
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 CO₂ Zertifikate
- technische Restriktionen
(Stillstandsplanung)
- vertragliche Verpflichtungen (Take-or-Pay)
- sonstige Kosten

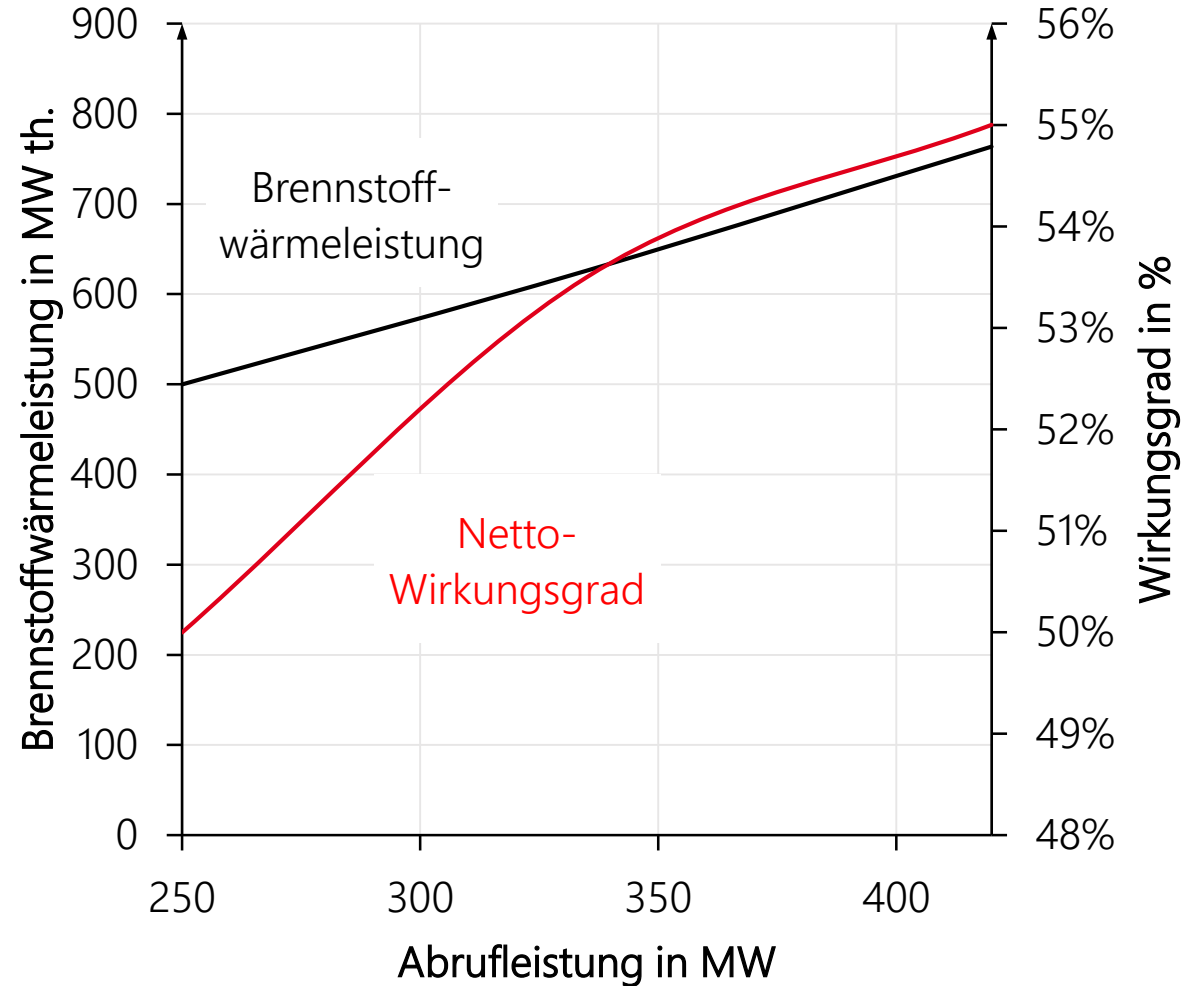
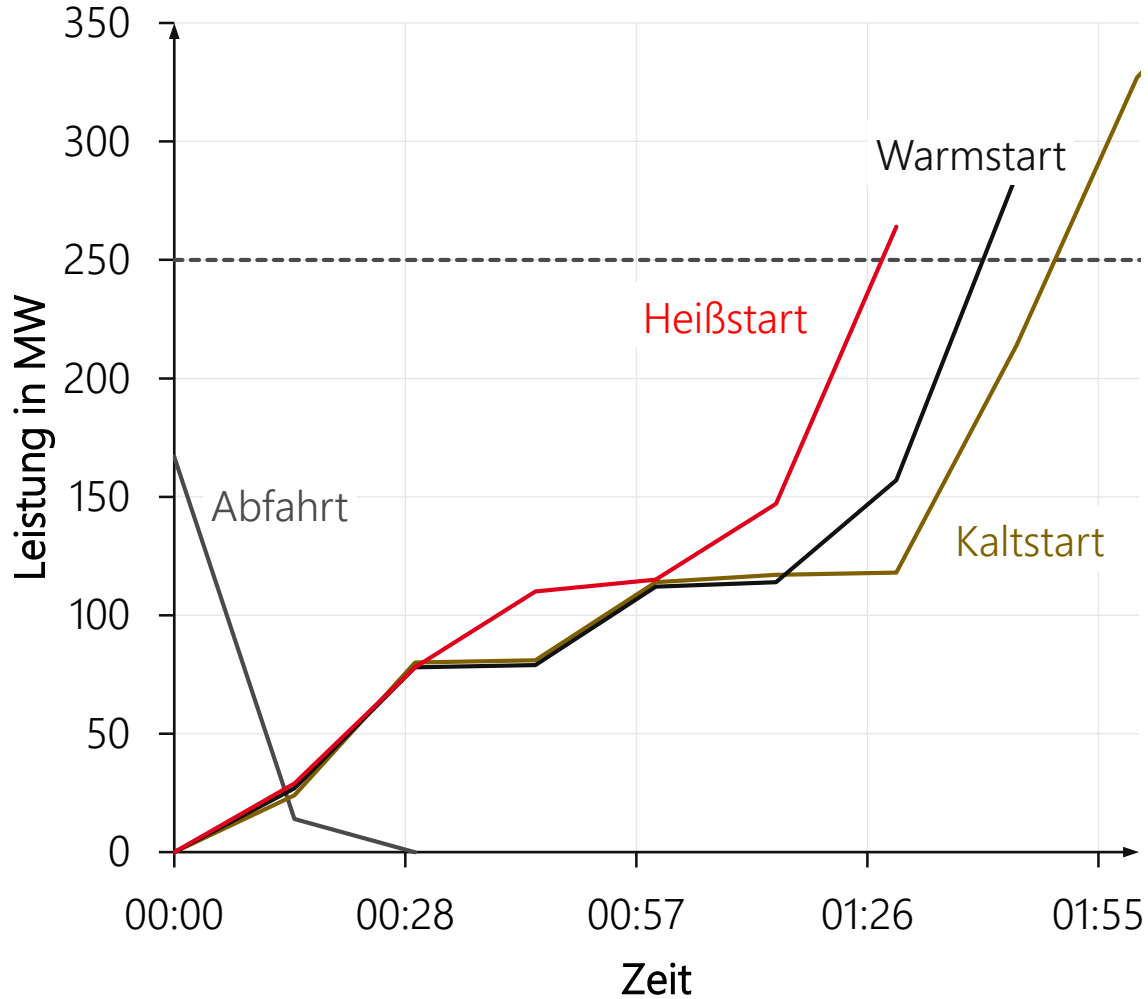
- GuD Kraftwerk

