

Vorhersagesystem PROVIS für die Wasserkraftgewinnung

Haberl, Schübl
Aachen
15. Juni 2023



Mit Wasserkraft führend im Heimmarkt Österreich und Deutschland



1 inkl. Bezugsrechte; ohne nicht-vollkonsolidierte Anlagen (Ashta 1&2 sowie Nussdorf)
Bild: VERBUND-Kraftwerk Gars am Inn

Führendes Energieunternehmen in Österreich

Einer der größten Erzeuger von Strom aus Wasserkraft in Bayern

- 130 Wasserkraftwerke in Österreich und Bayern
- Installierte Leistung: über 8.300 MW
- Erzeugung aus Wasserkraft 2022: 26.754 GWh

Nachhaltige Energiezukunft

96 % Erzeugung aus erneuerbaren Energien



Wasserkraft¹

>92 % der Stromerzeugung
130 Wasserkraftwerke
26.754 GWh Strom



Wärmekraft

>4 % der Stromerzeugung
2 Wärmekraftwerke
1.264 GWh Strom



Windkraft

>3 % der Stromerzeugung
163 Windkraftanlagen
954 GWh Strom

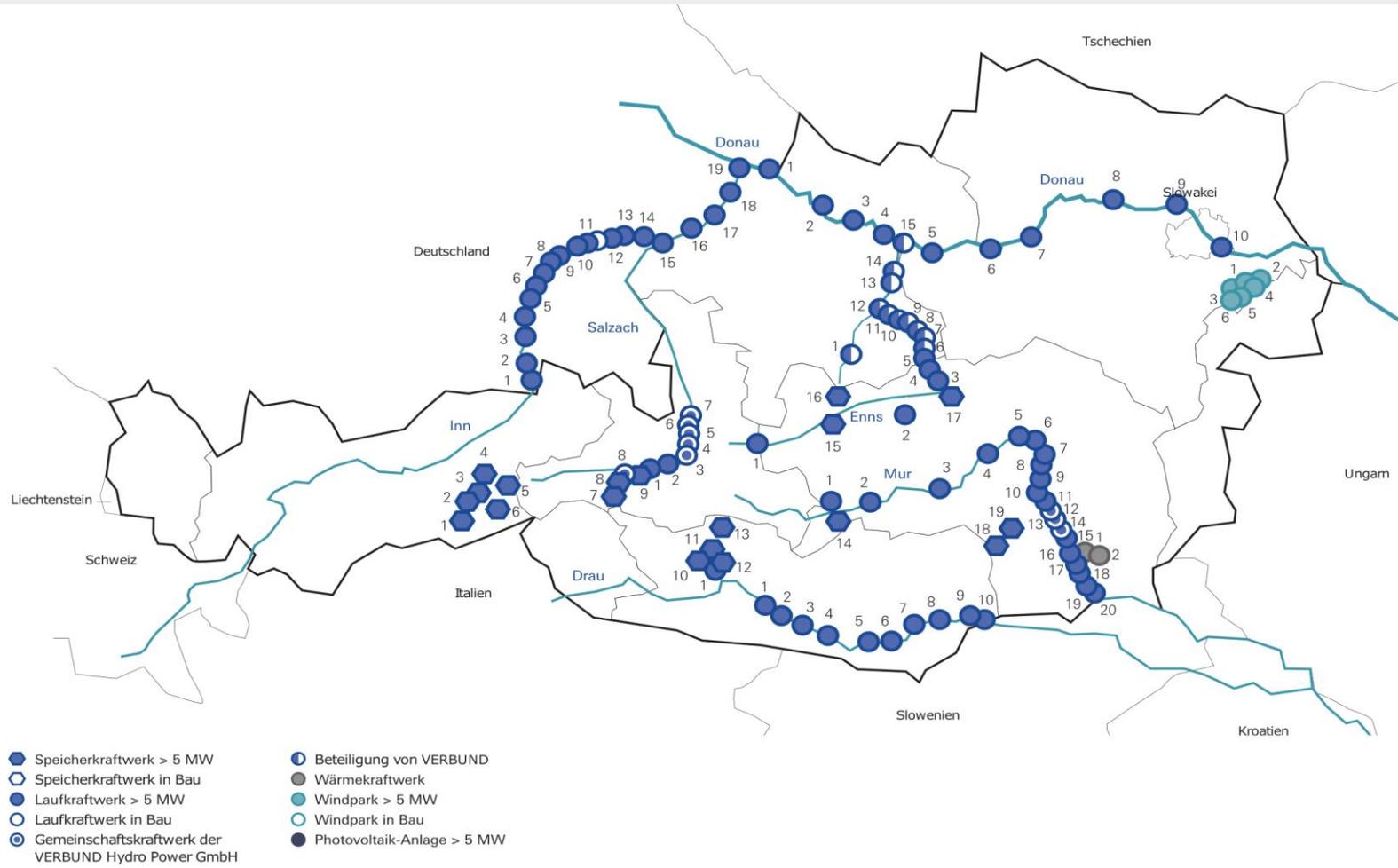


Sonnenkraft²

<1 % der Stromerzeugung
44 Photovoltaikparks
