E.ON Energy Research Center

Vortrag zur Bachelorarbeit

Ein kombiniertes Verfahren aus Column Generation und Lagrangian Relaxation zur dezentralen Koordinierung von Heizsystemen

27.03.2015

Claus Meschede

RWTH AACHEN UNIVERSITY

Motivation

- Trend zu lokal erzeugtem Strom (z.B. BHKWs und Photovoltaik-Anlagen)

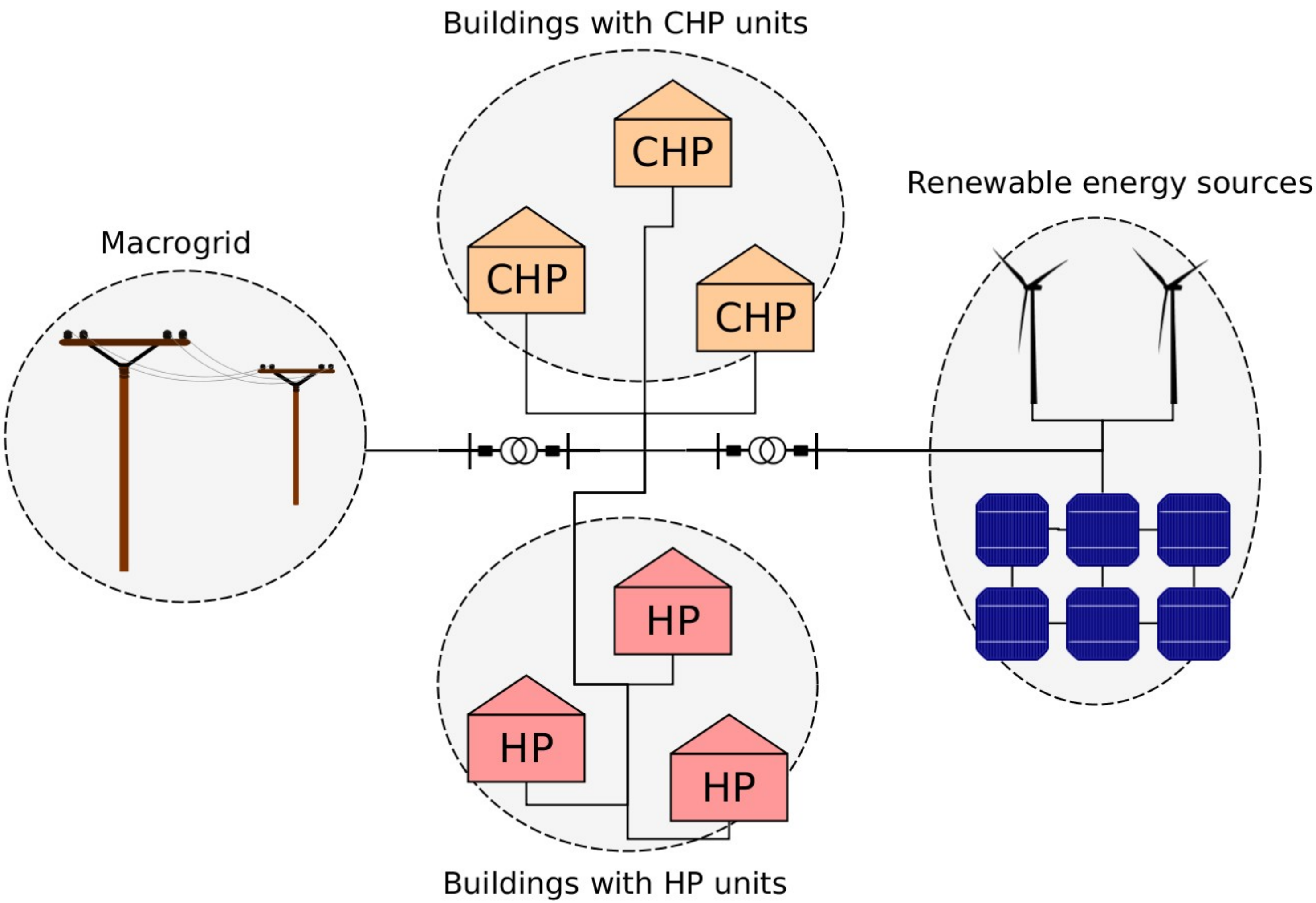
- Herausforderung für Netzstabilität

→ Energie Management Konzepte auf Verbraucherseite

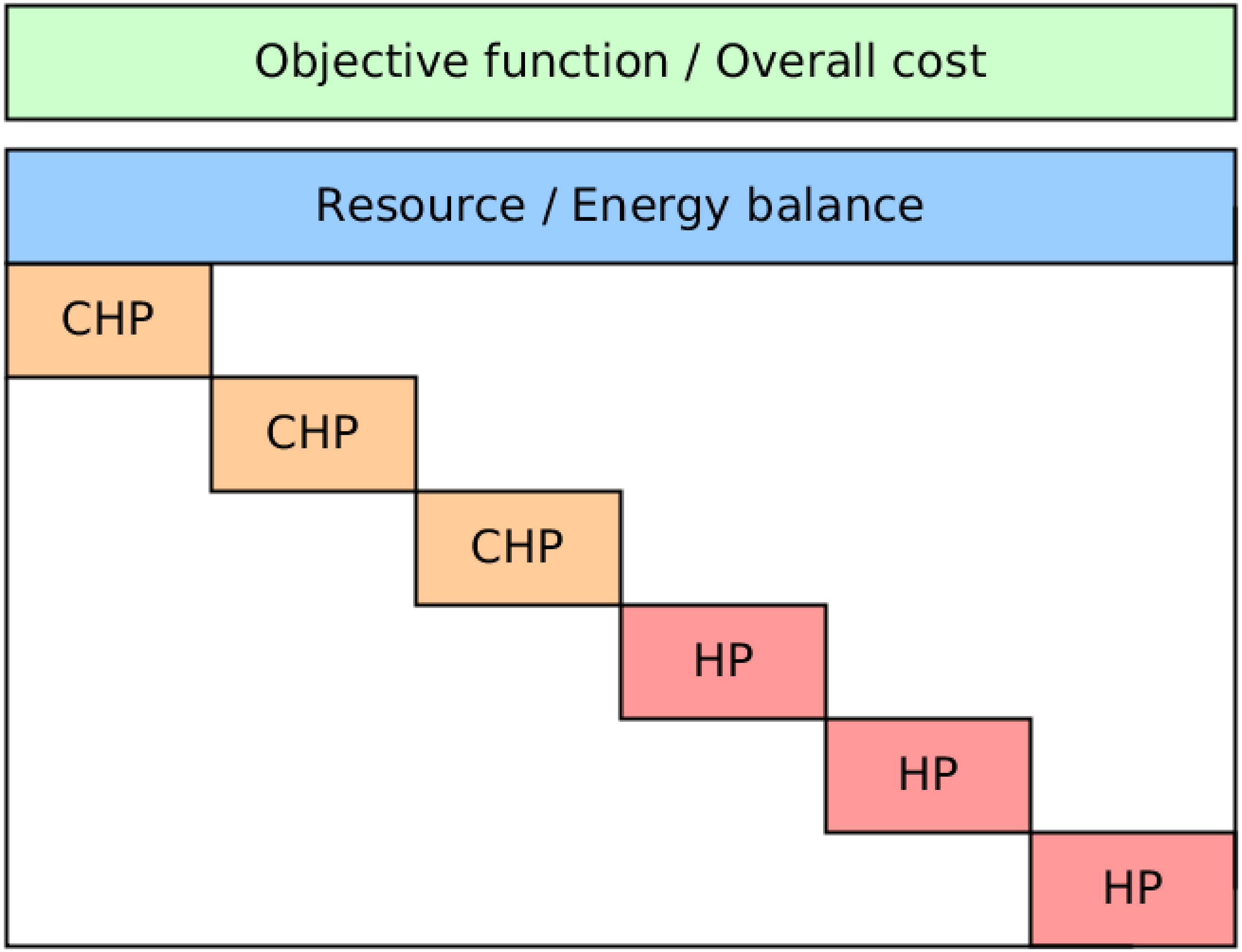
  - Entkopplung der Wärmeerzeugung vom Bedarf

