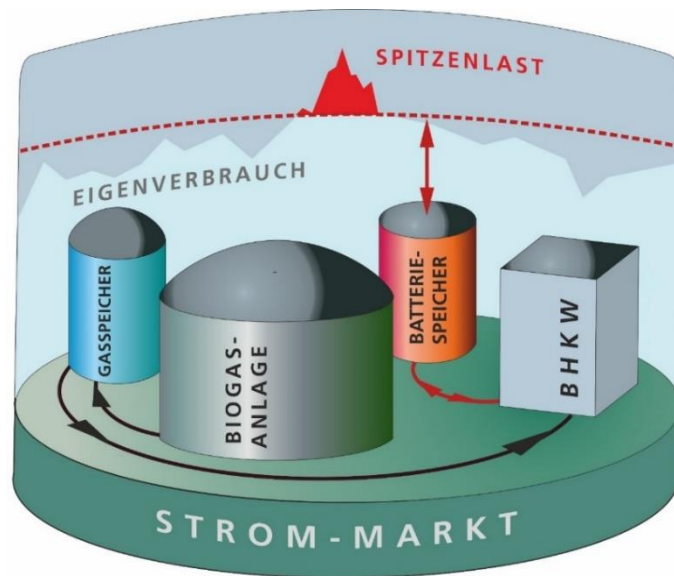


FUNKTIONSWEISE UND AUSLEGUNG VON ELEKTROSPEICHERN

Daniel Hau M.Sc.

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Bereich Energieverfahrenstechnik



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

MI
18.01.

Neue Chancen für die Landwirtschaft mit
Photovoltaik

ALB
HESSEN

Arbeitsgemeinschaft für
Rationalisierung, Landtechnik
und Bauwesen in der Land-
wirtschaft Hessen e. V.