70 GWh Strom



VERBUND Kraftwerke in Österreich und Deutschland



Wasserkraft: Ausbau und Effizienzsteigerungen in Österreich und Deutschland

Pumpspeicher: 650 Mio. € Investitionen in die Energiezukunft

Limberg III - Kavernenkraftwerk¹⁾

Fertigstellung für 2025 geplant

Reißeck II+ - Kavernenkraftwerk

Fertigstellung für 2024 geplant

Neubauprojekte und Revitalisierungen

Inbetriebnahme Jettenbach-Töging

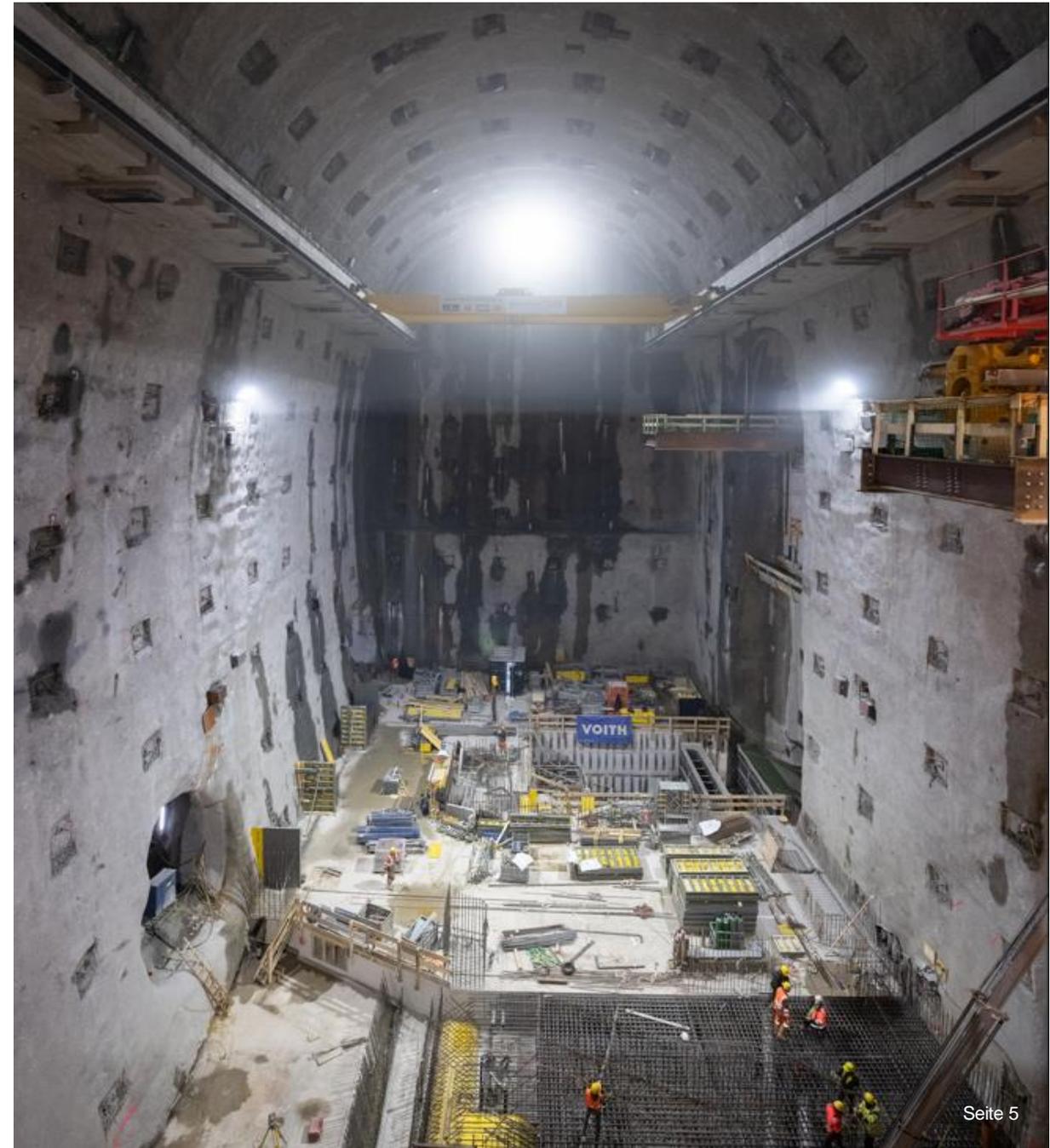
Bau des **Murkraftwerks Gratkorn**, gemeinsam mit Energie Steiermark

Kontinuierliche Revitalisierung bestehender Kraftwerke

- Kaprun Oberstufe, Malta und Gerlos
- Ering-Frauenstein, Ottensheim-Wilhering und Ybbs Persenbeug



1) 25m breit, 63 m lang, 43 m hoch: die Kraftwerkskaveme Limberg III



Was machen wir mit den Zuflussprognosen?

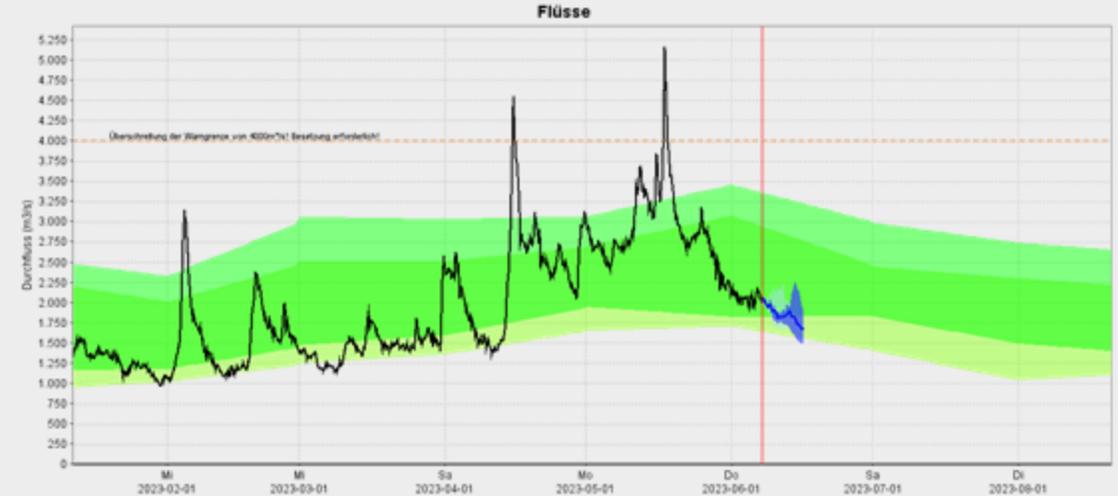
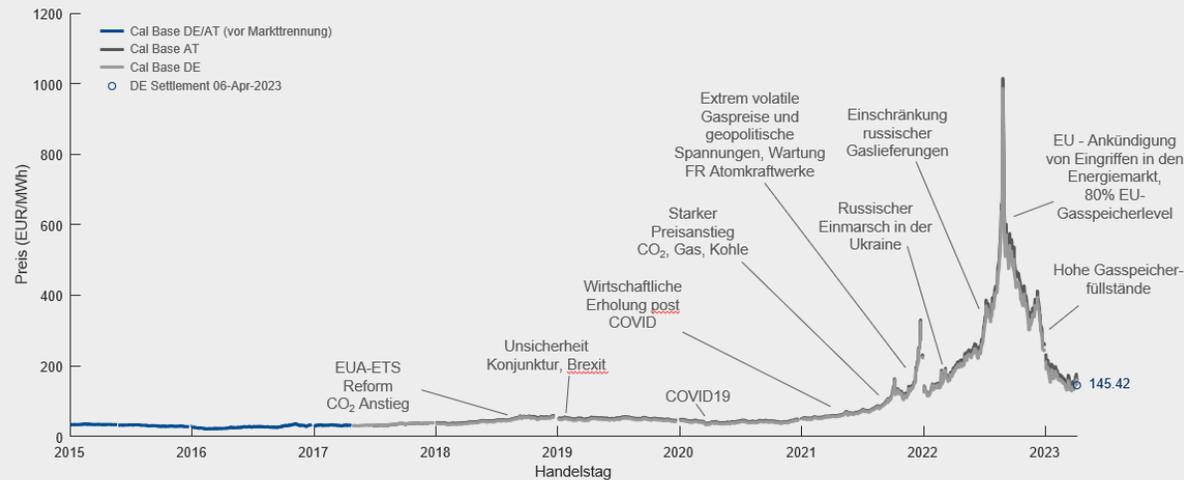
Optimaler Ertrag aus Wasserkraft