  - Ausgleich von Stromerzeugung und -verbrauch

1. Optimierungsmodell - Microgrid



1. Optimierungsmodell - Struktur des MILP-Problems



1. Optimierungsmodell - Warum Dekomposition?

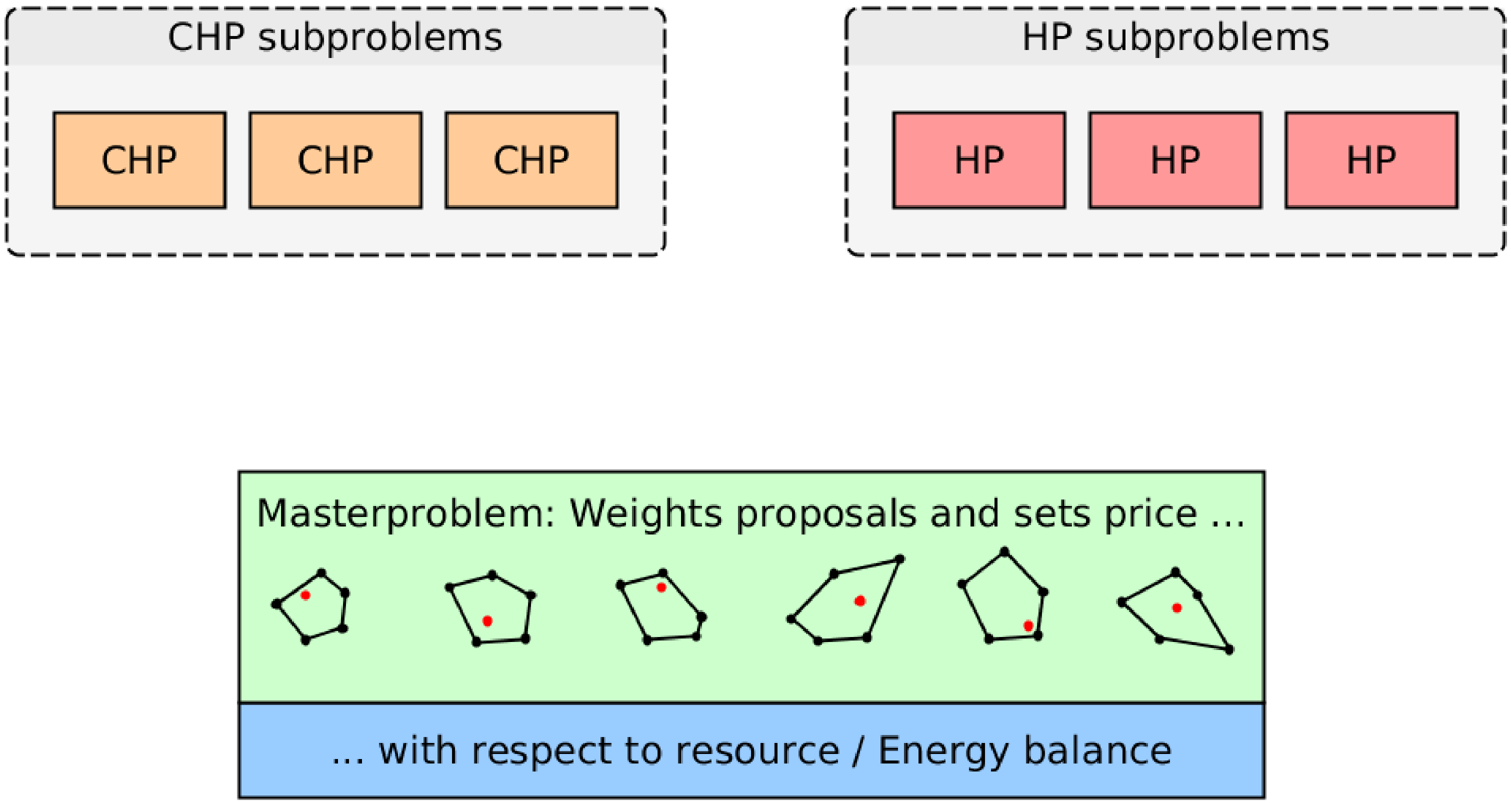
E.ON Energy Research Center

- Warum nicht einfach so als MILP-Problem lösen?
  - Rechenzeit steigt exponentiell mit Anzahl der Gebäude
    - Äußert **ineffizient** für größere Probleme
  - Zentraler Koordinator sammelt Gebäudeinformationen
    - Austausch **sensibler Daten** (z.B. genauer Stromverbrauch)

→ **Dekomposition** des Problems in Teilprobleme, die lokal gelöst werden

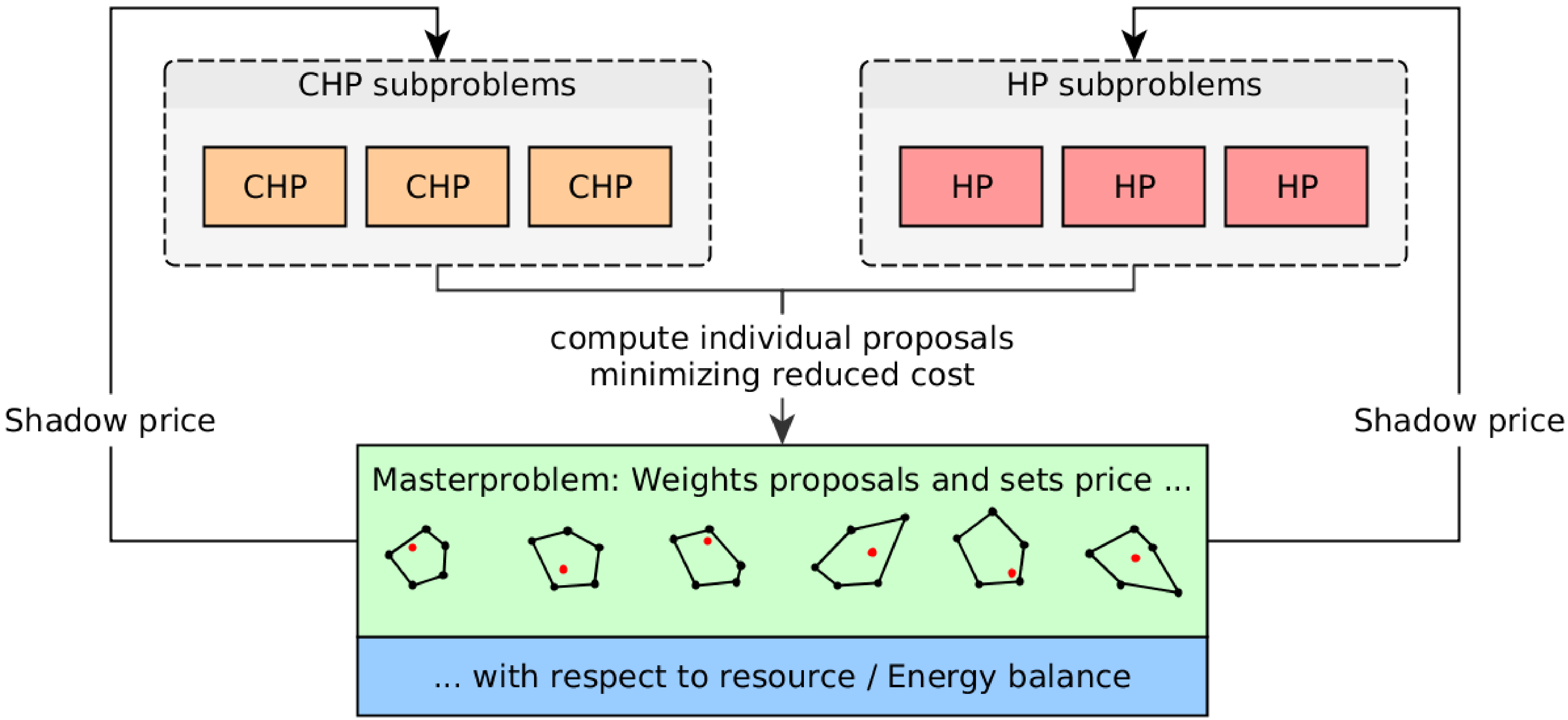
- *Dantzig-Wolfe Dekomposition*
- *Lagrange Relaxation*

