



Aggregationen hydraulischer Kraftwerkskaskaden für europäische Strommarktsimulationen
12. Internationale Energiewirtschaftstagung der TU Wien – IEWT 2021

Motivation | Analyse | Modell | Verfahren | Untersuchung | Fazit

Dariush Wahdany, Mihail Ketov, Valentin Wiedner und Christian Todem

Online, 9. September 2021



MAON

Abbildung von Speichern – Abwägung zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit

Hydraulische Kraftwerkskaskaden

- Wassernetzwerke mit Kopplungen im Zeit- und Systembereich
- Einsatz ergibt sich durch Opportunitäten an Strommärkten im Zeitverlauf
- ➔ Komplexe Einsatz- und Erläsoptimierung

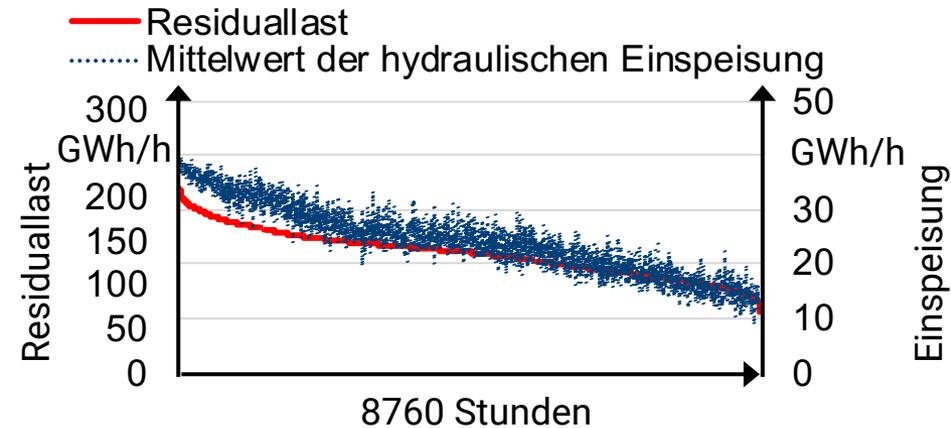
Strommarktsimulation

- Erneuerbare Energien führen zu einem Flexibilitätsbedarf am Strommarkt
 - ◆ Bestehender Flexibilitätsbedarf wird teils durch hydraulische Kraftwerke gestellt
 - ◆ Speichereinsatzsimulation am Strommarkt mit signifikanter Rechenzeit
- ➔ Vereinfachungen in Abbildung notwendig
- ➔ Verwertung technischer Parameter

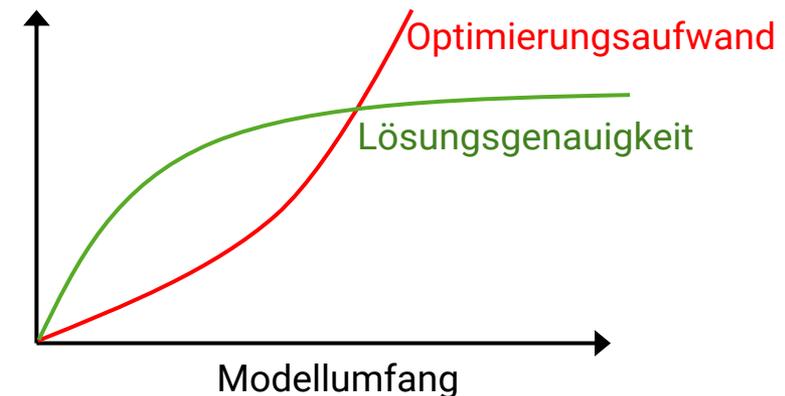
Ziel

Entwicklung eines Verfahrens zur Aggregation von Komponenten in hydraulischen Kraftwerkskaskaden

Hydraulische Einspeisung in Skandinavien und Residuallast* in Mitteleuropa



Geschwindigkeit vs. Genauigkeit



*Quelle: ENTSO-E Transparency Platform. Die Residuallast entspricht der Netzlast abzüglich der Einspeisung aus Wind- und Photovoltaikanlagen.

