

---

# Lösungsansätze für die Einsatzoptimierung eines thermischen Kraftwerks

Dipl.-Ing. Dominik Putz

*Technische Universität Wien, Energy Economics group, EVN AG*

Betreuung: Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Johann Auer, Projektass. Mag.rer.nat. Daniel Schwabeneder

EVN-Betreuung: Dipl.-Ing. Robert Halbweis

---



# 1 Motivation

- Kraftwerkseinsatzoptimierung
  - wirtschaftlich optimaler Fahrplan (Dispatch)
  - Optimierungsproblem mit Nebenbedingungen
  - Einsatz bestimmt durch kurzfristige Optimierung
- Verbesserung der Optimierung
  - kürzere Simulationsdauer
  - höhere Genauigkeit



## 2 State of the Art

- Allokation der verfügbaren Kraftwerksleistung
  - 7-Tage Prognose (15 Minuten Raster)
- gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung (MILP)
- Herausforderung
  - Versorgungssicherheit bei Spitzenlast
  - Netzengpässe (Redispatch)
- Julia
  - Vorbild: MATLAB
  - dynamische Typisierung
  - Multiple Dispatch
  - Typinferenz
  - Fokus auf numerische Berechnungen





# 3 Beschreibung des Modells

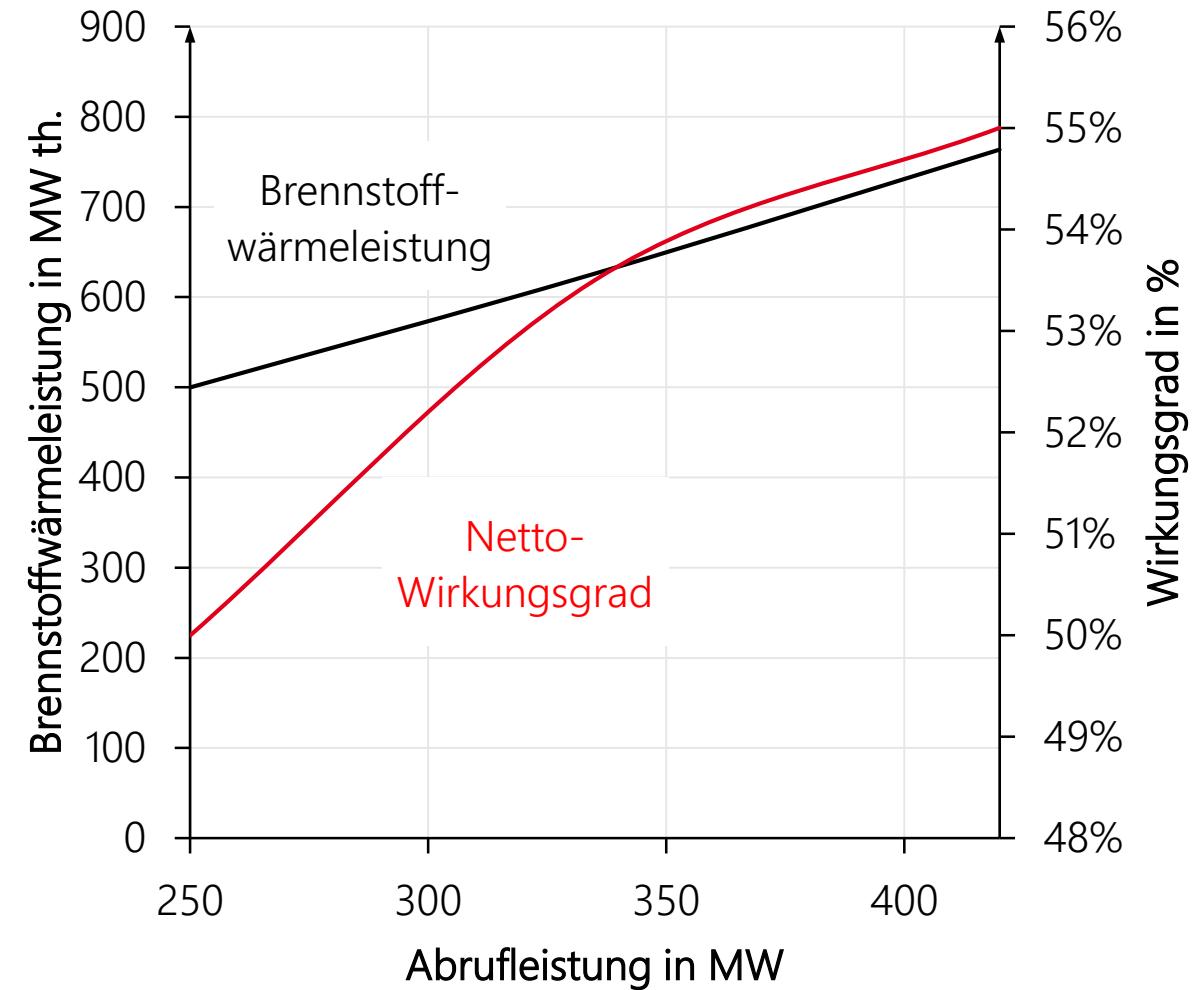
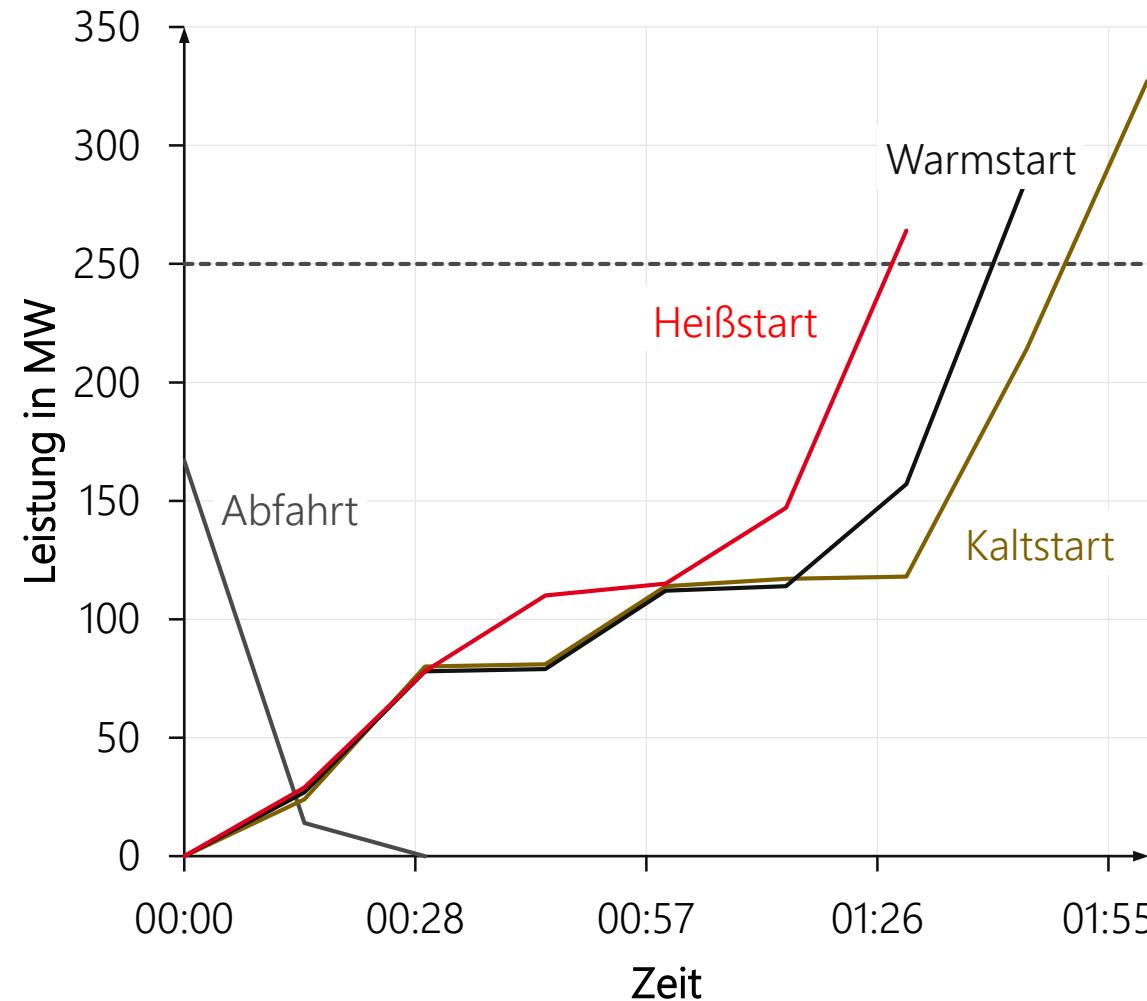
## 3.1 Allgemeines

