

# Optimierte Betriebsweise eines hybriden Speichersystems zur Erbringung von Primärregelleistung

Christoph Loschan, Jürgen Marchgraber,  
Georg Lettner, Wolfgang Gawlik, Günter Wailzer  
(TU Wien – Energy Economics Group)

17. Symposium Energieinnovation  
Online  
16.02.2022

- SEKOHS: *Sector-coupling hybrid storage system Theiß*
- *TU Wien, EVN, AIT*
- *Green Energy Lab: Energiemodellregion & Klima- und Energiefond*
- *03/20 - 03/23*
- *Fernwärmeversorgung von Gedersdorf und Krems*
- *Anlagenexpansion: BESS & PV*
- *Sektorkopplung der Strom,- und Wärmeseite mit einem hybriden Speichersystem*
- *Betriebsoptimierung*



- Kombinieren der Vorteile von BESS und TESS
- Wärmeseite: Fernwärme
- Stromseite: Regelenergieprodukte (FCR)

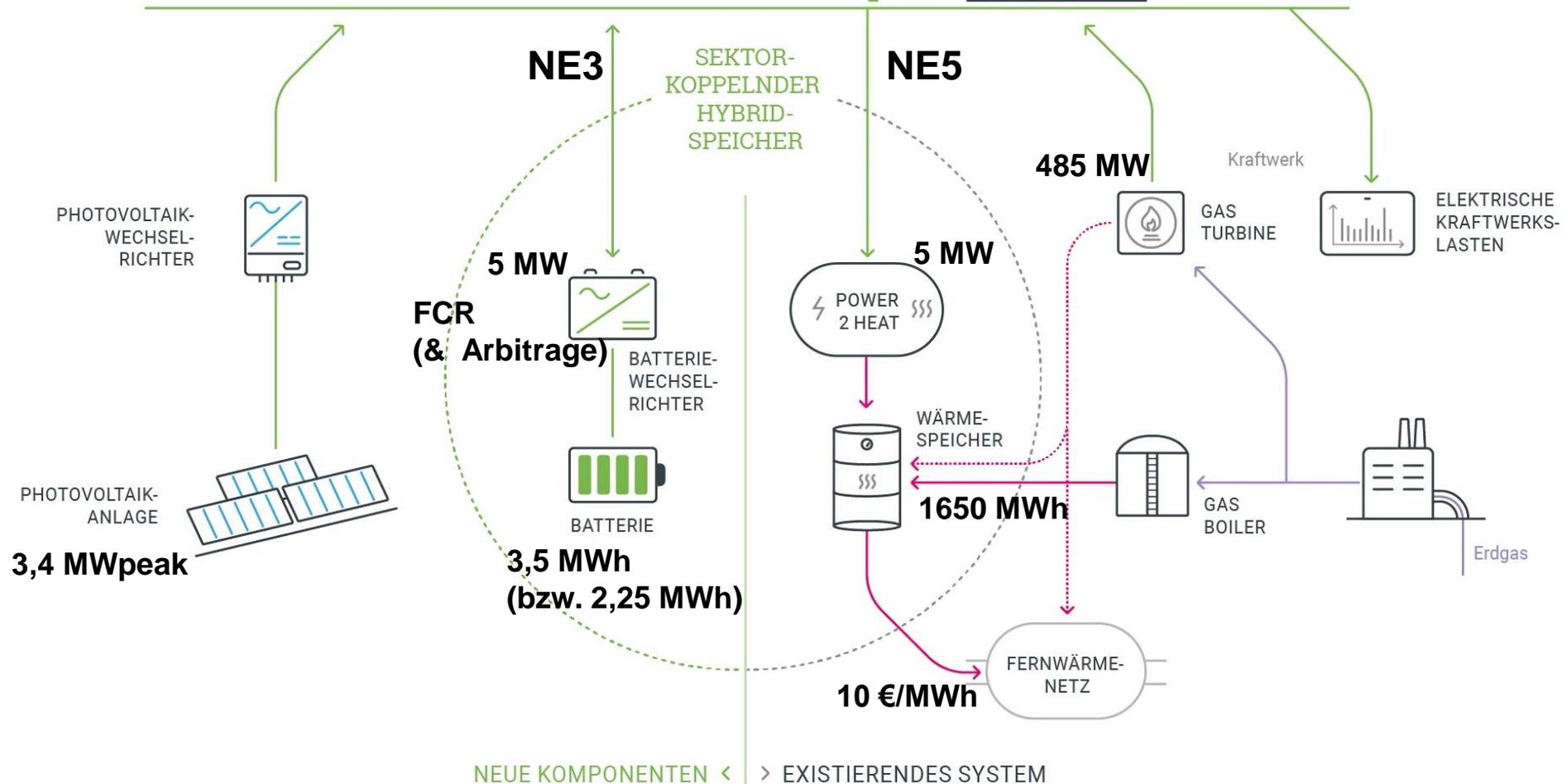
	Batteriespeicher	Thermischer Speicher
Systemkosten (Speicherkapazität)	Hoch	Gering
Speicherkapazität	Gering	Hoch
Nutzungsflexibilität	Zahlreiche Systemdienstleistungen	Unidirektional zur Stromspeicherung

