

Analysing Zonal Prices

for the Austrian Power System

Robert Gaugl, Sonja Wogrin, Udo Bachhiesl

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation

18.02.2022

Inhalt

Einteilung der Präsentation

- Motivation
- Konzept von **Knotenpreise** vs. **Zonenpreise**
- Kurzvorstellung **LEGO-Modell**
- Implementierung **Zonenpreisberechnung**
- **Auswirkungen**
- Zusammenfassung

$p_{\text{Import}}(r_p, k, i) \geq \sum_j \text{flow}(j, i)$
 Ausland
 $\forall r_p, k$
 $\forall r_p, k, i \in \text{Austland}$

$\text{Export}(r_p, k, i) \geq \sum_{r_p, k} \sum_{j \in \text{lines}(i, j)} \text{flow}(i, j, r_p, k)$
 $\forall r_p, k, i \in \text{Austl.}$

$\text{Austl}(i) \{ [p_{\text{Import}}(i) > 0] = \text{YES};$
 $\text{connected}(z, z') ?$

$\text{gen}(j) + d - I = \text{Dem}(i)$
 $f_{\text{ImpData}}(n, r_p, k, x)$
 $p_{\text{Import}}(n, r_p, k) = f_{\text{Imp}}(\dots)$

ex / imp, exp, priceimp /
 simplex / imp /
 exp(ex) / exp /

$p_{\text{EX}}(ex, r_p, k, n)$
 $\sum_{ex} p_{\text{EX}} \{ \text{simplex}(ex) \}$

$p_{\text{Import}} = \sum_{ex} p_{\text{EX}} \{ \text{simplex}(ex) \}$
 n.r.p. ex

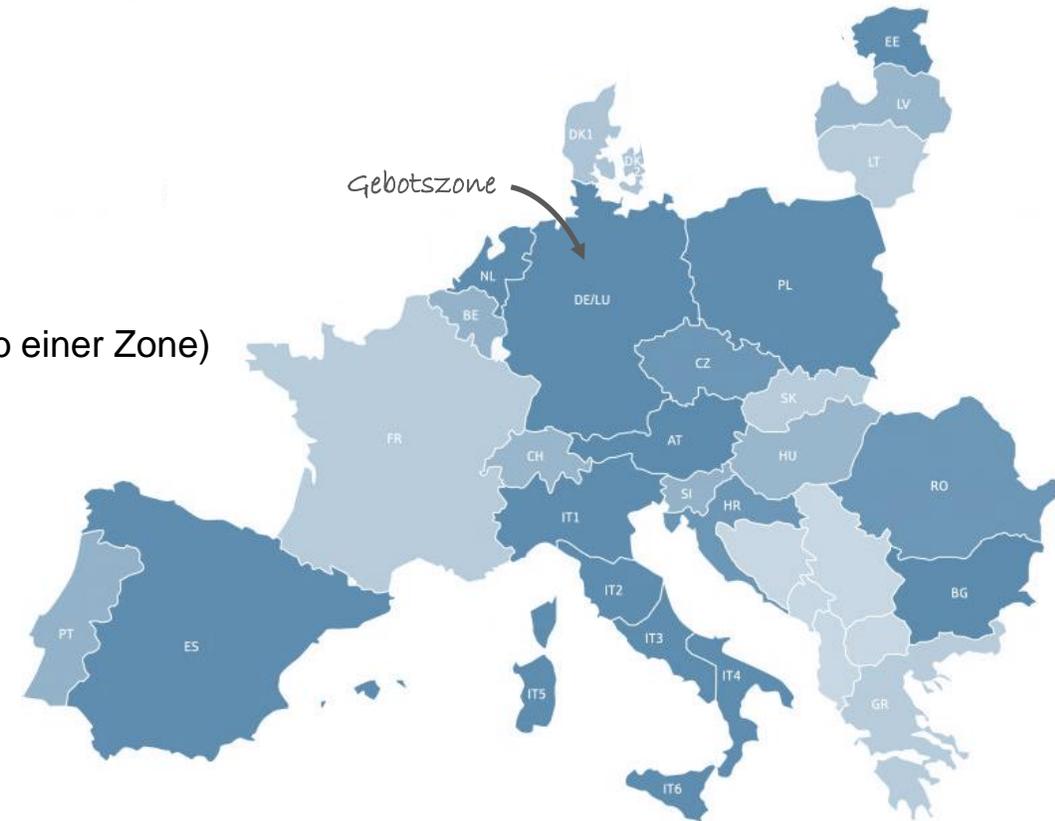
Import / Export / Poa (€/MWh)
 a b
 n.r.p. k
 $\text{if}(a \& b > 0, 1)$

Hardcore thinking involved to get it right

Motivation

Stromhandel in Europa

- **Stromhandel in Europa** auf Basis von **Gebotszonen** (Bidding Zones)
- **Gebotszonen** entsprechen (meistens) einem **Land**
- Handel **innerhalb** einer **Gebotszone**
 - **Uneingeschränkter** Handel (Annahme: keine Engpässe innerhalb einer Zone)
 - Nur **ein Preis** für jede Gebotszone
- Handel **zwischen Gebotszonen**
 - **Eingeschränkt** durch zonenübergreifende **Verbindungs-kapazitäten**
 - Wenn **Grenzen erreicht** → **Preise** beginnen zu **divergieren**
- **Preise** haben **Auswirkungen** auf **Kraftwerksinvestitions-entscheidungen**