- Einflussfaktoren
  - Marktpreis für Strom
  - Marktpreis für Brennstoff
  - Marktpreis für CO<sub>2</sub> Zertifikate
  - technische Restriktionen  
(Stillstandsplanung)
  - vertragliche Verpflichtungen (Take-or-Pay)
  - sonstige Kosten
- GuD Kraftwerk
- Unit Commitment (UC)



### 3 Beschreibung des Modells

#### 3.2 Rampenverläufe und Wirkungsgrad

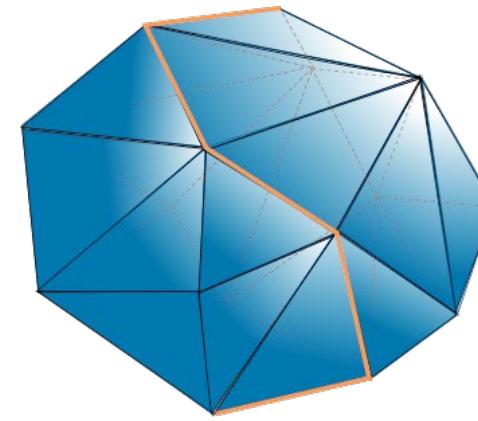




# 4 Analytische Methode

## 4.1 Allgemeines zur Mathematik

- Extremum mit Nebenbedingungen
  - Simplex Algorithmus (numerisch)
  - konvexen Polyeder





# 4 Analytische Methode

## 4.2 Optimierungsverfahren

- gemischt-ganzzahlige lineare Programmierung (MILP)
  - Zielfunktion
  - Gleichungen und Ungleichungen als Nebenbedingungen
  - binäre Variablen
  - NP-schweres Problem
  - CPLEX, XPRESS, GUROBI
- rückwärts dynamische Programmierung (DP)
  - in zeitliche Teil-Probleme aufgespalten
  - Entscheidungsprobleme als eine Folge voneinander abhängigen Einzelentscheidungen
  - Bellman Prinzip (Rekursionsformel)

# 4 Analytische Methode

## 4.3 Mathematische Beschreibung - MILP

---

- MatLab
  - GUROBI

$$\begin{aligned} \max_{P_{n,k}, u_{n,k}, z_{n,k,\dots}} & \sum_{n=1}^N \left[ \sum_{k=1}^K (p_k \cdot P_{n,k} \cdot \Delta T) - [p_{n,k,Fuel,All} \cdot (\alpha \cdot u_{n,k} + \beta \cdot P_{n,k} + \gamma \cdot P_{n,k}^2) + p_{n,misc} \cdot P_{n,k} \right. \\ & \left. + (p_{n,o\&M} \cdot u_{n,k})] \cdot \Delta T - (C_{n,cold}^{SU} \cdot z_{n,k,cold} + C_{n,warm}^{SU} \cdot z_{n,k,warm} + C_{n,hot}^{SU} \cdot z_{n,k,hot}) \right] \end{aligned}$$