Strompreis

Wasserverfügbarkeit

- Datengrundlage für die energiewirtschaftlichen Optimierungsmodelle
- Basis für die Day-Ahead Leistungsprognose der Laufkraftwerke.

- Darstellung des Settlementpreises des DE/AT BASE Frontjahresprodukts (Lieferung im jeweiligen Folgejahr).
- Am 26. August 2022 wurde für das DE-Jahresbase 2023 der bisherige Höchstpreis von 985 EUR/MWh erzielt.



Was machen wir mit den Zuflussprognosen?

- Grundlage für kurzfristige Bewirtschaftungs-Entscheidungen in extremen Situationen.



Eine ungünstige Ausgangslage für intensive Niederschläge in flüssiger Form....

Was machen wir mit den Zuflussprognosen?

- Hochwasser-Management (24/7):
 - Besetzung KW-Bereitschaft an der Donau (ab 4000 m³/s),
 - Vorabsenkung Drau (rechtliche Verpflichtung auf Basis der Wehrbetriebsordnung)
 - VHP – Lagezentrum Wasserkraft / Krisenstab



Was machen wir mit den Zuflussprognosen?

- Planungsgrundlage für Stauraumpülung
- Fragestellung: Mindestdurchfluss für eine bestimmte Zeit



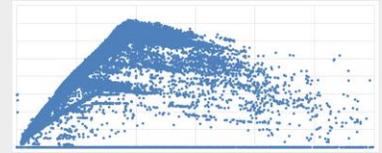
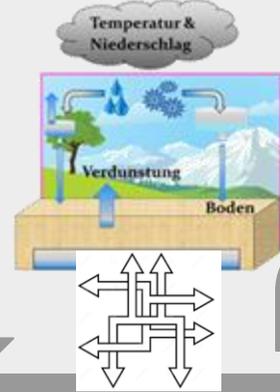
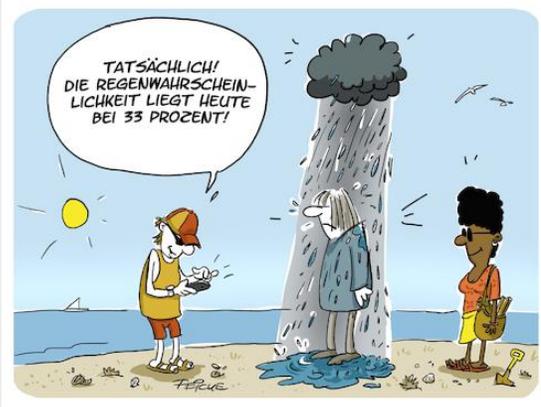
Was machen wir mit den Zuflussprognosen?

- Informationsgrundlage für Bautätigkeit und Wartungsarbeiten.

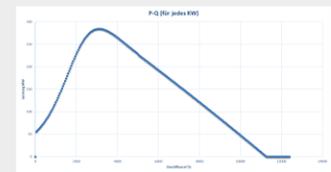


Der Weg zur Leistungsprognose

Wetterprognose



Durchfluss-Leistung Funktion

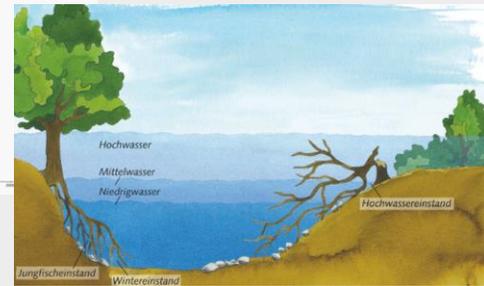
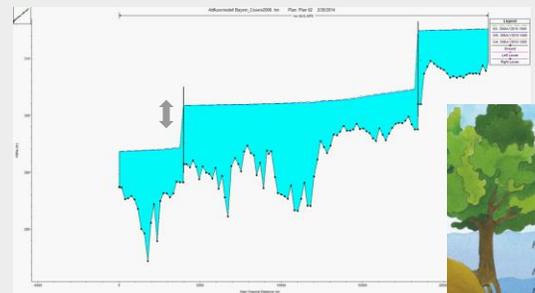


Niederschlags-Abflussmodell

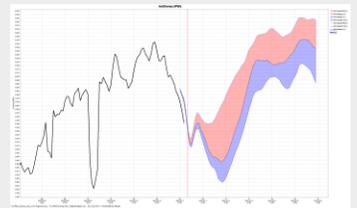
Hydrologischer Zustand:
Schneelage
Bodenfeuchte
Vegetation
Abflusssituation