2. Column Generation Methode - Dantzig-Wolfe Dekomposition



2. Column Generation Methode – Iterativer Algorithmus

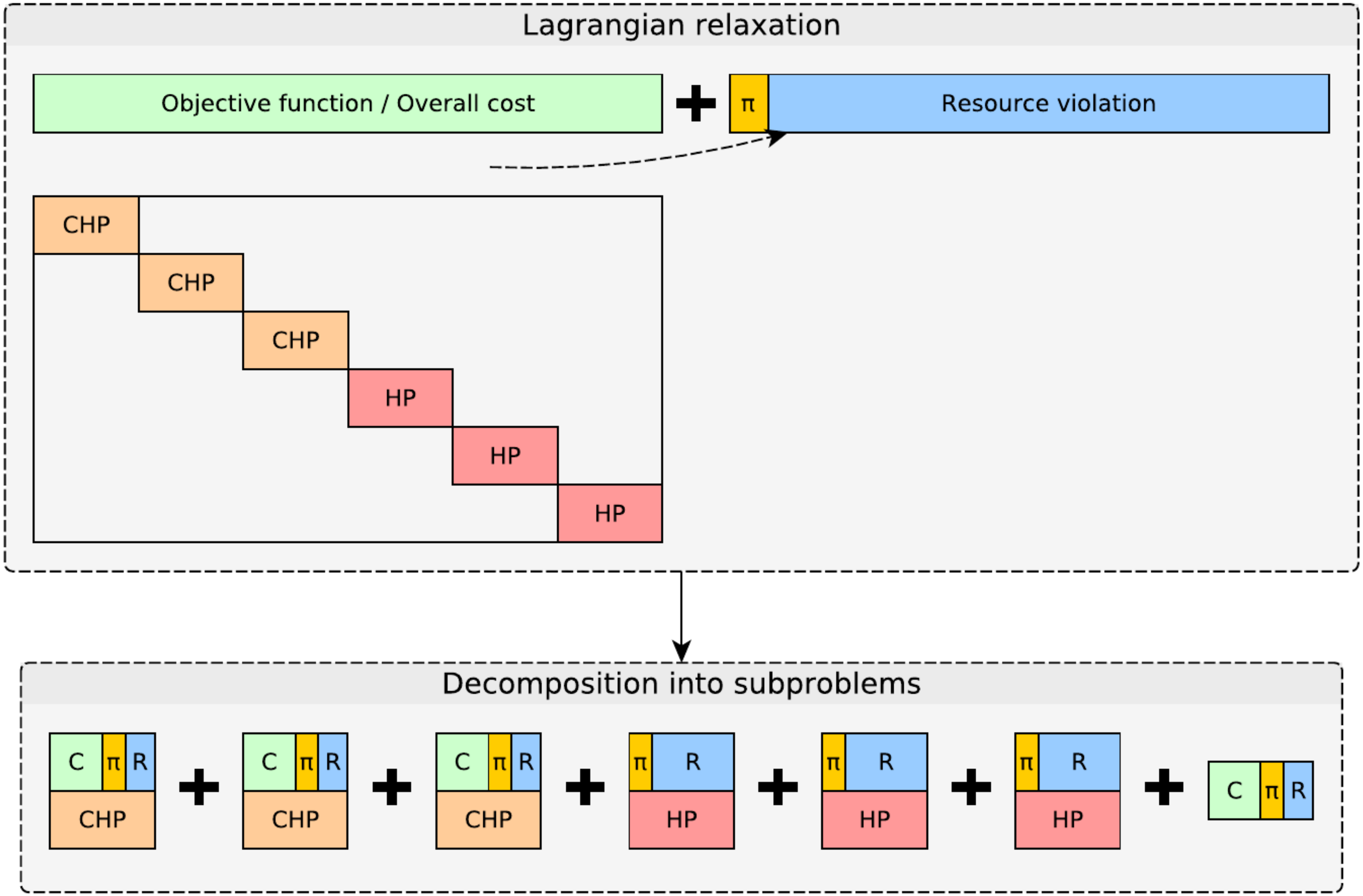
E.ON Energy Research Center



RWTH AACHEN UNIVERSITY

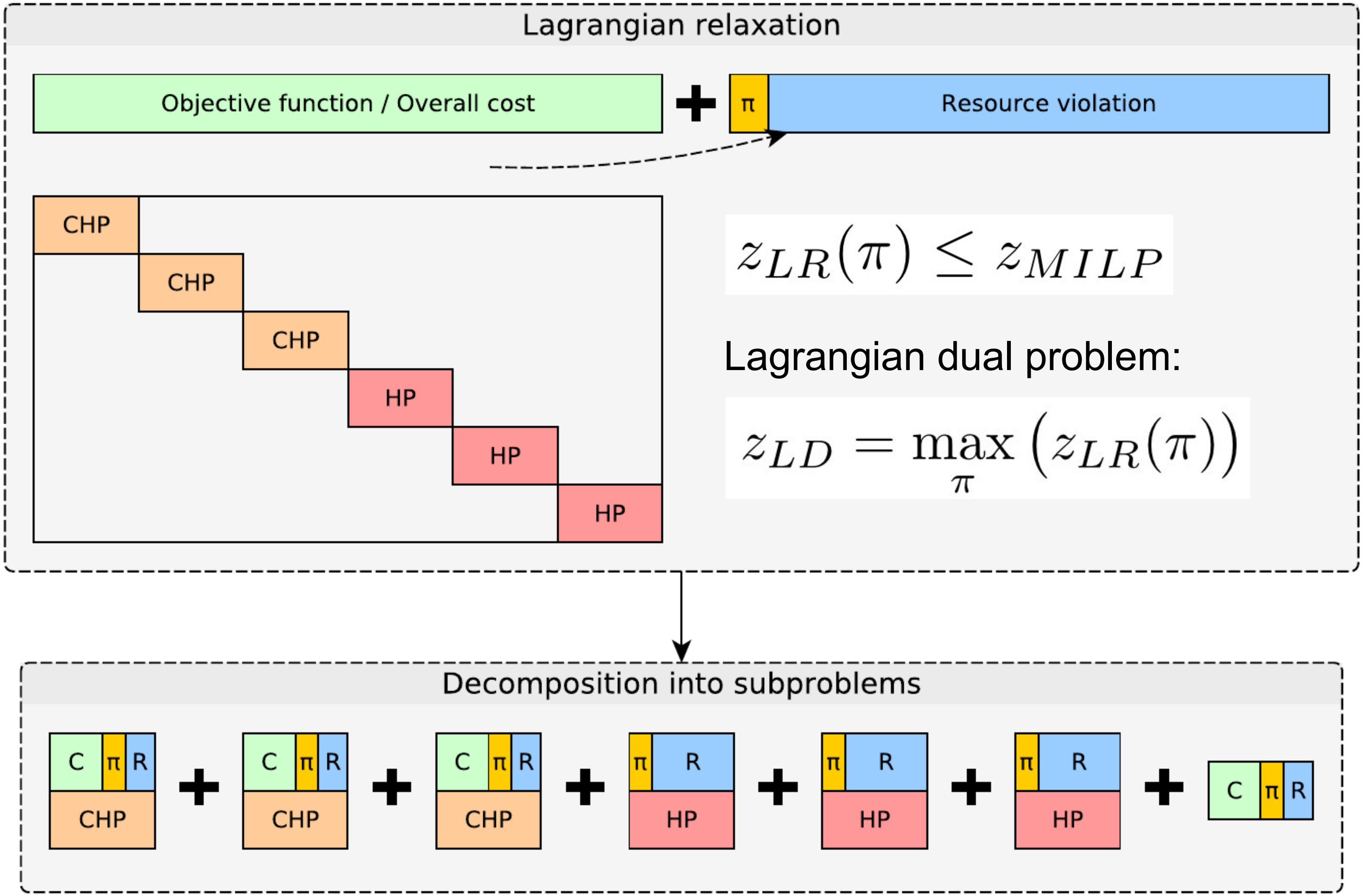
3. Lagrange Relaxation – Dekomposition in Teilprobleme

E.ON Energy Research Center



3. Lagrange Relaxation – Lösung, Formulierung des Lagrange Dualproblems

E.ON Energy Research Center



3. Lagrange Relaxation - Subgradienten Methode

- Wie lässt sich das *Langrangian dual* problem lösen?
  - **Nicht-differenzierbare**, konvexe Kostenfunktion

  → Methoden der linearen Optimierung nicht anwendbar

$$z_{LD} = \max_{\pi} \left(z_{LR}(\pi) \right)$$

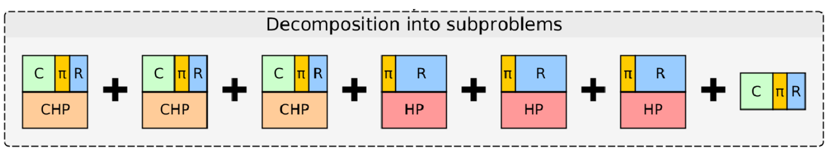
→ Optimierung mit Hilfe der Subgradienten Methode:

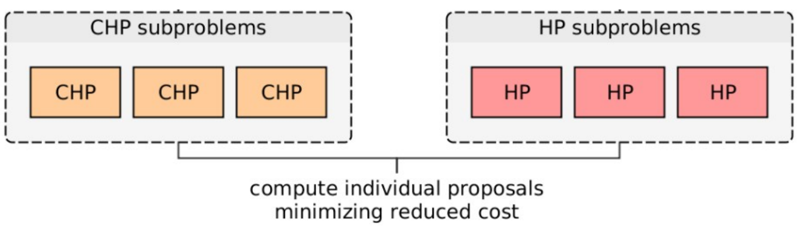
- Iteratives Verfahren: $$\pi^{k+1} = \left[\pi^k + s^k g^k \right]^+$$
- Subgradient *g* wird aus $z_{LR}(\pi)$ berechnet