subject to

$$0 \leq Power\_Current(k) \leq On\_Off(k) \cdot Power\_Output\_Max(k)$$

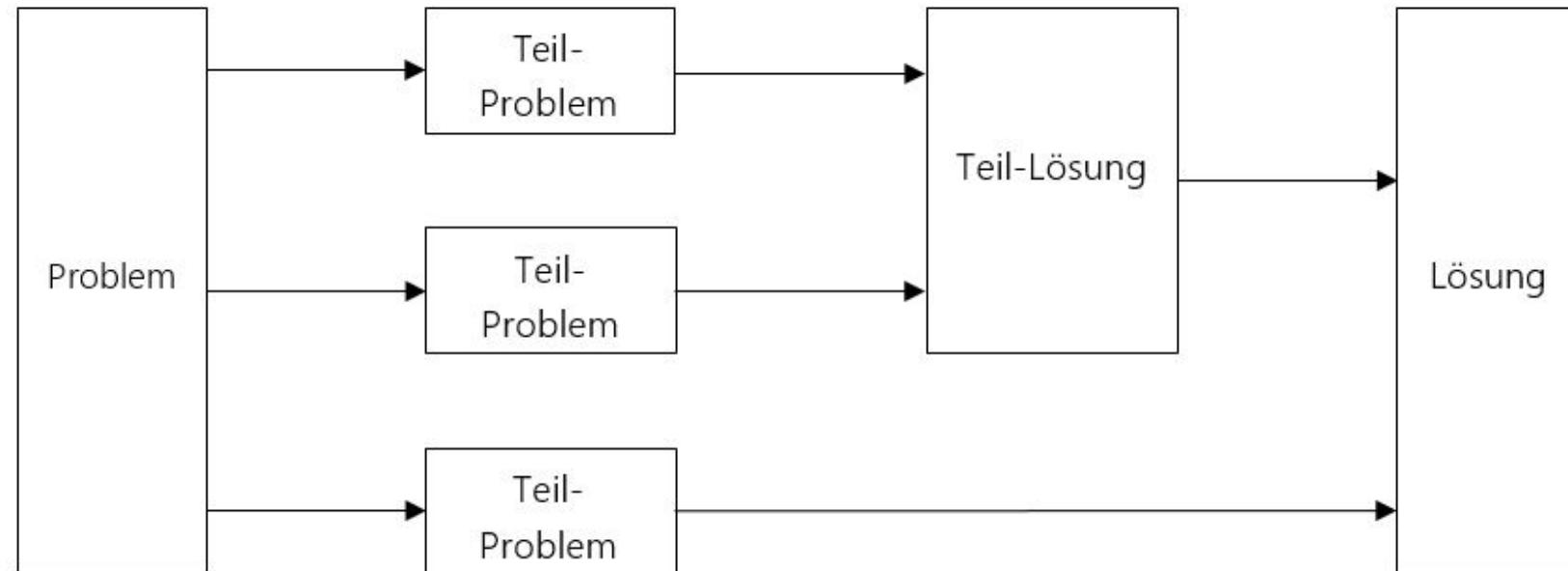
$$On\_Off(k) - On\_Off(k-1) == Start\_Up(k) - Shut\_Down(k)$$

...



