

Wirtschaftlichkeitsbewertung von virtuellen Kraftwerken unter Prognoseunsicherheit

EnInnov 2026 | 12.02.2026

Franziska Theis (franziska.theis@ait.ac.at)

Klara Maggauer, Stefan Strömer

Motivation

- Unsicherheit bei Scheduling und Echtzeitbetrieb von virtuellen Kraftwerken durch erneuerbare Energien, Nachfrage und Strompreise
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit mittels Perfect Foresight vernachlässigt diese Effekte



- Wie stark verfälscht Perfect Foresight die Ergebnisse verglichen mit einer Berücksichtigung von kurzfristigen Unsicherheiten?
- Welche Auswirkungen hat die Qualität von Vorhersagen auf die Ergebnisse?

Methode - Testobjekt

- E-Busunternehmen:
Linienverkehr und Reisen
- Anlagedaten:
 - 1,1 MW Netzanschluss
 - Steuerbare 1440 kWp PV
 - Batterie:
 - 1,2 MW
 - 5,7 MWh
 - 456 MWh unelastischer Jahresbedarf
- Modelliert mittels
Optimierungsframework
IESopt



Methode

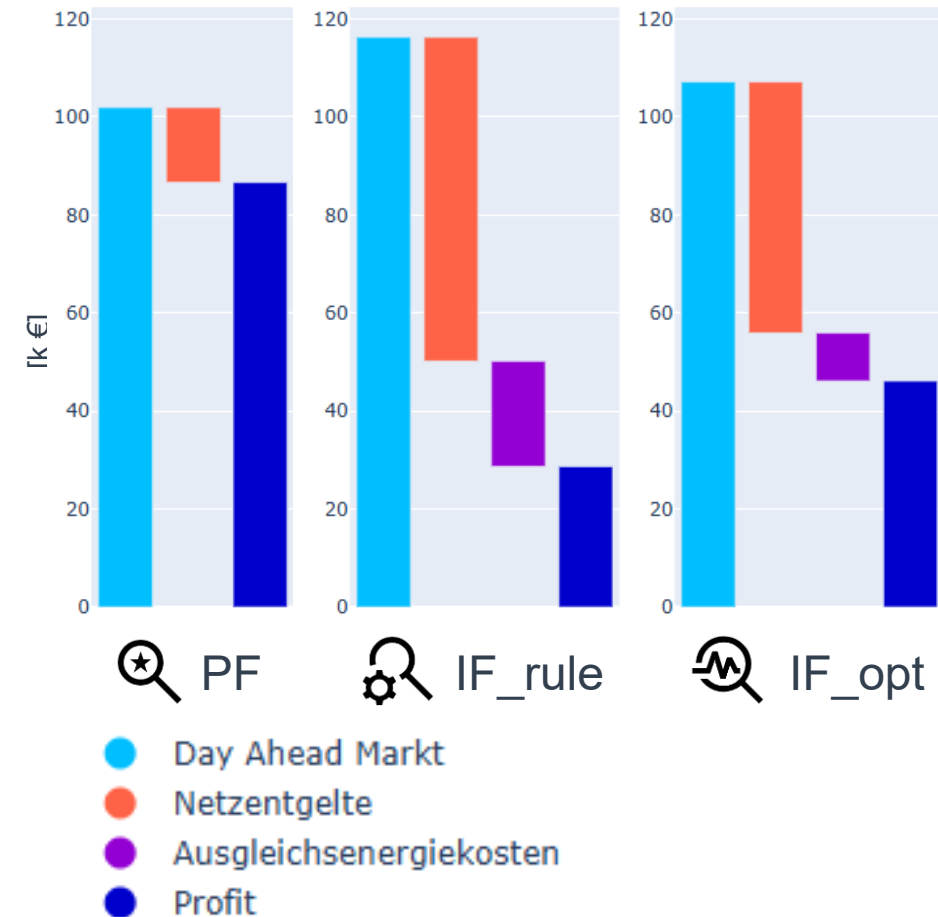
- Inputdaten: Strompreise, PV Erzeugung und Nachfrage
- Zielfunktion: Minimierung der Gesamtkosten über ein Jahr
- Ergebnisse: Ökonomische, technische und netzrelevante Indikatoren
- Methodischer Vergleich:
 - **PF:** Perfect Foresight¹, daher Steuerung der Anlage exakt nach Fahrplan
 - **IF_rule:** Steuerung der Anlage anhand von simplen Regeln unter Imperfect Foresight²
 - **IF_opt:** 15-minütige optimierte Betriebsstrategie unter Imperfect Foresight²