Hydrodynamik: Fallhöhe, Durchfluss



LEISTUNG



Unsicherheiten im Praxis-Alltag

Intuitives Erkennen von unsicheren Prognosen

Auswahlhilfe für „die Eine“ Prognose

Zeitliche Genese der Prognosen einschätzen

Aktuelle Realisierung:

- Multi-Meteo-Input
- Ensemble
- Deterministischer Lauf
- Prognosemonitoring (Peak-Finder)



Meteorologischer Input PROVIS (Niederschlag & Temperatur)

▪ INCA Analyse / Prognose

- 1 x 1 km im Stunden-Raster
- 24 x täglich neue Prognosen
- 72h-Prognosehorizont
- Abdeckung: Österreich
- **INCA216:** für die ersten 6h Stunden (INCA) gehen aktuelle Radar- und Stationsdaten ein, danach Übergang zu einer Kombination aus AROME/ECMWF, danach ECMWF (216h-Prognosehorizont, 2x täglich neue Prognosen).

▪ AROME nur Prognose

- 2.5 x 2.5 km im Stunden Raster
- 48h-Prognosehorizont
- Explizite physikalische Modellierung von Gewittern
- 8x täglich neue Prognosen
- Abdeckung: Mitteleuropa

▪ ECMWF nur Prognose

- 10 x 14 km im Stunden-Raster
- 4x täglich neue Prognose
- 72h-Prognosehorizont
- Abdeckung: Mitteleuropa

▪ GFS nur Prognose (Amerikanisches Wettermodell)

- 20 x 25 km im 3 Stunden-Raster
- 10 Tage Prognosehorizont
- 4x täglich neue Prognosen
- Abdeckung: Weltweit

▪ RACE Analyse / Prognose

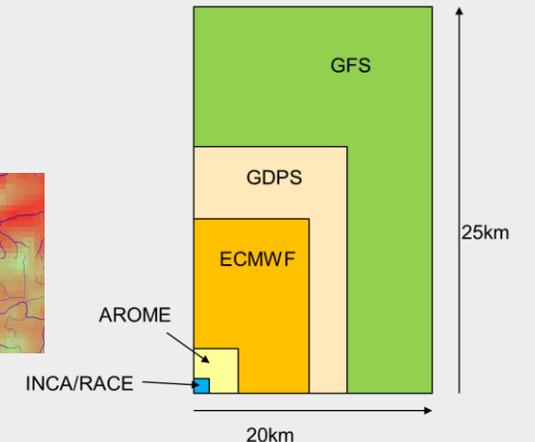
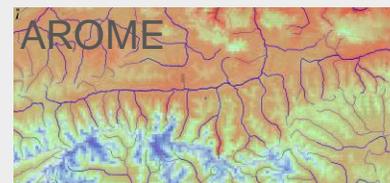
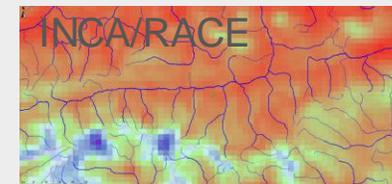
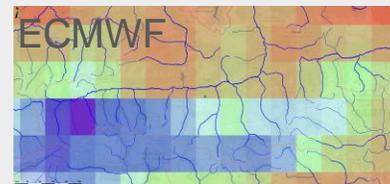
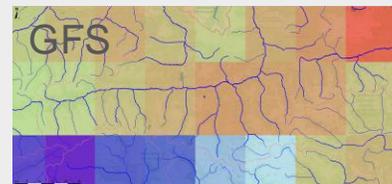
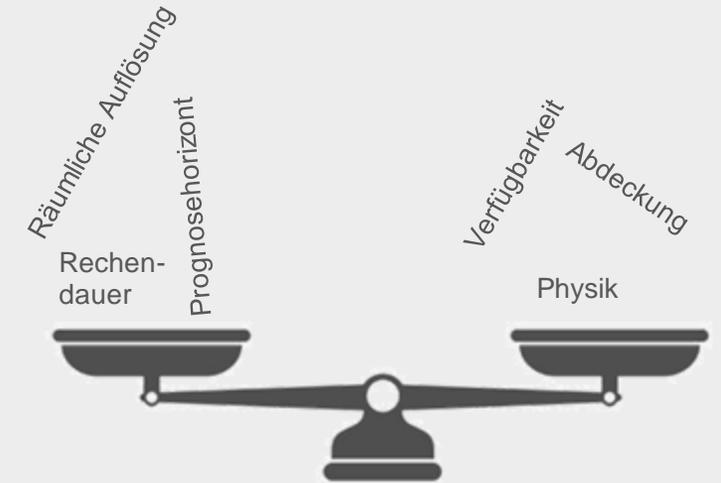
- 1 x 1 km im Stunden-Raster
- 4 x täglich neue Prognosen
- 66h-Prognosehorizont
- Abdeckung: Österreich

▪ GDPS nur Prognose (Kanadisches Wettermodell)

- 12 x 15 km im 3 Stunden-Raster
- 10 Tage Prognosehorizont
- 2x täglich neue Prognosen
- Abdeckung: Weltweit