# 4 Analytische Methode

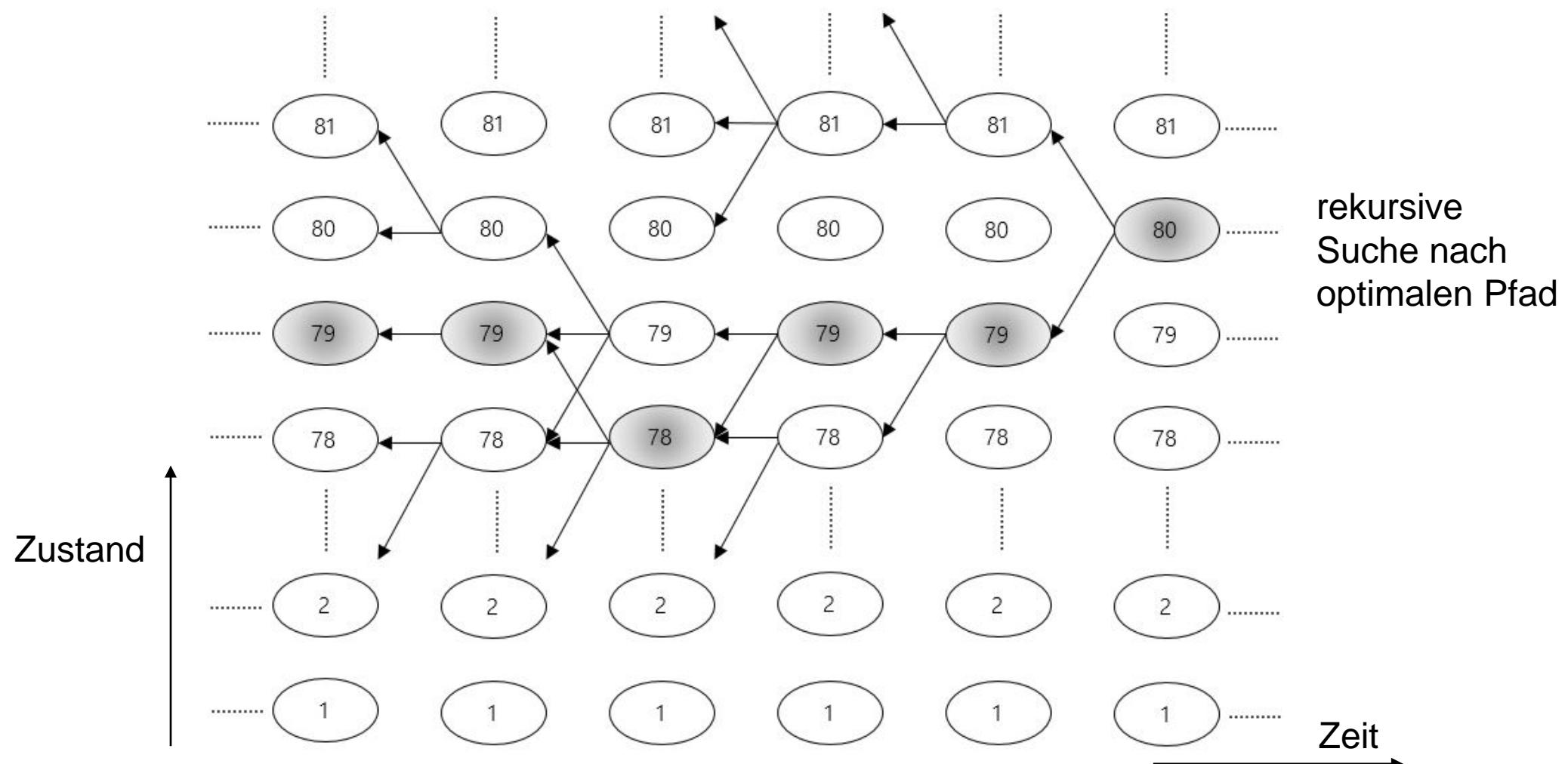
## 4.4 Mathematische Beschreibung - DP



$$S(x) = \min_{y \in U(x)} g(x, y) + S(y)$$

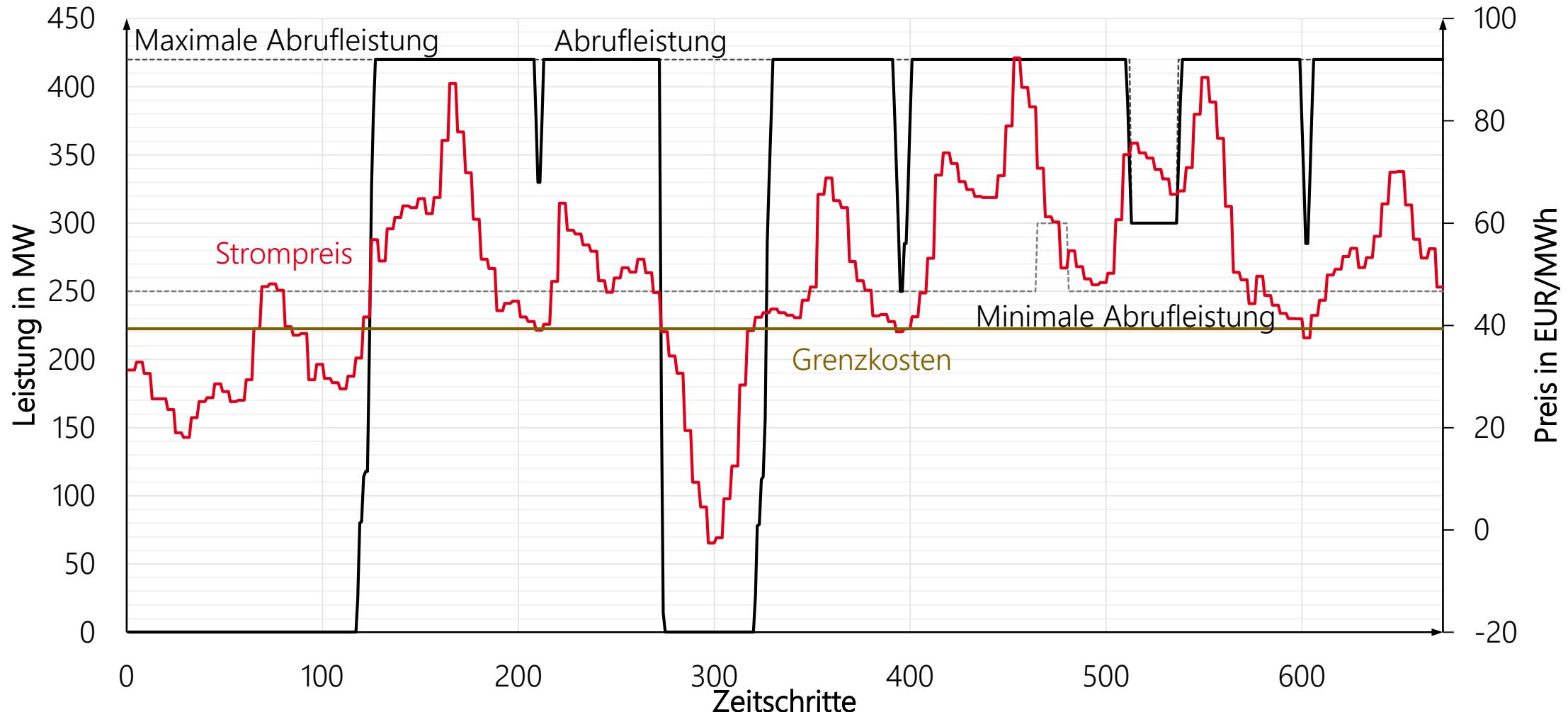
# 4 Analytische Methode

## 4.5 DP - Lösungsverfahren



# 5 Ergebnis

## 5.1 Dispatch



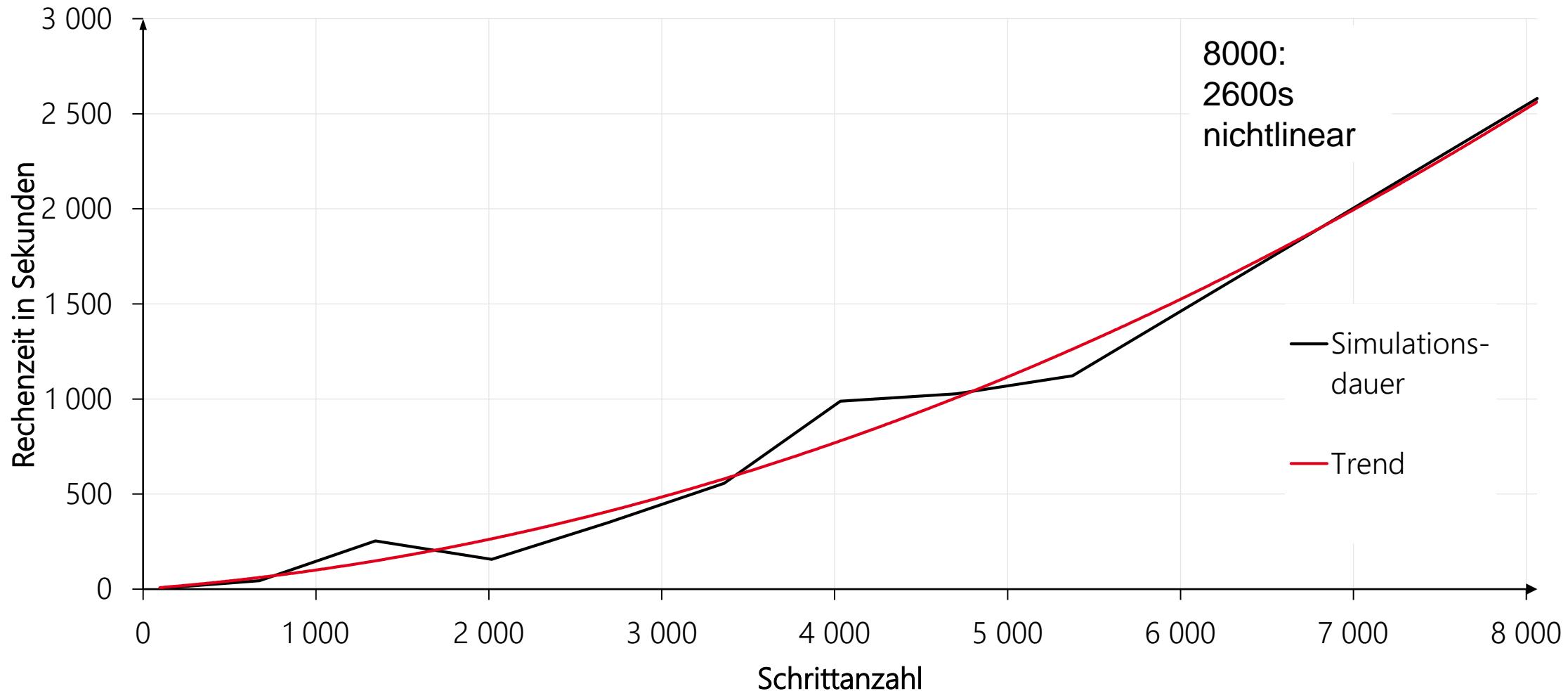
# 5 Ergebnis

## 5.2 kumulierter Deckungsbeitrag



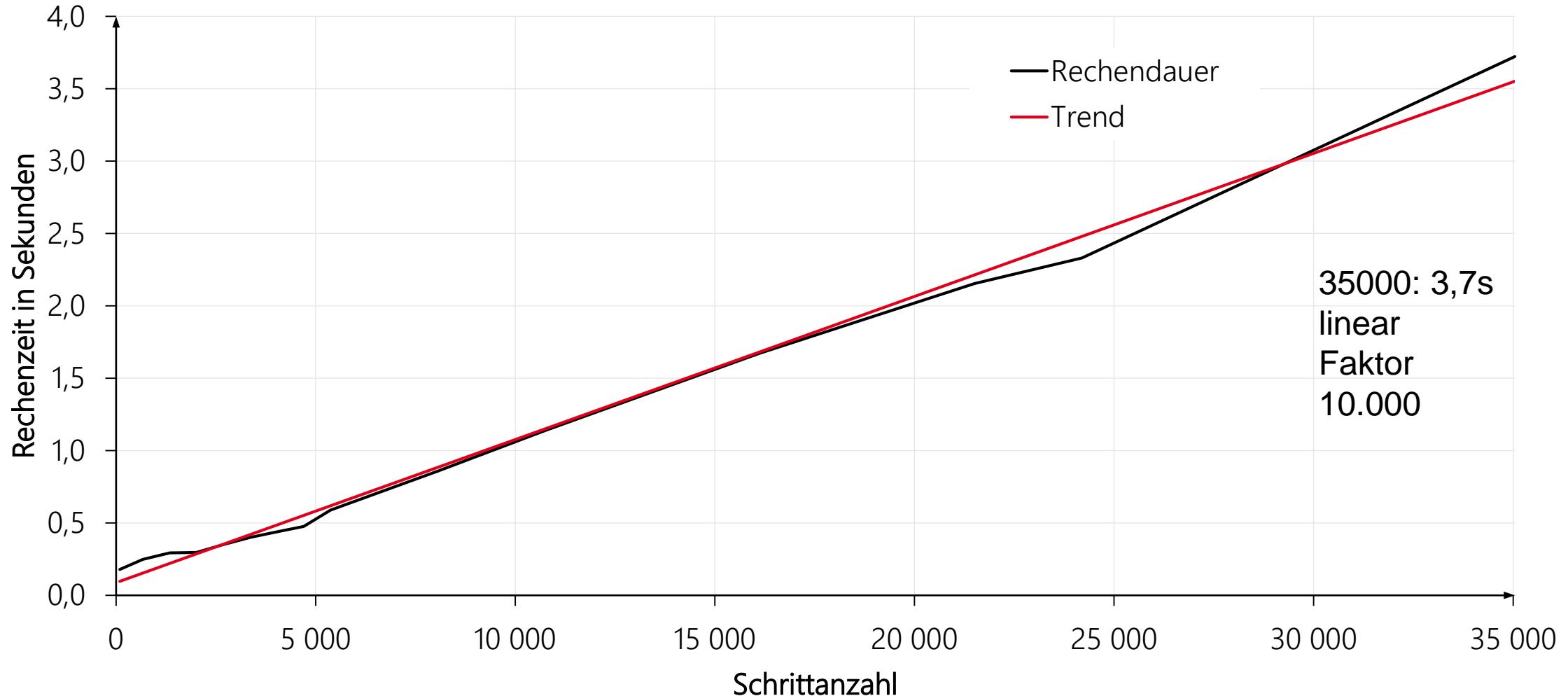
# 5 Ergebnis

## 5.3 MILP – Berechnungsdauer



# 5 Ergebnis

## 5.6 DP – Berechnungsdauer



# 6 Synthese

## 6.1 Vergleich der Berechnungsdauer

Zeitraum	Schritte	MILP		DP