4. Beziehung der Verfahren - Dualität

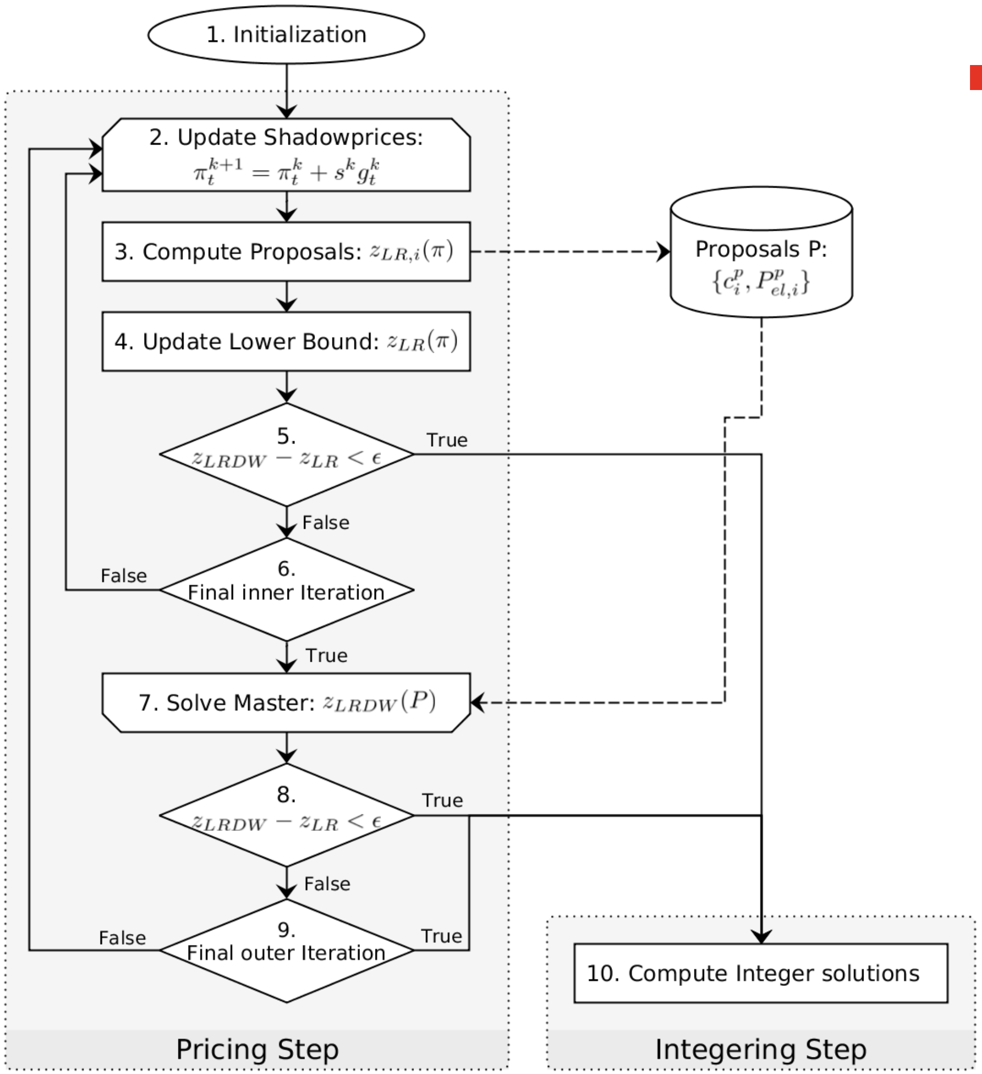
- *Lagranges Dualproblem (LD)* und *lineares DW-Masterproblem (LDW)* sind **duale Optimierungsprobleme:**
  - Column-Generation-Preise ↔ Lagrange-Dual-Preise
- **Teilprobleme** bis auf konstanten Faktor **identisch**.

  → Lagrange Relaxation kann zum Generieren von Proposals verwendet werden.





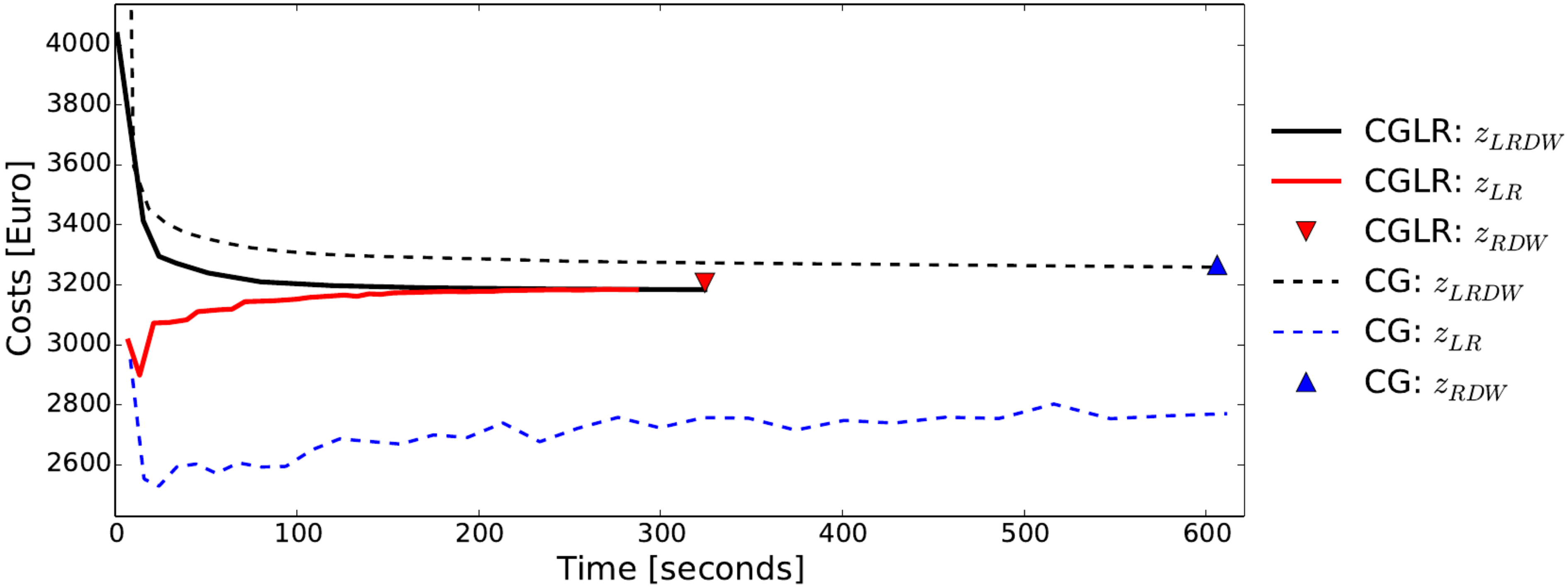
5. Kombiniertes Verfahren - Idee



- Idee: 2 geschachtelte Schleifen:
  - Innere Schleife:
    - Subgradienten Optimierung
    - Proposals als „Nebenprodukt“
  - Äußere Schleife:
    - Lösung des Masterproblems
    - „Feinjustierung“ der Subgradienten Update Formel
- Integering Step löst das Masterproblem zum Schluss als **MILP**

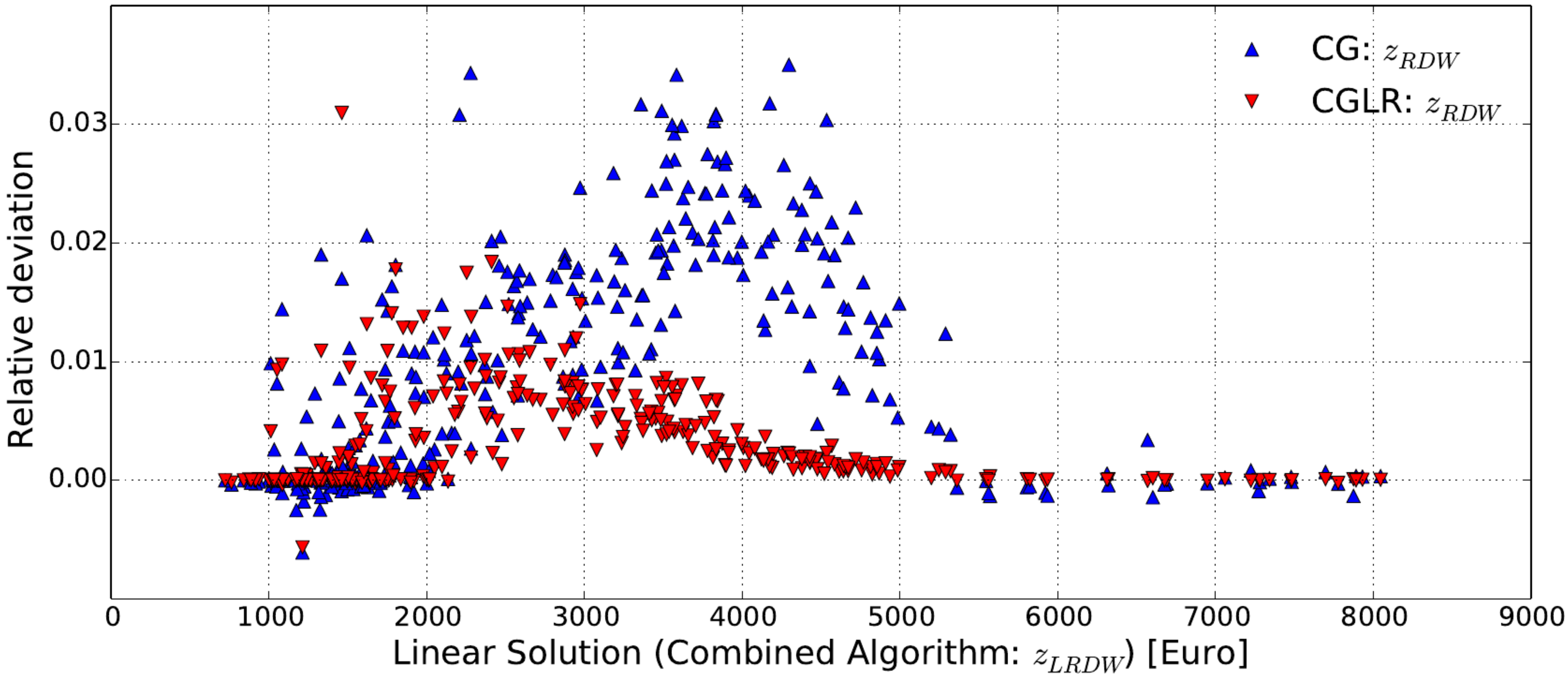
6. Ergebnisse - Konvergenz der Verfahren

