

**FORSCHUNG**  
Burgenland  
RESEARCH & INNOVATION

**4ward Energy**  
Research GmbH

**VENIOS**<sup>®</sup>  
Vereinigt IT und Energie

**STADTWERKE**  
Hartberg

**TU**  
WIEN  
**ESEA**  
Institute of Energy Systems  
and Electrical Drives



GE imagination at work  
Austria

# Hybrid Grids DEMO

**Güssing '17**

09.03.2017

# Agenda

- **Projektvorstellung**
- **Geschäftsmodell**
- **Lastgangtool**
- **Technische Umsetzung**



# Projektbasisdaten

- Projektname:** „Demonstration einer smarten Verknüpfung der urbanen Strom-, Erdgas- & Fernwärmenetze zu funktionalen Stromspeichern“
- Kurztitel:** Hybrid Grids DEMO
- Programm:** Smart Cities Demo – 4. Ausschreibung
- Partner:** **Forschung Burgenland GmbH (Lead Partner)**  
4ward Energy Research GmbH  
TU Wien – Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe  
Stadtwerke Hartberg Verwaltungs Ges.m.b.H.  
TBH Ingenieur GmbH  
Venios Österreich GmbH  
General Electric Austria GmbH
- Projektlaufzeit:** April 2014 bis April 2018



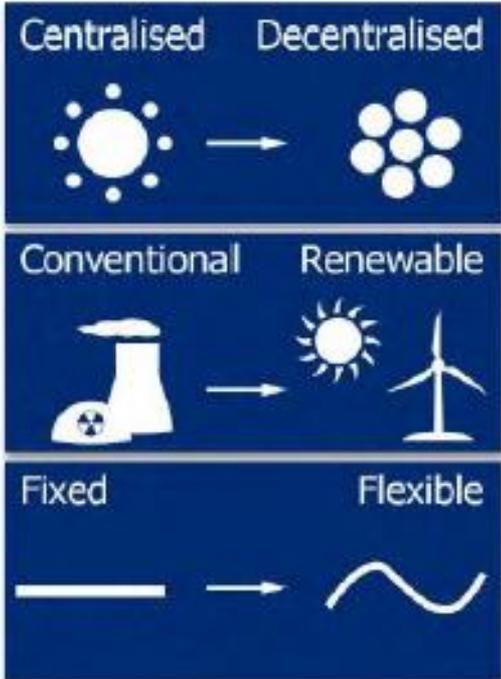
# Zielsetzung des Projekts

- **Nutzbarmachung neuer Erzeugungs- und Lastflexibilitäten u.a. durch**
  - Synergetische Nutzung von kombinierter Strom- und Wärmeerzeugung
  - Power to Heat Lösungen im kleinen Leistungsbereich (Wärmepumpen, Warmwasserboiler, ...)
  - Einbeziehung von Prognosen über erwartete Erzeugung / Verbrauch
- **Entwicklung von Marktmodellen für die angewandten Strategien unter Ausnutzung positiver Effekte für alle Akteure**