- Unit Commitment (UC)



3 Beschreibung des Modells

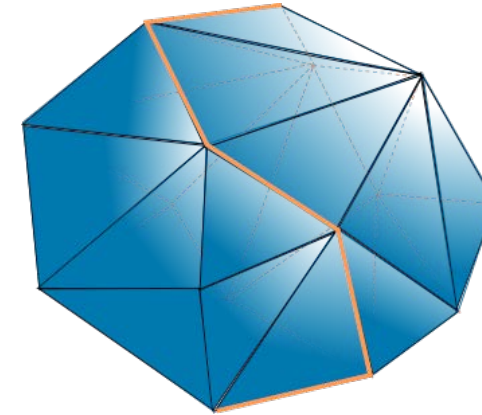
3.2 Rampenverläufe und Wirkungsgrad



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

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

subject to

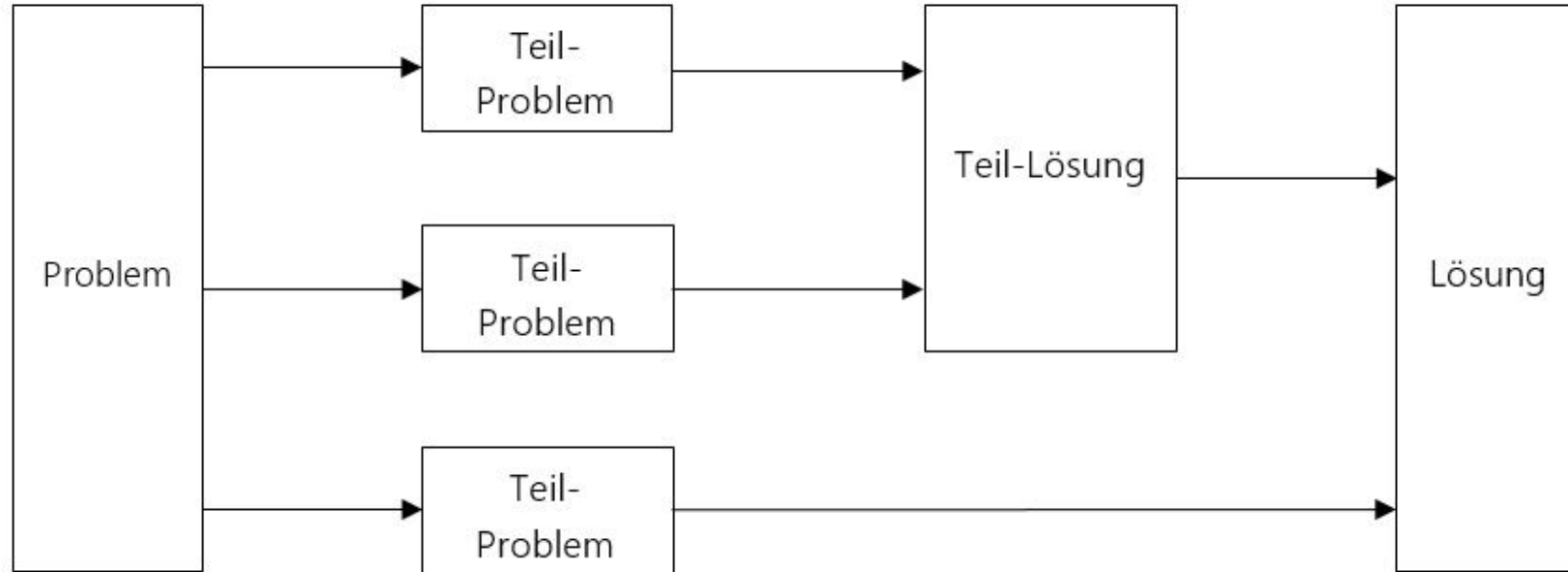
$$0 \leq \text{Power_Current}(k) \leq \text{On_Off}(k) \cdot \text{Power_Output_Max}(k)$$

$$\text{On_Off}(k) - \text{On_Off}(k - 1) == \text{Start_Up}(k) - \text{Shut_Down}(k)$$

...