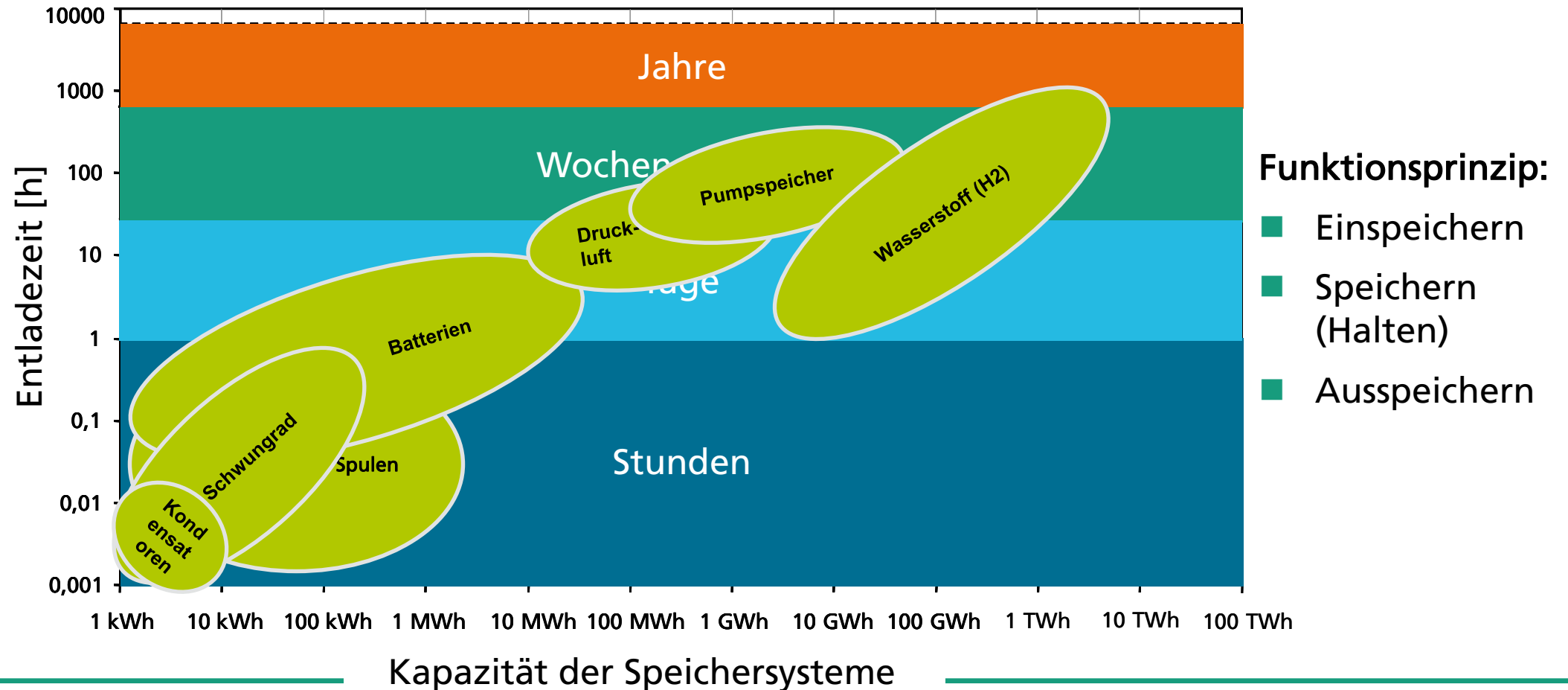
Baulehrschau

am Landwirtschaftszentrum
Eichhof, Bad Hersfeld

AGENDA

- Grundlagen Batteriespeicher
- Auslegung und Kostenanalyse von Lithium-Ionen Batteriespeichern
- Ergebnisse aus dem Projekt BIOBATSYS
- UPDATE 2023: Strompreise und Versorgungssicherheit

KAPAZITÄTEN UND ENTLADEZEITEN VERSCHIEDENER SPEICHER



BATTERIESPEICHER AUFBAU

- Batteriepack bestehend aus Leistungselektronik und Peripherie
- Leistungsangabe in Watt oder Kilowatt (kW)
- Angabe der Kapazität in Amperestunden (Ah) oder Kilowattstunden (kWh)

