# Anwendungsbeispiel: Kessel primär, Wärmepumpe nur bei PV-Ueberschuss

## 1. Anlagenbeschreibung

Ein bestehendes Heizsystem mit Oelkessel wird um eine Waermepumpe (WP) erweitert. Der Kessel bleibt der primaere Waermeerzeuger. Die WP soll **ausschliesslich bei PV-Ueberschuss** laufen, um kostenlose Sonnenenergie zu nutzen.

**Wichtig:** In dieser Konfiguration gibt es keine Eskalation vom Kessel zur WP. Wenn der Kessel allein laeuft und EnergyLow meldet, springt die WP **nicht** ein. Die WP ist nur aktiv, wenn PV-Strom verfuegbar ist.

### Systemkomponenten

| Komponente | Typ | Rolle |
|---|---|---|
| Oelkessel | Kessel (TYP_KESSEL) | Primaerer Waermeerzeuger |
| Waermepumpe | WP (TYP_WAERMEPUMPE) | Sekundaer, nur bei PV |
| Puffer | ModulPuffer_ext | Waermespeicher |
| Energy Manager | EnergyManager | PV-Ueberschusserkennung (SG-Ready) |
| Kaskade | Modul_Kaskade | Koordiniert Kessel und WP |

## 2. Funktionsprinzip

Die Steuerung basiert auf **kostenoptimierter Kaskade**: Jeder Waermeerzeuger meldet seine thermischen Kosten pro kWh. Die Kaskade waehlt automatisch den guenstigsten.

# Kostenberechnung

**Kessel:** Fester Preis (z.B. 0.08 EUR/kWh thermisch fuer Heizoel).

**Waermepumpe:** Strompreis geteilt durch COP. Bei PV-Ueberschuss wird der Strompreis automatisch auf 0 gesetzt.

| Situation | WP-Strompreis | COP | WP-Kosten | Kessel-Kosten | Ergebnis |
|---|---|---|---|---|---|
| Kein PV | 0.30 EUR | 3.0 | 0.10 EUR/kWh | 0.08 EUR/kWh | Kessel (billiger) |
| PV-Ueberschuss | 0.00 EUR | 3.0 | 0.00 EUR/kWh | 0.08 EUR/kWh | WP (gratis) |
| PV weg | 0.30 EUR | 3.0 | 0.10 EUR/kWh | 0.08 EUR/kWh | Sofort Kessel |

# Sicherheitsmechanismus (Fallback)

Falls bei PV-Ueberschuss die WP die Waermeanforderung nicht schafft (EnergyLow), wird der Kessel trotz hoeherem Preis explizit freigegeben. So wird verhindert, dass das Haus kalt wird.

# 3. Konfiguration

## 3.1 Kaskadensteuerung (Modul_Kaskade)

| Parameter | Wert | Beschreibung |
|---|---|---|
| Kaskadenmodus | **Steigende Kaskade** (1) | Kaskade aktivieren |
| Bivalenz-Betriebsart | **Kostenoptimiert** (3) | Waermeerzeuger nach Kosten waehlen |
| PV-Kessel-Sperrung | **Aktiv** (1) | Fallback-Mechanismus aktivieren |
| PV-Fallback-Modus | **EnergyLow** (2) | Kessel einschalten wenn WP Leistungsgrenze erreicht |

**Hinweis:** Der Bivalenzpunkt (Aussentemperatur) spielt im kostenoptimierten Modus keine Rolle. Die Entscheidung basiert ausschliesslich auf den gemeldeten Kosten.

## 3.2 Kessel

| Parameter | Wert | Beschreibung |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| Kosten pro thermische kWh | **0.08** EUR | Aktueller Heizoel-Preis pro erzeugte kWh Waerme |
| Kaskadenprioriaet | **1** (niedrigster Wert = hoechste Prioritaet) | Primaerer Waermeerzeuger |

**Berechnung Oelpreis:** Heizoel-Literpreis / Heizwert pro Liter / Kesselwirkungsgrad. Beispiel: 1.00 EUR/L / 10 kWh/L / 0.85 = ca. 0.12 EUR/kWh. Den Wert je nach aktuellem Oelpreis anpassen.