¹ Perfect Foresight: Daten vollständig bekannt

² Imperfect Foresight: Daten sind – wie in der Realität – nur durch Prognosen abschätzbar und erst im Nachhinein bekannt

Ergebnisse - Gesamtergebnis

- suboptimale Vermarktung am Day Ahead Markt:
Reduktion der Profite
- IF_opt gleicht durch geringere Netzentgelte und Ausgleichsenergiekosten aus



Ergebnisse - Bezugsspitze

- begrenzte Planbarkeit der Busladungen:
Erhöhung der Bezugsspitzen und Netzentgelte
- vorausschauende Optimierung des Netzbezugs:
Reduktion der Bezugsspitzen und damit Senkung der Netzentgelte

| Methode | Bezugsspitze | Netzentgelte [k €] ¹ |
|---|--------------|---------------------------------|
|  PF | 288 kW | 15,3 |
|  IF_rule | 800 kW | 66,1 |
|  IF_opt | 608 kW | 51,2 |

¹ Netzentgelte über das gesamte Jahr bestehend aus Leistungs- und Energiekomponente

Ergebnisse - Bezugsspitze

- begrenzte Planbarkeit der Busladungen:
Erhöhung der Bezugsspitzen und Netzentgelte
- vorausschauende Optimierung des Netzbezugs:
Reduktion der Bezugsspitzen und damit Senkung der Netzentgelte

| Methode | Bezugsspitze | Netzentgelte [k €] ¹ |
|-----------|--------------|---------------------------------|
| 🔍 PF | 288 kW | 15,3 |
| 🔧 IF_rule | 800 kW | 66,1 |
| 📊 IF_opt | 608 kW | 51,2 |

¹ Netzentgelte über das gesamte Jahr bestehend aus Leistungs- und Energiekomponente

Ergebnisse - Bezugsspitze

- begrenzte Planbarkeit der Busladungen:
Erhöhung der Bezugsspitzen und Netzentgelte
- vorausschauende Optimierung des Netzbezugs:
Reduktion der Bezugsspitzen und damit Senkung der Netzentgelte

| Methode | Bezugsspitze | Netzentgelte [k €] ¹ |
|------------|--------------|---------------------------------|
| 🔍 PF | 288 kW | 15,3 |
| ⚙️ IF_rule | 800 kW | 66,1 |
| 📊 IF_opt | 608 kW | 51,2 |

- 24%

¹ Netzentgelte über das gesamte Jahr bestehend aus Leistungs- und Energiekomponente