Motivation

Stromhandel in Europa

- **Stromhandel in Europa** auf Basis von **Gebotszonen** (Bidding Zones)
 - **Gebotszonen** entsprechen (meistens) einem **Land**
- Handel **innerhalb** einer **Gebotszone**
 - **Uneingeschränkter** Handel (Annahme: keine Engpässe innerhalb einer Zone)
 - Nur **ein Preis** für jede Gebotszone
- Handel **zwischen Gebotszonen**
 - **Eingeschränkt** durch zonenübergreifende **Verbindungs-kapazitäten**
 - Wenn **Grenzen erreicht** → **Preise** beginnen zu **divergieren**
- **Preise** haben **Auswirkungen** auf **Kraftwerksinvestitions-entscheidungen**

Day-Ahead Strompreise
von 17.02.2022 (13-14)

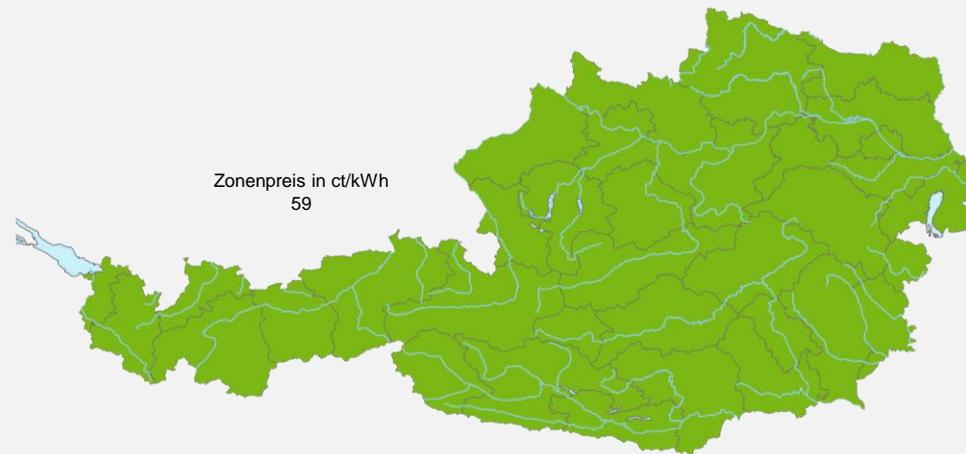


Knotenpreise vs. Zonenpreise

Gegenüberstellung und Vergleich

Zonenpreise

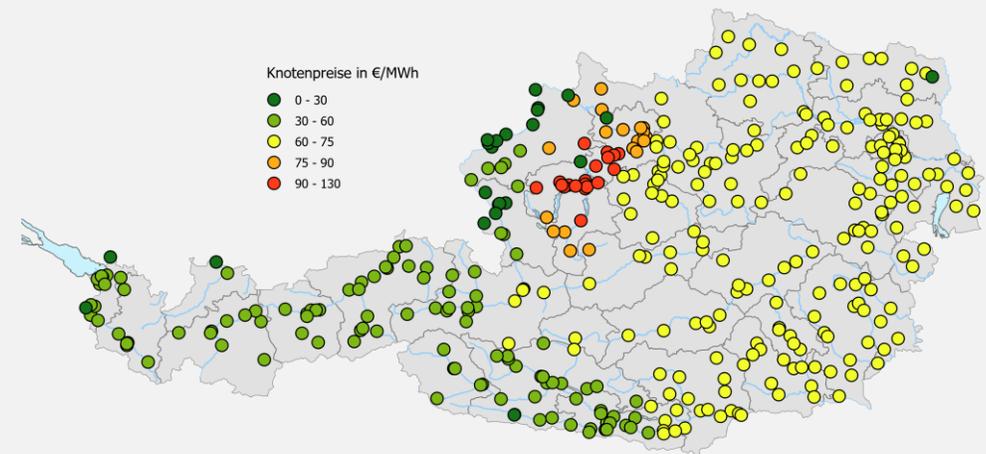
- Ein Preis je Zone
- Annahme: **Keine Engpässe** innerhalb **Zone** → **Leitungsrestriktionen** innerhalb des Landes werden **nicht berücksichtigt*** → Eventuell **Redispatch** notwendig
- **Merit-Order** je Zone
- **Letztes** benötigtes **Kraftwerk** zur **Deckung** des **Verbrauches** → **Preissetzend**



* Flow based market coupling berücksichtigt kritische Leitungen innerhalb einer Zone

Knotenpreise

- Ein Preis je **Knoten**
- Preis spiegelt **Nutzen** einer **zusätzlich** am **Knoten eingespeisten kWh** wider
- **Hoher Preis**: Knoten mit **hohem Verbrauch** und/oder **wenig Erzeugung** („Engpass an Strom am Knoten“)
- **Niedriger Preis**: Knoten mit **geringem Verbrauch** und/oder **hoher Erzeugung** („Überangebot an Strom am Knoten“)