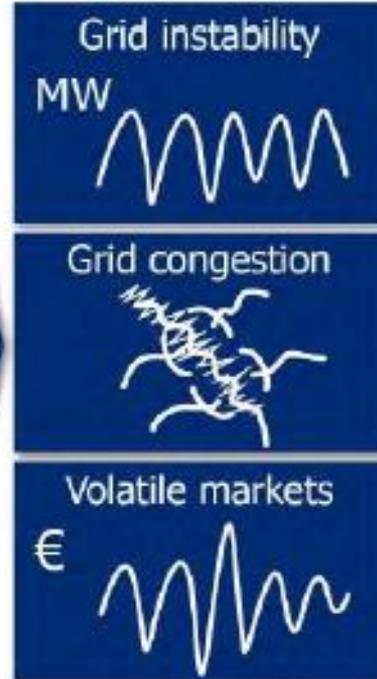


# Trends / Herausforderungen / Lösungsansätze

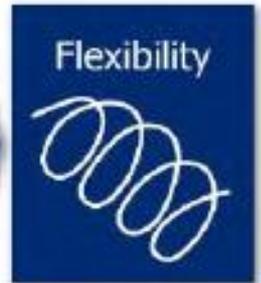
## Trends



## Herausforderungen

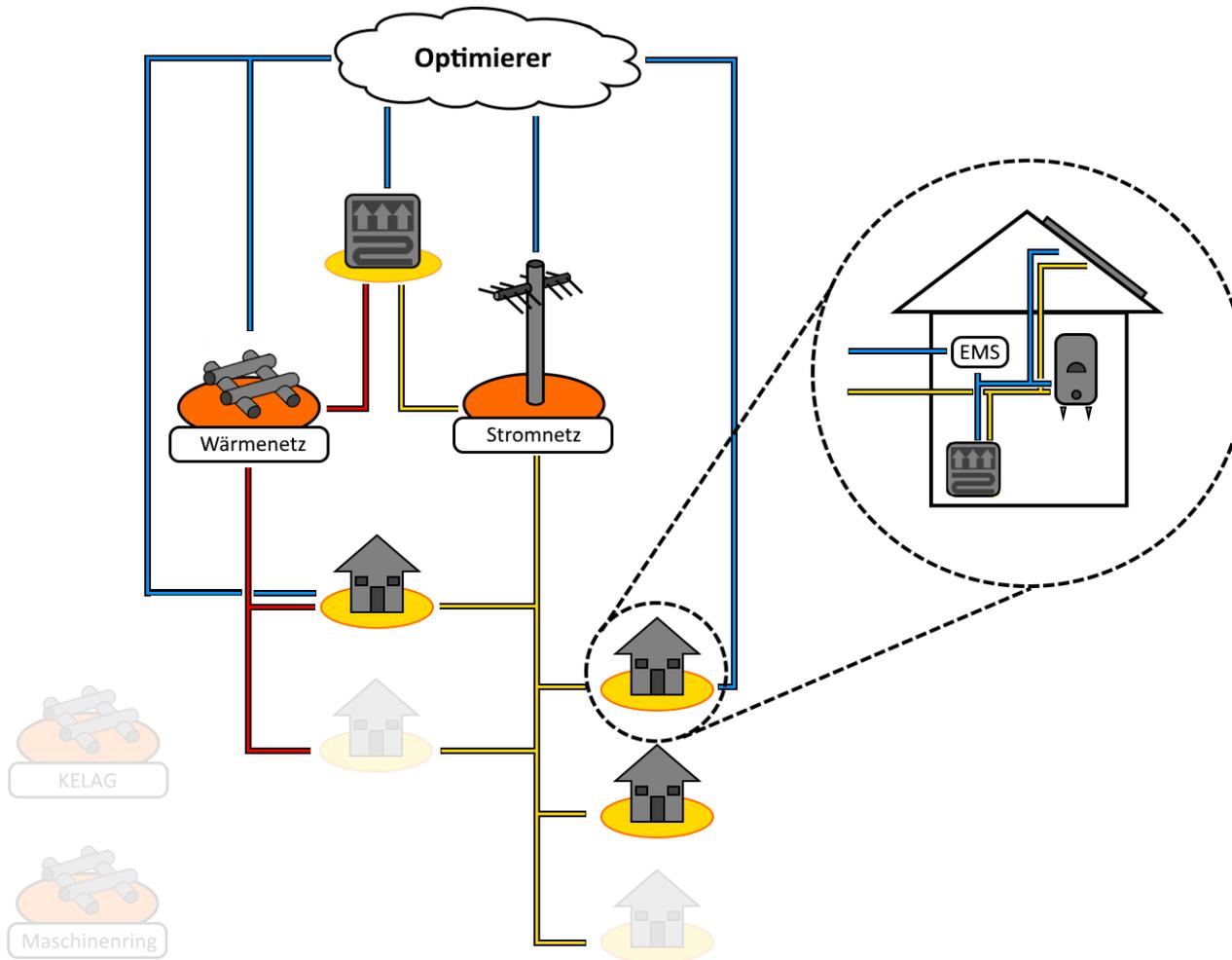


## Lösungsansätze

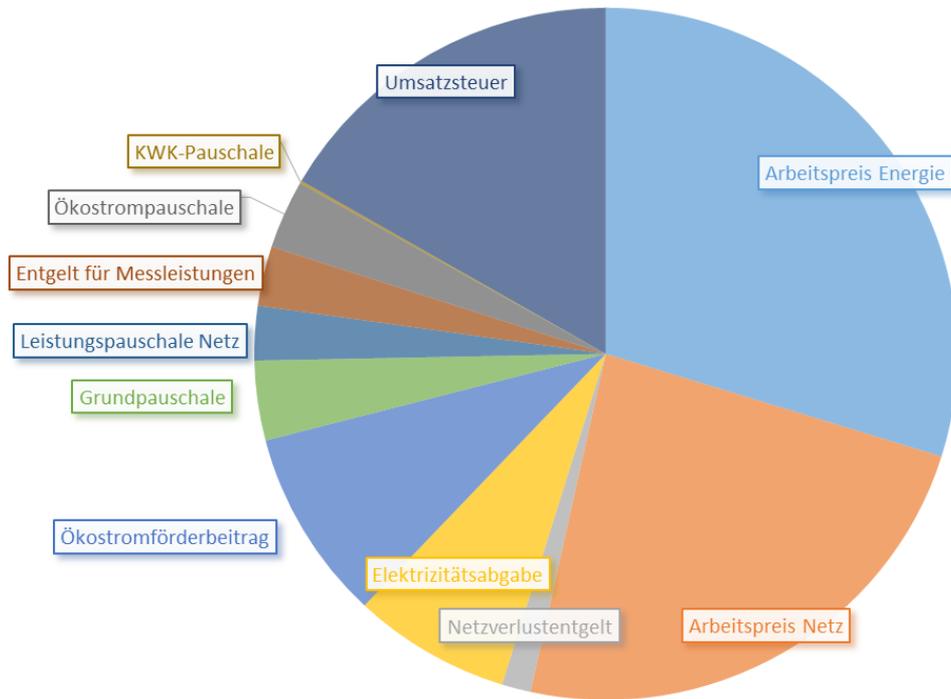


Quelle: e-control

# Der hybride Netzansatz

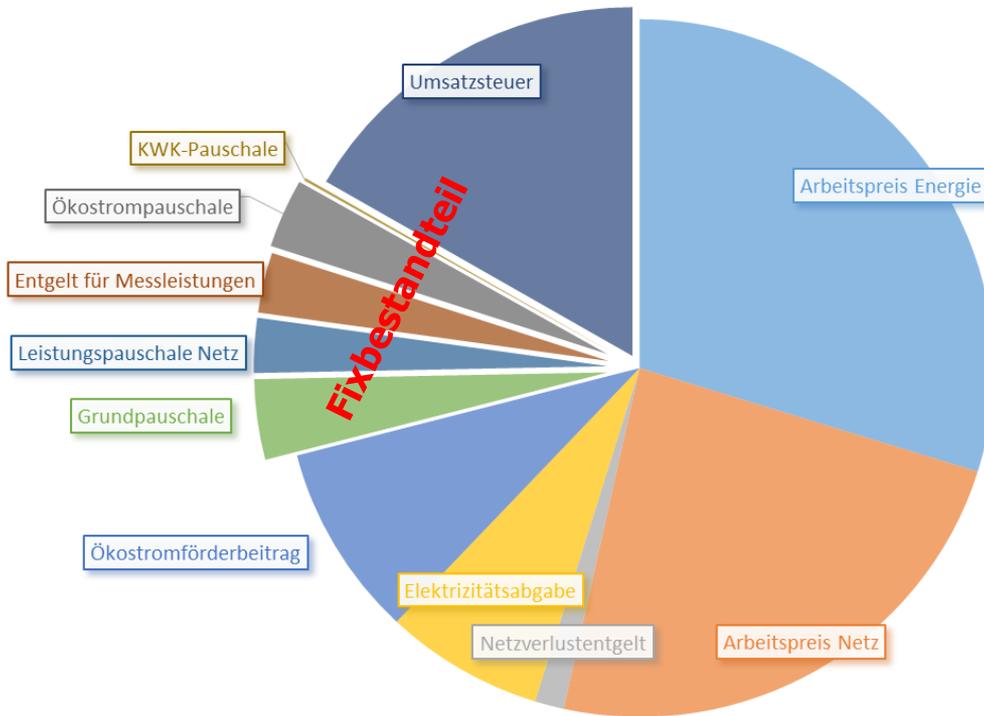


# Zusammensetzung Stromkosten



- **Beispielhaushalt Stromverbrauch 5.000 kWh/a**
- **Stromkosten € 1.031,96**
- **20,63 ct/kWh**

# Zusammensetzung Stromkosten



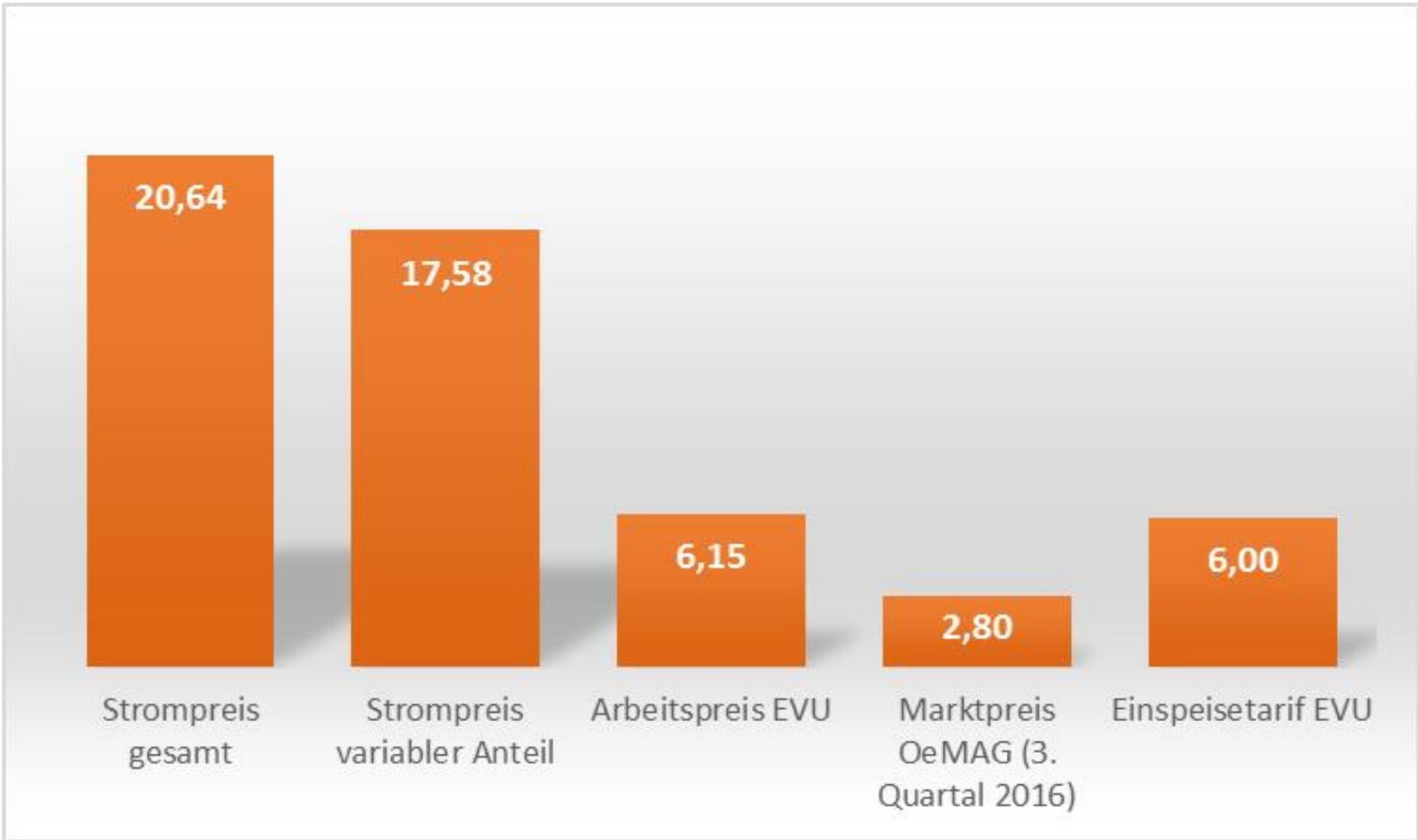
## ▪ Verbrauchsabhängiger Anteil:

- € 732,36
- 17,58 ct/kWh

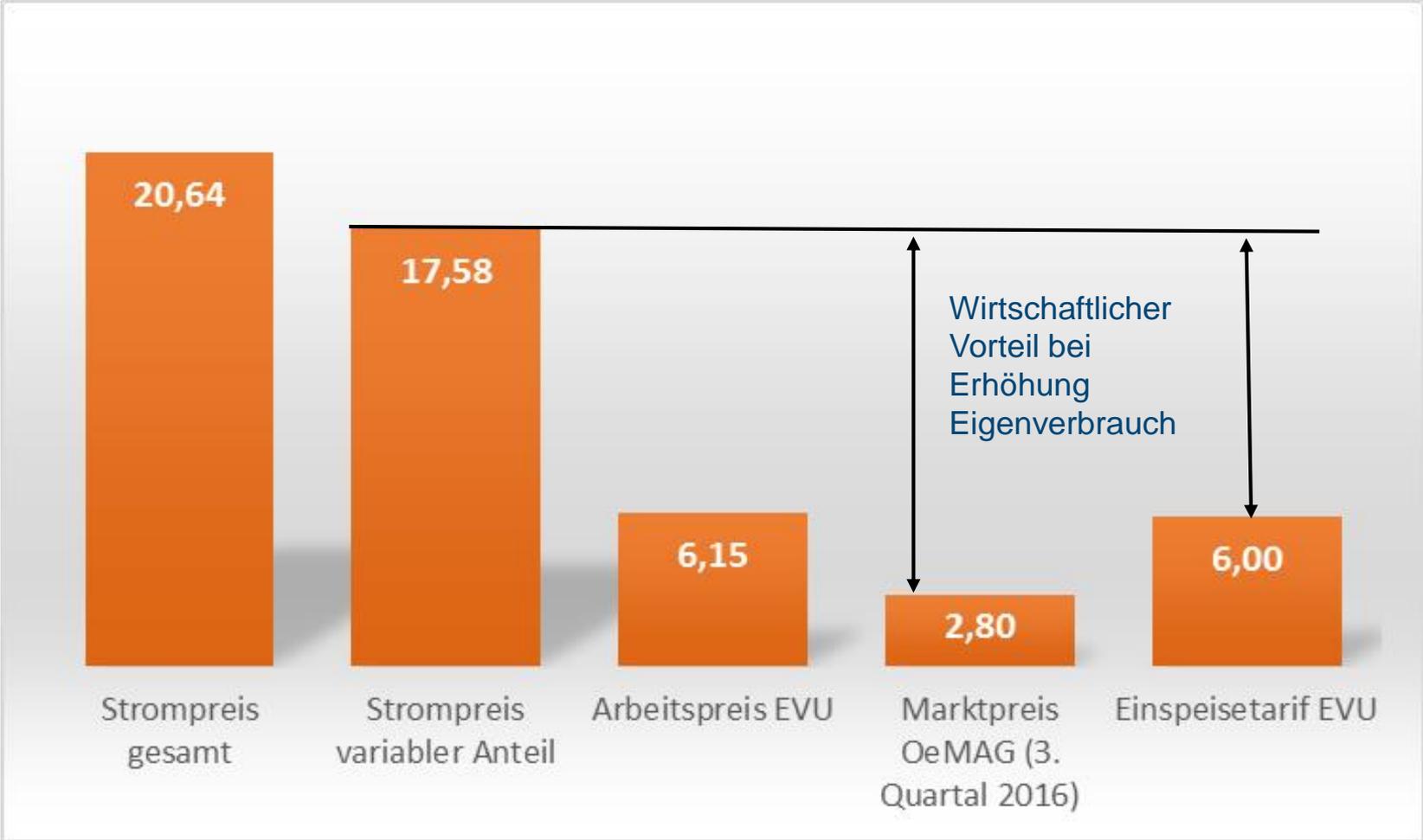
## ▪ Davon Energie:

- € 307,50
- 6,15 ct/kWh

# Strombezugspreis vs. Einspeisevergütung



# Strombezugspreis vs. Einspeisevergütung



# Optimierung Beschaffung Energieversorger



## SPOT PRICES [EUR]

Delivery Date	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Tue, 22 Nov 2016	23,58	21,60	21,49	21,01	23,36	26,73	35,21	42,99	42,94	40,63	40,93	40,80	41,84	42,39	46,10	50,06	54,06	57,93	54,72	51,61	48,66	43,65	40,07	35,76
Mon, 21 Nov 2016	0,71	-1,56	-0,73	0,86	7,03	14,74	31,08	42,84	43,49	41,60	41,29	42,23	42,09	41,68	41,76	45,10	46,86	49,77	46,90	45,32	43,05	36,57	34,64	32,00
Sun, 20 Nov 2016	15,49	11,27	9,12	8,54	9,24	8,74	3,95	4,68	4,18	6,99	6,91	7,92	6,48	-2,00	-12,01	-5,00	10,37	15,24	17,58	13,94	15,60	13,44	12,15	9,18
Sat, 19 Nov 2016	8,53	9,26	8,81	9,03	10,61	13,78	20,09	28,01	31,20	34,23	34,98	35,00	34,25	33,66	35,00	36,50	40,00	44,30	43,50	38,81	35,50	32,28	31,40	26,40
Fri, 18 Nov 2016	-0,63	-1,67	-4,43	2,29	7,00	13,36	28,72	35,70	37,47	34,97	32,66	32,00	30,57	31,41	31,81	32,55	35,99	42,48	40,60	41,22	36,78	33,00	29,87	24,00
Thu, 17 Nov 2016	29,28	27,11	26,11	26,11	28,13	30,59	36,13	44,83	49,50	50,00	47,37	46,43	43,60	42,23	40,95	41,63	43,56	46,92	43,90	41,43	32,16	28,44	23,33	15,00
Wed, 16 Nov 2016	34,38	33,48	33,50	33,50	33,80	35,93	42,60	48,97	52,36	48,98	49,09	47,02	43,96	43,04	40,55	39,60	38,50	43,06	40,56	37,07	34,00	32,08	31,79	30,13
Tue, 15 Nov 2016	28,50	26,67	24,19	24,50	26,89	29,96	36,50	41,24	42,75	42,88	43,59	45,23	42,87	43,50	42,77	45,17	46,20	52,04	48,05	42,53	40,28	38,31	37,50	35,50
Mon, 14 Nov 2016	34,34	33,73	33,99	34,12	35,00	36,00	43,95	51,29	54,16	50,19	48,45	45,97	46,58	50,00	50,30	52,95	60,00	83,98	67,78	59,48	48,30	42,23	40,92	36,35
Sun, 13 Nov 2016	33,29	30,01	30,08	30,00	30,99	31,16	30,00	30,00	33,35	37,15	38,20	39,73	40,22	37,27	37,59	39,52	42,61	48,87	47,93	46,58	42,39	40,46	40,00	36,88
Sat, 12 Nov 2016	40,02	39,62	38,74	38,25	38,00	37,00	38,72	39,28	40,50	42,00	42,00	42,54	42,24	39,62	40,40	40,02	43,94	53,30	48,37	45,86	41,59	38,41	37,83	35,69
Fri, 11 Nov 2016	36,81	35,63	34,34	34,38	34,70	35,63	41,50	53,34	57,92	58,50	55,50	56,50	55,00	54,50	51,50	52,76	57,49	77,03	72,00	61,62	49,64	46,53	47,00	42,50
Thu, 10 Nov 2016	33,80	31,67	31,79	30,93	33,21	34,65	41,47	55,33	61,67	62,29	61,56	62,58	61,32	61,05	60,00	61,14	68,00	85,19	69,76	60,68	49,02	41,22	38,47	36,80
Wed, 9 Nov 2016	37,00	35,41	34,50	34,50	35,00	36,51	44,77	59,57	59,66	53,91	52,42	52,96	53,16	54,66	57,27	59,51	67,30	74,46	67,03	54,50	48,04	41,80	39,99	36,49
Tue, 8 Nov 2016	38,50	37,80	36,99	36,50	37,50	40,09	52,51	75,63	66,44	60,28	57,95	56,26	56,42	55,76	56,00	62,54	69,03	90,00	98,89	74,44	57,00	45,99	42,46	38,81
Mon, 7 Nov 2016	36,12	34,62	34,51	34,00	34,81	36,99	46,78	57,99	58,92	56,91	54,00	54,04	52,49	51,57	49,01	50,57	55,51	58,87	63,00	59,92	51,11	46,42	42,58	39,09
Sun, 6 Nov 2016	29,56	29,00	27,02	25,19	27,07	24,00	24,34	29,39	31,71	34,16	35,16	36,27	37,46	38,06	36,48	36,38	37,62	43,47	48,01	48,51	44,00	41,00	39,76	36,48
Sat, 5 Nov 2016	34,65	33,62	33,47	33,52	33,78	33,51	34,44	36,66	40,92	45,49	46,50	45,06	42,50	41,28	38,78	38,86	39,04	47,88	49,27	45,58	40,28	34,42	33,67	32,99
Fri, 4 Nov 2016	33,49	32,49	30,50	30,49	30,43	32,34	37,00	46,99	47,88	45,00	44,41	44,02	42,36	41,37	41,99	46,67	45,54	48,55	49,74	44,88	40,58	39,01	36,20	34,20
Thu, 3 Nov 2016	34,96	33,50	33,50	33,77	34,53	37,63	47,37	64,23	65,03	60,29	58,29	57,00	56,12	54,18	52,82	56,75	57,63	70,42	72,02	64,30	46,95	40,00	36,00	34,00
Wed, 2 Nov 2016	16,56	13,97	12,50	12,39	13,50	21,07	32,00	42,00	41,80	36,79	36,07	35,47	33,47	33,86	34,87	37,39	42,30	54,18	57,82	51,46	45,32	40,26	39,63	35,00
Tue, 1 Nov 2016	34,52	32,14	32,00	31,67	31,86	32,75	33,66	39,66	38,91	34,58	34,50	35,31	31,50	31,50	31,50	34,81	36,17	41,37	43,46	40,85	37,15	33,11	31,35	26,12

Ziel: Gemeinsame Optimierung Eigenverbrauch / Beschaffung Energieversorger!



# Vorabanalyse Lastgangtool

## ■ Eigenschaften des Tools

- Priorisierung auf Eigenverbrauch
- Nutzung der restlichen Flexibilität Optimierung des Gesamtsystems
- Tägliche Optimierung (unter Berücksichtigung des jeweiligen Vortags)
- Jede zeitliche Auflösung möglich
- Verhalten des Systems ist bekannt
- Prognoseweitsicht (Wetter, Verbrauch und Erzeugung) einstellbar – Defaultwert 24 h
- Optimale Vorhersage
  
- System self-learning



# Berechnungsschritte für den Flexibilitätseinsatz

**Berechnung des Wärmebedarfs**  
[Poly-Sun]

**Berechnung der Lastverschiebung**  
[MatLab]

**Wärmeerzeugung mit konventioneller Regelung**

**Wärmeerzeugung mit Optimierung des Eigenbedarfs**

- Grenzwerte für den Betrieb des Wärmeerzeugers
- Verzögerung für den Einsatz des Wärmeerzeugers
- Möglichkeit einer einfachen Prognoseberücksichtigung

**Wärmeerzeugung mit Lastverschiebung auf Basis der Marktpreise**

- Grenzwert für den Marktpreis

**Berechnung der Wirtschaftlichkeit**  
[MatLab]

# Eingangsgrößen Lastgangtool

- **Elektrischer Lastverlauf des Gebäudes in 1/4-Stunden Auflösung**
- **Verlauf der thermischen Last des Gebäudes in 1/4-Stunden-Auflösung**
- **Thermische Parameter für den Pufferspeicher des Gebäudes**
- **Technische Parameter der Wärmepumpe**
- **Erzeugung der PV-Anlage in 1/4-Stunden-Auflösung**
- **Preise am Strommarkt in 1/4-Stunden-Auflösung**



# Berechnungen im Lastgangtool

## Ermittlung der Residuallast:

$$P_R = P_L - P_{PV}$$

## Betrieb der Wärmepumpe über Einschaltsschwelle zur Eigenverbrauchsoptimierung

$$P_{WP} = \begin{cases} 0, & | f_{BET} \cdot P_{EL} > P_{\ddot{U}} \cdot f_{EIN} \\ P_{THERM} \cdot f_{BET}, & | P_{EL} \cdot f_{BET} \leq P_{\ddot{U}} \cdot f_{EIN} \end{cases}$$

## Betrieb der Wärmepumpe

$$P_{WP} = \begin{cases} 0, & | p(t) > \frac{\sum_{x=t}^{t+t_{PROG}} p(x)}{t_{PROG}} \cdot f_{KORR} \\ P_{THERM}, & | p(t) \leq \frac{\sum_{x=t}^{t+t_{PROG}} p(x)}{t_{PROG}} \cdot f_{KORR} \end{cases}$$