Hydraulische Kraftwerke – Vernetzung bewirkt gekoppelte Freiheitsgraden

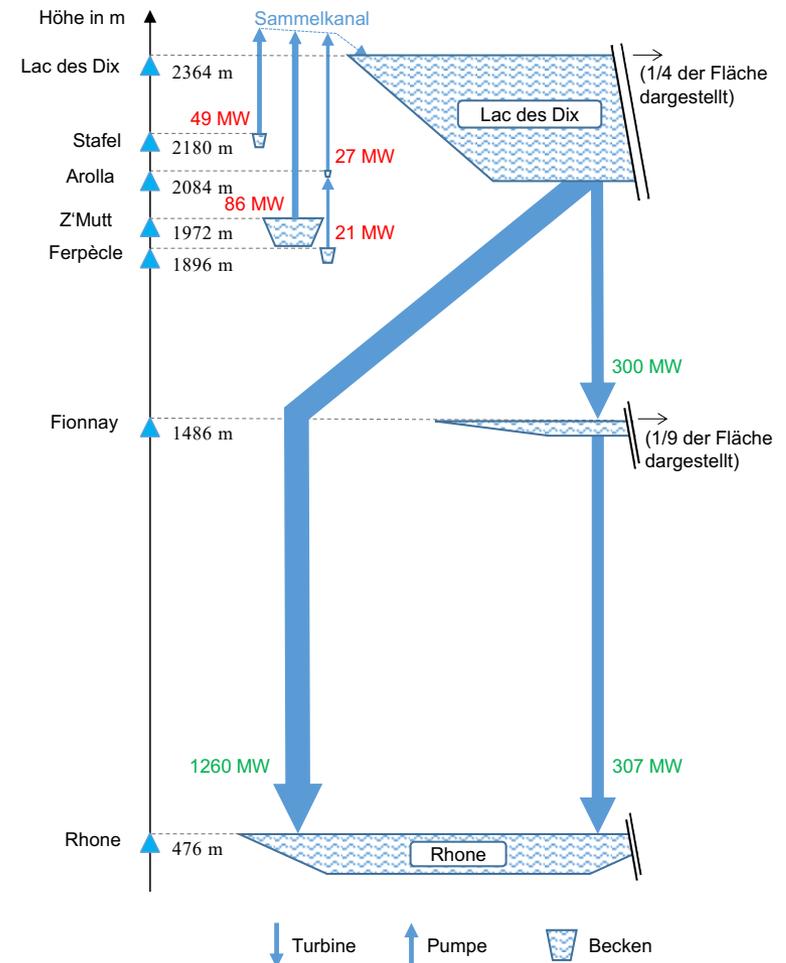
Komponenten mit individueller Topologie

- Allgemeingültige Komponentendefinition
 - ◆ Turbinen und Pumpen
 - ◆ Wasserwege ohne Stromerzeugung oder -verbrauch
 - ◆ Speicherbecken
 - ◆ Zuflüsse und Abflüsse
- ➔ Wasserbewegungen im Betrieb und so gekoppelte Stromerzeugung/-verbrauch
- ➔ Beckenfüllstände hängen von zeitlich vorherigen Zuständen und Zuflüssen ab
- ➔ Einsatz aller Anlagen gekoppelt

Einsatz am Strommarkt

- Wasserseitige Kopplungen in Topologie und technische Parameter bekannt
- ➔ Verwertung der Parameter in anlagenweiser Aggregation

Hydraulische Vernetzung am Beispiel der Kraftwerksgruppe Dixence*, Schweiz



*Quelle: Grande Dixence - Technische Dokumentation.