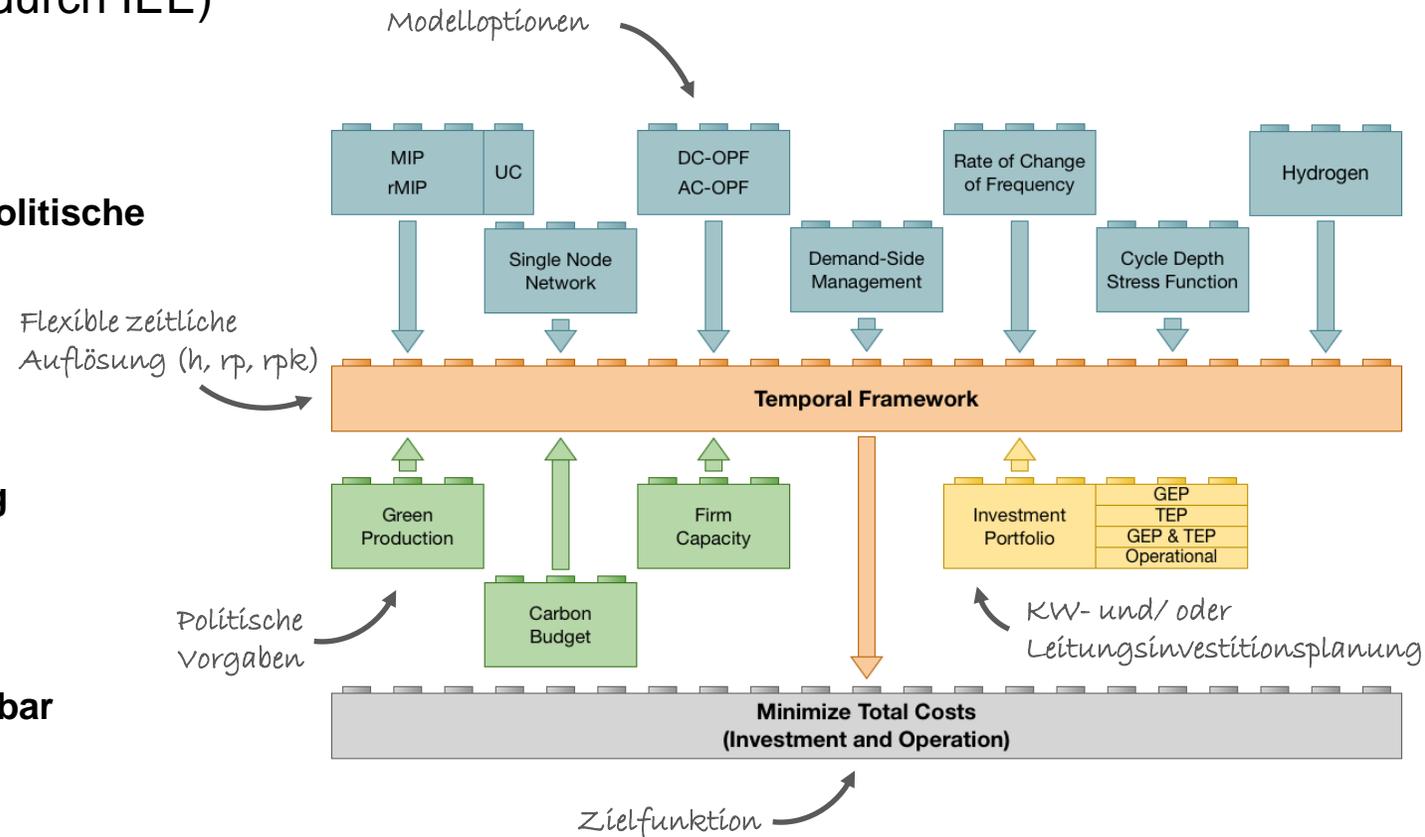
LEGO-Modell

Low-carbon Expansion and Generation Optimization Model



Low-carbon Expansion
Generation Optimization
Model

- **Open-Source Modell** (Mitentwicklung durch IEE)
- **Modular und Flexibel**
 - Einzel auswählbare **Modelloptionen** und **politische Vorgaben**
 - **Zeitliche Auflösung** entweder **chronologisch** oder durch **repräsentative Perioden** und **Stunden** innerhalb RPs
 - Verwendbar für **Betriebsoptimierung** oder **KW- und/oder Leitungsinvestitionsplanung**
- **Benutzerfreundlich und kompakt**
 - **Modelloptionen** einfach **ein- und ausschaltbar**
 - **Input- und Outputdaten** im **Excelformat**
 - Code in **GAMS**