## SEKOHs Theiß

DEMO

Intraday Preis

Systemnutzungsentgelte



$$\max I_{\text{FCR}} + I_{\text{Intraday}} + I_{\text{Thermal}} + I_{\text{PV}} - E_{\text{Intraday}} - E_{\text{Tariff}}$$

$$I_{\text{FCR}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{FCR}}}{S} \cdot \text{fcr}_t^{\text{procurement}}$$

$$I_{\text{Intraday}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{ID}}}{S} \cdot p_t^{\text{discharge}}$$

$$I_{\text{Thermal}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{thermal}}}{S} \cdot \left( p_t^{\text{pv-heat}} + p_t^{\text{therm}} + p_t^{\text{fcr-heat}} \right)$$

$$E_{\text{Intraday}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{ID}}}{S} \cdot p_t^{\text{charge}}$$

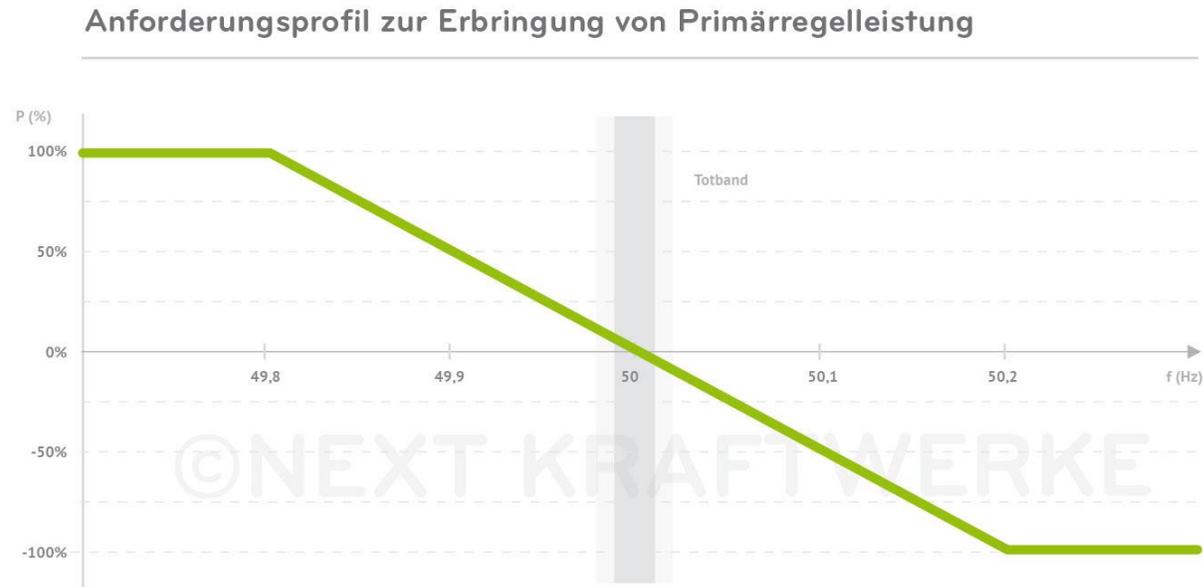
$$E_{\text{Tariff}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{Tariff}}}{S} \cdot \left( p^{\text{charge}} + \text{fcr}_t^{\text{procurement}} \cdot P_t^{\text{FCR-charge}} \right)$$

$$I_{\text{PV}} = \sum_{t \in T} \frac{C_t^{\text{ID}}}{S} \cdot p_t^{\text{pv-sell}}$$