Topologien von hydraulischen Kraftwerken – Abbildung von Wetter und Anlagen

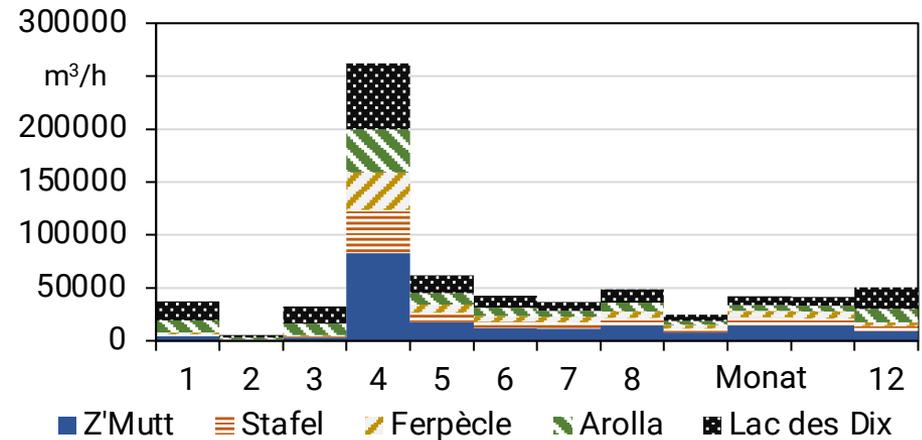
Exogene Abbildung von Zuflüssen

- Hydraulische Zuflüsse abhängig von
 - ◆ Niederschlag
 - ◆ Schneefall
 - ◆ Schneeschmelze
- ➔ Vorgabe der wetterabhängigen Zuflüsse

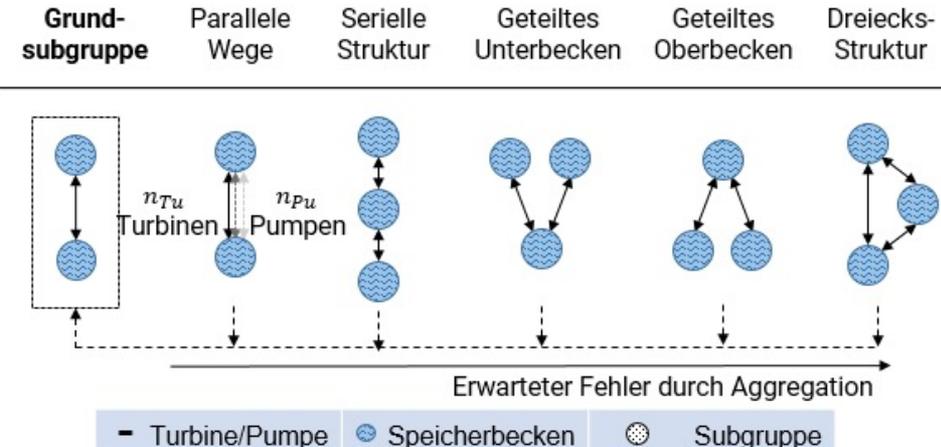
Hydraulische Topologien

- Wasserseitig nicht verbundene, individuelle Netzwerke
- Definition von hydraulischen Grundtopologien
 - ◆ Sortierbar zum erwarteten Aggregationsfehler
 - ◆ Additiv bzw. Allgemeingültig
- ➔ Grundmodelle zur Abbildung beliebiger hydraulischer Netzwerke
- ➔ Überführung von Grundmodellen in Grundsubgruppe in der Aggregation