4 Analytische Methode

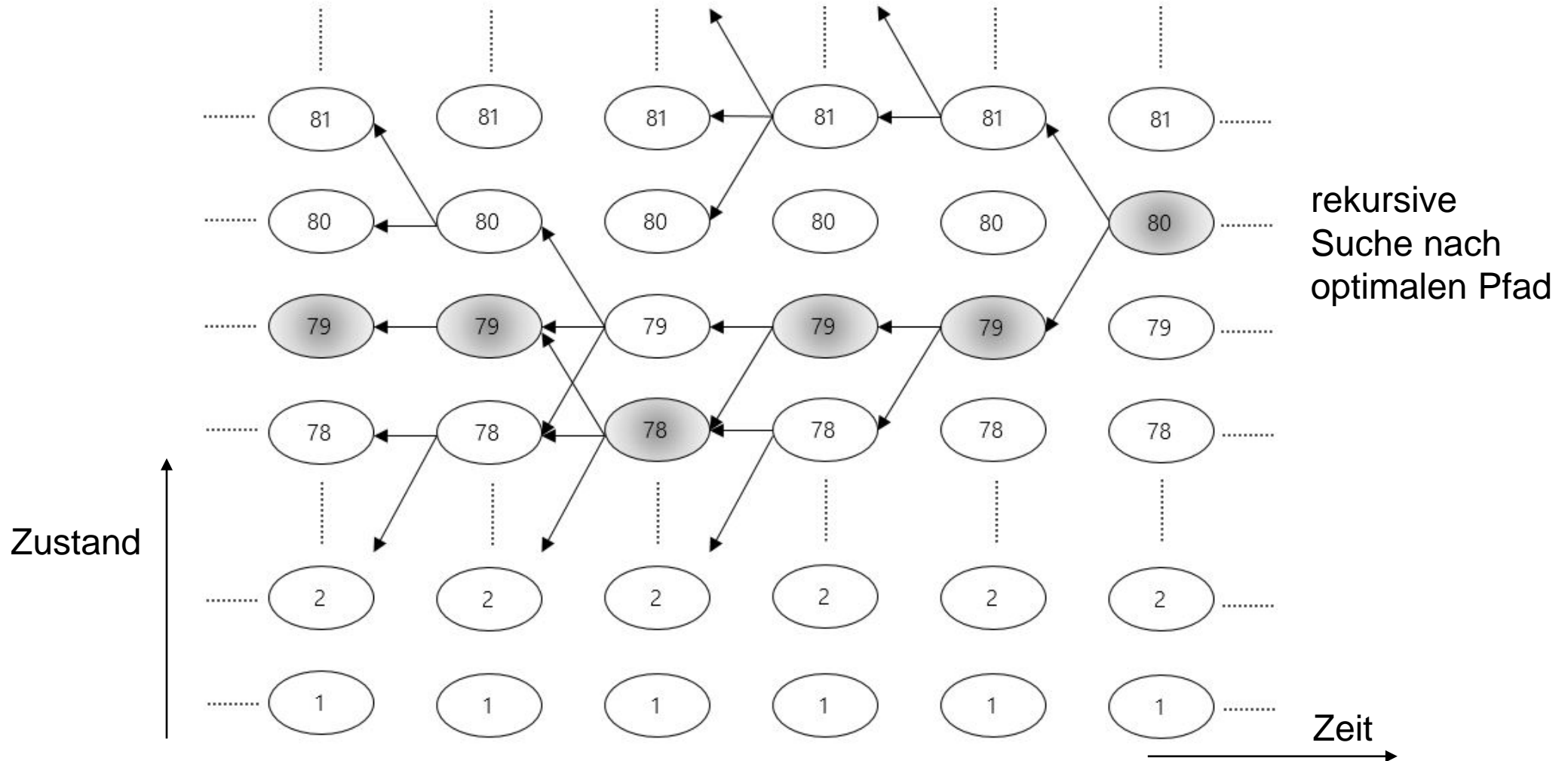
4.4 Mathematische Beschreibung - DP



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