E.ON Energy Research Center



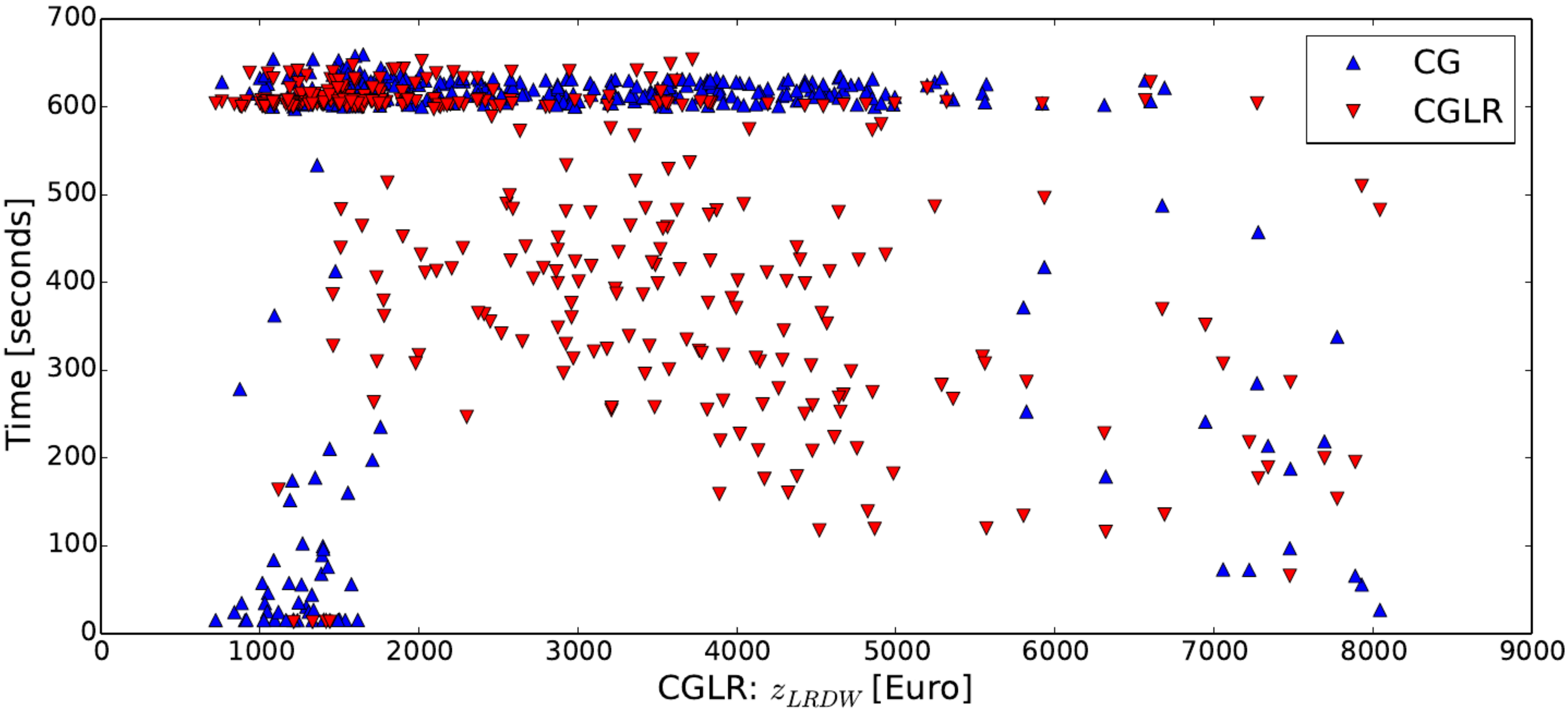
- CG: Konventionelles Column Generation Verfahren
- CGLR: Kombiniertes Verfahren mit Lagrange Relaxation

6. Ergebnisse - Primärlösungen des DW-Masterproblems



6. Ergebnisse - Abbruchzeiten der Methoden

E.ON Energy Research Center



Zusammenfassung

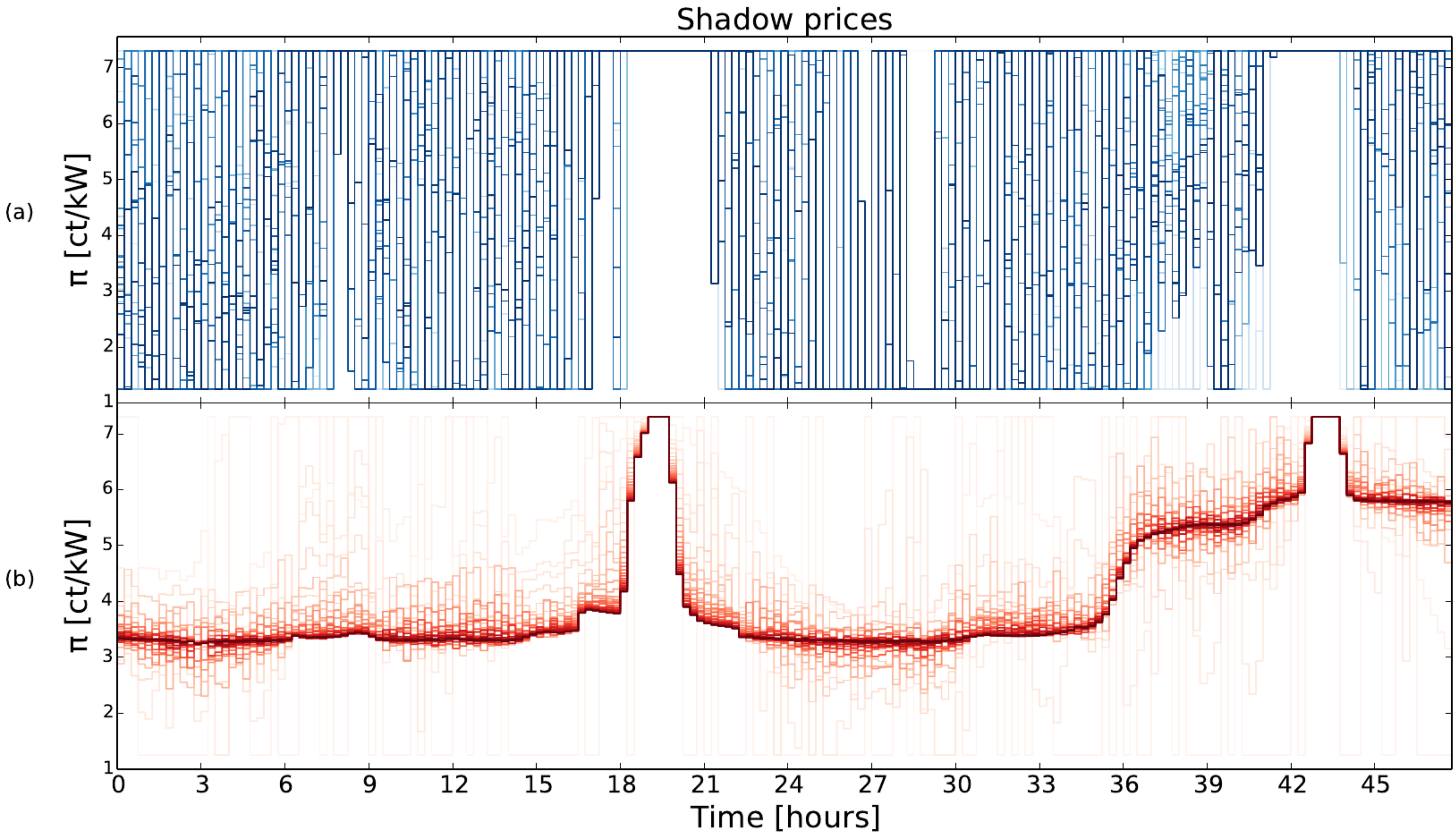
E.ON Energy Research Center

- Verfahren **kombiniert** Column Generation und Lagrange Relaxation
- Preissignale werden von der **Dualseite** aus optimiert, anstatt indirekt über Lösung des Masterproblems
- **Konvergenz verbessert sich deutlich**, insbesondere für Tage mit hohem Regelbedarf
- Lineare Lösungen nah am Optimum
- Gute Näherungslösungen des **Convex-Hull Preises**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