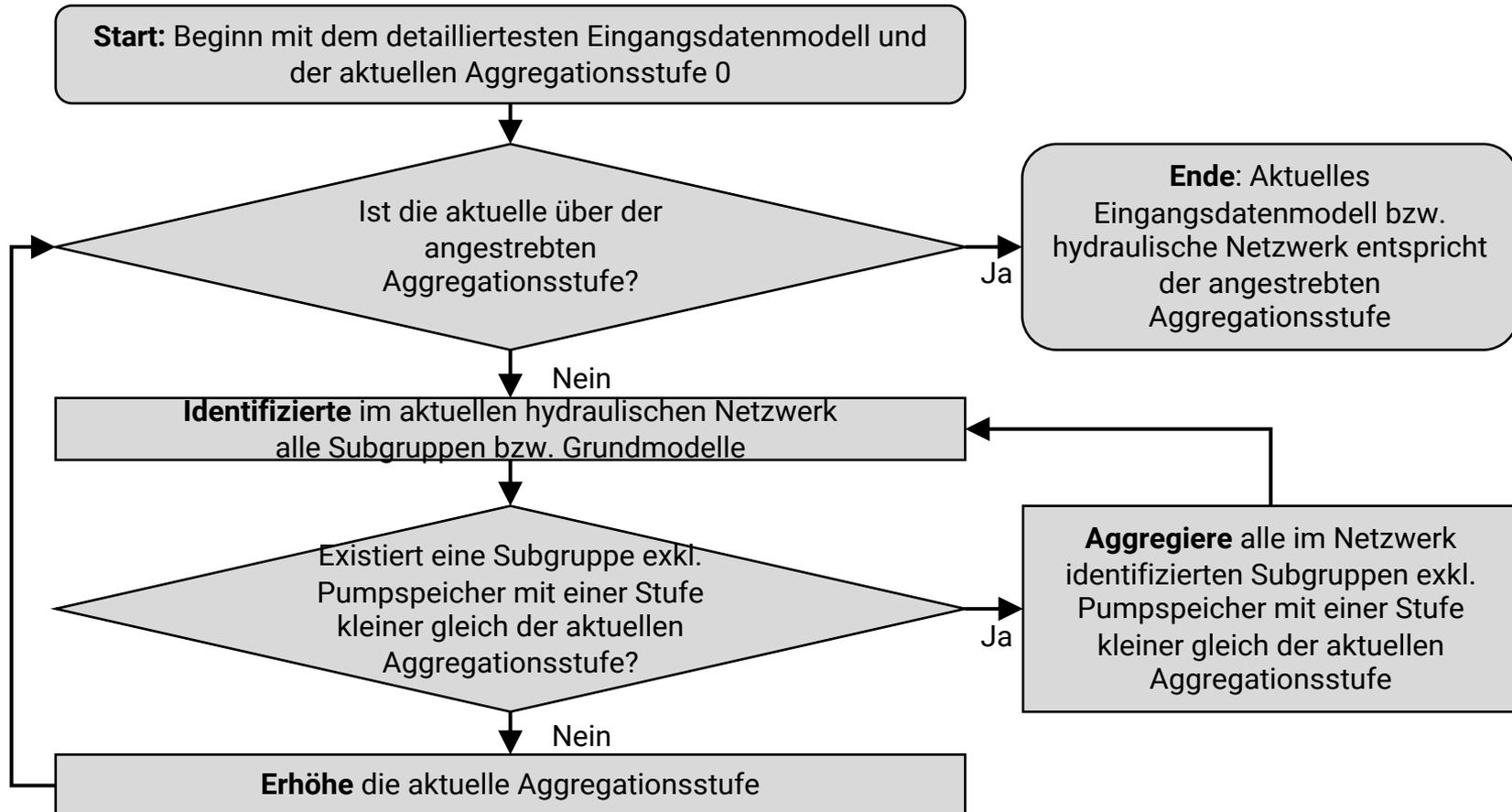
Hydraulische Zuflüsse der Becken in der Kraftwerksgruppe Dixence, Schweiz