## 3.3 Waermepumpe

| Parameter | Wert | Beschreibung |
|---|---|---|
| Strompreis | **0.30** EUR/kWh | Aktueller Netz-Strompreis (wird bei PV automatisch auf 0 gesetzt) |
| Kaskadenprioritaet | **1** | Sekundaerer Waermeerzeuger |

## 3.4 Puffer

| Parameter | Wert | Beschreibung |
|---|---|---|
| PV-Modus | **1** (aktiv) | PV-Logik im Puffer aktivieren |

Der Puffer fordert bei aktivem PV-Modus und vorhandenem Ueberschuss die PV-Ladetemperatur an. Wenn kein Ueberschuss vorhanden ist, bleibt die normale Heizanforderung bestehen — der Puffer setzt die Anforderung **nicht** auf 0.

# 4. Betriebsszenarien

## 4.1 Normalbetrieb (kein PV-Ueberschuss)

Die WP meldet Kosten von ca. 0.10 EUR/kWh (Strompreis 0.30 / COP 3.0). Der Kessel meldet 0.08 EUR/kWh. Die Kaskade waehlt den Kessel als guenstigeren Waermeerzeuger. Die WP ist gesperrt.

Wenn der Kessel EnergyLow meldet, bleibt die WP trotzdem gesperrt (teurer). Es findet **keine Eskalation** statt.

## 4.2 PV-Ueberschuss aktiv

Der Energy Manager erkennt PV-Ueberschuss und setzt den SG-Ready-Status auf "Empfohlener Anlauf" oder "Anlaufbefehl". Die WP setzt ihren internen Strompreis auf 0 EUR/kWh, was zu Kosten von 0.00 EUR/kWh thermisch fuehrt. Die Kaskade erkennt kostenlose Energie und sperrt den Kessel. Nur die WP laeuft.

## 4.3 PV-Ueberschuss verschwindet

Der Strompreis der WP springt sofort zurueck auf den Netzpreis (z.B. 0.30 EUR). Die WP-Kosten sind wieder hoeher als der Kessel. Die Kaskade schaltet sofort zurueck auf den Kessel.

## 4.4 PV aktiv, aber WP schafft es nicht (Sicherheitsfall)

Bei PV-Ueberschuss laeuft die WP, meldet aber EnergyLow (Leistungsgrenze erreicht, z.B. bei sehr kalten Aussentemperaturen). Der Fallback-Mechanismus greift: Der Kessel wird explizit freigegeben, auch wenn er teurer ist. Beide Waermeerzeuger laufen parallel, bis die WP die Anforderung wieder allein erfuellen kann.

## 4.5 Energy Manager nicht verbunden

Ohne Energy Manager bleibt der WP-Strompreis auf dem konfigurierten Netzpreis. Die WP ist damit teurer als der Kessel und wird von der Kaskade gesperrt. Das System faellt sicher auf reinen Kesselbetrieb zurueck.

# 5. Zusammenfassung Betriebszustaende

| Situation | Kessel | WP | Mechanismus |
|---|---|---|---|
| Normal (kein PV) | laeuft | gesperrt | Kessel billiger (0.08 < 0.10) |
| Kessel EnergyLow | laeuft allein | gesperrt | Keine Eskalation (WP teurer) |
| PV-Ueberschuss | gesperrt | laeuft | WP gratis (0.00 < 0.08) |
| PV + WP EnergyLow | Fallback ein | laeuft | Sicherheit: beide laufen |
| PV verschwindet | sofort an | aus | Kosten wieder normal |

| Situation | Kessel | WP | Mechanismus |
|---|---|---|---|
| EM nicht verbunden | laeuft | gesperrt | Voller WP-Strompreis |

# 6. Inbetriebnahme-Checkliste

1. Firmware mit aktuellem Softwarestand flashen
2. Kosten konfigurieren: Oelpreis am Kessel, Strompreis an der WP
3. Kaskadenprioritaeten pruefen: Kessel = 1, WP = 1 od.
4. Kaskade aktivieren: Modus "Steigende Kaskade", Betriebsart "Kostenoptimiert"
5. PV-Kessel-Sperrung und Fallback aktivieren
6. Puffer PV-Modus aktivieren

# Verifikation

| Test | Pruefpunkt | Erwartung |
|---|---|---|
| Kein PV-Ueberschuss | Puffer-Anforderung | Groesser 0 (Kessel laeuft) |
| PV-Ueberschuss ein | WP thermische Kosten | 0.00 EUR/kWh |
| PV-Ueberschuss ein | Kessel | Aus, nur WP laeuft |
| PV-Ueberschuss aus | Kessel | Sofort an, WP aus |
| PV + WP EnergyLow | Kessel | Springt ein (Fallback) |

---

Revision #1
Created 2026-02-11 12:34:14 UTC by Christian
Updated 2026-02-11 13:31:21 UTC by Christian