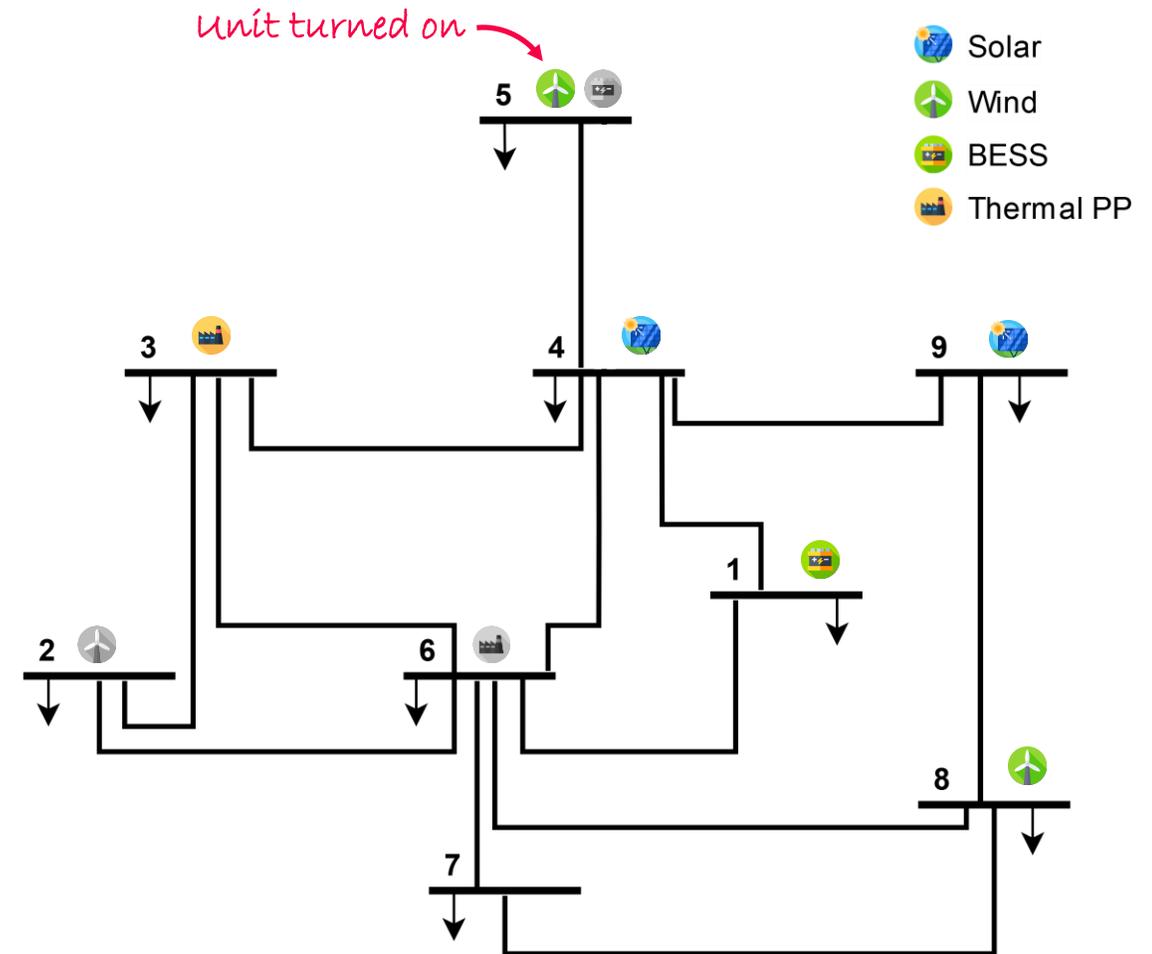


Open-Source Modell verfügbar auf GitHub: <https://github.com/IEE-TUGraz/LEGO>

LEGO-Modell

Ergebnisse

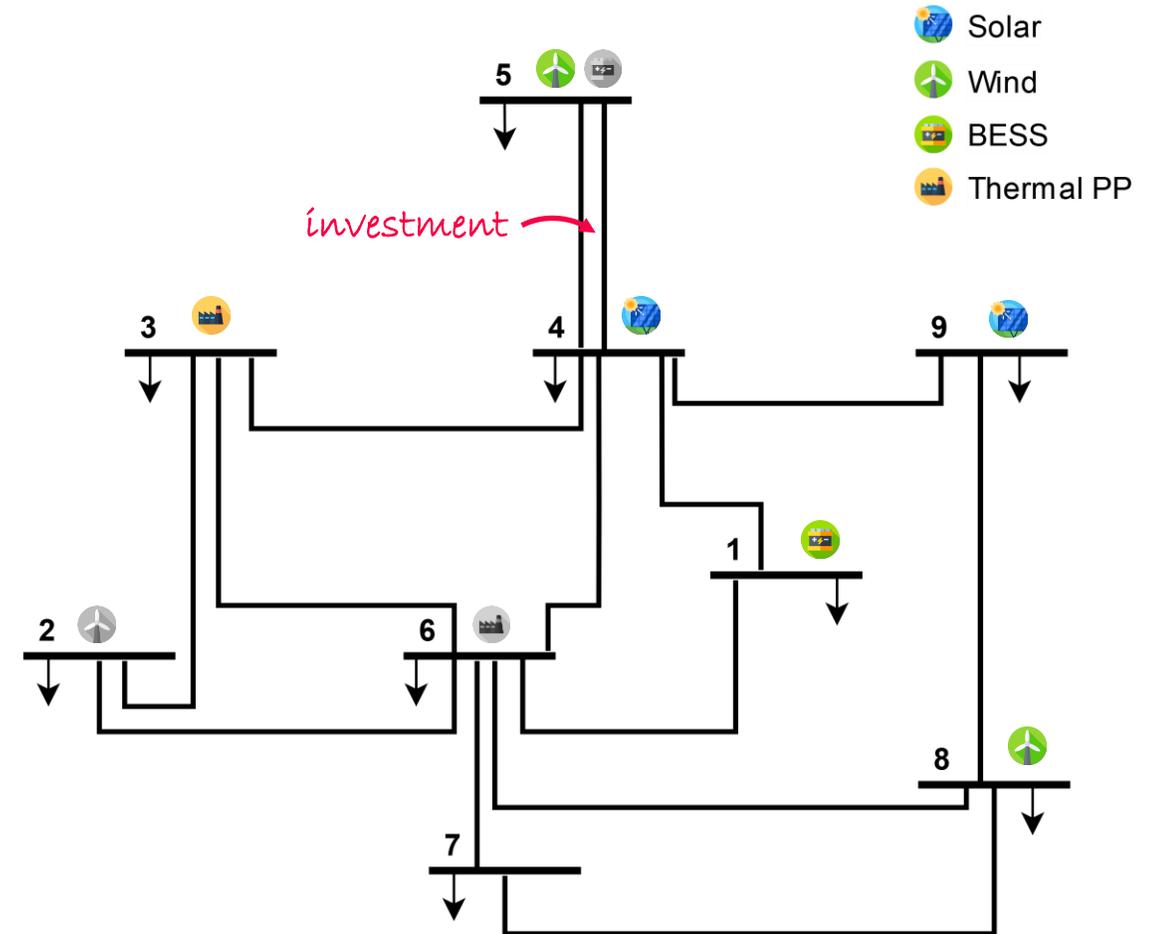
- LEGO bietet unter anderem folgende Ergebnisse
 - Betriebsentscheidungen** (Produktion, Unit Commitment)