		Simulationsdauer in Sekunden		
1 Tag	96	5		0,18
1 Woche	672	44		0,25
2 Wochen	1344	254		0,29
3 Wochen	2016	257		0,30
1 Monat	2688	350		0,35
2 Monate	5376	1122		0,59
3 Monate	8064	2581		0,86
4 Monate	10752	n.a.		1,14
6 Monate	16128	n.a.		1,67
1 Jahr	35040	n.a.		3,72



# 7 Conclusio

## 7.1 MILP

- + einfache Modellierung
- + zeitintegrale Restriktionen problemlos abbildbar
- + stückweise lineare Abbildung der Produktionsfunktion
- + Duality Gap absolut und relativ
- Rechenzeit steigt NP mit der Anzahl der Zeitschritte an



# 7 Conclusio

## 7.2 DP

- + eindeutig optimale Lösung
- + nichtlineare Abbildung der Produktionsfunktion
- + Grenzkosten können unmittelbar zur Erstellung der Gebote herangezogen werden
- + Rechenzeit steigt linear mit der Anzahl der Zeitschritte
- zeitintegrale Restriktionen nicht abbildbar

# 7 Conclusio

## 7.3 *Applikation*

- Applikation weiterentwickeln
- Sicherheitsaspekt
- Workflow Management
- Information über Kraftwerksverfügbarkeit
- Vereinfachungen (Speicher, Kontrakte, Fernwärme, Maintenance-Planung)



# 7 Conclusio

7.3 Julia

*„Es gibt mittlerweile genug Pakete, welche zusammengenommen Julia in ihrem gesamten Potential aufleben lassen könnten und sie zur Sprache der nächsten Generation für Datenanalyse werden lassen könnte.“ [active-analytics.com](http://active-analytics.com)*

---

# Lösungsansätze für die Einsatzoptimierung eines thermischen Kraftwerks

Dipl.-Ing. Dominik Putz

*Technische Universität Wien, Energy Economics group, EVN AG*

Betreuung: Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr. techn. Johann Auer, Projektass. Mag.rer.nat. Daniel Schwabeneder

EVN-Betreuung: Dipl.-Ing. Robert Halbweis

---

[dominik.putz@interconnect.at](mailto:dominik.putz@interconnect.at)