- Vorhaltung von FCR
- Verkauf am ID-Markt (Arbitrage)
- Aufnahme von neg. FCR Abruf durch den TESS
- Nachkauf am ID-Markt
- Systemnutzungsentgelte
- Erlöse durch PV Einspeisung

Entscheidungsvariable sind klein,- Parameter groß geschrieben

S = Zeitschritte pro Stunde



$F$  = Netzfrequenz in sekundlicher Auflösung

Leistungsabruf (normiert):

$$P_t^{\text{FCR}}(F) = \min((50.0 - F) \cdot 5, 1) \quad \forall t \in T; F < 49.99$$

$$P_t^{\text{FCR}}(F) = \max((50.0 - F) \cdot 5, -1) \quad \forall t \in T; F > 50.01$$

$$P_t^{\text{FCR}}(F) = 0 \quad \forall t \in T; 49.99 \leq F \leq 50.01$$

Aufteilung in neg.-, und pos. Abruf:

$$P_t^{\text{FCR-charge}} = P_t^{\text{FCR}} \quad \forall t \in T; P_t^{\text{FCR}} > 0$$
$$P_t^{\text{FCR-discharge}} = P_t^{\text{FCR}} \quad \forall t \in T; P_t^{\text{FCR}} < 0$$

FCR Vorhaltung in durch Leistung des BESS Wechselrichter beschränkt

$$0 \leq \text{fcr}_t^{\text{procurement}} \leq P_{\text{max}}$$

Neg. FCR Abruf kann durch TESS oder BESS aufgenommen werden

$$0 \leq p_t^{\text{fcr-heat}} \leq P_t^{\text{FCR-charge}} \cdot \text{fcr}_t^{\text{procurement}}$$

PV Einspeisung in BESS / TESS / ID Handel

$$p_t^{\text{pv-heat}} + p_t^{\text{pv-BESS}} + p_t^{\text{pv-sell}} = P_t^{\text{PV}}$$

BESS kann entweder Laden oder Entladen (Binärvariable  $\beta_t$ )

Verfügbare Entladeleistung am ID Markt

- wird durch FCR Entladung (pos. FCR Abruf) verringert
- Durch FCR Ladung (neg. FCR Abruf) erhöht
- Beschränkt durch Wechselrichter Leistung

$$0 \leq p_t^{\text{discharge}} - f_{\text{cr}_t}^{\text{procurement}} \cdot \left( P_t^{\text{FCR-discharge}} + P_t^{\text{FCR-charge}} \right) \leq P_{\text{max}} \cdot (1 - \beta_t)$$

Verfügbare Ladeleistung am ID Markt

- wird durch FCR Entladung erhöht
- Durch FCR Ladung verringert
- Beschränkt durch Wechselrichter Leistung

$$0 \leq p_t^{\text{charge}} + f_{\text{cr}_t}^{\text{procurement}} \cdot \left( P_t^{\text{FCR-discharge}} + P_t^{\text{FCR-charge}} \right) \leq P_{\text{max}} \cdot \beta_t$$

$$\begin{aligned}
 e_t &= e_{t-1} \cdot (1 - \eta^{\text{self}}) \\
 &+ \frac{p_t^{\text{charge}}}{S} \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}} - \frac{p_t^{\text{discharge}}}{S \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}}} \\
 &+ \frac{p_t^{\text{pv-BESS}}}{S} \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}} - \frac{p_t^{\text{therm}}}{S \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}}} \\
 &+ \frac{P_t^{\text{FCR-charge}} \cdot \text{fcr}_t^{\text{procurement}} - p_t^{\text{fcr-heat}}}{S} \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}} \\
 &+ \frac{P_t^{\text{FCR-discharge}} \cdot \text{fcr}_t^{\text{procurement}}}{S \cdot \sqrt{\eta^{\text{round}}}}
 \end{aligned}$$

$$e_t = E_{\text{init}} \quad \forall t \in (\text{First}, \text{Last})$$

$$e_t \geq E_{\text{min}} + \text{fcr}_t^{\text{procurement}} \cdot X_{E,P}$$

$$e_t \leq E_{\text{max}}$$

- Selbstentladung
  - Ladung und Entladung
  - PV Einspeisung in BESS; Entladung in TESS
  - neg. FCR Abruf (Speicherladung) in BESS oder TESS
  - pos. FCR Abruf (Speicherentladung)
- 
- Initial - SoC
  - SoC durch E-zu-P Verhältnis  $X_{E,P}$  begrenzt
    - Z.B. 0,5 für 30' Kriterium