LEGO-Modell

Ergebnisse

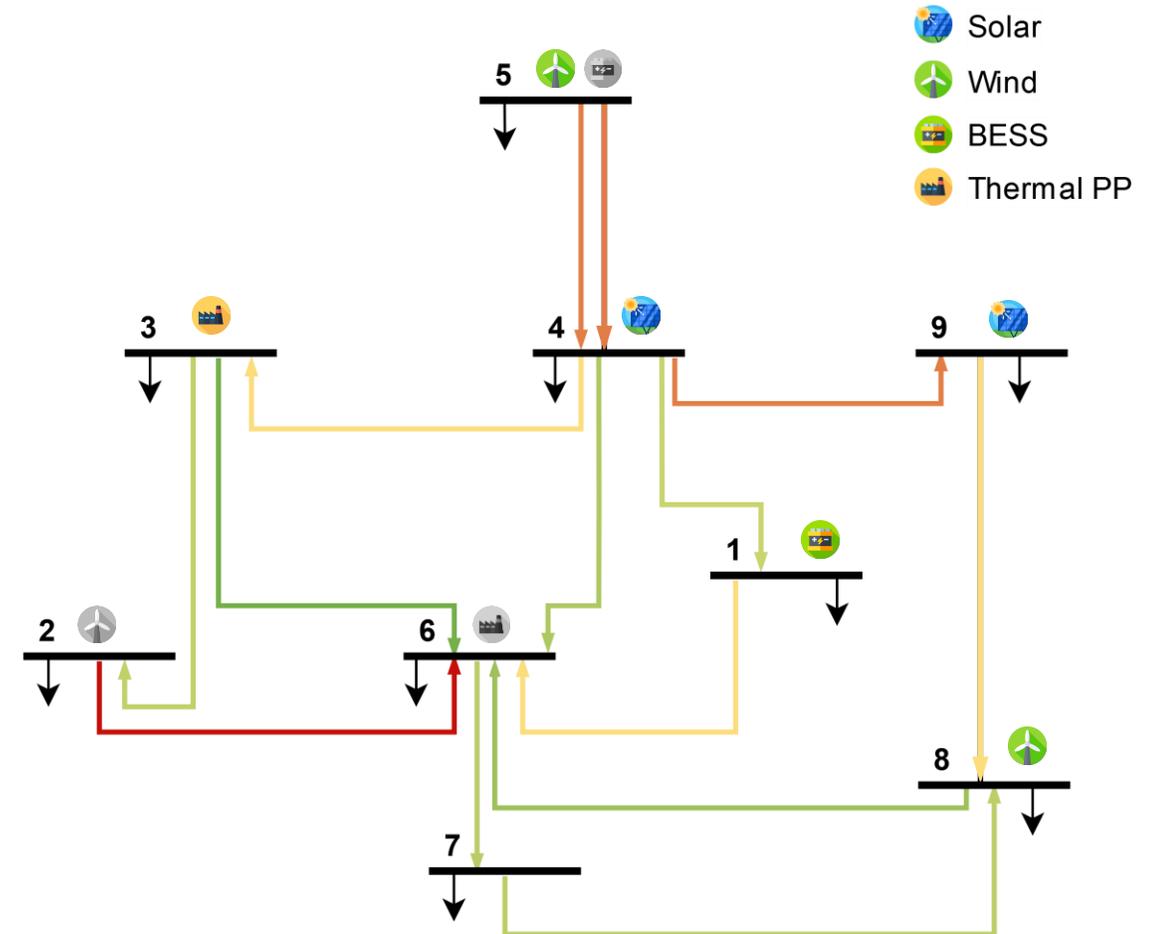
- LEGO bietet unter anderem folgende Ergebnisse
 - Betriebsentscheidungen** (Produktion, Unit Commitment)
 - Investitionen** (in Erzeugungs- und Übertragungskapazitäten, Elektrolyseuren etc.)