# Berechnungen im Lastgangtool

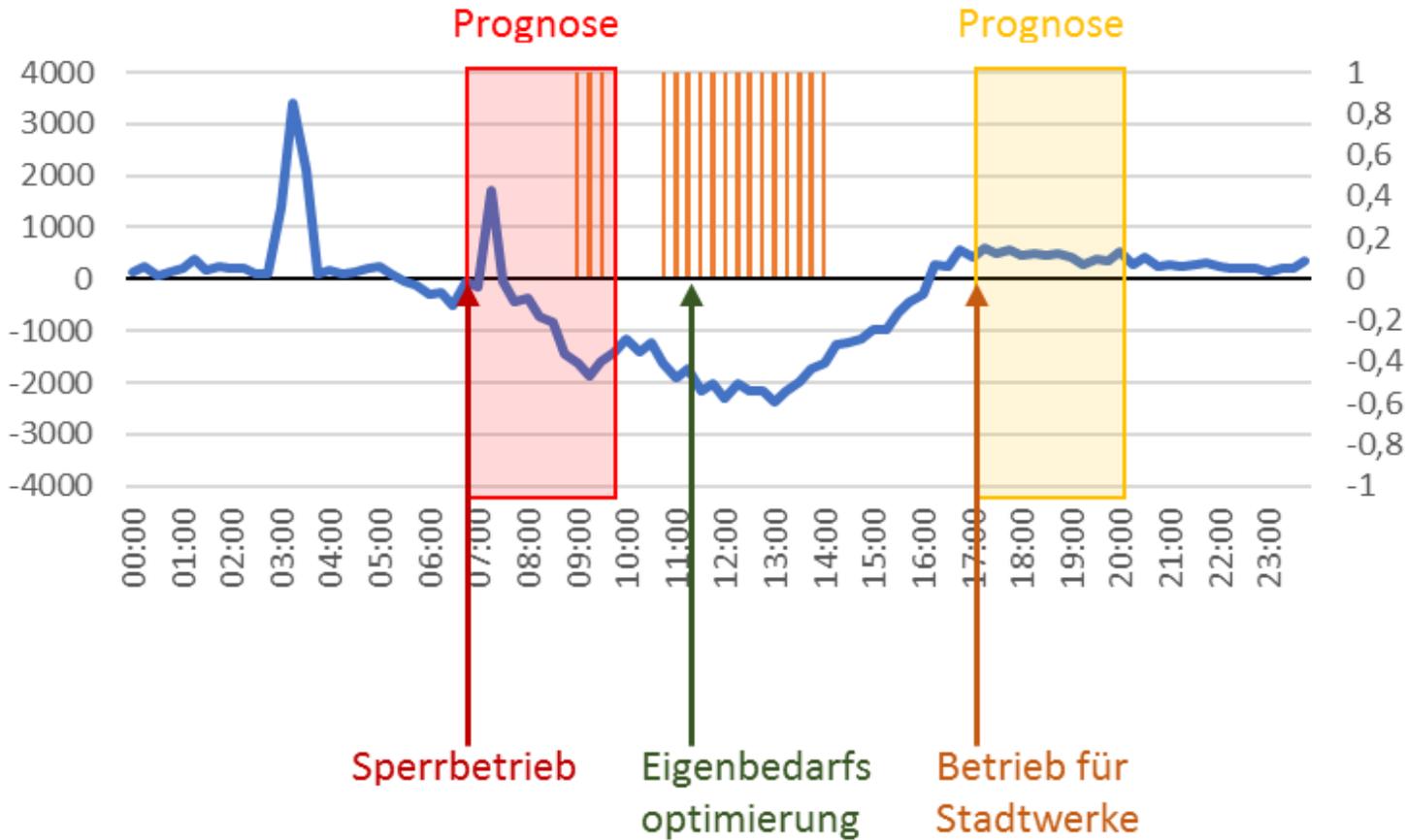
## Zusammenhang thermische und elektrische Last der Wärmepumpe

$$P_{EL}(t) = \frac{P_{THERM}(t)}{\varepsilon_{SYS}(t, T, p_{WP})}$$

## Speicherzustand / Speichergrenzen

$$E_{SP}(t) = E_{SP}(t - 1) + E_{ZU}(t) - E_{AB}(t) - E_{VERL}$$

# Optimierungslogik



# Optimierungslogik

## ▪ Bestimmung des Betriebsmodus

$$\text{mod}_{WP}(t) = \begin{cases} \text{"Eigenbedarf"}, & | \quad f_{\text{ÜS}}(t) = 1 \\ \text{"Stadtwerke"}, & | \quad \sum_{x=t}^{t+t_{PRO} G_{\text{ÜS}}} f_{\text{ÜS}}(x) = 0 \\ \text{"Sperrbetrieb"}, & | \quad \sum_{x=t}^{t+t_{PRO} G_{\text{ÜS}}} f_{\text{ÜS}}(x) \geq 0 \end{cases}$$

# Betriebsmodi der Flexibilitätsberechnung

- **Starre Regelung der Wärmeerzeugung:**

*Steuergröße:* Temperatur Wärmespeicher / Raum

Referenzrechnung für Wirtschaftlichkeit

- **Eigenbedarfsoptimierung:**

*Steuergröße:* PV-Erzeugung

Laufzeiten der Wärmeerzeugung

Temperatur Wärmespeicher / Raum

*Endkunde:* Einsparung durch optimierten Eigenverbrauch

*Stadtwerke:* Reduzierter Erlös durch geringere Energieverkäufe



# Betriebsmodi der Flexibilitätsberechnung

- **Reine Systemoptimierung:**

*Steuergröße:* Preissignale von den Stadtwerken  
Temperatur Wärmespeicher / Raum

*Endkunde:* Keine Einsparung durch EbO

*Stadtwerke:* Einsparung durch Beschaffungsoptimierung

- **Kombinierte Variante des Flexibilitätseinsatzes:**

*Steuergröße:* Kein PV-ÜS = Preissignale von den Stadtwerken  
PV-ÜS = PV-Erzeugung

Laufzeiten der Wärmeerzeugung

Temperatur Wärmespeicher / Raum

*Endkunde:* Vergleichbare Einsparung durch EbO

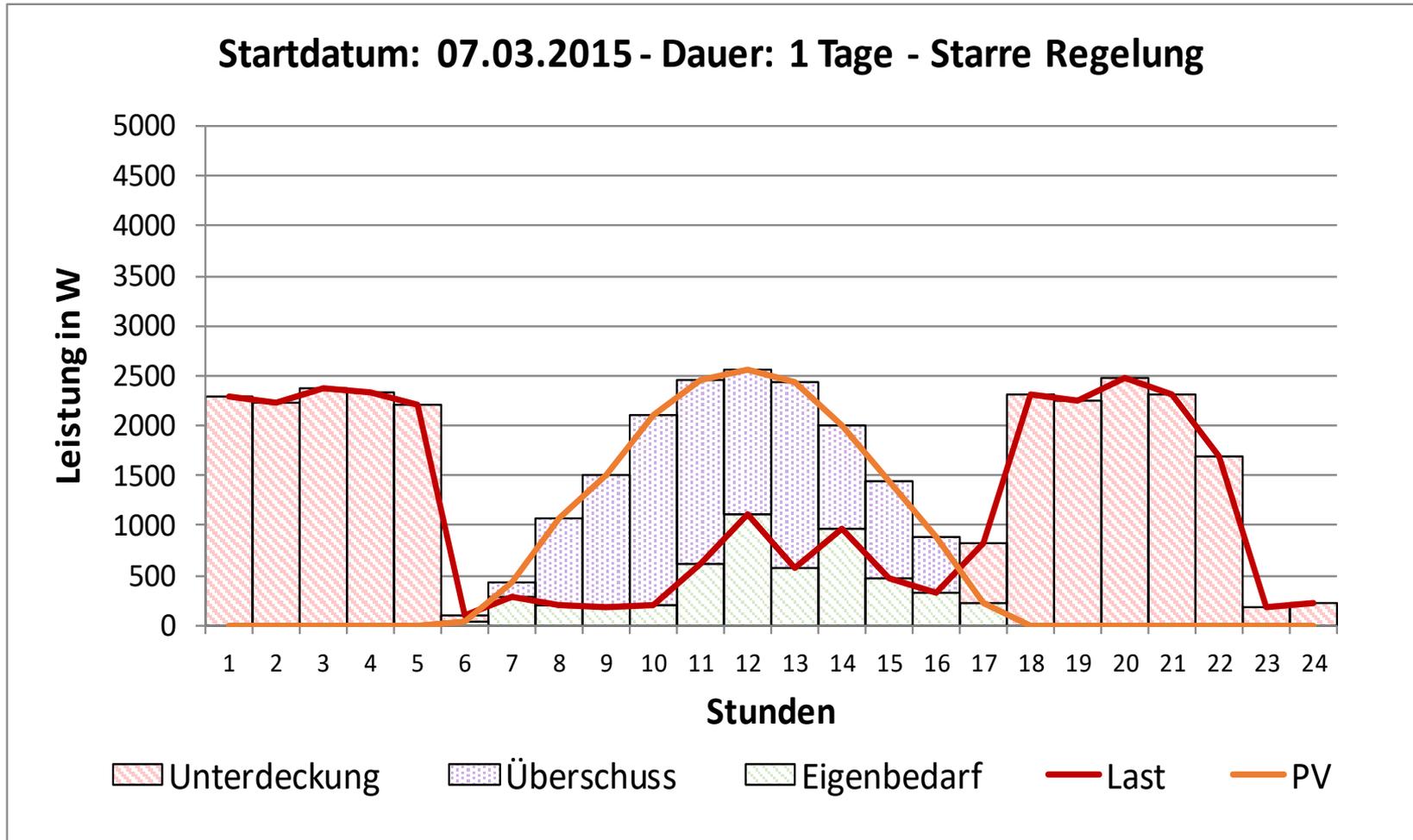
*Stadtwerke:* Kompensation der Verluste durch EbO

# Ausgewählte Ergebnisse

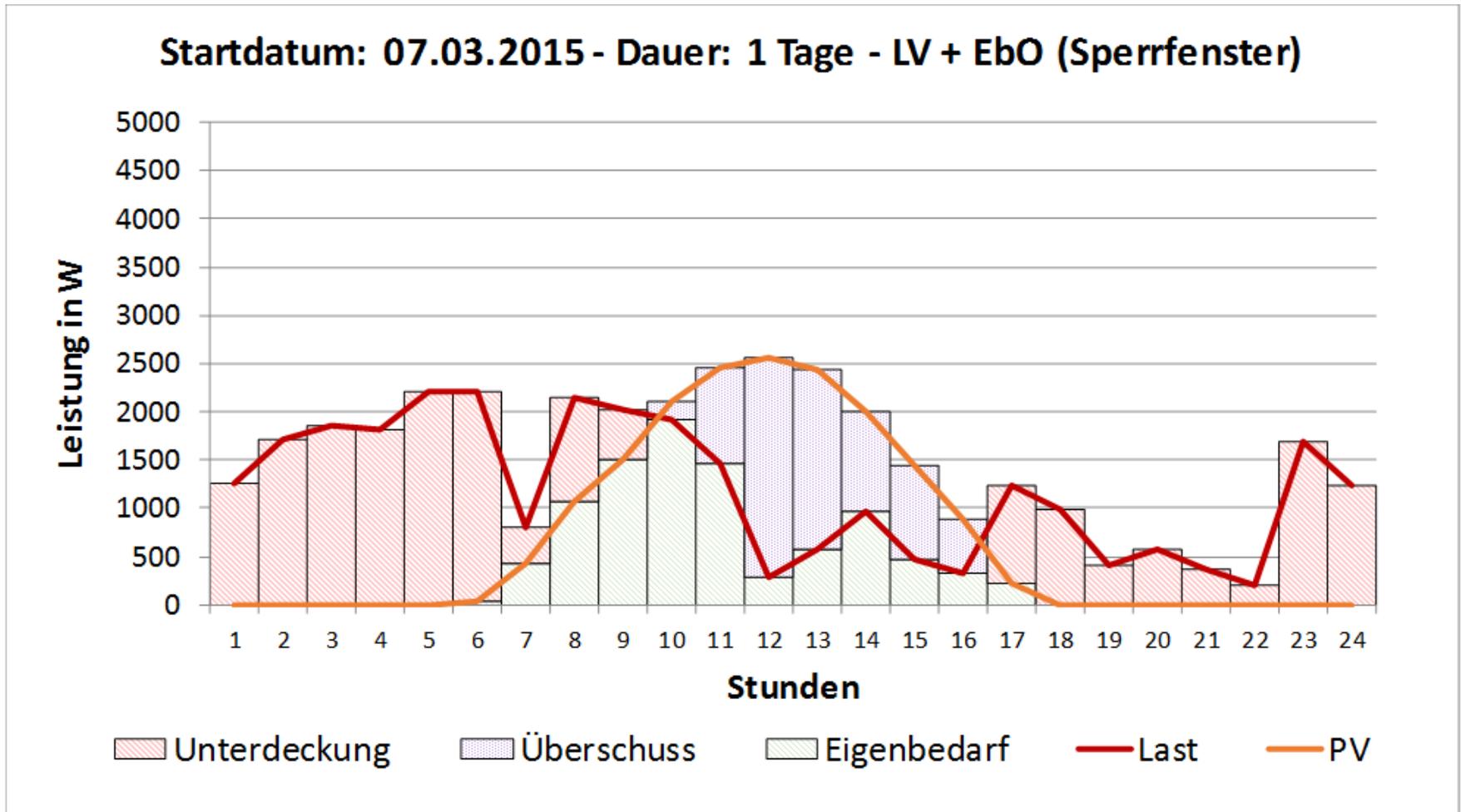
- **Beispiel 1: EFH**
- **HWB: 41 kWh/m<sup>2</sup>a**
- **Wohnnutzfläche: 148 m<sup>2</sup>**
- **Thermische Leistung Luftwärmepumpe: 7 kW**
- **Trinkwasserspeicher: 300 l**
- **Heizungspufferspeicher: 600 l**