Ergebnisse - Bezugsspitze

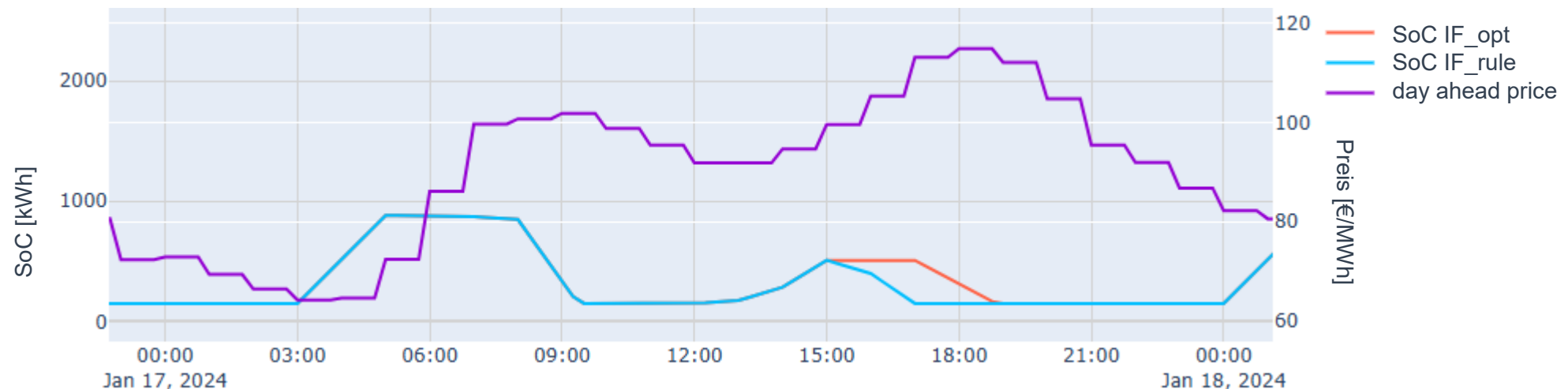
- begrenzte Planbarkeit der Busladungen:
Erhöhung der Bezugsspitzen und Netzentgelte
- vorausschauende Optimierung des Netzbezugs:
Reduktion der Bezugsspitzen und damit Senkung der Netzentgelte

| Methode | Bezugsspitze | Netzentgelte [k €] ¹ |
|---|--------------|---------------------------------|
|  PF | 288 kW | 15,3 |
|  IF_rule | 800 kW | 66,1 |
|  IF_opt | 608 kW | 51,2 |

¹ Netzentgelte über das gesamte Jahr bestehend aus Leistungs- und Energiekomponente




Ergebnisse - Ausgleichsenergie

- IF_rule: Batterienutzung vor Verursachung von Ausgleichsenergie, kaum Einnahmen aus positiver Ausgleichsenergie
- IF_opt: Orientierung an Day Ahead Preis und Abwägung gegenüber Batterienutzung verschiebt Verursachung von Ausgleichsenergie in Stunden mit günstigen Preisen und erhöht Einnahmen aus positiver Ausgleichsenergie



Ergebnisse – Einfluss der Prognosegüte auf Gesamtergebnis

- IF_rule reagiert stärker auf höhere Prognosegüte
- IF_opt gleicht durch reduzierte Bezugsspitzen und Ausgleichsenergiekosten aus




| Methode | Prognosegüte ¹ | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|---------|
| | naiv | → | | | perfekt |
|  PF ² | 86,7 | 86,7 | 86,7 | 86,7 | 86,7 |
|  IF_rule ² | 6,7 | 28,7 | 47,6 | 64,9 | - |
|  IF_opt ² | 38,6 | 46,1 | 59,8 | 75,6 | - |

¹ Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage angewendet

² Profit über das gesamte Jahr in k €

Ergebnisse – Einfluss der Prognosegüte auf Gesamtergebnis




- IF_rule reagiert stärker auf höhere Prognosegüte
- IF_opt gleicht durch reduzierte Bezugsspitzen und Ausgleichsenergiekosten aus

| Methode | Prognosegüte ¹ | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|---------|
| | naiv | | → | | perfekt |
|  PF ² | 86,7 | 86,7 | 86,7 | 86,7 | 86,7 |
|  IF_rule ² | 6,7 | 28,7 | 47,6 | 64,9 | - |
|  IF_opt ² | 38,6 | 46,1 | 59,8 | 75,6 | - |

¹ Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage angewendet

² Profit über das gesamte Jahr in k €




Ergebnisse – Einfluss initiale Bezugsspitze auf Gesamtergebnis

| Methode | Vorgabe der Bezugsspitze ¹ | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 kW | | 200 kW | | 300 kW | | 500 kW | |
| | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit |
|  PF ² | 88 | 86,7 | 210 | 82,8 | 300 | 79,3 | 500 | 69,6 |
|  IF_rule ² | 465 | 47,6 | 468 | 50,8 | 477 | 49,4 | 538 | 44,9 |
|  IF_opt ² | 390 | 59,8 | 407 | 61,5 | 426 | 62,8 | 518 | 58,9 |