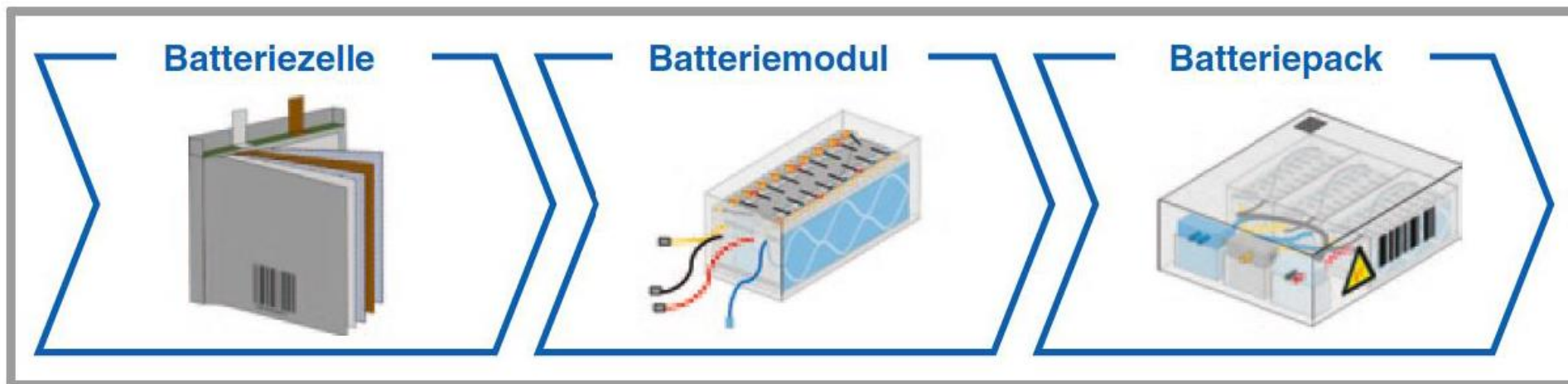
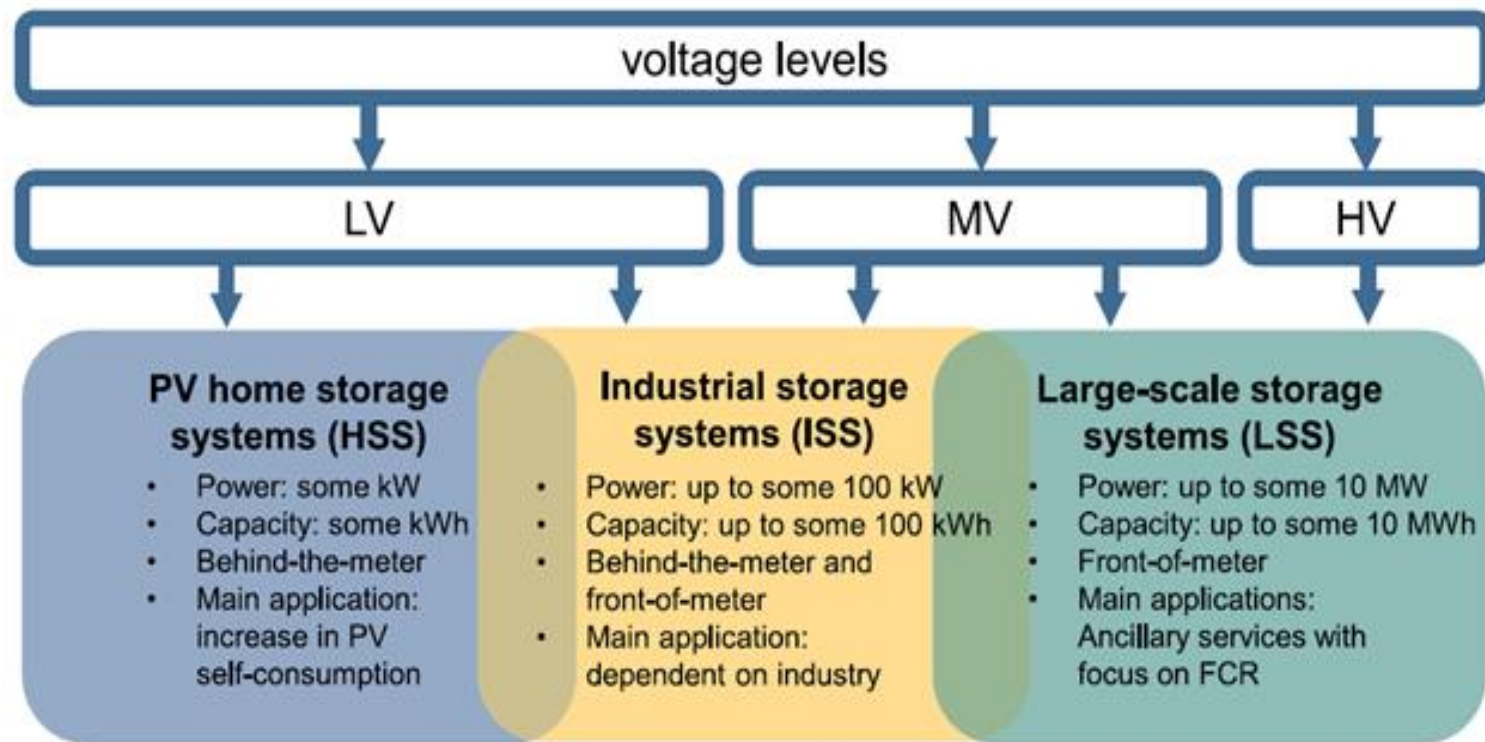