6. Ergebnisse - Konvergenz der Preissignale

E.ON Energy Research Center



6. Ergebnisse - Duallösungen

E.ON Energy Research Center

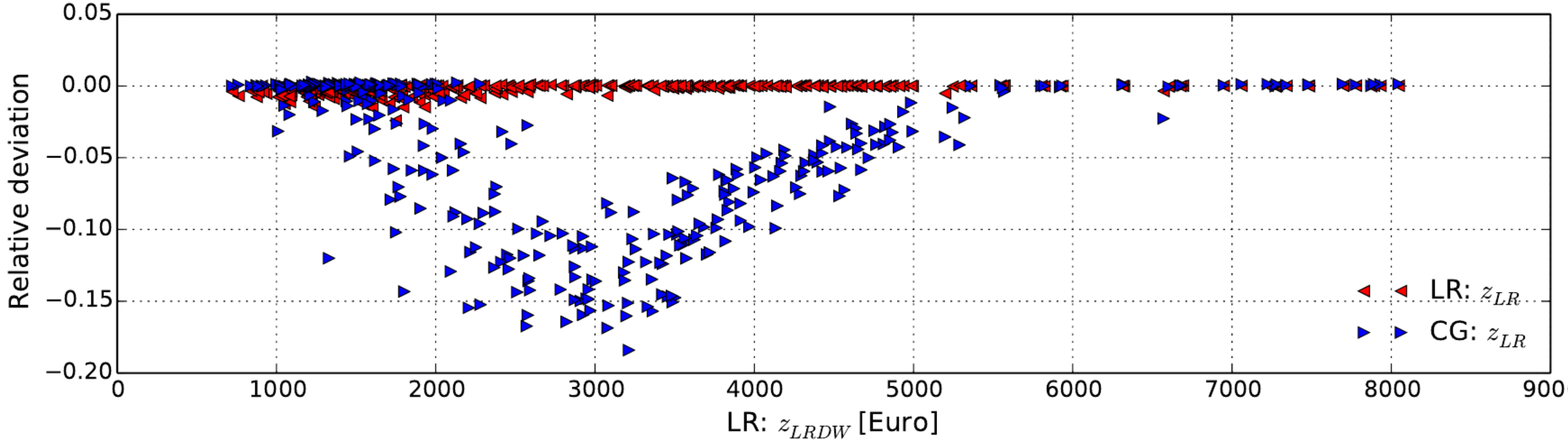


Figure 6.4: Dual solutions (CG: Conventional column generation algorithm; LR: Combined algorithm)

6. Ergebnisse - Austausch elektrischer Energie mit Makrogrid

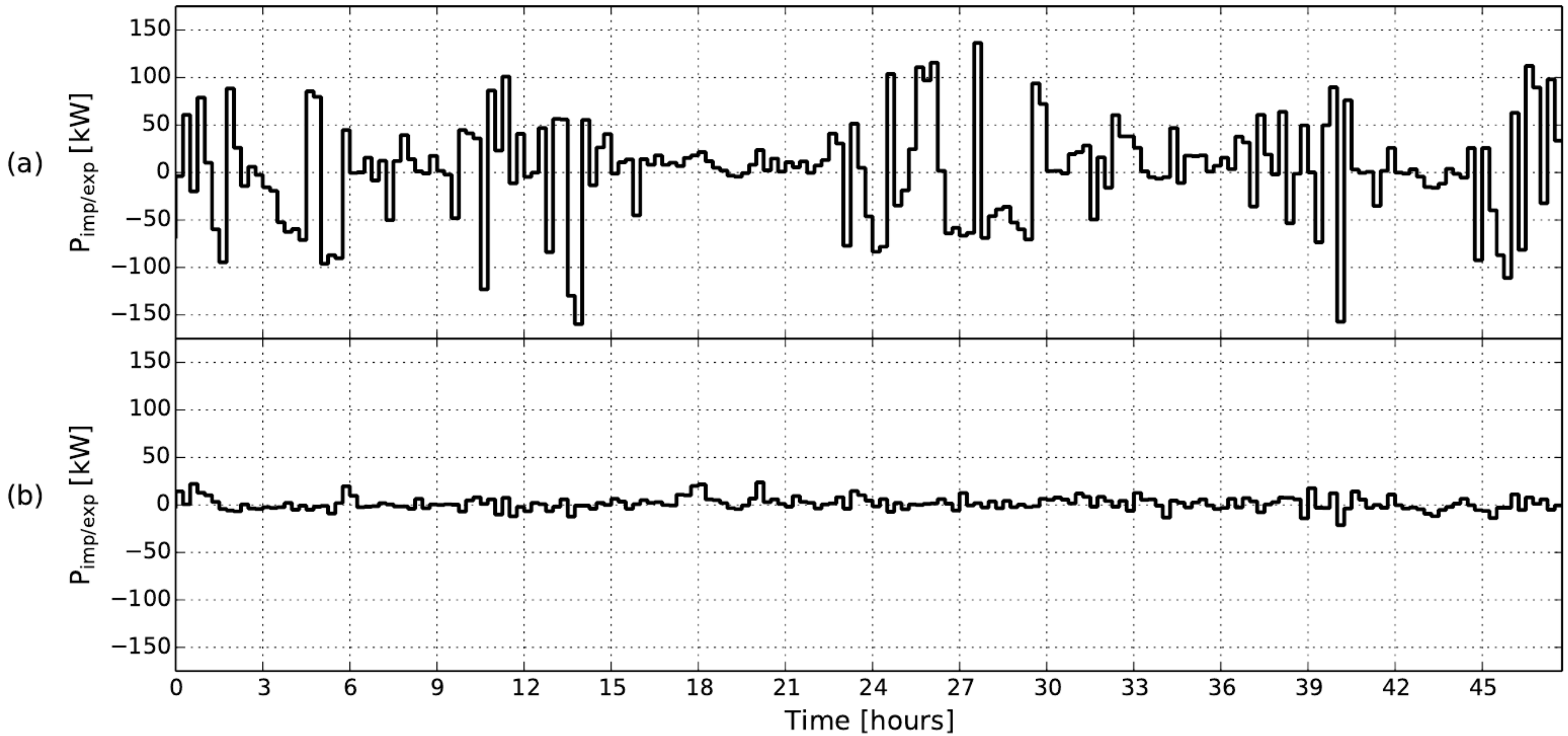


Figure 6.8: Electricity exchange with macrogrid for a day in January; (a) Integering step with final proposals; (b) Integering step with pricing proposals

6. Ergebnisse – Lineare Lösung als Benchmark

E.ON Energy Research Center

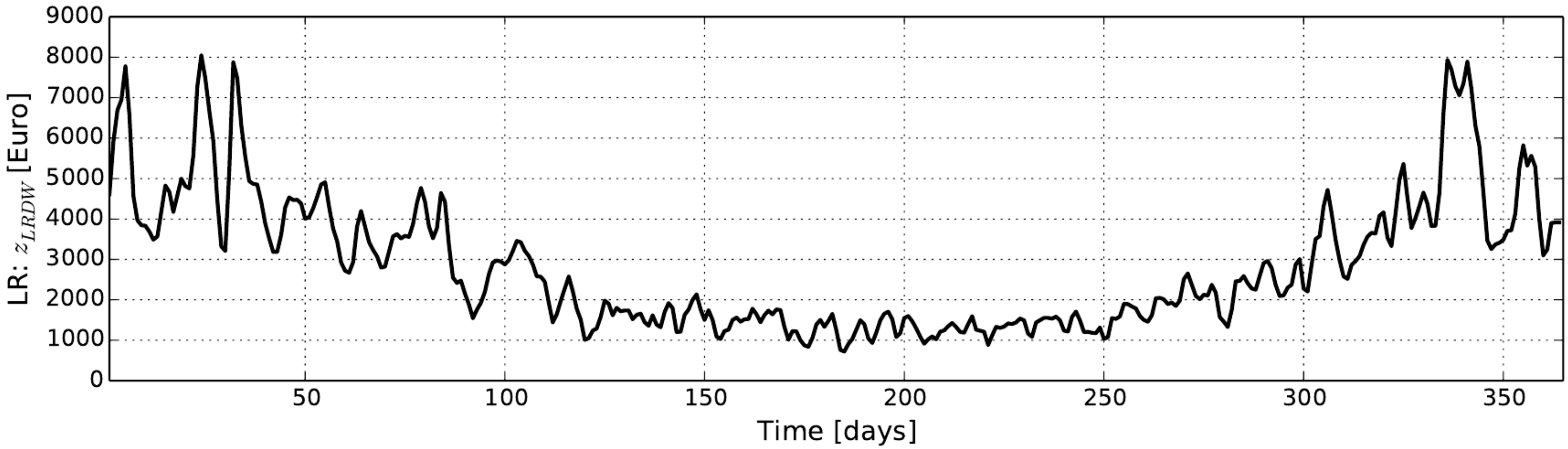


Figure 6.1: Best found lower bound z_{LRDW} from the combined algorithm over a whole year