Aufsteigend komplexe Grundmodelle

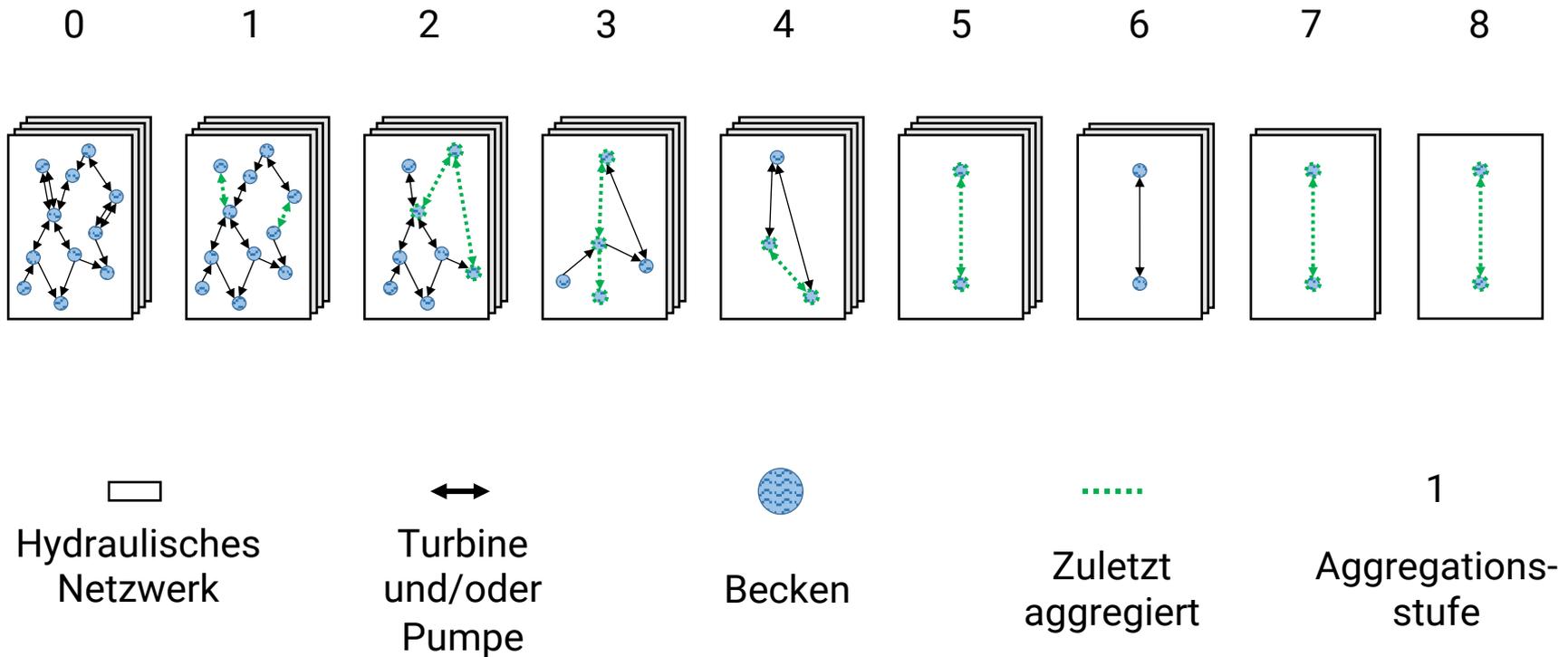


Aggregation – Iterative Aggregation im Eingangsdatenmodell der Marktsimulation



→ Zeitperformance und Robustheit durch deterministische Umrechnung von Eingangsdaten

Aggregation – Exemplarische Erkennung und Aggregation von Anlagengruppen



Marktsimulation – Alle Anlagen für 8760 Stunden in Europa



Szenarien – Europaweites Backtesting je Aggregationsstufe

Szenariorahmen

- Ex-post-Simulation für das Jahr 2018
 - ◆ 50 Gebotszonen
 - ◆ 502 hydraulische Turbinen und Pumpen
 - ◆ 684 hydraulische Becken
 - ◆ 1.712 thermische Kraftwerke
 - ◆ 459.338 Flow-Based Market Coupling-Bedingungen zzgl. NTC-Restriktionen
- ➔ ENTSO-E-weite Modellierung