- Optimierung über ein Jahr auf Basis der Daten von 2020
  - (ID Preise, FCR Preise, Netzfrequenz)
  - dzt. 24 h Optimierungsschritte (4h würde zusätzliche NB erfordern)

Einflussfaktoren:

Rechtlich:

- Einstufung als Erzeuger / Verbraucher
- Gleichstellung mit P2H und PHS Anlagen
- Anschluss in fiktiver Netzebene (NE5 P2H, NE3 BESS)

Sensitivität:

- Intradayhandel (Arbitrage): ja/nein
- E-zu-P Verhältnis: 15'/30'

Anschlussentgelte		Netznutzungsentgelte		Netzverluste	Systemdienstleistungen	Zähler	Andere
Netzzutrittsentgelt	Netzbereitstellungsentgelt	Leistungs-komponente	Arbeits-komponente	Netzverlust-entgelt	System-dienstleistungs-entgelt	Messentgelt	Entgelt für sonstige Leistungen
Einspeiser				Einspeiser > 5MW		Einspeiser	
Entnehmer						Entnehmer	

1. Netznutzungsentgelt; (**abweichende Regelung für PHS und aFRR/mFRR Anbieter**)
  2. Netzverlustentgelt; (für Entnehmer ~~bzw. Einspeiser über ab 5 MW~~)
  3. Netzzutrittsentgelt;
  4. Netzbereitstellungsentgelt;
  5. Systemdienstleistungsentgelt; (~~erst bei über 5 MW~~)
  6. Entgelt für Messleistungen; (~~nicht relevant~~)
  7. Entgelt für sonstige Leistungen sowie
  8. ~~gegebenenfalls dem Entgelt für internationale Transaktionen~~
- Zusätzl. Elektrizitätsabgabe, Erneuerbaren-Förderpauschale, - und Förderbeitrag, Regelreservekosten, Ausgleichsenergiekosten, Clearinggebühren,...

## 1. Netznutzungsentgelt; (abweichende Regelung für PHS und aFRR/mFRR Anbieter)

- Standard

NE 3: 27 480 €/ (MW\*a) und 4,0 €/MWh

NE 5: 42 480 €/ (MW\*a) und 8,7 €/MWh

- Ökostromförderbeitrag

NE 3: 11 457 €/ (MW\*a) und 2,26 €/MWh

NE 5: 12 013 €/ (MW\*a) und 3,20 €/MWh

- Biomasseförderbeitrag

NE 3: 1 511 €/ (MW\*a) und 0,30 €/MWh

NE 5: 1 690 €/ (MW\*a) und 0,46 €/MWh

---

- **Gesamt**

NE 3: 40 448 €/ (MW\*a) und 6,56 €/MWh

NE 5: 56 183 €/ (MW\*a) und 12,36 €/MWh

- **Für PHS**

Alle NE: 1 000 €/ (MW\*a) und 2,15 €/MWh

- Für aFRR und mFRR

Alle NE: 1 000 €/ (MW\*a) und 0,85 €/MWh

## 2. Netzverlustentgelt; (für Entnehmer bzw. Einspeiser über ab 5 MW)

- Standard + Ökostromförderbeitrag +  
NE 3: 1,12 €/MWh  
NE 5: 1,25 €/MWh
- Ökostromförderbeitrag + Biomasseförderbeitrag  
NE 3: 0,33 €/MWh + 0,04 €/MWh  
NE 5: 0,32 €/MWh + 0,05 €/MWh

- 
- Gesamt  
NE 3: 1,49 €/MWh  
NE 5: 1,62 €/MWh

## 3. Netzzutrittsentgelt;

- (einmalig: 50 000 €/MW)

## 4. Netzbereitstellungsentgelt;

- einmalig  
NE 3: 22 400 €/MW  
NE 5: 101 480 €/MW

## 5. Elektrizitätsabgabe

15 €/MWh

## 6. Erneuerbaren Förderpauschale

NE 1 – 4: 114 438,65 €/a

NE 5: 17 002,31 €/a

Für Endverbraucher ist lt. § 73 Erneuerbaren Ausbau Gesetz die Erneuerbaren Förderpauschale zu entrichten.