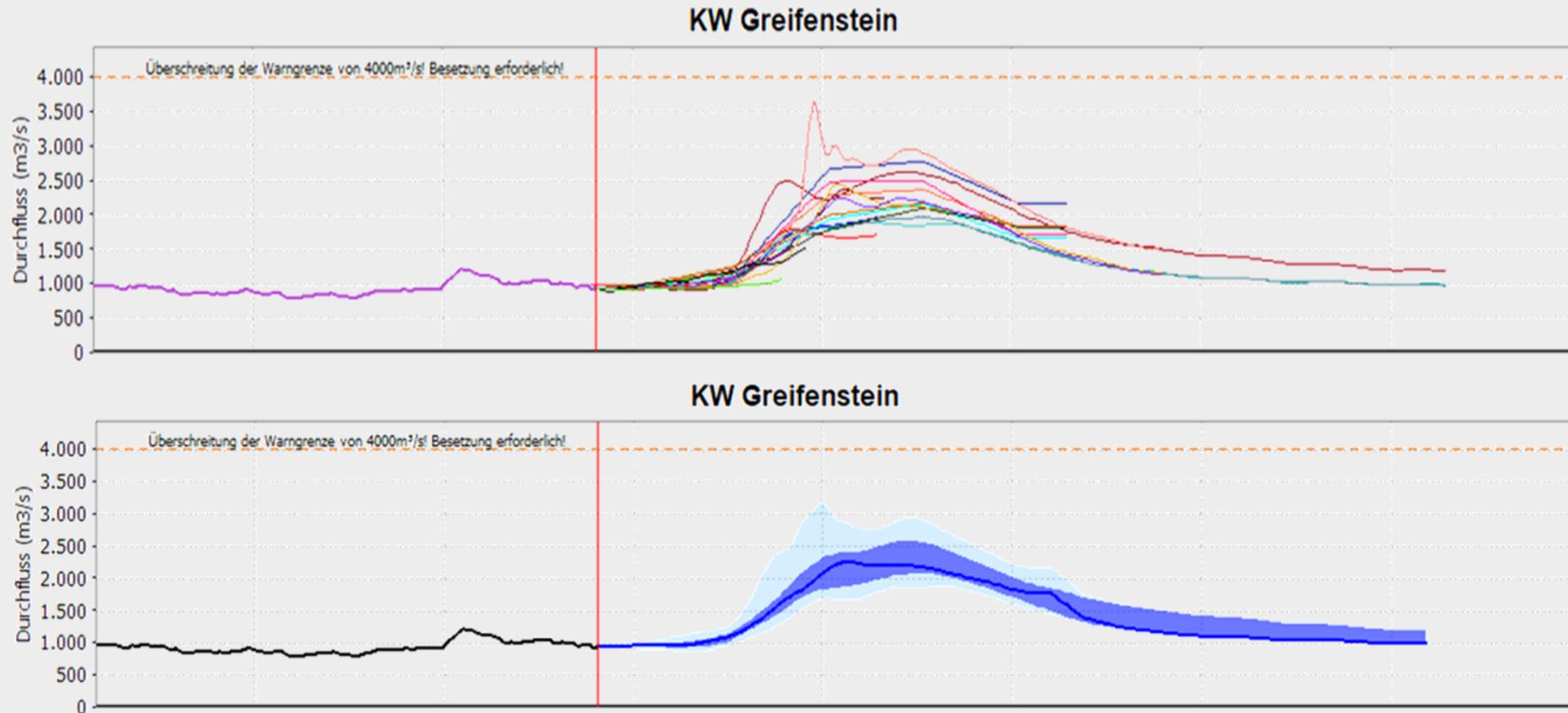
▪ INCA Ensembles nur Prognose (Niederschlag)

- 10 x 10km im Stunden Raster
- 10 Tage Prognosehorizont
- 4 x täglich
- 16 + 1 Ensemble Members
- Abdeckung: Österreich



MEDIAN-Prognose

Aus allen Modellen & Modellinputvarianten wird ein Input-Modell-Ensemble gebildet...



- Median bleibt bei Änderung einzelner Prognosen stabiler.
- Unsicherheitsbereich lässt sich für Anwender gut darstellen.
- „Ensemble-Member“ können manuell angepasst werden.

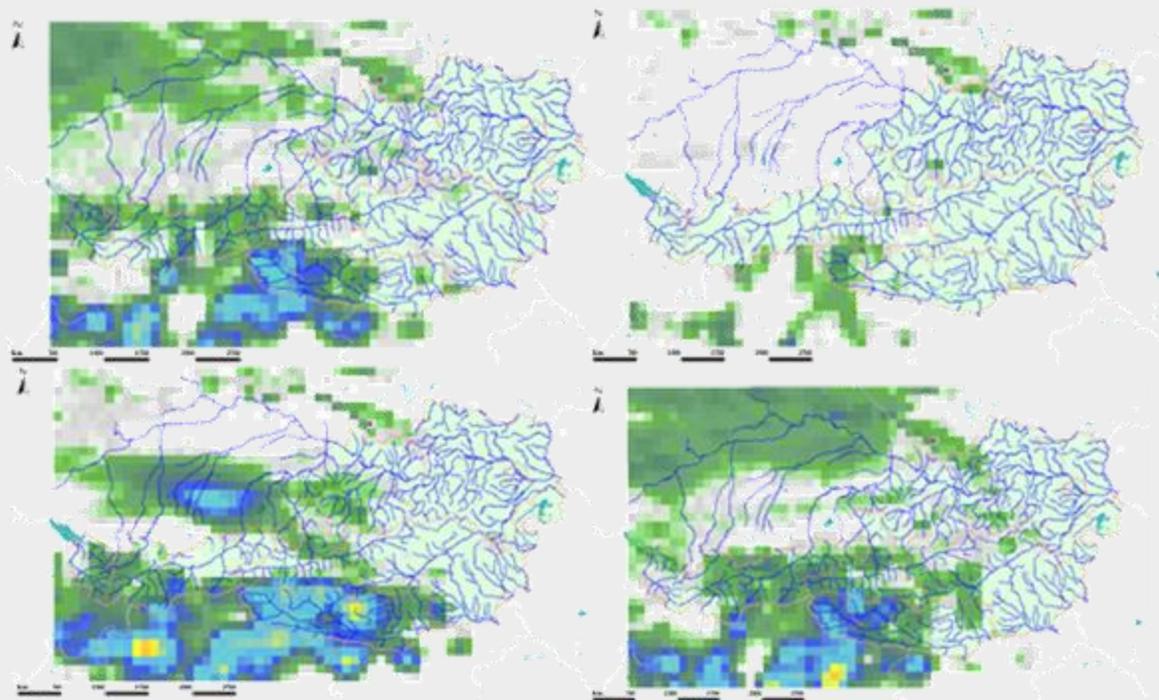
Unsicherheit innerhalb der INCA-Prognose --> Ensemble