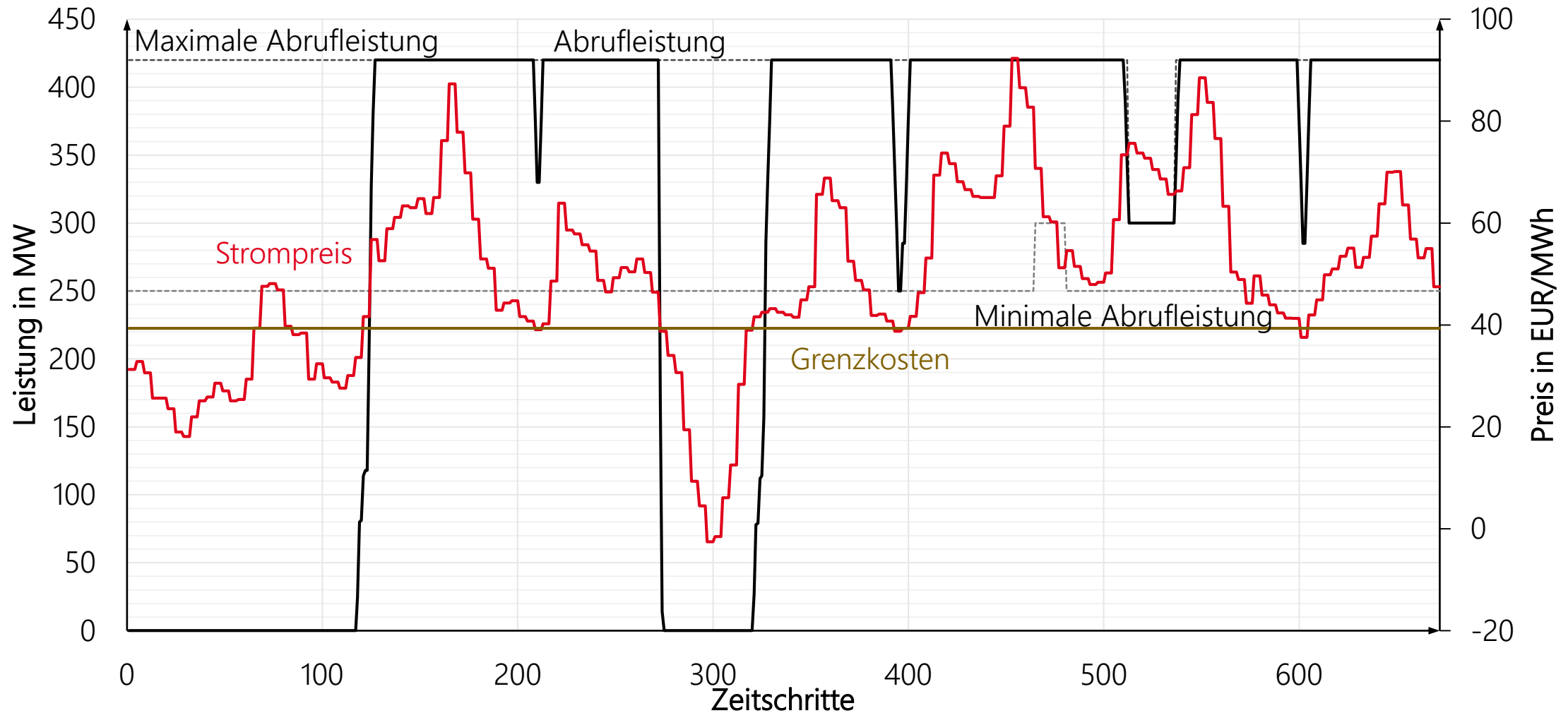
4 Analytische Methode

4.5 DP - Lösungsverfahren



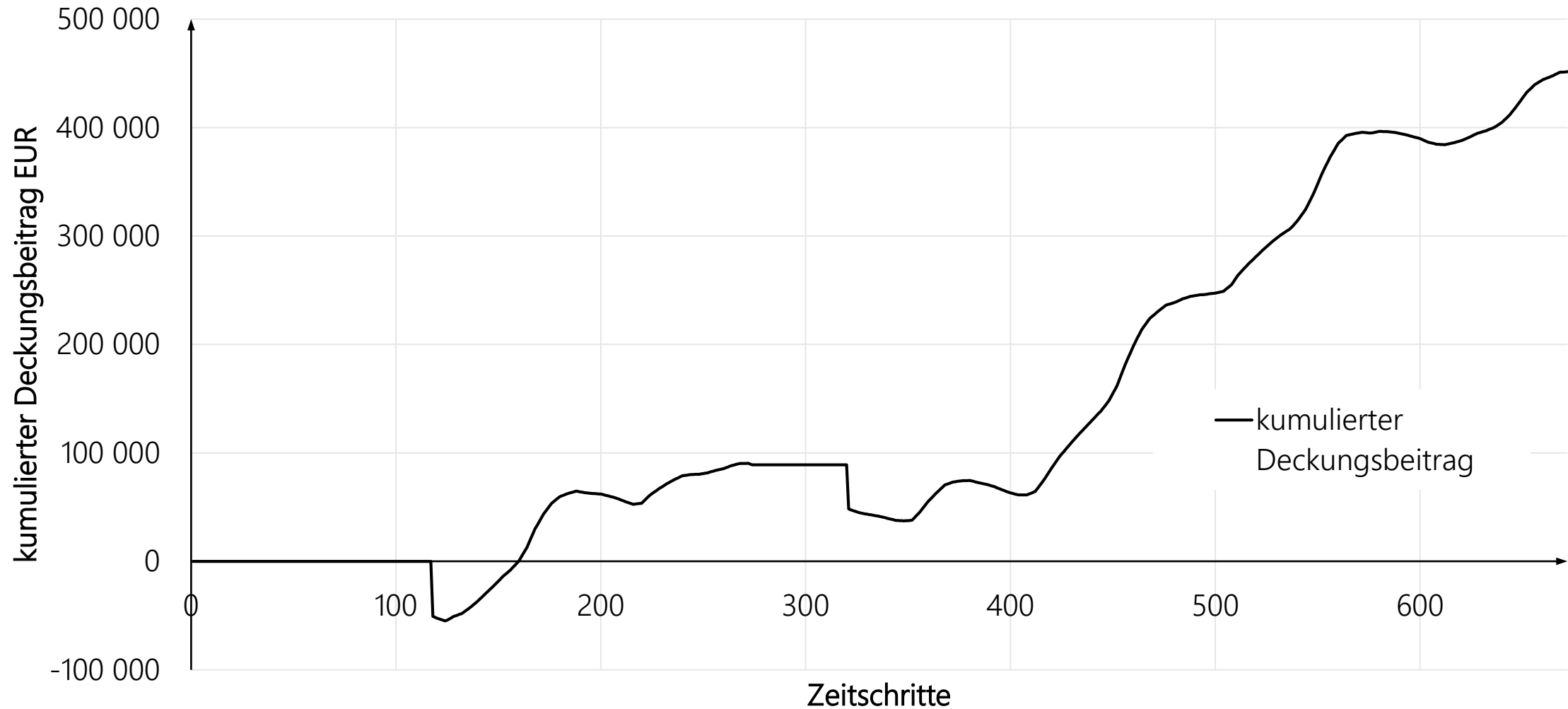