## Daher gilt für Endverbraucher (Entnehmer)

Erneuerbaren Förderpauschale  
Erneuerbaren-Förderbeitrag  
Netznutzungsentgelt  
Netzverlustentgelt  
Netzzutrittsentgelt  
Netzbereitstellungsentgelt  
Elektrizitätsabgabe

## Für Erzeuger (Einspeiser)

Netzzutrittsentgelt  
Netzverlustentgelt-  
(ab 5 MW)

## Getrennte Definition des Batterie,- und thermischen Speichers

eHeater als Verbraucher in NE 5 (neg. FCR Abruf in TESS ist mit Gebühren verbunden)

BESS als Erzeuger in NE3

Für Endverbraucher ist lt. § 73 Erneuerbaren Ausbau Gesetz  
Die Erneuerbaren Förderpauschale zu entrichten

Ausgenommen sind:

- Pumpspeicherkraftwerke
- P2H, P2G Anlagen

**Daher gilt für Endverbraucher**

Erneuerbaren Förderpauschale

Erneuerbaren-Förderbeitrag

Netznutzungsentgelt

Netzverlustentgelt

Netzzutrittsentgelt

Netzbereitstellungsentgelt

Elektrizitätsabgabe

**Für PHS und P2x**

Netznutzungsentgelt (reduziert)

Netzverlustentgelt

Netzzutrittsentgelt

Netzbereitstellungsentgelt

Elektrizitätsabgabe

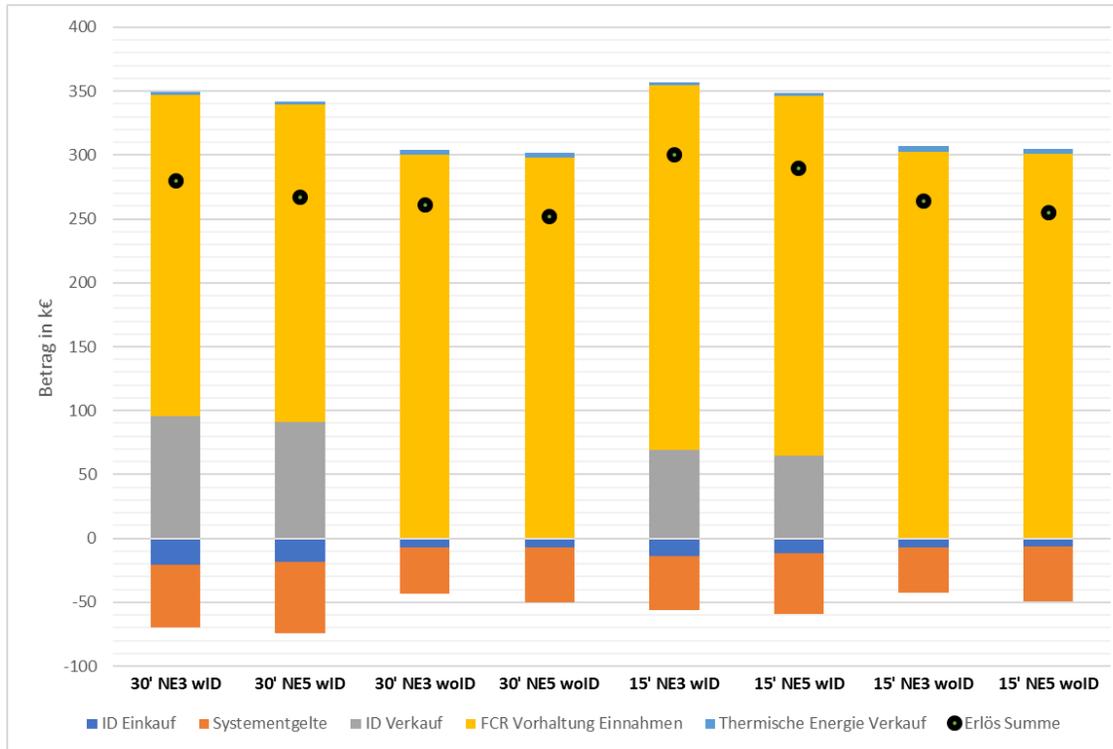
## EAG § 73 3

Divergieren Einspeise- und Bezugsleistung an einem Zählpunkt in dem Maße, dass **bei alleiniger Betrachtung der Bezugsleistung der Anschluss an eine andere Netzebene als an die tatsächlich angeschlossene Netzebene erfolgen würde**, ist für die Höhe der Erneuerbaren-Förderpauschale die **fiktive Netzebene der Bezugsleistung ausschlaggebend**.