ZAMG INCA-Ensemble 16+1

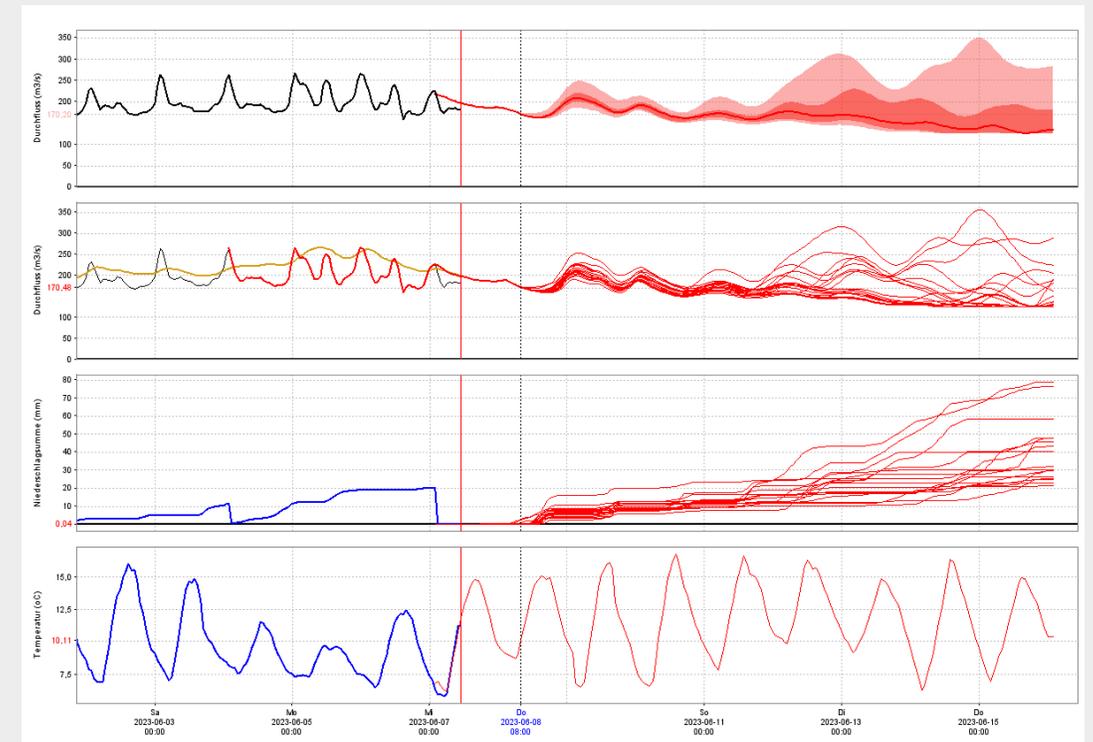
- 10x10km im Stunden-Raster
- stündlich neue Prognosen für die kommenden 9 Tage
- 16 Ensembles +1 deterministischer Lauf
- Abdeckung: Österreich

Ensemble-Idee

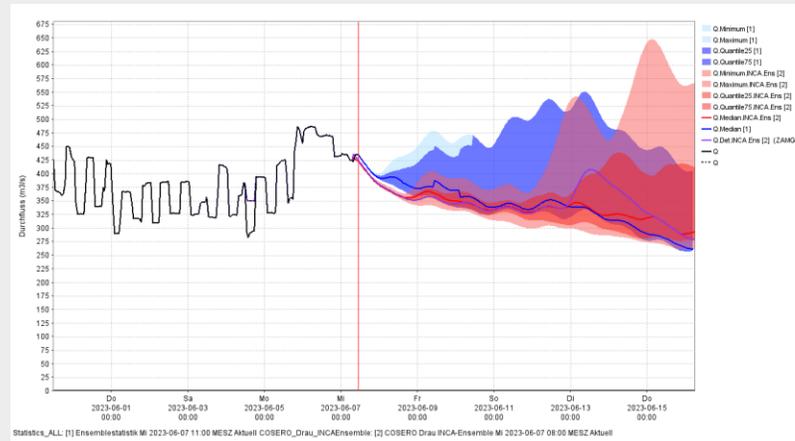
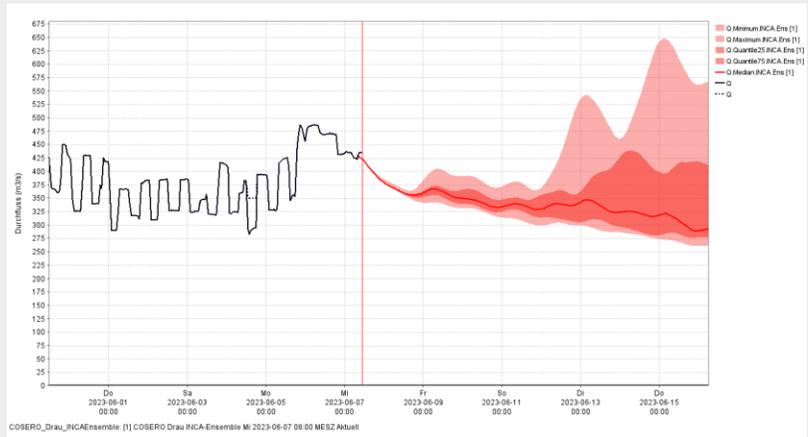
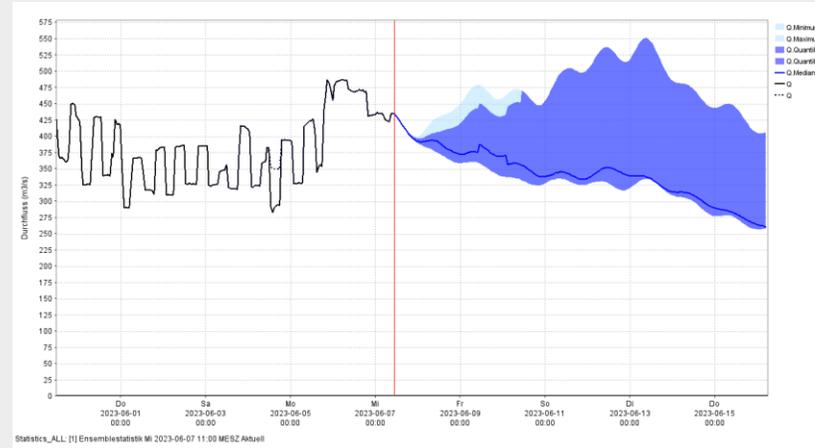
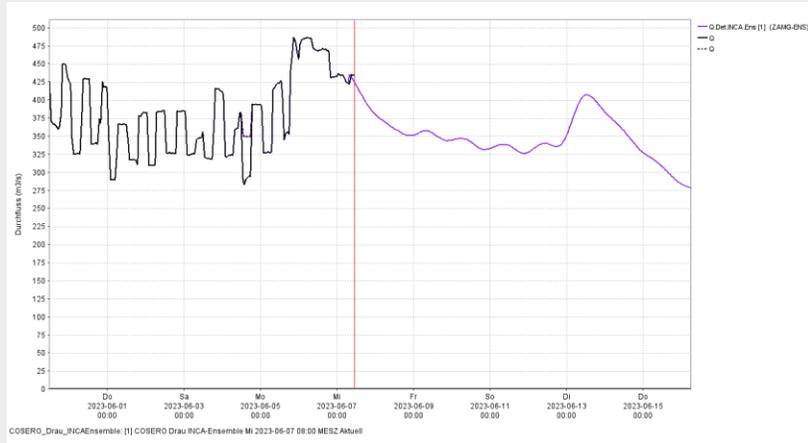
- Meteorologische Start-Randbedingung wird realistisch verändert
- Wie entwickelt sich die meteorologische Lage durch diese Änderung...