LEGO-Modell

Ergebnisse

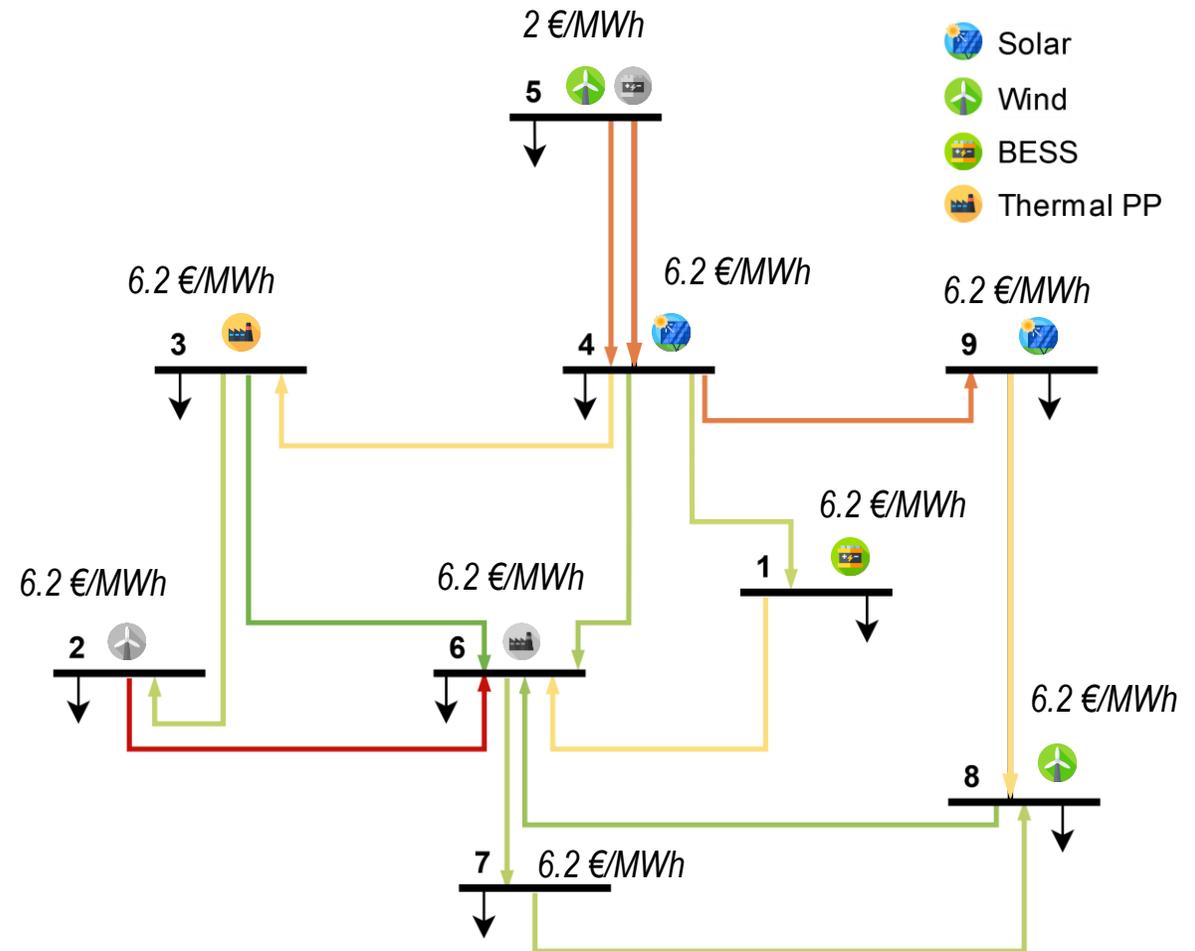
- LEGO bietet unter anderem folgende Ergebnisse
 - Betriebsentscheidungen** (Produktion, Unit Commitment)
 - Investitionen** (in Erzeugungs- und Übertragungskapazitäten, Elektrolyseuren etc.)
 - Lastfluss** (pro Leitung und Zeiteinheit), Spannungen



LEGO-Modell

Ergebnisse

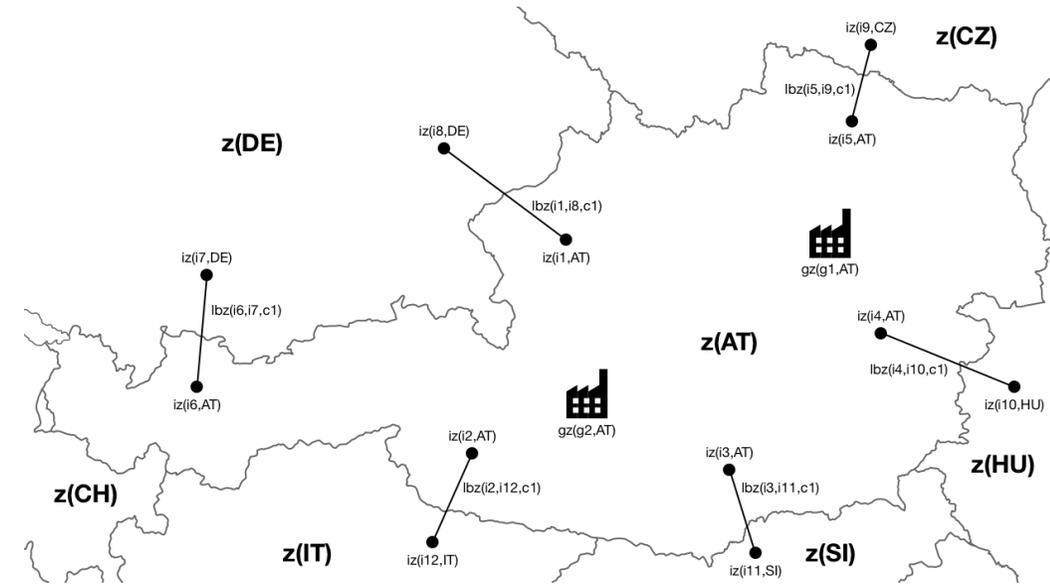
- LEGO bietet unter anderem folgende Ergebnisse
 - Betriebsentscheidungen** (Produktion, Unit Commitment)
 - Investitionen** (in Erzeugungs- und Übertragungskapazitäten, Elektrolyseuren etc.)
 - Lastfluss** (pro Leitung und Zeiteinheit), Spannungen
 - RoCoF, Inertia
 - Wirtschaftliche Resultate (Grenzkosten, *Preise*, Erlöse, Kosten, Profite, etc.)
 - Speicherladung und -entladung und Ladezustand im Laufe der Zeit
 - DSM, etc.