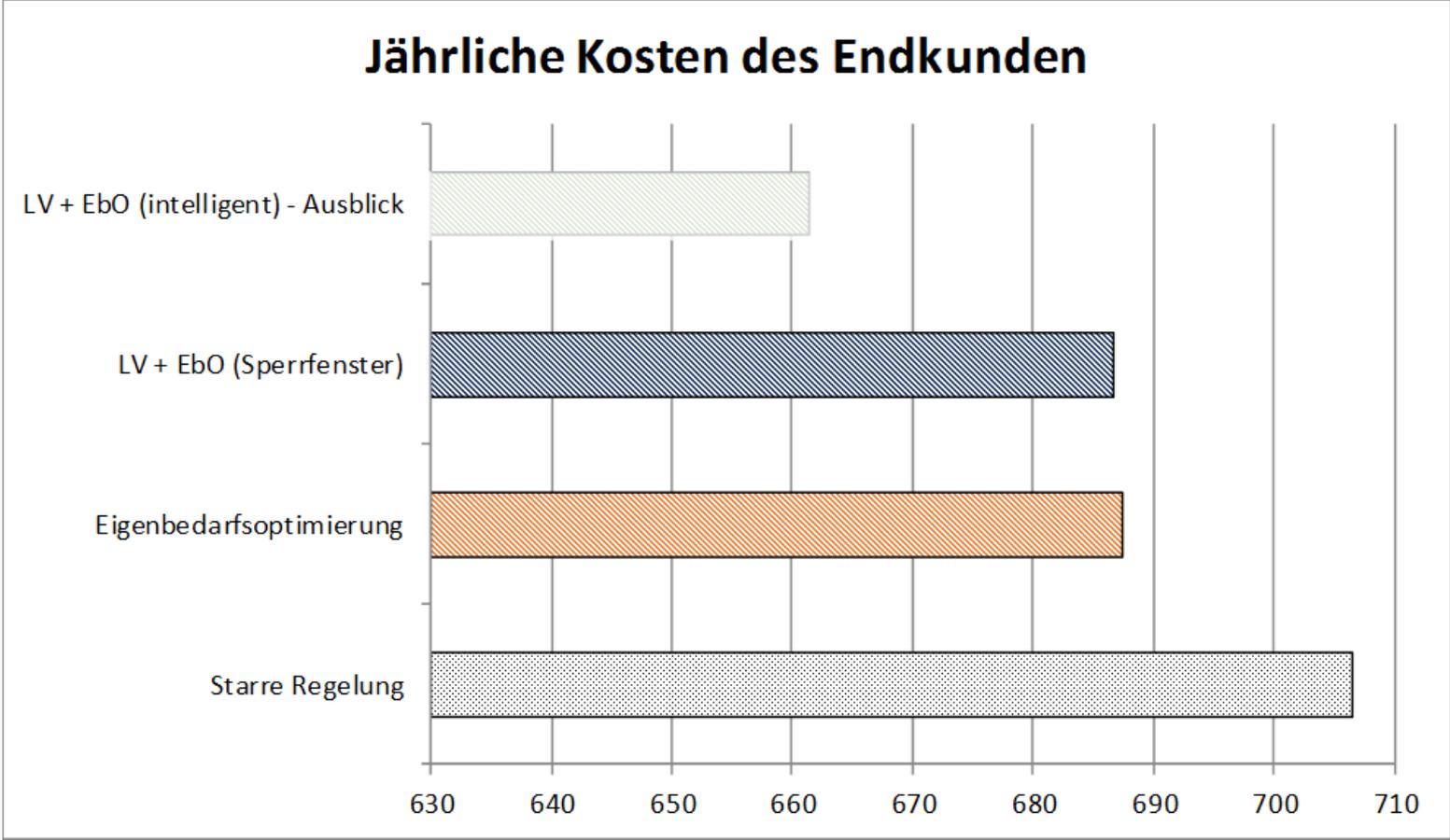
# Ausgewählte Ergebnisse



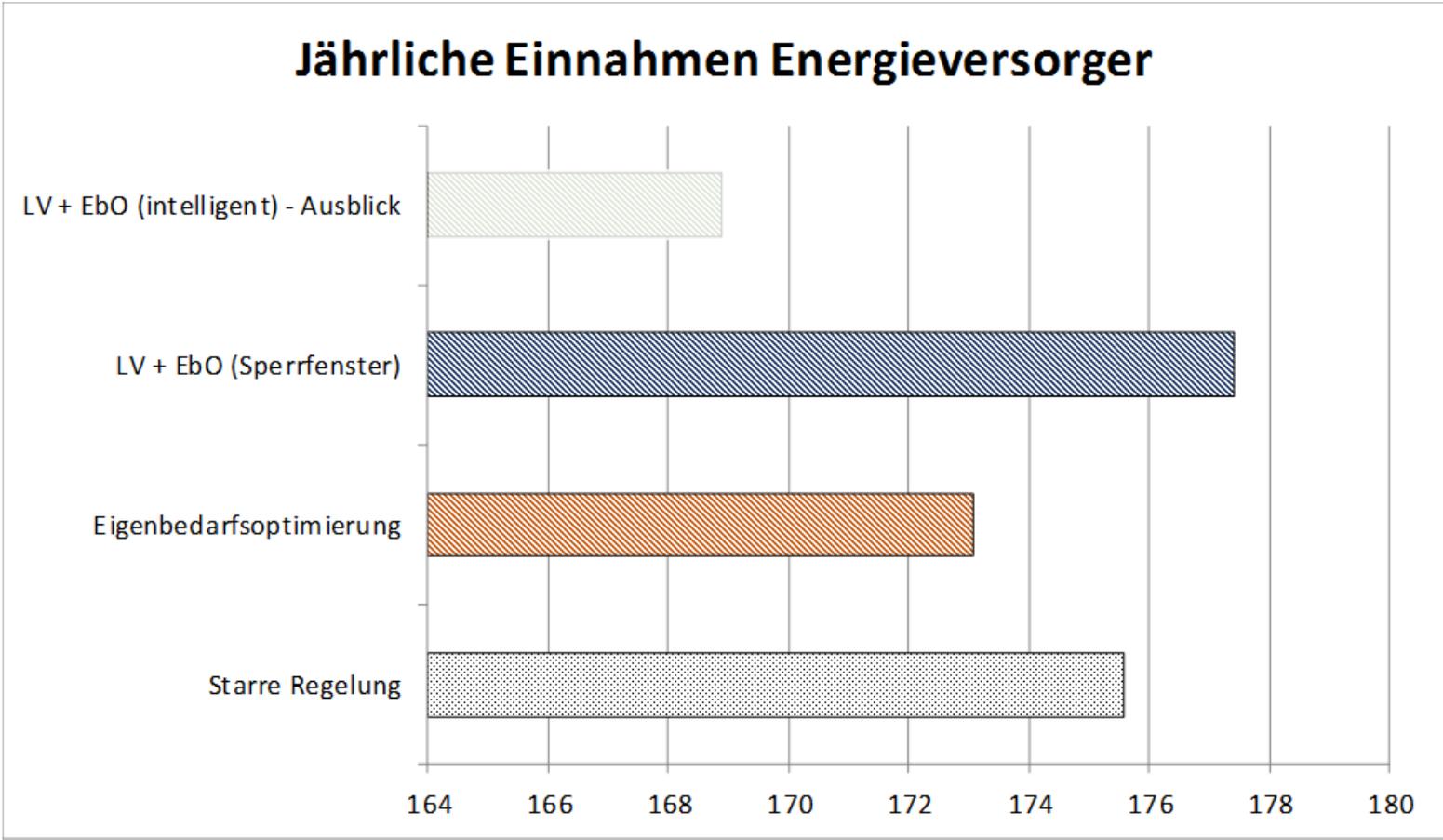
# Ausgewählte Ergebnisse



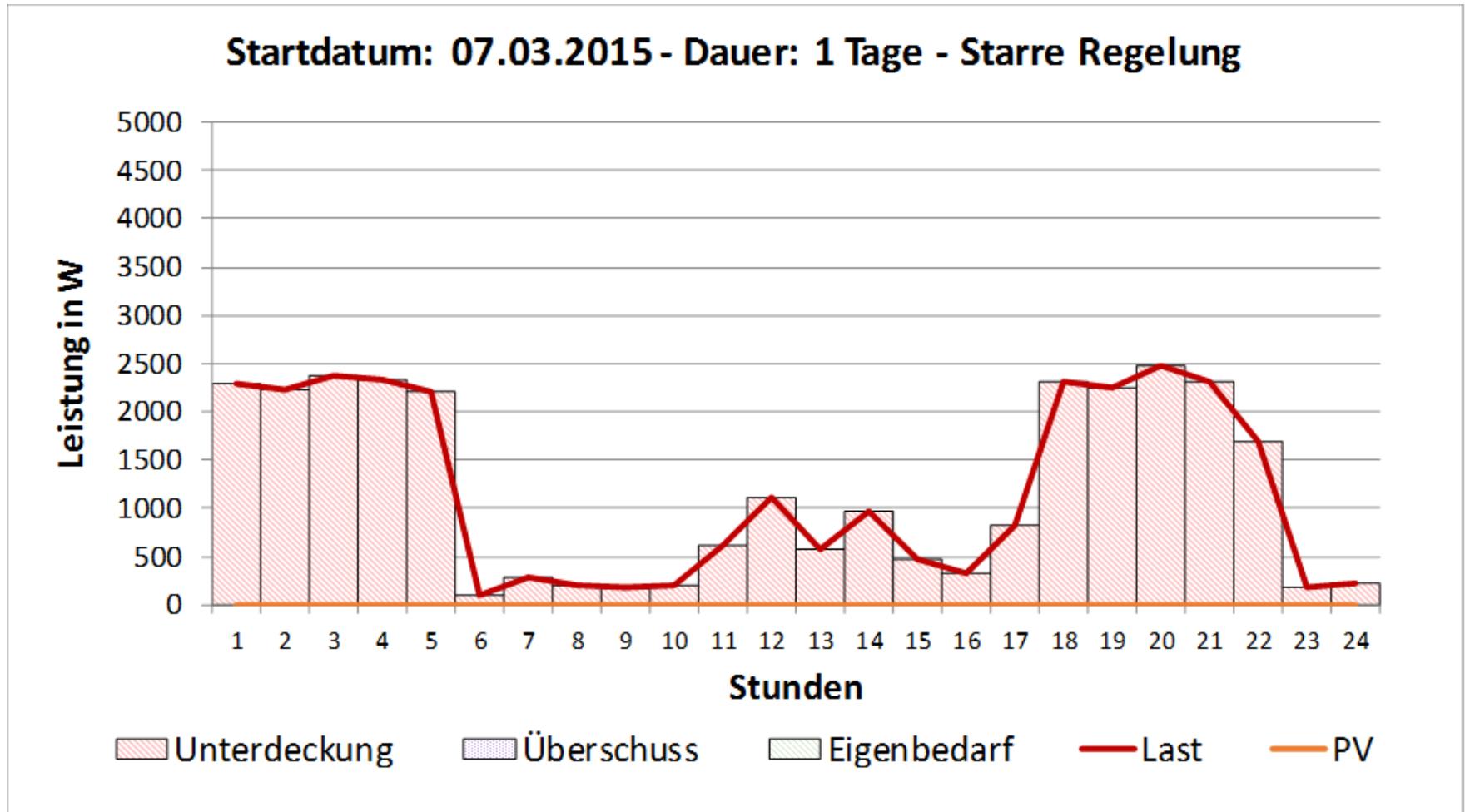
# Auswirkungen Endkunde



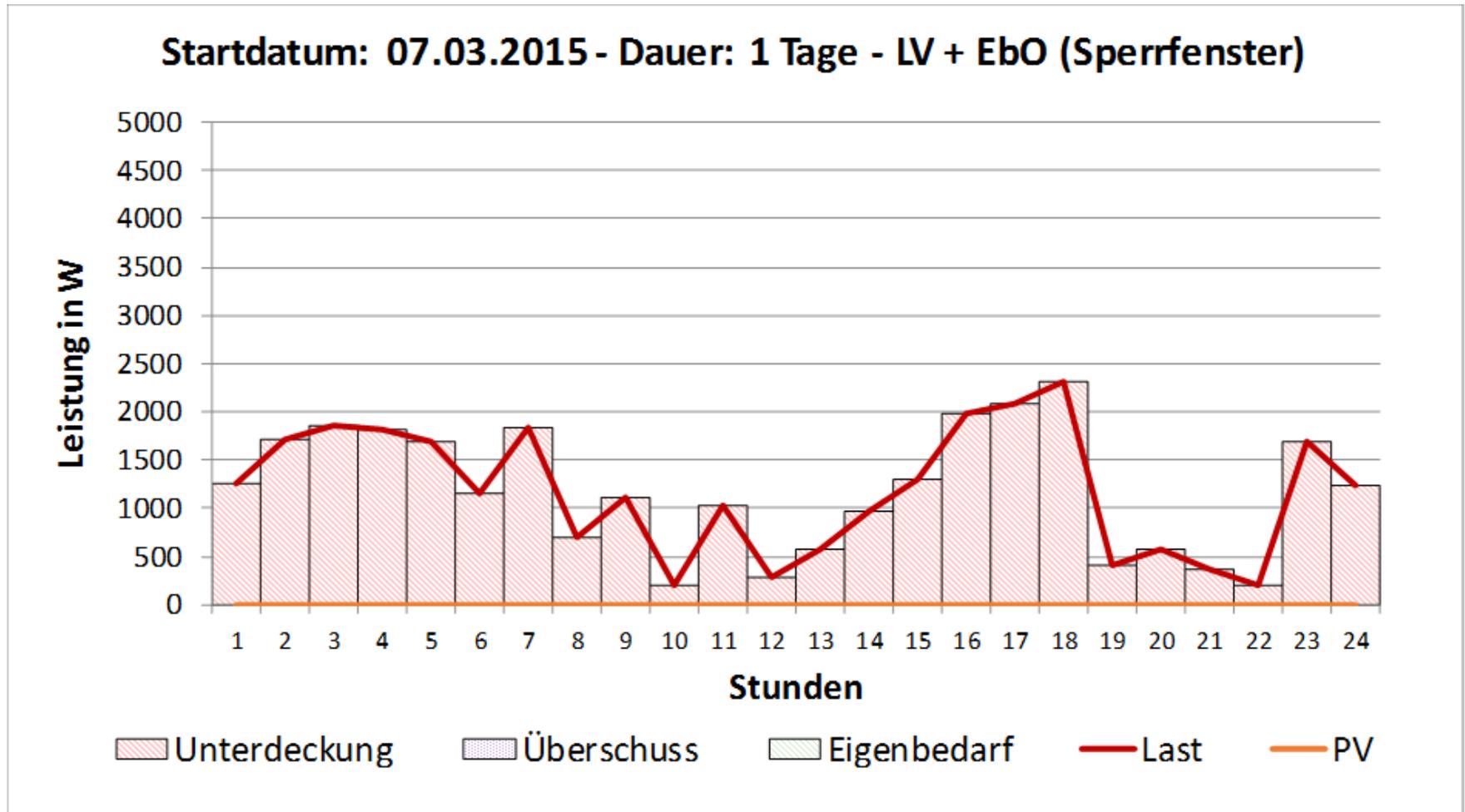
# Auswirkungen Energieversorger



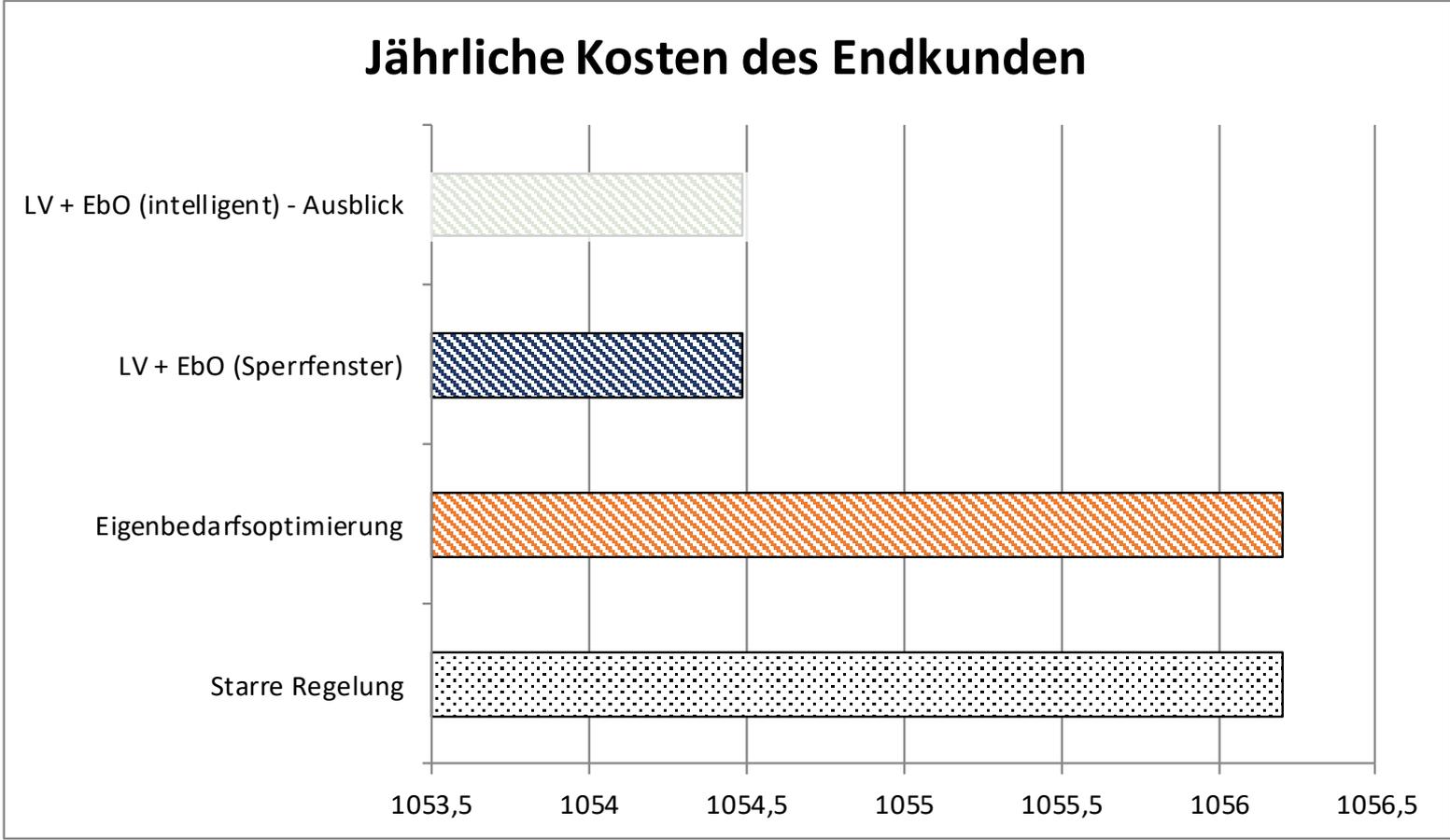
# Variante ohne PV



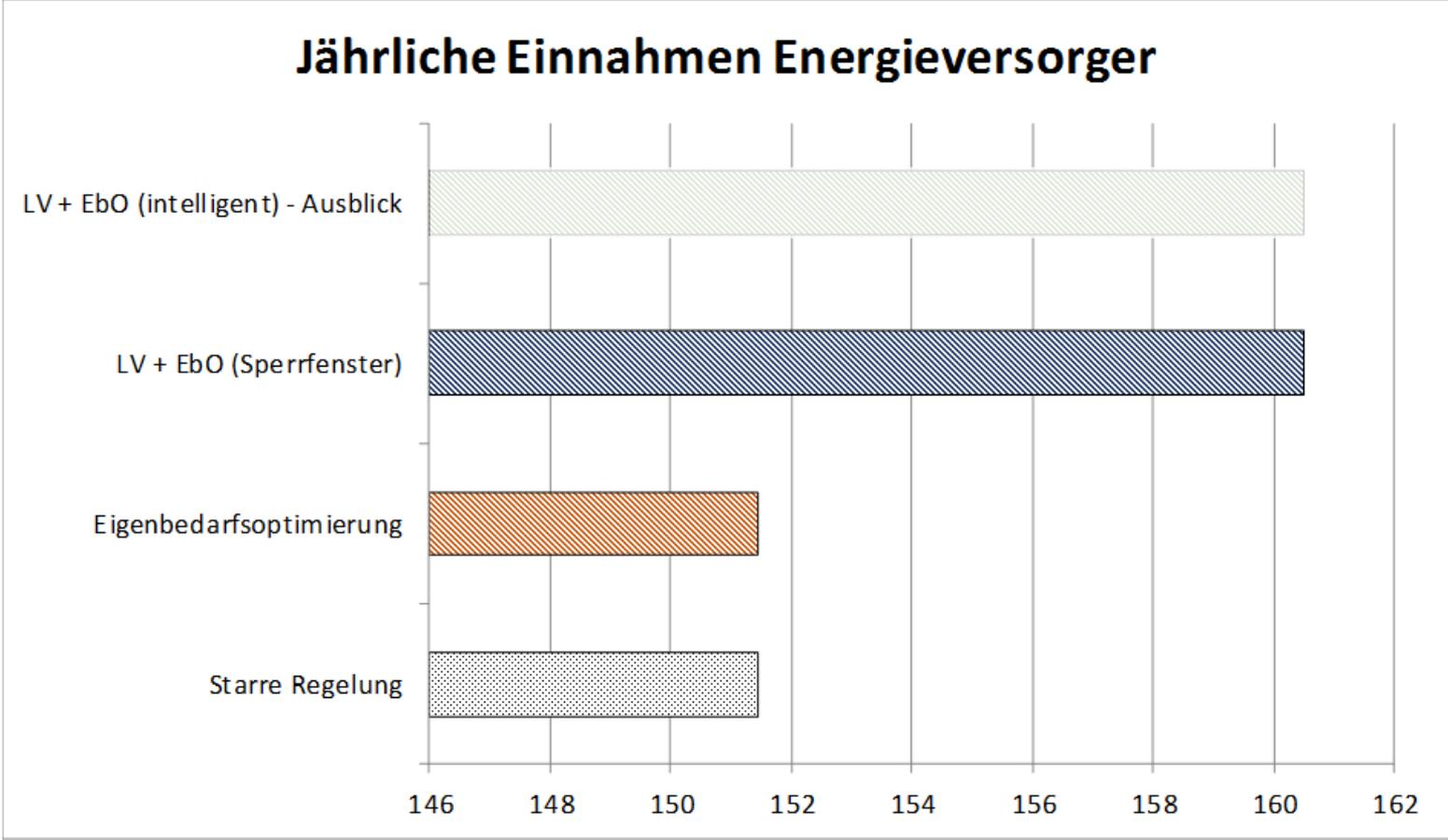
# Variante ohne PV



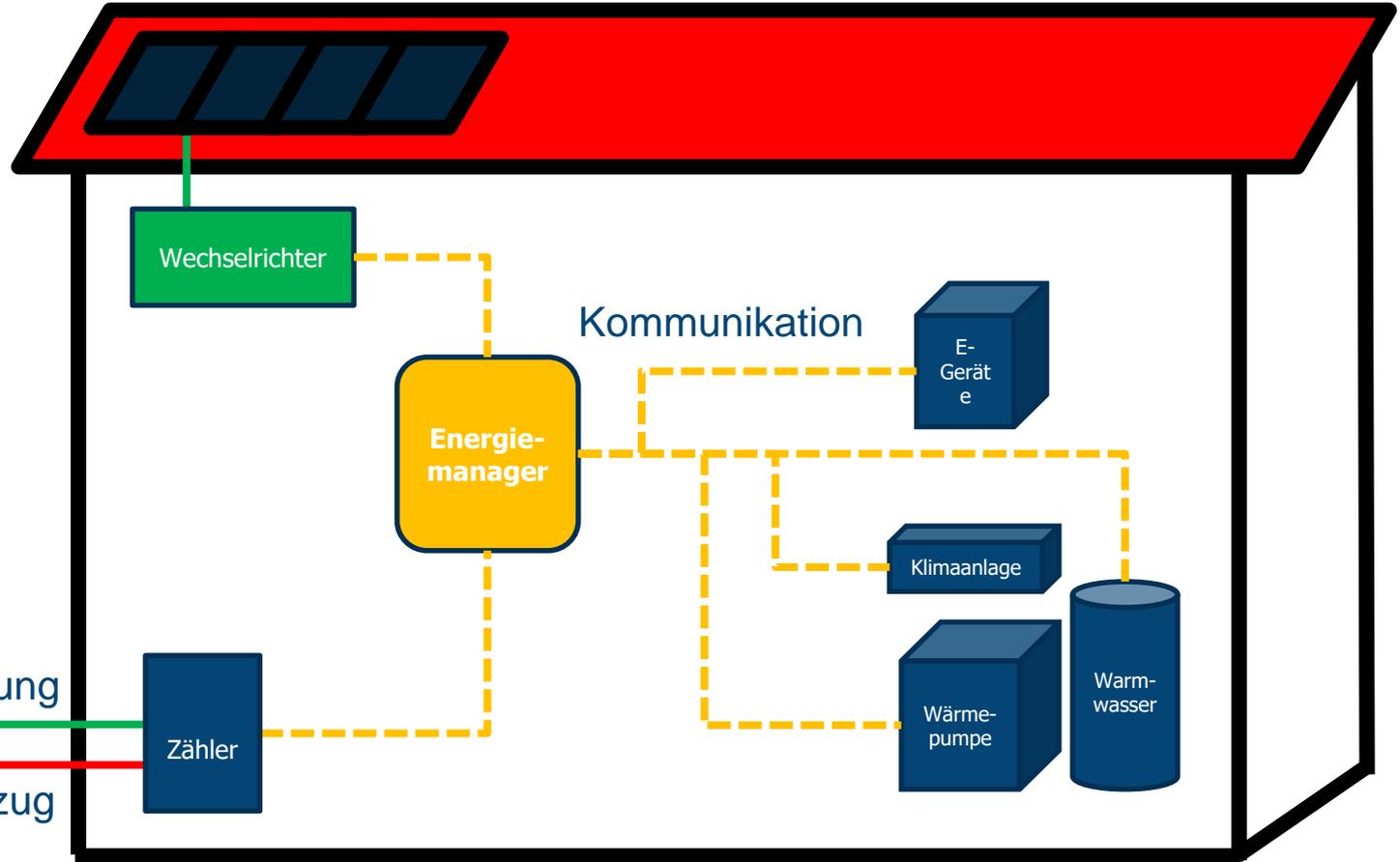
# Auswirkungen Endkunde



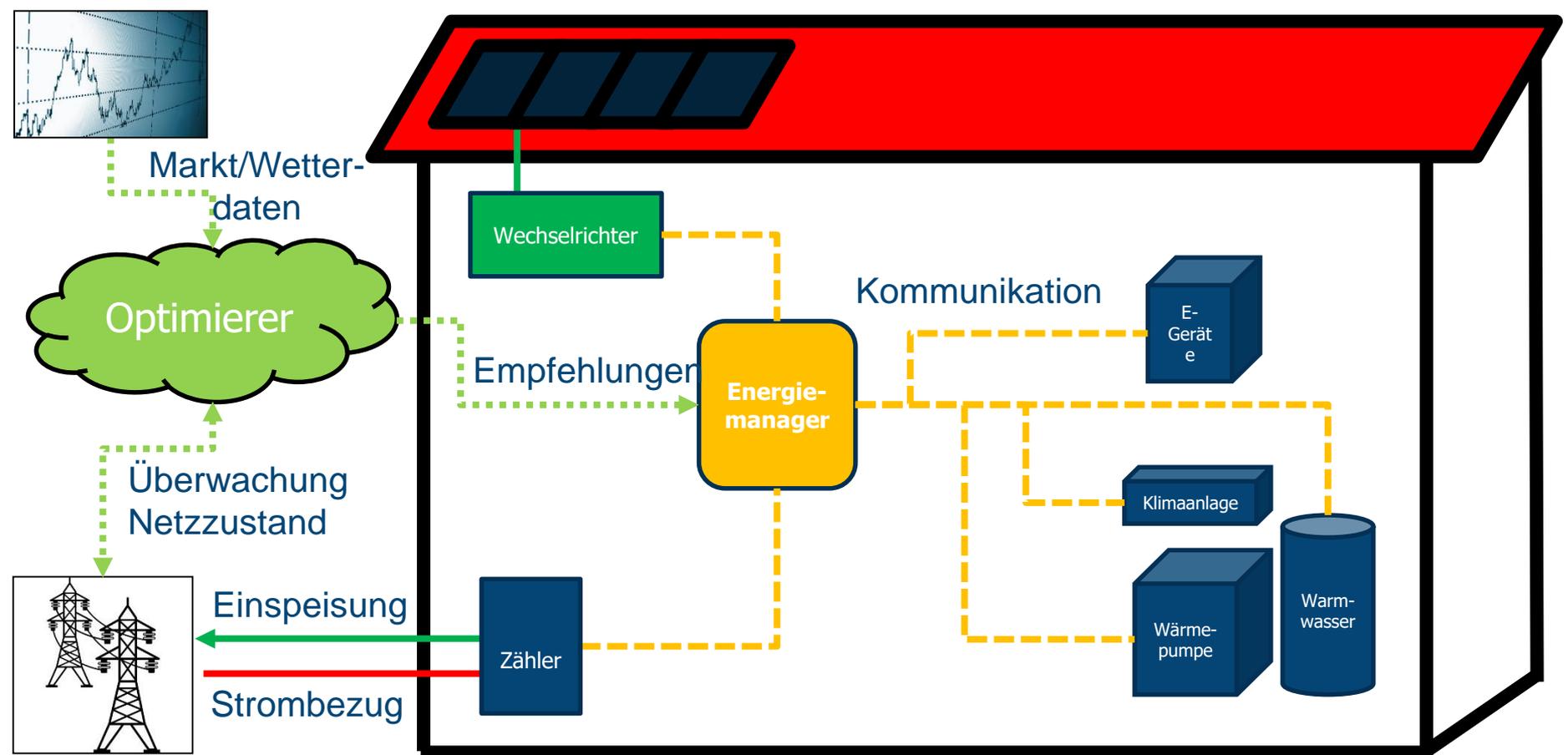
# Auswirkungen Energieversorger



# Optimierung mit Energiemanager

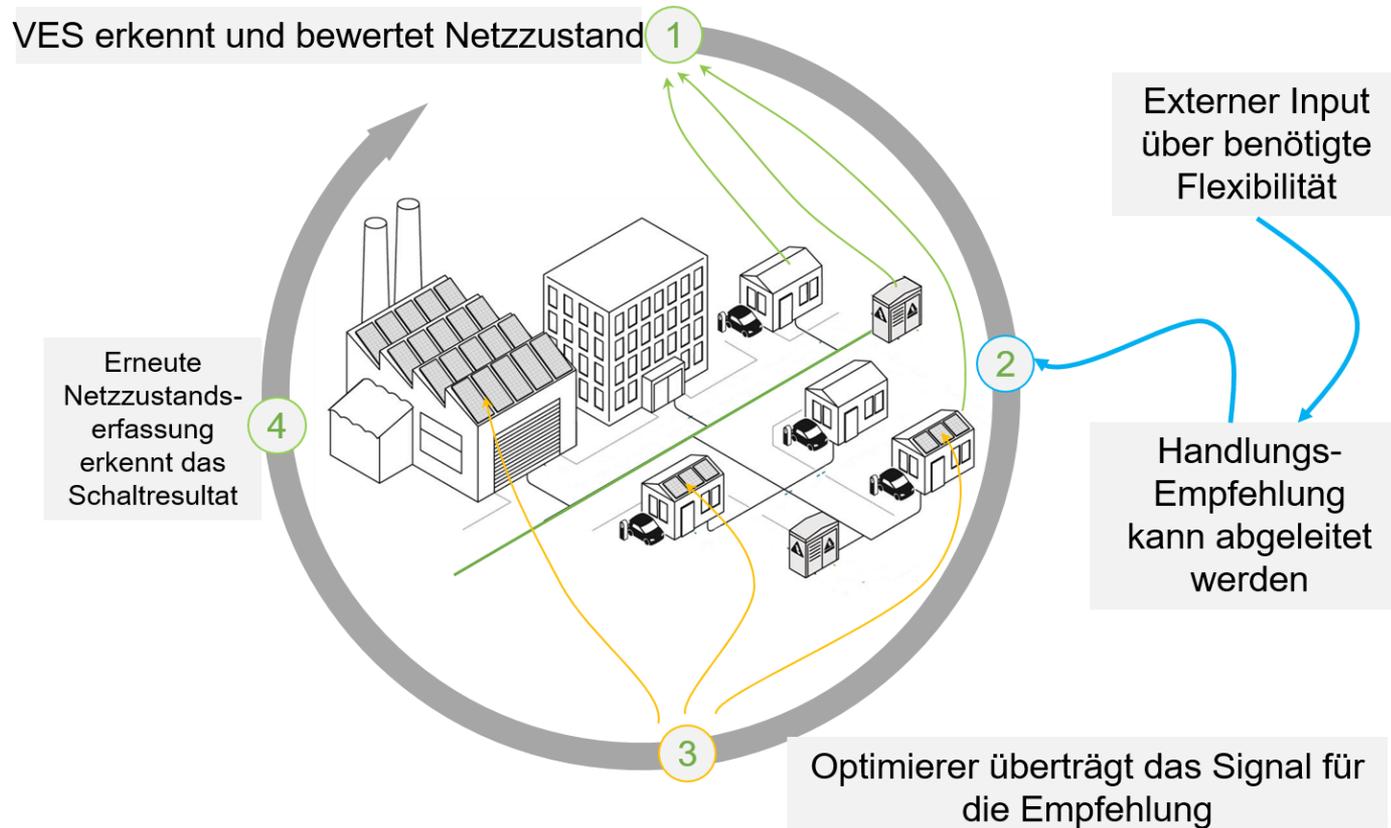