Daher fiktiver Anschluss in NE5 statt NE3 (real TESS NE5, BESS NE 3)

Auswirkungen:

- Erneuerbaren Förderpauschale (- 97 736,34 €/a)
- Netzverlust,- und Nutzungsentgelte (+ 5,93 €/MWh und 15 735 €/(MW\*a))
- Netzbereitstellungsentgelt (einmalig: +79 080 €/MW)



Erlös in k€	279,61	267,22	261,24	252,08
Abzgl. RESE Förderp.	165,17	250,21	146,80	235,08
<b>Abzgl. Netznutzungsentgelt</b>	<b>-36,83</b>	<b>-30,79</b>	<b>-55,20</b>	<b>-45,92</b>

Betriebsoptimierung berücksichtigt Systemnutzungsentgelte als Verbraucher  
(nur Energiekomponenten, keine Leistungskomponenten)

Abzgl. Erneuerbaren Förderpauschale  
NE 3: 114 k€/a  
NE 5: 17 k€/a

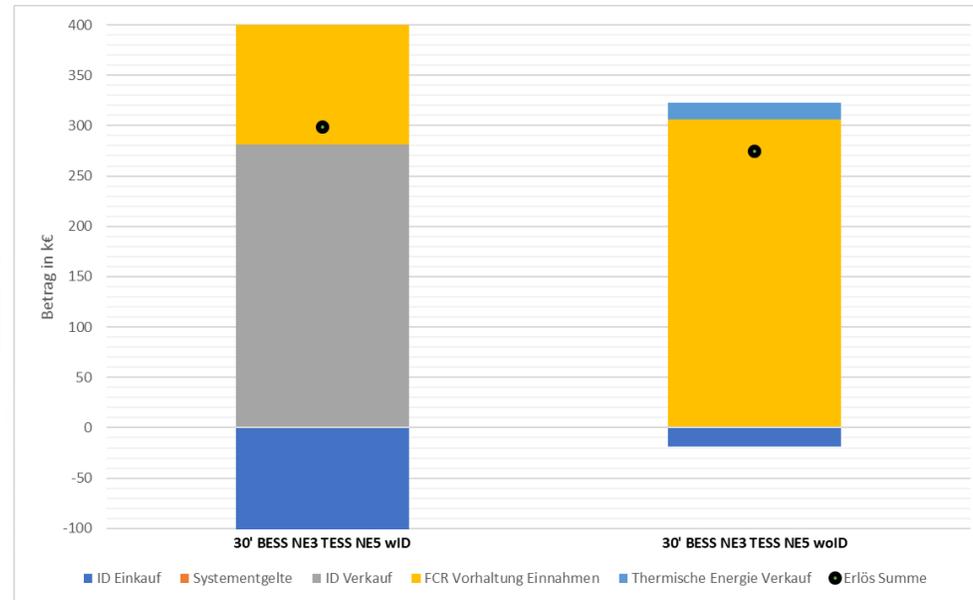
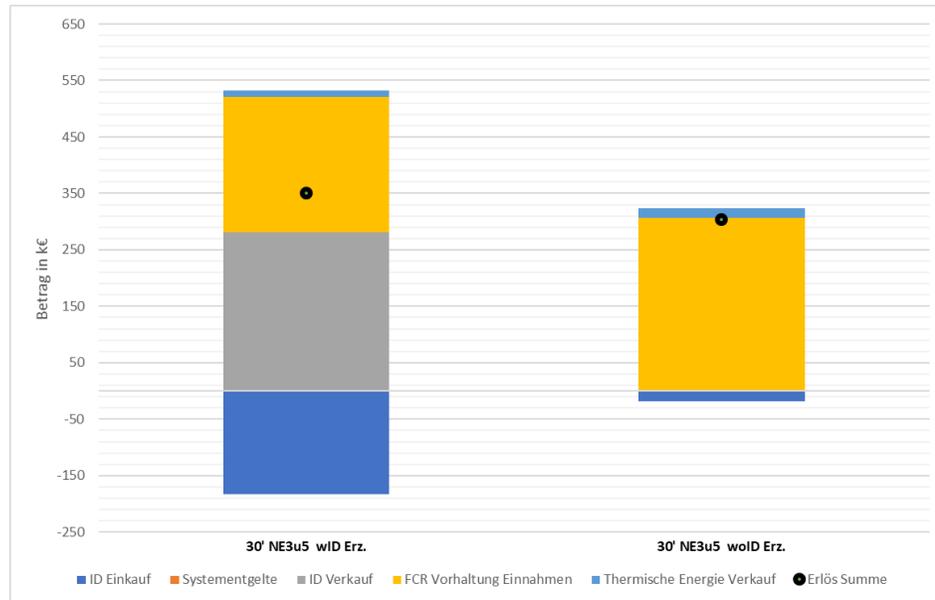
Abzgl. Netznutzungsentgelt  
NE 3: 202 k€/a  
NE 5: 281 k€/a  
PHS: 5 k€/a