LEGO-Modell

Implementierung von Zonenpreisen

- Für die **Berechnung der Zonenpreise** wird das LEGO-Modell **erweitert**
 - **Set z** für die **verschiedenen Zonen**
 - **Zuweisung der Knoten i zu Zone z** im neuen **Set $iz(i, z)$**
 - Automatische Erzeugung **dynamischer Sets**
 - **Zuordnung von Generatoren zu Zonen $gz(g, z)$**
 - **Leitungen zwischen verschiedenen Zonen $lbz(i, j, c)$**
- Neue **Nebenbedingung für Zonengleichgewicht** (wobei die Dualvariable den Zonenpreis darstellt)

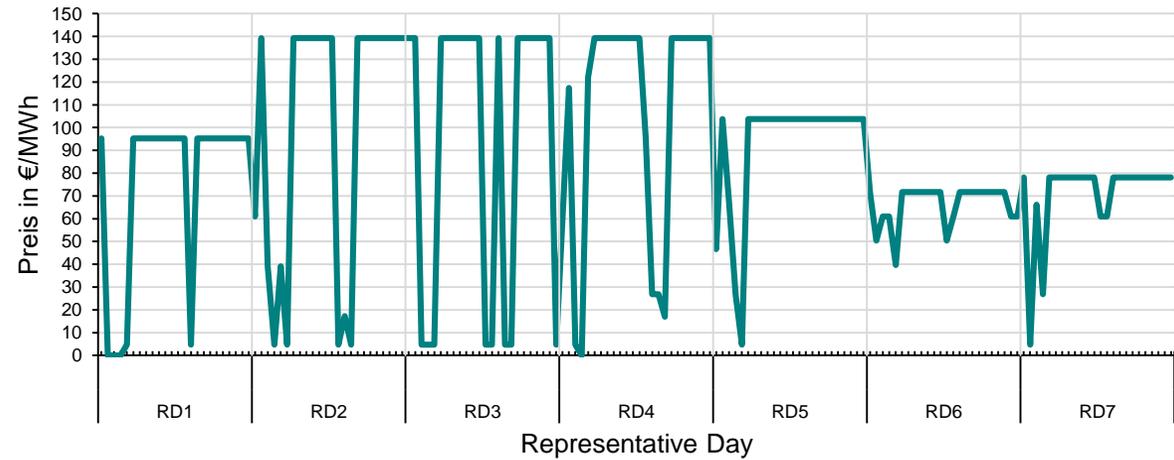


$$\underbrace{\sum_{gz(g,z)} Gen_{rp,k,g}}_{\text{Erzeugung in Zone}} + \underbrace{\sum_{lbz(i,j,c)} f_{rp,k,j,i,c}^P}_{\text{Import}} = \underbrace{\sum_{iz(i,z)} D_{rp,k,i}^P}_{\text{Verbrauch in Zone}} + \underbrace{\sum_{lbz(i,j,c)} f_{rp,k,i,j,c}^P}_{\text{Export}} \perp \underbrace{\text{ZonalPrice}}_{\text{Dualvariable}}$$

Simulation

Berechnung der Zonenpreise

- Simulation mit **7 repräsentativen Tagen**
- **Datenbasis Jahr 2020**
 - Verbrauch
 - Kraftwerkspark
 - Leitungsnetz
- **Preis zwischen 0 €/MWh und 140 €/MWh**
- Pumpverbrauch der Pumpspeicherkraftwerke deaktiviert*



* Perfekte Information des Modells führt ansonsten zur Glättung der Preise. An einer stochastischen LEGO-Version wird gearbeitet.