# Intelligenter zentraler Optimierer



# Nutzung von Flexibilität im Verteilnetz

Nutzung von Flexibilität im Verteilnetz

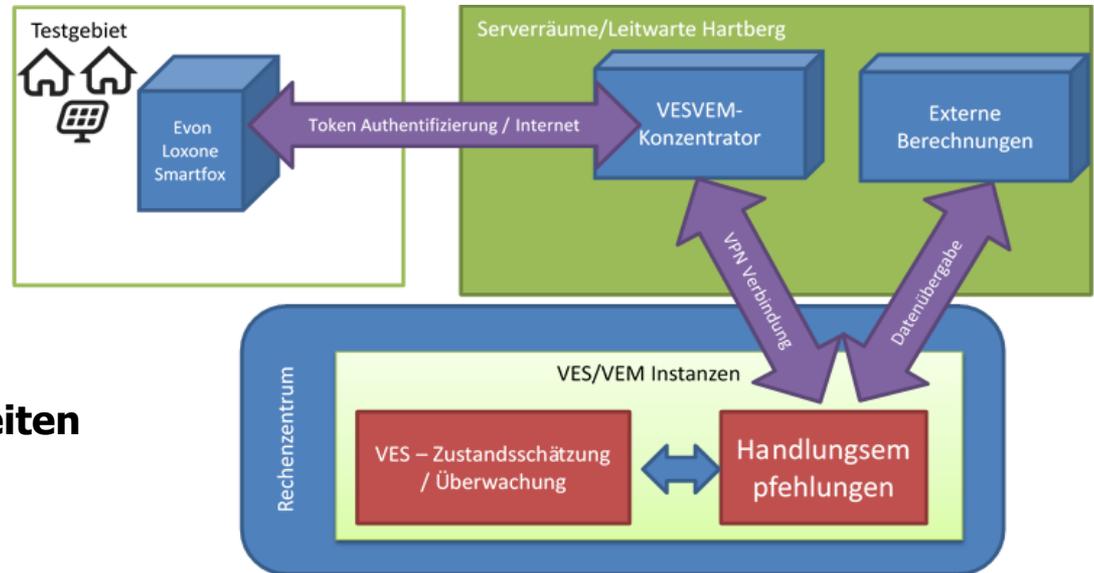


# Technische Umsetzung

Um die Projektziele Umzusetzen, sind folgende technischen Punkte nötig:

## Hardwarekomponenten

- **Datenserver** (Datenzentrale)
- **Messgeräte**  
(zur Netzüberwachung)
- **Externe Empfehlungen**
- **Handlungsempfehlungen ableiten**  
(Logik des Optimierers)
- **Hash Key Anmeldung**
- **Umsetzung durch Hausautomatisierung**



# Hausautomatisierung

## Neue und bereits vorhandene Systeme



Smartfox



Loxone



Evon

# Hausautomatisierung

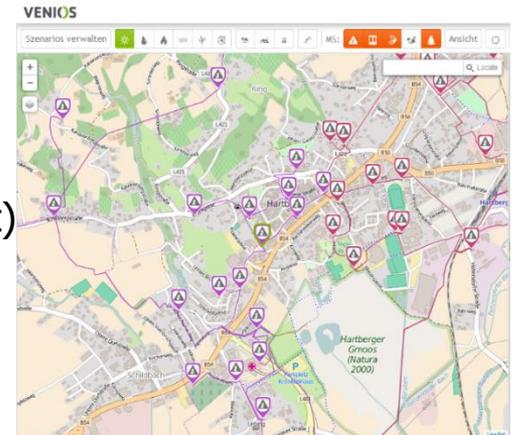