Fokusgebiet und Aggregationsgebiet

- Fokusgebiet Deutschland ohne Aggregation hydraulischer Anlagen
- Übrige ENTSO-E-Gebotszonen aggregiert
 - ◆ Jede Aggregationsstufe einzeln gerechnet
 - ◆ Rechnungen 15x wiederholt
- ➔ Einfluss der Aggregation in übrigen Gebotszonen
- ➔ Abschätzung der Rechenzeitreduktion

Simulierte Gebotszonen



Handelsbilanz und Spotpreis in Deutschland – Einfluss der Aggregation begrenzt

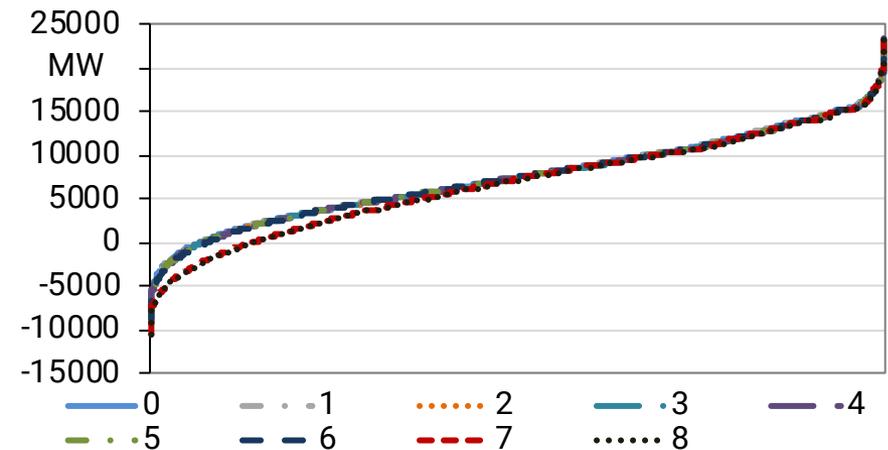
Im- und Exporte von Deutschland

- Handelsbilanz des Fokusgebietes in den Stufen 1 bis 6 nur geringfügig verändert
- Bei höheren Stufen Handelsbilanz im Bereich ± 5 GW reduziert (Mehrimport)
- ➔ Verstärkter Speichereffekt im Ausland
- ➔ Bei geringeren oder höheren Handelsbilanzen sind zusätzliche Freiheitsgrade ausgeschöpft

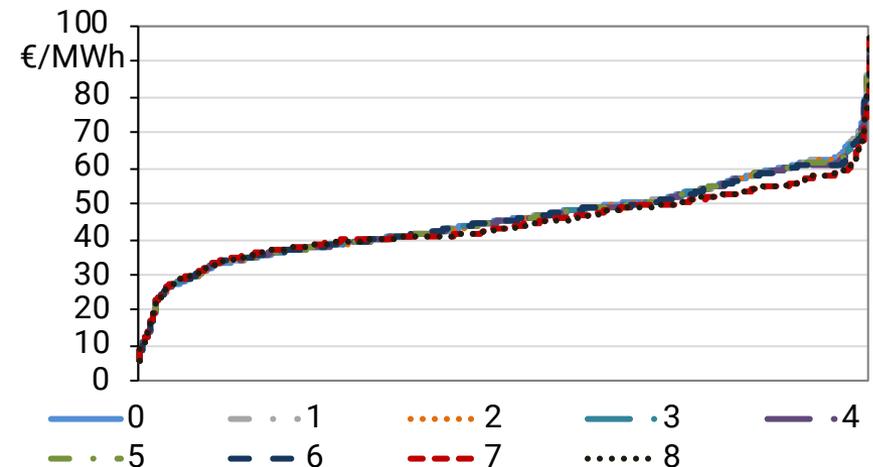
Spotpreise für Deutschland

- Insgesamt nur geringfügige Änderung
- Ab Stufe 7 Spotpreisabsenkung von bis zu 5 €/MWh im oberen Teil der Preisdauerkurve zu verzeichnen
- ➔ Zusätzliche Flexibilität durch Aggregationsfehler bewirkt Preisreduktion