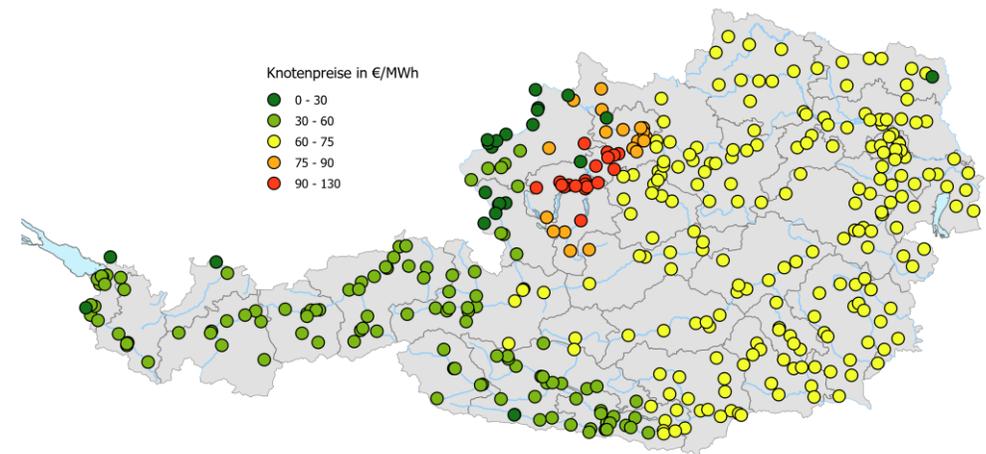
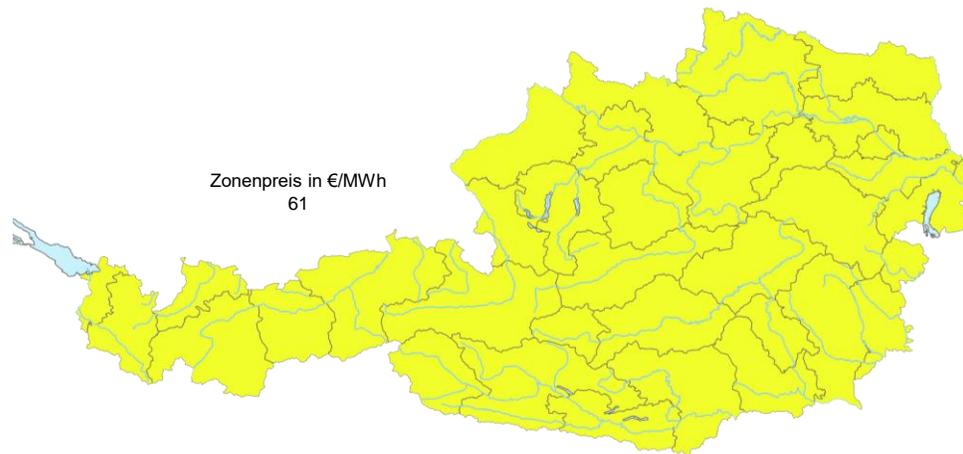
Auswirkungen

Am Beispiel einer ausgewählten Stunde

- Zonenpreis 61 €/MWh
 - **Kraftwerk** bekommt (wenn es eingesetzt wird) **überall** den **gleichen Preis**
 - **Keine Investitionslenkung** auf Basis der Netzdienlichkeit
- Knotenpreise zwischen 0 €/MWh und 130 €/MWh
 - **Preis** abhängig vom **Standort** des Kraftwerks
 - Höherer Investitionsanreiz an Knoten mit höheren Preisen → Redispatch-Kosten können gesenkt werden

Korrekturfaktor des Zuschlagswertes

Auf den Zuschlagswert für Windkraftanlagen kann ein Korrekturfaktor angewendet werden, der die standortbedingten unterschiedlichen Stromerträge einer Windkraftanlage widerspiegelt.



Auswirkungen

Fazit

▪ Knotenpreise

- In **143** von 168 simulierten **Stunden** überall **gleicher Preis** → Spricht für ein **gut ausgebautes Stromnetz**
- In den restlichen 25 Stunden
 - Höchster Knotenpreis: 215 €/MWh
 - Höchster Preisspread (Differenz billigster zu teuerster Knoten): 210 €/MWh
 - Durchschnittlicher Preisspread: 48 €/MWh
 - Durchschnittlicher Knotenpreis über alle Knoten und Stunden: 77 €/MWh

▪ Zonenpreis

- Höchster Zonenpreis: 139 €/MWh
- Durchschnittlicher Zonenpreis: 86 €/MWh

▪ Bei Knotenpreisen **Investitionsentscheidung** abhängig von

- **Preis am Knoten**
- **Erzeugungspotential** am Knoten (Hoher Knotenpreis bringt wenig, wenn kein EE-Potential zur Erzeugung vorhanden ist)

Zusammenfassung

- **Implementierung der Zonenpreise** durch Einfügen einer **neuen Nebenbedingung** in LEGO
- **Knotenpreise** können **Kraftwerksinvestitionen** (netzdienlich) **lenken**
- **Standorte mit höheren Preisen attraktiver für Investoren** (Abhängig vom EE-Potential)
 - EAG sieht Möglichkeit der Lenkung von (Wind-) Kraftwerksinvestitionen durch Korrekturfaktor des Zuschlagswertes vor
- **Coming soon**
 - Stochastische Modellierung
 - Mehrländersimulationen

Danke!

Dipl.-Ing. **Robert Gaugl**

Technische Universität Graz

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation
Inffeldgasse 18
8010 Graz

Tel.: +43 316 873 7904

Fax: +43 316 873 107904

E-Mail: robert.gaugl@tugraz.at

Web: iee.tugraz.at

 facebook.com/iee.tugraz

 linkedin.com/company/iee-tugraz

 twitter.com/iee_tugraz

 instagram.com/iee.tugraz

#EnInnov2022