**Daher. Einstufung analog zu PHS essentiell**

## Erzeuger

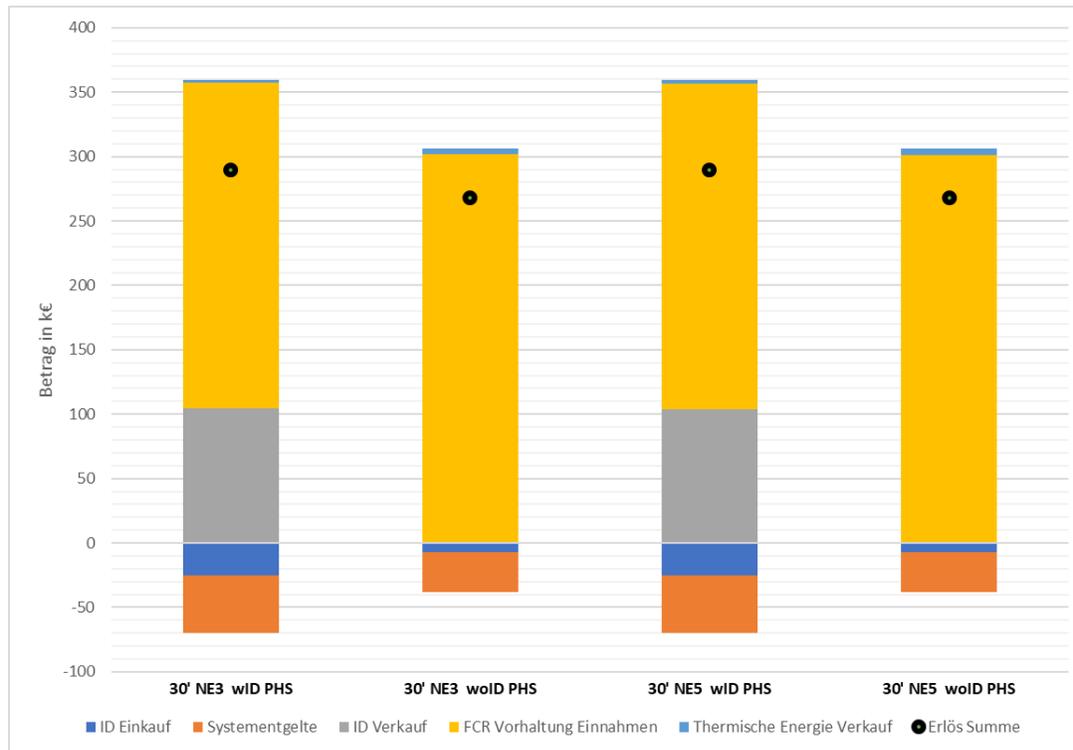
## Getrennte Betrachtung

- eHeater als Verbraucher in NE 5 (neg. FCR Abruf - > Gebühren)
- BESS als Erzeuger in NE 3