Jahresdauerkurve Handelsbilanz – Deutschland



Jahresdauerkurve Spotpreise – Deutschland

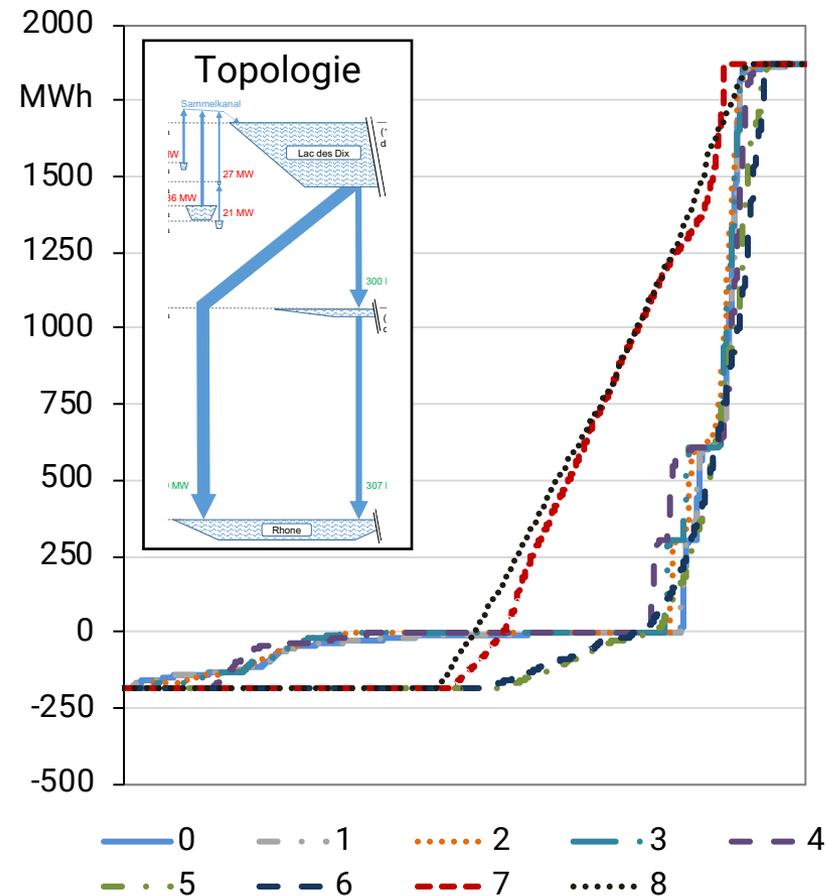


Einsatz einzelner Kaskade – Aggregationsfehler durch Flexibilitätsüberschätzung

Unterschiede je Aggregationsstufe

- 1.-3. Stufe: geringe Änderungen
 - 4. Stufe: Wegfall der Pumpen in Teillast
 - 5. Stufe (parallel-seriell): Wasser kann nicht mehr nur einmalig, sondern im Zirkel mehrfach genutzt werden
 - 6. Stufe (Netzwerke ohne Zufluss): Einsatz nur unwesentlich gändert, da Anlagengruppe selbst nicht aggregiert
 - 7. Stufe (Netzwerke mit Zufluss): mittlerer Einsatz aller hydraulischen Kraftwerke in der Schweiz dargestellt
 - 8. Stufe (alle Netzwerke): marginale Änderungen
- Wegfall charakteristischer, individueller Merkmale bewirkt Einsatzänderung
- Flächen (Energie) und Maximalwerte (Leistung) grob vergleichbar
- Netznutzung bzw. Einsatz je Knoten in höheren Aggregationen verschieden