¹ 50% Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage verwendet, Variation der initialen Bezugsspitze am Monatsanfang

² Profit über das gesamte Jahr in k €

Ergebnisse – Einfluss initiale Bezugsspitze auf Gesamtergebnis

| Methode | Vorgabe der Bezugsspitze ¹ | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| | 0 kW | | 200 kW | | 300 kW | | 500 kW | |
| | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit |
|  PF ² | 88 | 86,7 | 210 | 82,8 | 300 | 79,3 | 500 | 69,6 |
|  IF_rule ² | 465 | 47,6 | 468 | 50,8 | 477 | 49,4 | 538 | 44,9 |
|  IF_opt ² | 390 | 59,8 | 407 | 61,5 | 426 | 62,8 | 518 | 58,9 |

¹ 50% Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage verwendet, Variation der initialen Bezugsspitze am Monatsanfang

² Profit über das gesamte Jahr in k €




Ergebnisse – Einfluss initiale Bezugsspitze auf Gesamtergebnis

| Methode | Vorgabe der Bezugsspitze ¹ | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 kW | | 200 kW | | 300 kW | | 500 kW | |
| | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit |
| PF ² | 88 | 86,7 | 210 | 82,8 | 300 | 79,3 | 500 | 69,6 |
| IF_rule ² | 465 | 47,6 | 468 | 50,8 | 477 | 49,4 | 538 | 44,9 |
| IF_opt ² | 390 | 59,8 | 407 | 61,5 | 426 | 62,8 | 518 | 58,9 |

¹ 50% Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage verwendet, Variation der initialen Bezugsspitze am Monatsanfang

² Profit über das gesamte Jahr in k €

Ergebnisse – Einfluss initiale Bezugsspitze auf Gesamtergebnis

| Vorgabe der Bezugsspitze ¹ | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Methode | 0 kW | | 200 kW | | 300 kW | | 500 kW | |
| | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit | Ø Peak | Profit |
|  PF ² | 88 | 86,7 | 210 | 82,8 | 300 | 79,3 | 500 | 69,6 |
|  IF_rule ² | 465 | 47,6 | 468 | 50,8 | 477 | 49,4 | 538 | 44,9 |
|  IF_opt ² | 390 | 59,8 | 407 | 61,5 | 426 | 62,8 | 518 | 58,9 |

¹ 50% Prognosequalität für PV Erzeugung, Strompreise und Nachfrage verwendet, Variation der initialen Bezugsspitze am Monatsanfang

² Profit über das gesamte Jahr in k €

Key Takeaways

- Methode geeignet, um Auswirkungen von Unsicherheiten in Planung und Betrieb von virtuellen Kraftwerken zu quantifizieren
- Perfect Foresight überschätzt das wirtschaftliche Gesamtergebnis um bis zu 200%
- Perfect Foresight unterschätzt die Bezugsspitze
- Untertägige Optimierung senkt Bezugsspitze um durchschnittlich 12%
- Untertägige Optimierung kann schlechtere Prognosegüte gegenüber einer einfachen regelbasierten Steuerung ausgleichen

Förderhinweis


Dieses Projekt wird im Rahmen der Ausschreibung 2023 von „**AI for Green**“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) durchgeführt. Die Abwicklung erfolgt im Auftrag des BMIMI durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG). Das Projekt wird im Rahmen des Themas Digitale Technologien, eine Initiative des BMIMI, unter der Fördervertragsnummer FO999910239 gefördert. Die Autoren geben an, dass kein Interessenskonflikt besteht. Die Geldgeber spielten keine Rolle bei der Gestaltung der Studie; bei der Sammlung, Analyse oder Interpretation von Daten; beim Verfassen der Texte oder bei der Entscheidung, die Ergebnisse zu veröffentlichen.