Abb. 2-5: Von der Batteriezelle zum Batteriepack (vgl. Korthauer 2013, S. 238)

BATTERIESPEICHER, LITHIUM-IONEN TECHNIK

■ Unterteilung in drei Kategorien



Quelle: Figgner, I. et al., "The development of stationary battery storage systems in Germany - A market review" Journal of energy storage

KAPAZITÄT EINES BATTERIESPEICHERS

- Entladetiefe (DoD) zwischen 75% und über 95%
- Degradation der Zellen
- Ende der Nutzungsdauer 80% der Anfangskapazität

$$E_{\text{Gesamt_LIB}} = E_{\text{Nutz}} \cdot \frac{1}{\text{DoD}} \cdot \frac{1}{\text{Degradation}} = \frac{E_{\text{Nutz}}}{0,8 \cdot 0,8} = 1,5625 \cdot E_{\text{Nutz}}$$

- Selbstentladung 1-2%/Monat
- Eigenbedarf 2%/Monat

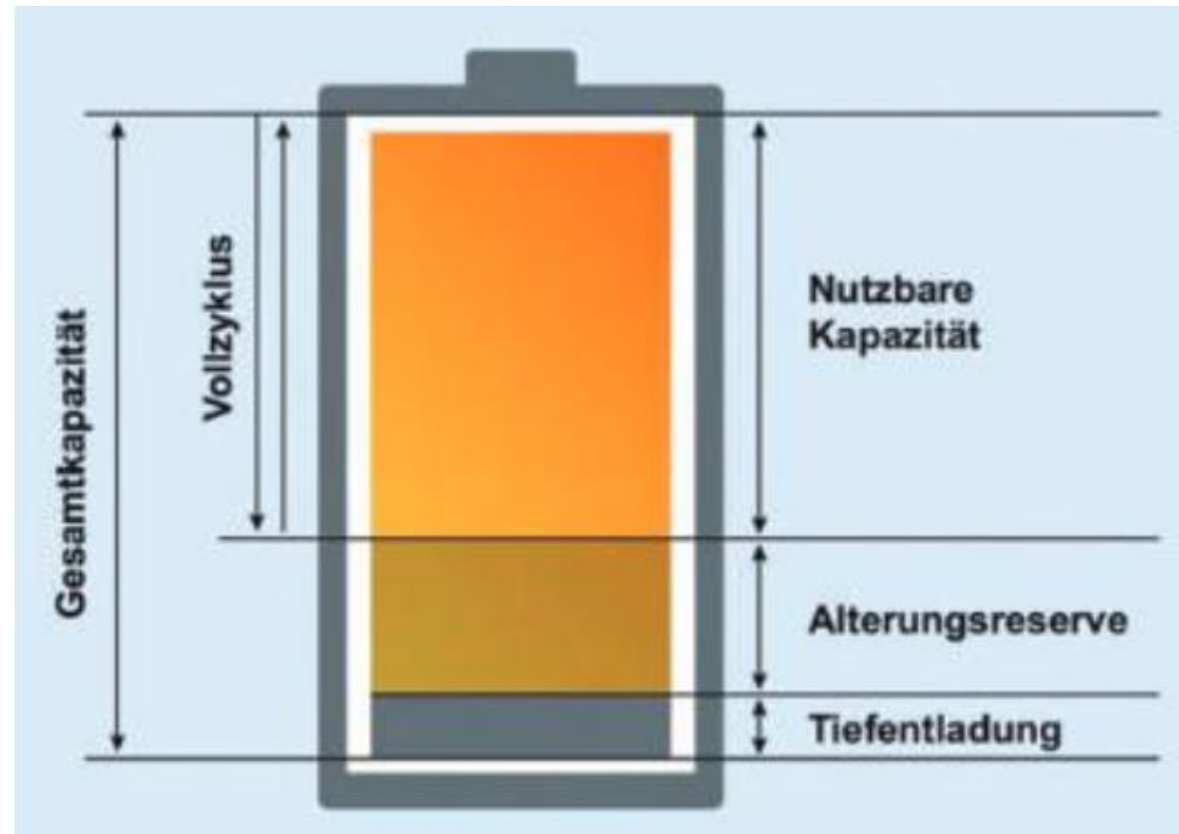


Abb. 3-1: Batteriekapazität (vgl. UM Baden-Württemberg 2017a, S. 6)