Jahresdauerkurve der Gesamteinspeisung der Kraftwerksgruppe Dixence, Schweiz



Rechenzeit – Halbierung der Rechenzeit bei maximaler Aggregation erzielbar

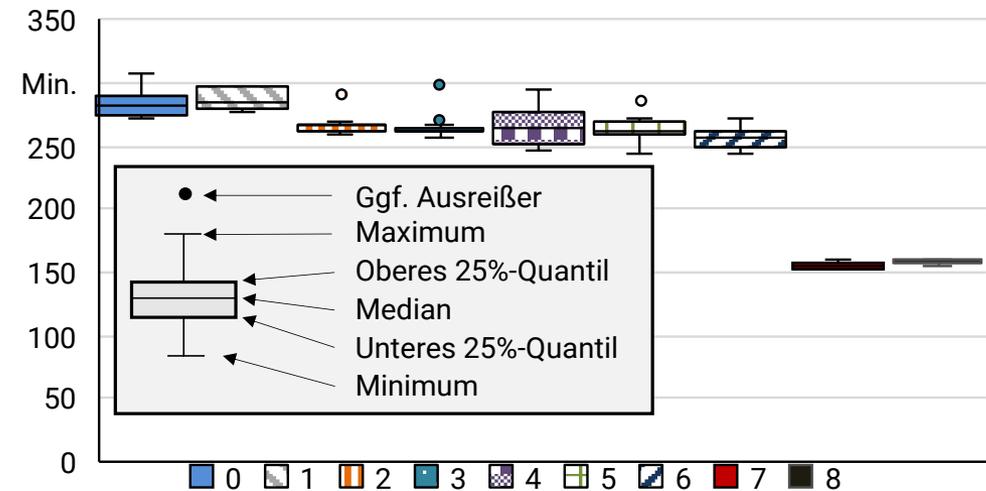
Laufzeit der Aggregation

- Laufzeit des Verfahrens zur Aggregation bei Einzelsekunden
- ➔ Rechenzeit wird durch Optimierung bestimmt

Rechenzeit des Gesamtverfahrens

- 10% Gesamtrechenzeitreduktion bis zur 6 Stufe
- 45% Gesamtrechenzeitreduktion bei 7 Stufe durch Aggregation der Netzwerke mit Zufluss
- ➔ Halbierung der Rechenzeit insb. durch Reduktion der Zeitkopplungen
- ➔ Ansatz ermöglicht eine Aggregation von geclusterten Anlagengruppen und einen stetigen Übergang

Reale Rechenzeiten je Aggregationsstufe



Key-Take-Aways – *Integration von Datenbasen und Modellen zur Speichersimulation*

Ziel

Entwicklung eines Verfahrens zur Aggregation von Komponenten in hydraulischen Kraftwerkskaskaden zur Abwägung zwischen Rechenzeit und Genauigkeit

Analyse

Komponenten von hydraulischen Kraftwerkskaskaden wasserseitig verknüpft und weisen zeit- und technologiespezifische Abhängigkeiten auf

Modell

Definition von Grundmodellen mit denen Topologien innerhalb hydraulischer Netzwerke allgemeingültig klassifiziert werden können

Verfahren

Marktsimulation vorgeschaltetes iteratives Aggregationsverfahren, welches die Eingangsdaten in ihrer Komplexität stufenweise vereinfacht

Untersuchung

Strompreisprognosen mit hoher Aggregationen bei halber Rechenzeit und Herleitung der Netznutzung mit niedriger Aggregation auf Basis des identischen Eingangsdatensatzes

MAON

Maon GmbH | Bismarckstraße 10-12 | 10625 Berlin

Dariusz Wahdany, B.Sc.

dw@maon.eu