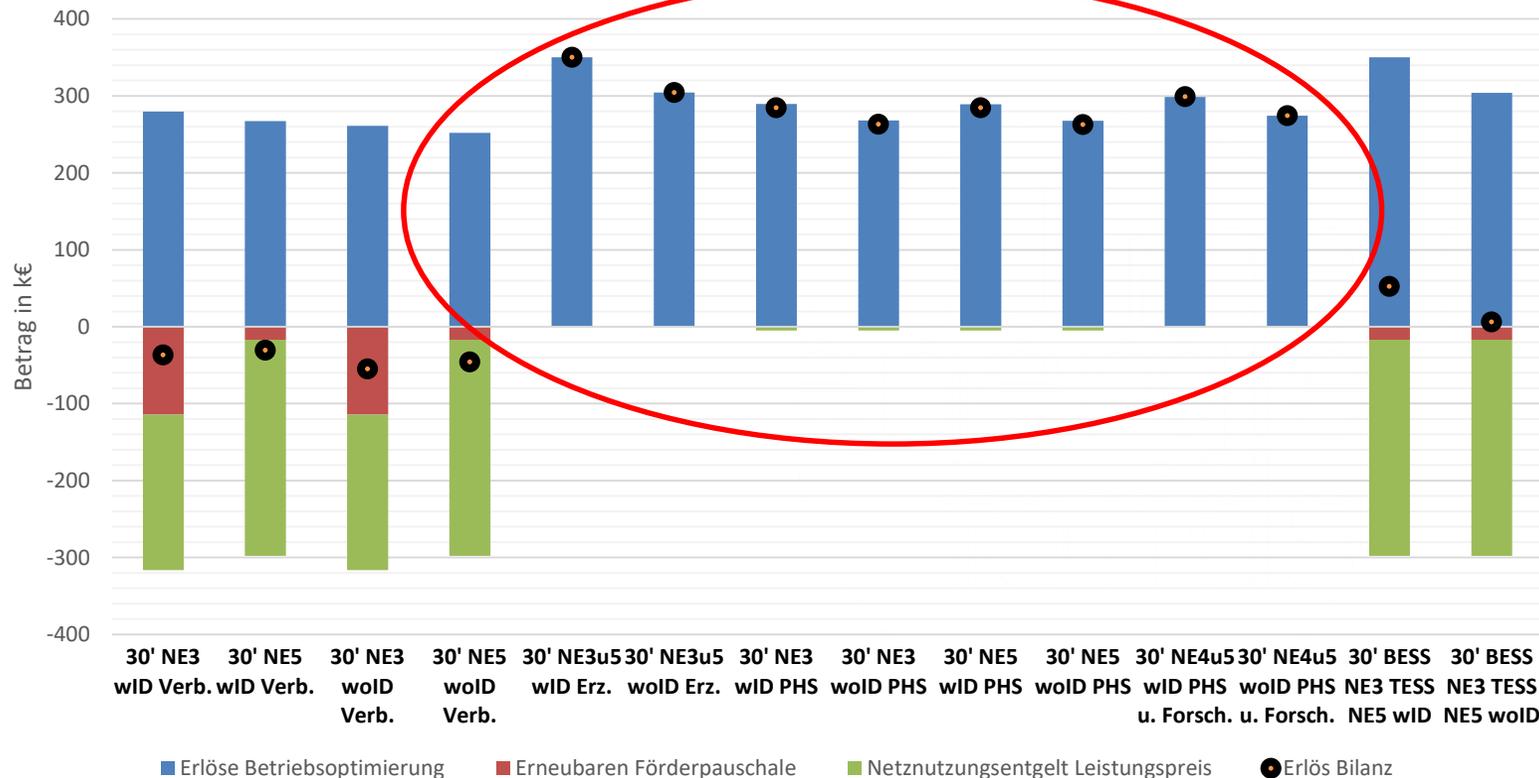
30' Kriterium, mit / ohne ID Handel  
NE 3 und NE 5

## 30' Kriterium, mit / ohne ID Handel NE 3 und NE 5



Jährlicher Erlös inkl. Berücksichtigung etwaiger Leistungspreise  
(Netznutzungsentgelt und Erneuerbaren Förderpauschale)

Einmalige Kosten sind nicht berücksichtigt  
(Investitionen, Netzbereitstellungsentgelt, Netzzutrittsentgelt)



**Daher:**

- Einstufung als Erzeuger bzw. PHS essentiell
- Einstufung als Verbraucher bzw. getrennt als Verbraucher/Erzeuger verhindert wirtschaftlichen Betrieb