PARAMETER UNSERES BATTERIESPEICHER-KOSTENMODELLS

Technische Daten	Kapitalgebundene Kosten	Bedarfsgebundene Kosten
Leistung	Batteriesystem	Energiekosten
Kapazität	Anlagenperipherie	
Vollzyklen pro Jahr	Leistungselektronik	
	Installation und Netzanschluss	
	Planung und Genehmigung	

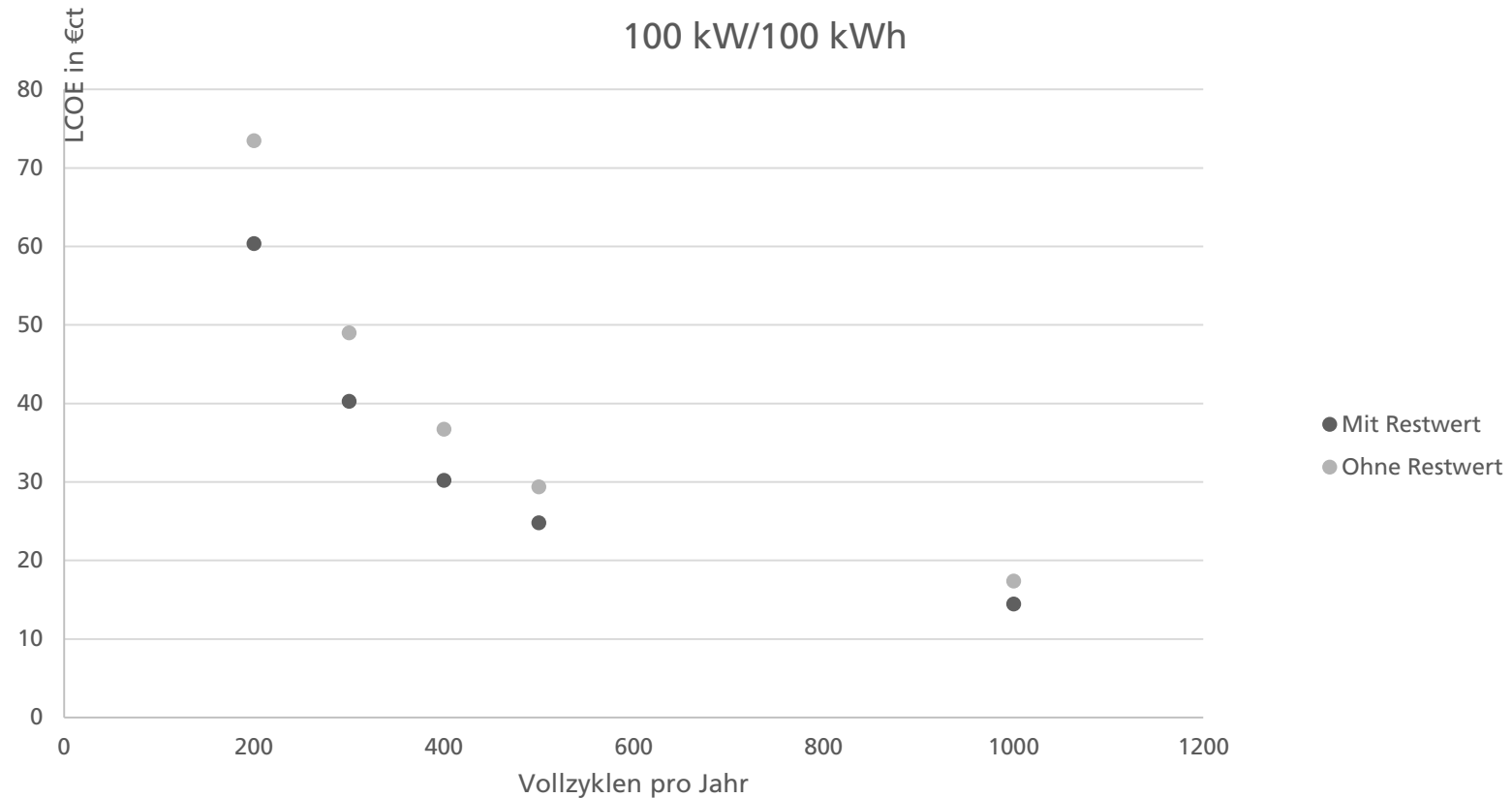
Betriebskosten	Sonstige Kosten	Erlöse
Bedienung	Versicherung	Energie
Wartung und Instandhaltung	Rücklagen	