Ensembleprognose in PROVIS



Experteneinschätzung mittels Vergleich

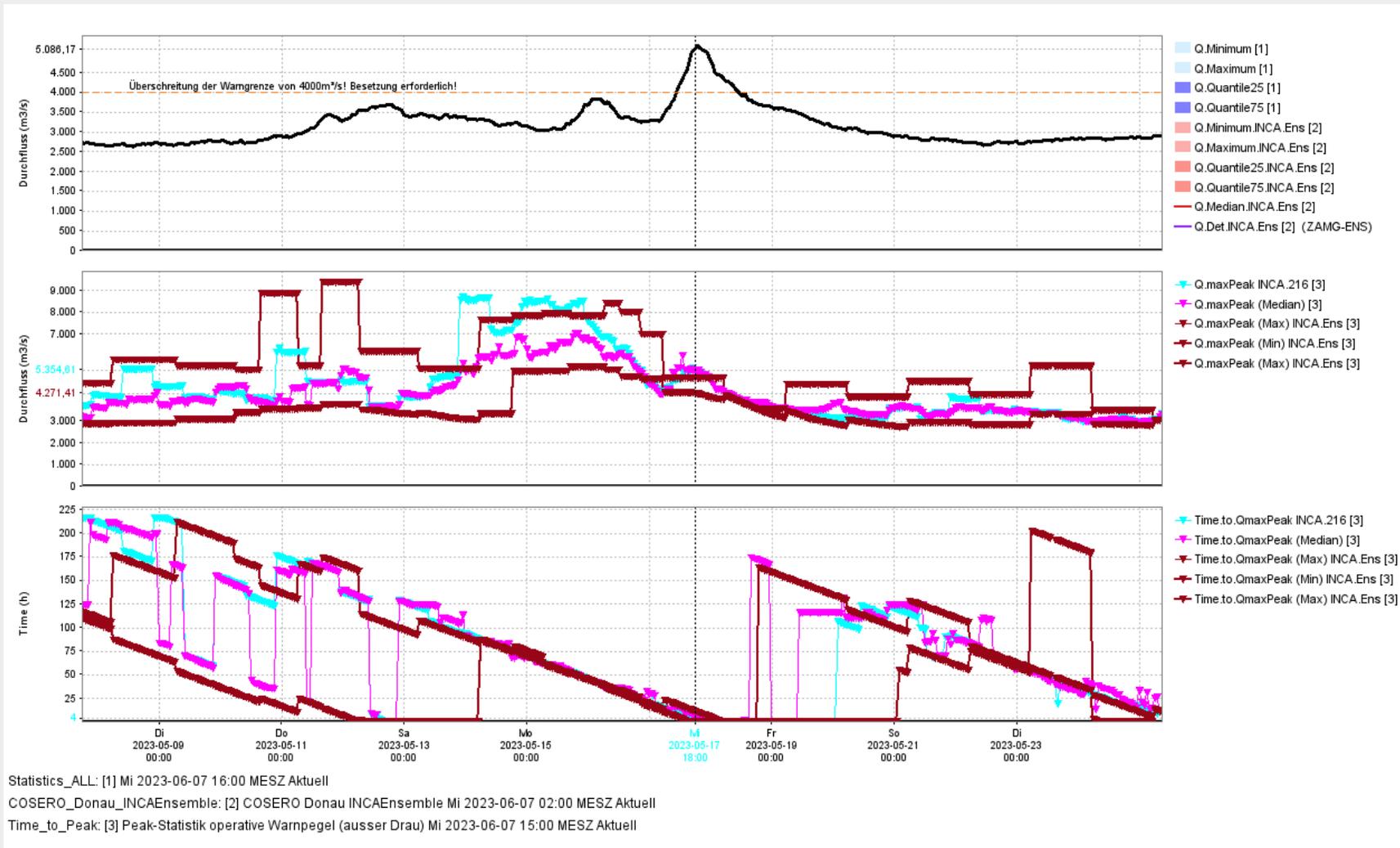


Bereiche mit großen Unsicherheiten können schnell lokalisiert werden.

Einordnung Lage des deterministischen Laufs.

Lage Median innerhalb der Modellgruppe.