EnInnov 2026 | 12.02.2026

Franziska Theis (franziska.theis@ait.ac.at)

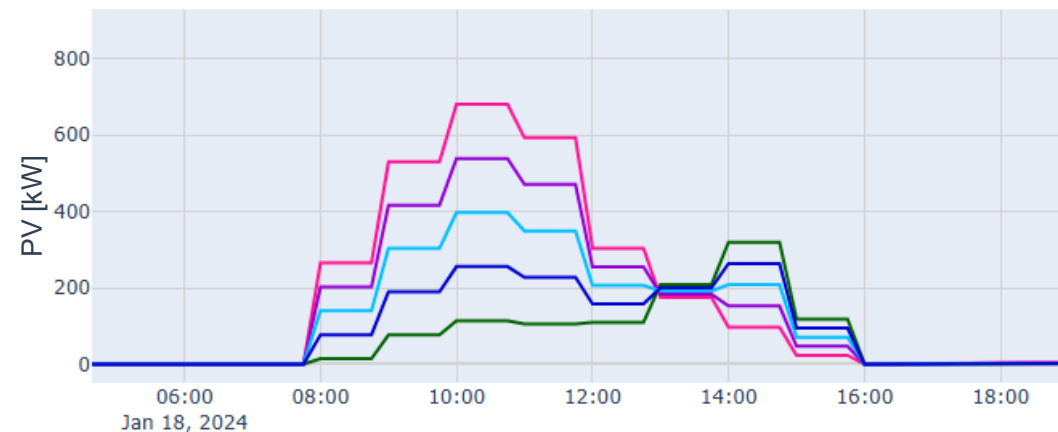
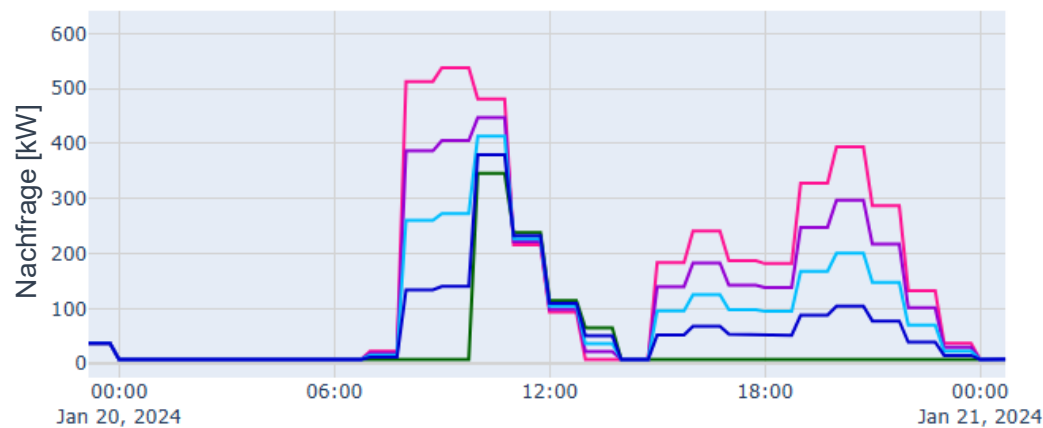
Klara Maggauer, Stefan Strömer



 Bundesministerium
Innovation, Mobilität
und Infrastruktur

Forecast Qualität

- Interpolation zwischen Perfect Foresight und naivem Forecast
- $y = \alpha * y_{naive} + (1 - \alpha) * y_{pf}$
- Je höher α desto ungenauer die Prognose






— perfect foresight
— naive forecast
— 25% forecast quality
— 50% forecast quality
— 75% forecast quality

Regelbasierte Steuerung der Anlage



Ergebnisse - Batterieauslastung

- Zyklenzahl:
 - PF: etwa ein Zyklus alle 2 Tage
 - IF: um 17% erhöht wegen kontinuierlicher Betriebsanpassung

| Methode | Zyklenzahl |
|---|------------|
|  PF | 208 |
|  IF_rule | 243 |
|  IF_opt | 239 |