## Angesteuerte Komponenten

- **Temperatursensor z.B. PT1000**
  - Warmwasser
  - Aktueller Speicherzustand
  - Bereits vorhanden oder zusätzlich
- **Raumtemperatur**
  - Rückmeldung über Systemkapazitäten
  - Bereits vorhanden oder zusätzlich
- **Elektrische Warmwasserboiler**
- **Wärmepumpe**
  - Voll oder Teilintegriert
- **PV Anlage**
  - Voll oder Teilintegriert

# Softwarekomponenten

## Der zentrale Optimierer arbeitet auf folgende Weise

- **Abbildung Mittelspannungsnetz** (Stabilitätsberechnungen)
- **Bidirektionale Kommunikation mit Energiemanager**
- **Analyse von Prognosedaten** (Wetter, Speicherpotential)
- **Erhebung von Ist – Zustand** (Speicherinhalt, Temperatur)
- **Handlungsempfehlungen** (Soll-Zustand) weiterleiten
- **Energiemanager reagiert** (Wärmepumpe, Boiler werden aktiviert)



# Weitere Untersuchungen

- **Wärmenetz als Speicher**
  - Prädiktive Regelstrategien
  - Lastprognosen im Wärmenetz
- **DSM im Wärmenetz**
  - Analyse der DSM Potentiale
  - Definition Schnittstellen zwischen GLT und Optimierer
  - Untersuchung von DSM Strategien
- **Flexibilisierung des Sperrfensters**
  - Zur weiteren Optimierung Eigenbedarf vs. Energieversorger



# Danksagung

**Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Smart Cities Demo“ durchgeführt.**



# VIELEN DANK!

