen**

▶ **Mit einem mittleren, absoluten %-Fehler von 0.8% bis 2.0% liefert das Modell eine sehr hohe Modellgüte**

enerlytica

Enerlytica Schweiz

BEN Energy AG
Badenerstrasse 60
8004 Zürich
+41 44 515 61 50

Enerlytica Deutschland

BEN Energy GmbH
Pippinger Straße 51
81245 München
+49 89 380 304 80

www.enerlytica.com