6. Ergebnisse - Vergleich der Integer Lösungen

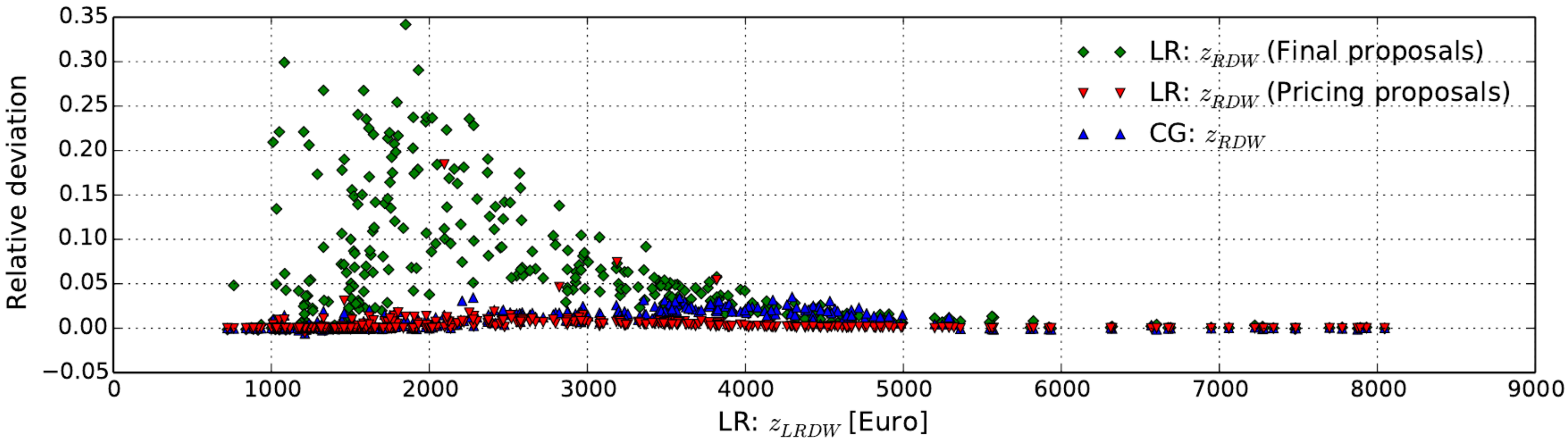
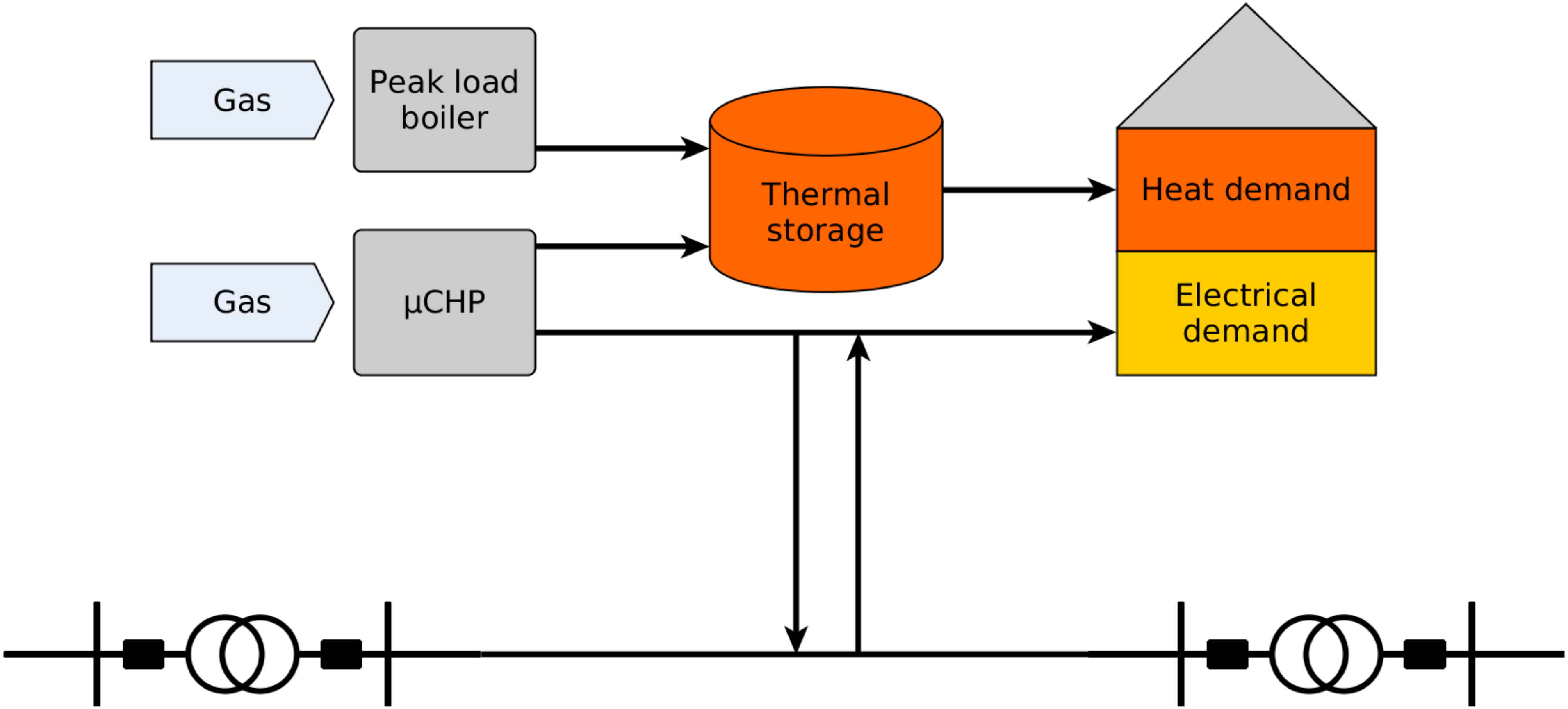