5 Ergebnis

5.1 Dispatch



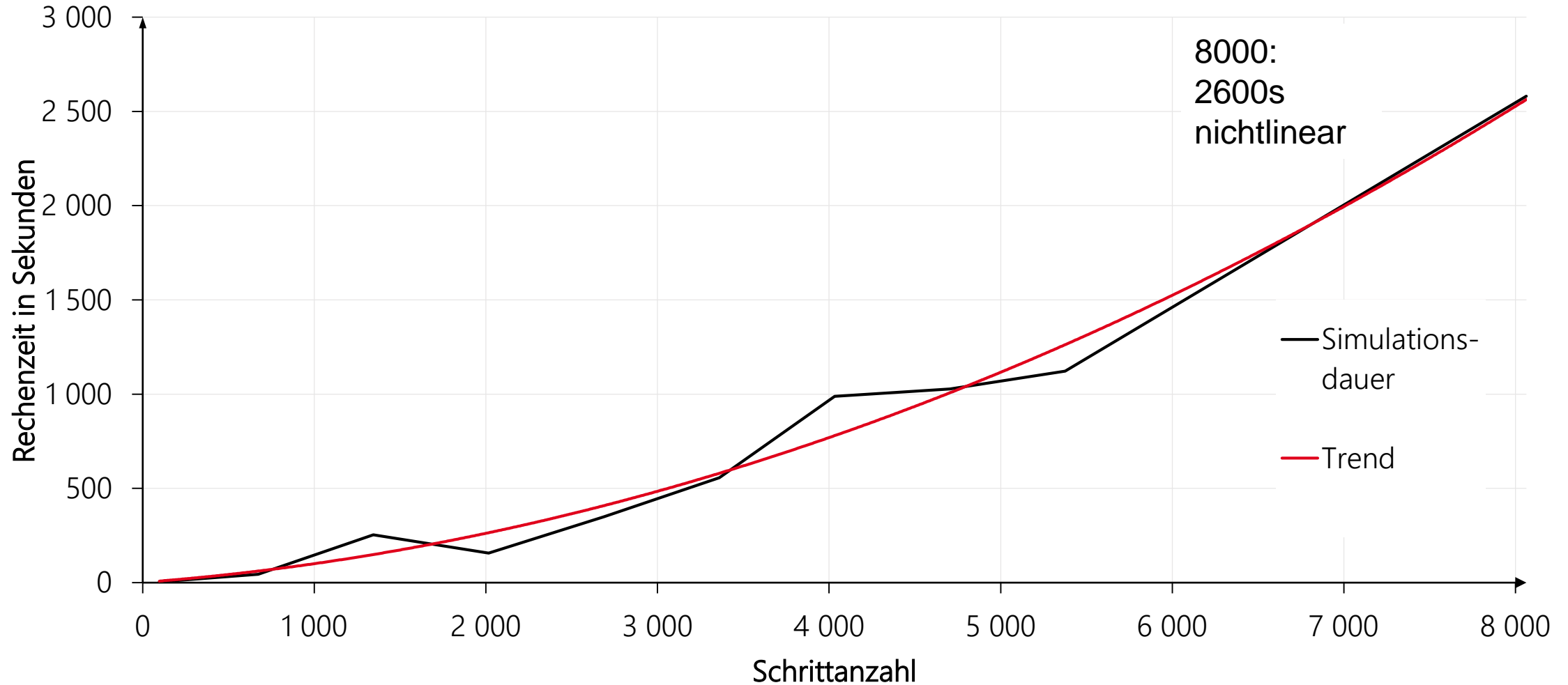
5 Ergebnis

5.2 kumulierter Deckungsbeitrag