Genese der Peaks – laufendes Monitoring



Leistungsprognose mit KI-Modell

Physikalischer Ansatz mit allen präsentierten Unsicherheiten für manche schnellen Entscheidungen zu komplex und träge.

Machine Learning Modelle auf Basis von Zeitreihendaten der Oberlieger (hauptsächlich Kraftwerksleistung), Anbindung über General Adapter

- Random Forest
- Gradient Boosting
- (Deep) Neural Networks

Clustering
Methoden

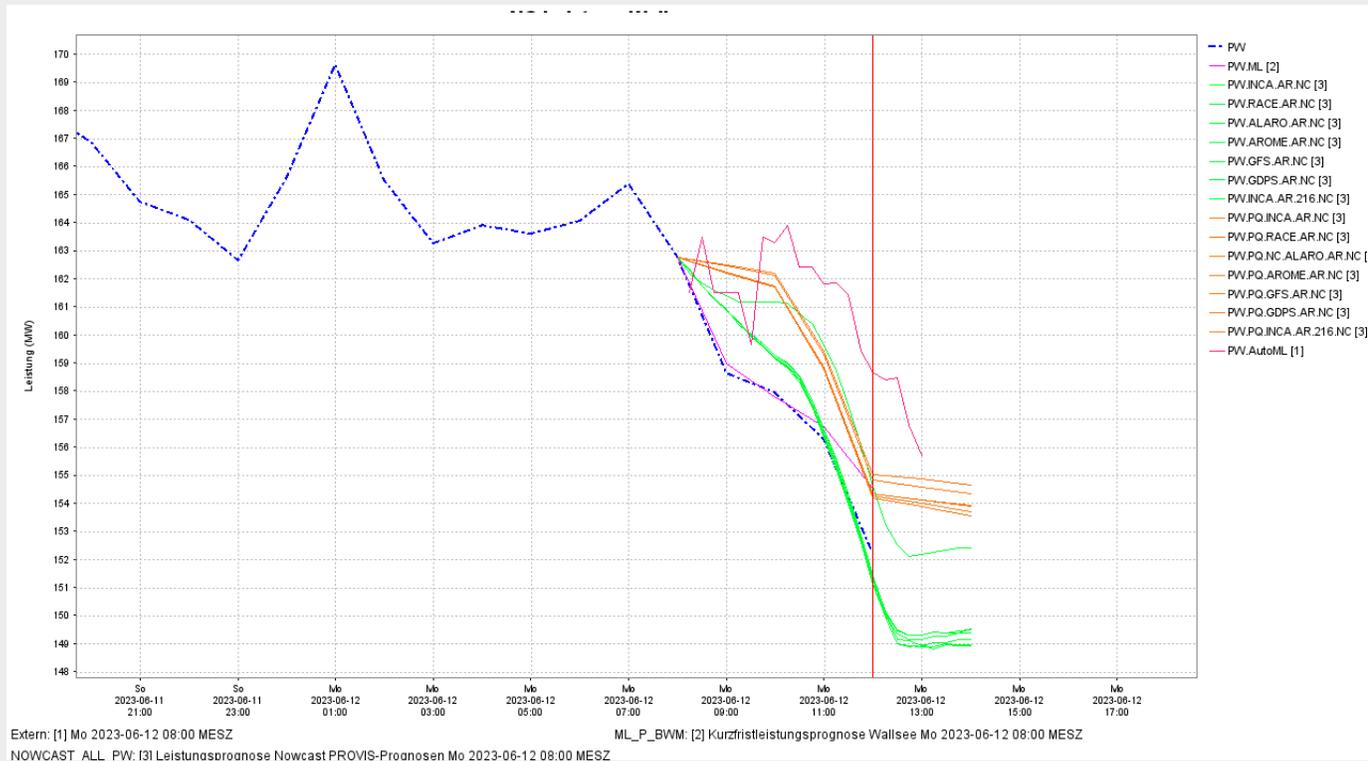
Vor-/Nachteile:

- Kurze Rechenzeit
- Maximaler Prognosehorizont 6h
- Black-Box
- Aufwand für Datenaufbereitung bei Modellerstellung nicht unterschätzen!
- Große Bandbreite an KI-Modellen mit völlig unterschiedlicher Ergebnisqualität

Mittlerer Absoluter Fehler [MW]

Gesamt	4 Zeitbereiche			
Anbieter 1	1	2	3	4
Baseline	2.71	3.63	4.51	5.31
HI				
AutoML GB	2.22			3.06
Anbieter 2				
Random Forest	1.96	2.36	2.73	2.98
XGBoost	1.87	2.22	2.61	2.93
stepLM	2.19	2.94	3.57	4.02
Anbieter 3				
Random Forest	2.94	3.84		5.59
LSTM stateful	2.62	3.04		3.71
LSTM stateless	2.62	3.38		3.79

Prognose der Laufwasserkraftwerkserzeugung: KI-Kurzfristprognose



Erfahrungen:

Methoden des Modell-Setup für Außenstehende sehr komplex und wenig nachvollziehbar.

Die Setup-Wahl hat jedoch riesigen Einfluss auf die Ergebnisse.

Unabhängiges Validieren sehr wichtig.

Klare Gütemaße definieren!

Erforderliche Güte / Genauigkeit der Prognose vorab genau überlegen.

Wo wir uns auch noch ein wenig auskennen - und auch gerne mit Ihnen dazu plaudern.....

- Schneemodellierung
- Schneemessung mit Drohnen
- Klimawandel
- Abstau-Optimierung
- Mobile-FEWS
- Speicherbewirtschaftung



Das Team HydroMet bei Verbund

Leitung:



Hebenstreit Klaus
Dipl.Ing.Dr.

Kompetenzen:

- Meteorologie
- Hydrologie
- Laufwasserprognose
- Speicherbewirtschaftung
- Klimawandel
- Hochwasserprognose

Meteorologie



Stadlbacher Klaus
Mag.

Hydrologie



Haberl Ulrich
Dipl.Ing.Dr.

Hydrologie



Frey Simon
Dr.

Hydrologie



Schübl Marleen
MSc