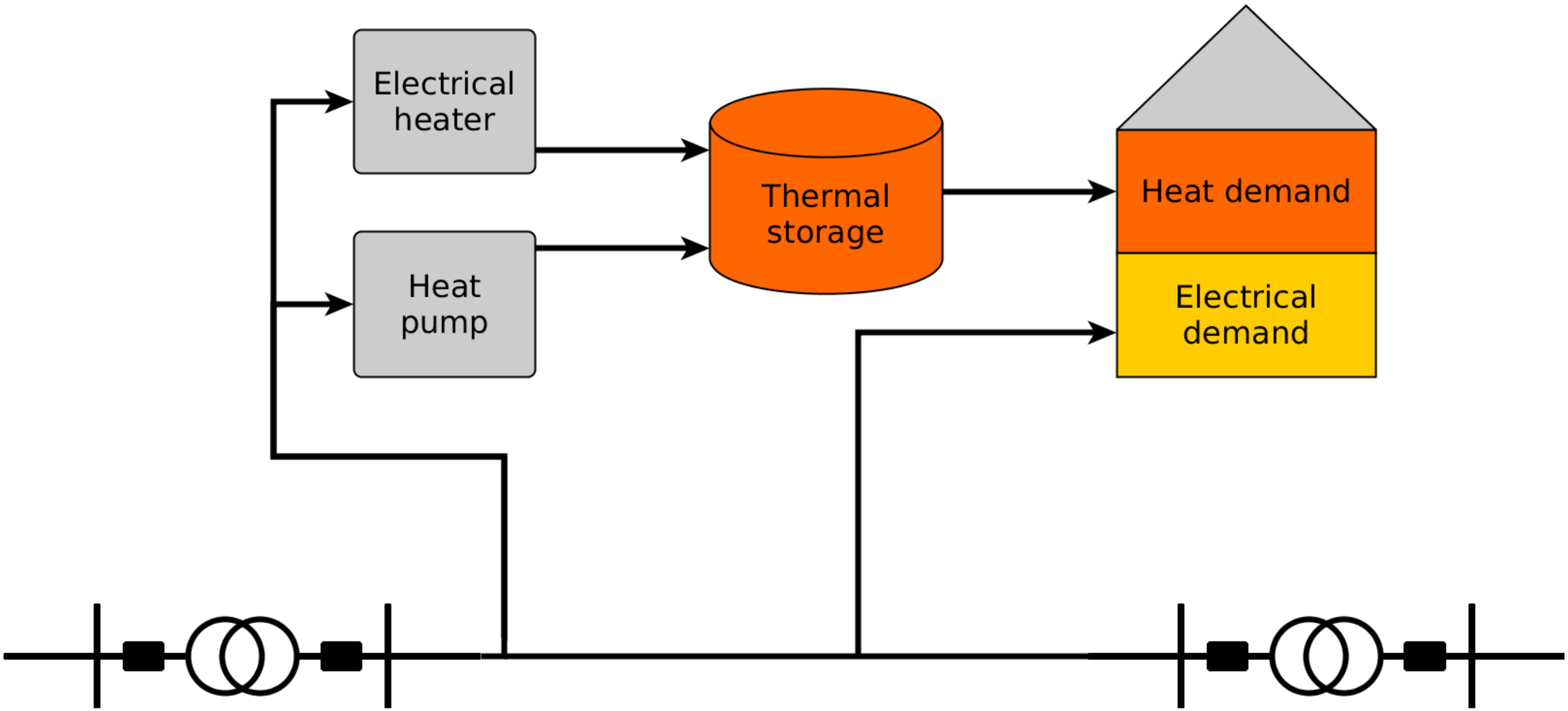
Figure 6.5: Primal solutions with unique shadow prices (CG: Conventional column generation algorithm; LR: Combined algorithm)

1. Optimierungsmodell - CHP Heizsysteme

E.ON Energy Research Center



1. Optimierungsmodell - HP Heizsysteme



- Kostenfunktion:

$$z_{MILP} = \min_{P_{hp},P_{chp},P_{im},P_{ex}} \left(\sum_{t=t_0}^{t_{end}} \left(P_{import}(t) \cdot c_{backup} - P_{export}(t) \cdot c_{grid} \right) \cdot \Delta t \right.$$
$$\left. + \sum_{t=t_0}^{t_{end}} \sum_{i=1}^{n_{chp}} \left(\frac{P_{el,i}^{chp}(t) + \dot{Q}_i^{chp}(t)}{\omega_i} + \frac{\dot{Q}_i^{boiler}(t)}{\eta_i^{boiler}} \right) \cdot c_{gas} \Delta t \right)$$

1. Optimierungsmodell - Struktur des Problems

E.ON Energy Research Center

- Energie-Bilanz:

$$P_{import}(t) + P_{RES}(t) + \sum_{i=1}^{n_{chp}} P_{el,i}^{chp}(t) =$$

$$P_{export}(t) + P_d(t) + \sum_{j=1}^{n_{hp}} \left(P_{el,j}^{hp}(t) + P_{el,j}^{heater}(t) \right) \quad \forall t$$

2. Column Generation Methode - Beziehung der Lösungen

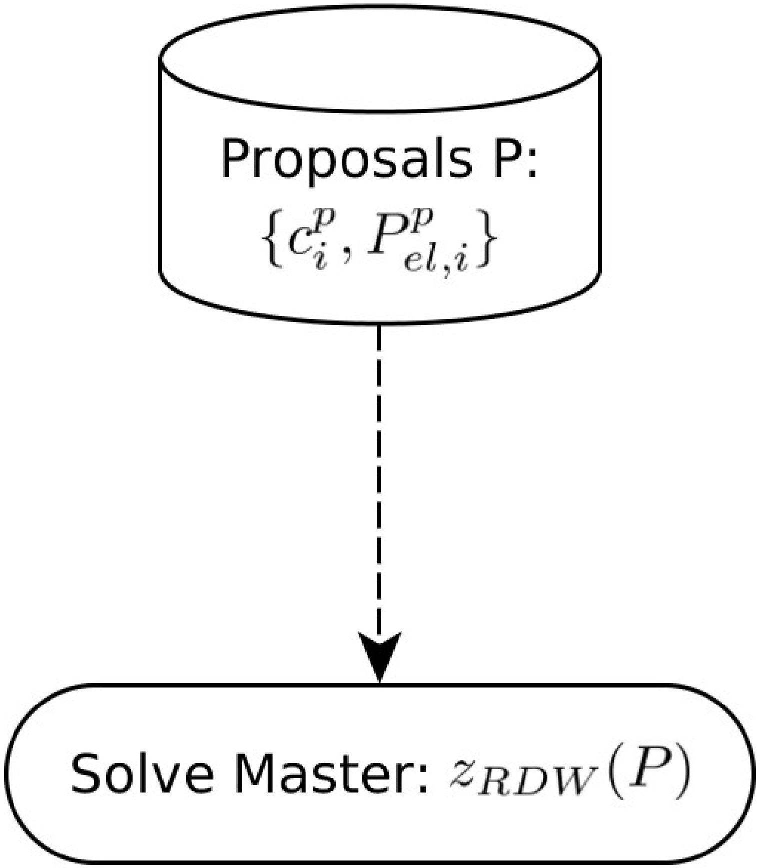
$$z_{LR}(\pi) \leq z_{LD} = z_{LDW} \leq z_{DW} = z_{MILP}$$

$$z_{LDW} \leq z_{LRDW}$$

$$z_{DW} \leq z_{RDW}$$

5. Kombiniertes Verfahren - Berechnen von Integer Lösungen 1

E.ON Energy Research Center

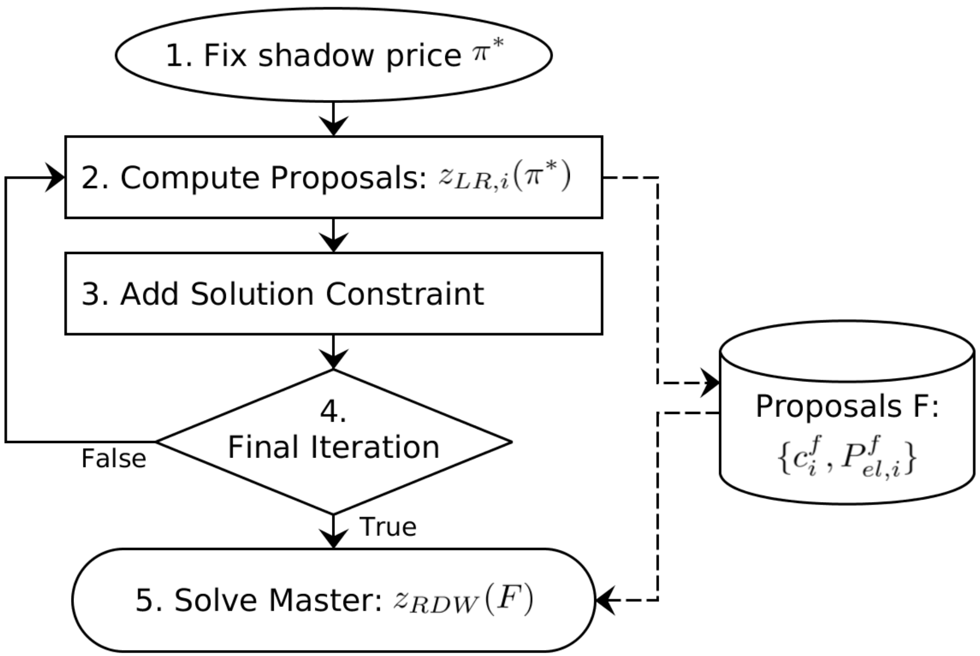


- 1. Möglichkeit:
  - Lineare Relaxation entfernen und Masterproblem als MILP lösen
    - Anstatt mehrere Proposals zu gewichten wird für jedes Gebäude ein einzelnes Proposal ausgewählt.
    - Als Basis dienen weiterhin alle bisher generierten Proposals.
  - Problem:
    - Proposals sind nicht bei einheitlichen Preissignalen entstanden
    - „Unfaire“ Behandlung der einzelnen Gebäude

RWTH AACHEN UNIVERSITY

5. Kombiniertes Verfahren - Berechnen von Integer Lösungen 2

E.ON Energy Research Center



- Neue Methode:
  - **Preissignal** wird am Ende des Column Generation Verfahrens **festgesetzt**.
  - Methode versucht die „basic“ Proposals zu finden aus denen sich die lineare, näherungsweise optimale Lösung des Problems zusammensetzt.
  - Basis des finalen MILP Problems nur aus den finalen Proposals bestehend.