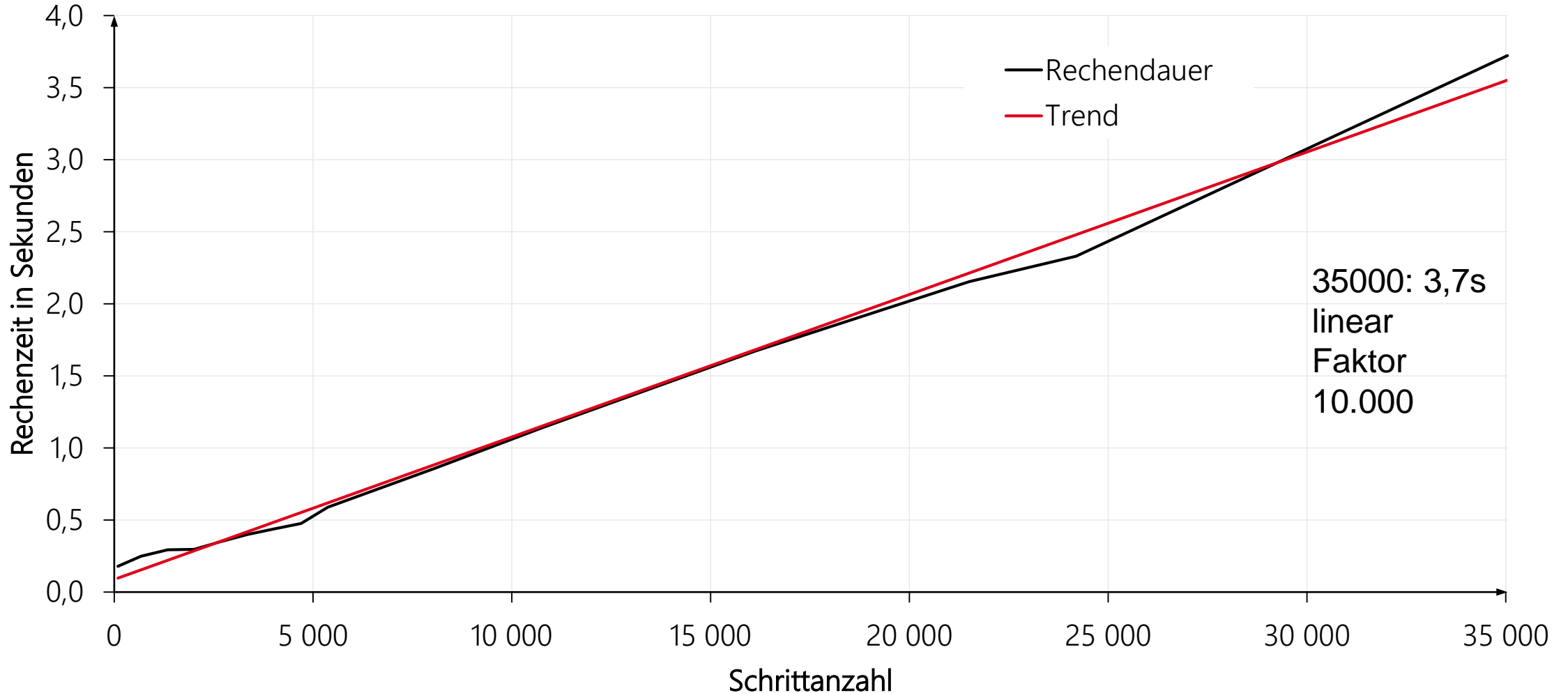
5 Ergebnis

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

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