DURCHSCHNITTSKENNDATEN VON LITHIUM-IONEN SPEICHERN

	Lithium-Ionen
Wirkungsgrad	87,5 %
Kalendarische Lebensdauer	17,5 Jahre
Zyklische Lebensdauer	7.250 Zyklen
Entladetiefe	80 %
Degradation	20 % _{Energie}
Leistungsbezogene Kosten	250 €/kW (Heim) / 175 €/kW (Groß)
Kapazitätsbezogene Kosten	500 €/kWh (Heim) / 550 €/kWh (Groß)
Planung & Genehmigung	10 % _{System}
Installation & Netzanschluss	12,5 % _{System}
Betrieb/Wartung/Instandsetzung	4 h/a mit 60 €/h (Heim) / 10 €/kW + 1,5 % _{Invest} /a (Groß)
Versicherung & Verwaltung	0,4 % _{Inv.} /a
Rückbau	0,25 % _{Inv.} /a
Umrichterkosten	250 €/kW (Heim) / 175 €/kW (Groß)

Quelle: Techno-ökonomische Analyse von Energiespeichern, Maike Schüler

EINSPEICHERKOSTEN EINES AUSGEWÄHLTEN BATTERIESPEICHERS MIT 100KW/100KWH



STROMGESTEHUNGSKOSTEN (LCOE) EINES AUSGEWÄHLTEN BATTERIESPEICHERS

- Kosten der Stromspeicherung je kWh aus dem Speicher bezogenen Stroms

Investitionsbedarf Speichersystem [€/kWh Nutzkapazität]	Zyklenzahl [n]				
	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000
	Speicherkosten [ct/kWh]				
350	25,9	18,3	14,5	12,2	10,7
500	37,0	26,1	20,7	17,4	15,3
750	55,6	39,2	31,0	26,1	22,9
1.000	74,1	52,3	41,4	34,9	30,5

Berechnungsannahmen: 300 Vollzyklen/a, keine Nutzungsbegrenzung durch kalendarische Lebensdauer, Wirkungsgrad 85%, Zinsen 2%/a, Wartung und Reparatur 1%/a, durchschnittlich nutzbare Speicherkapazität 90 % der anfänglich nutzbaren Kapazität

$$\text{Speicherkosten} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\text{Abschreibung} [\text{€/a}] + \text{Wartung} [\text{€/a}] + \text{Zinsen} [\text{€/a}]}{\text{Wirkungsgrad} [\%] \cdot \text{Zyklusanzahl} [\text{n/a}] \cdot \varnothing \text{ nutzbare Speicherkapazität} [\text{kWh}]}$$

PROJEKTERGEBNISSE BIOBATSYS

- Elektrochemische Speicher im Kontext landwirtschaftlicher Energiesysteme / Kombination mit Biogasanlagen

- Phase 1 -> 01.07.20 - 30.06.21

Durchführbarkeitsstudie

Phase 2 -> im Anschluss

Pilotvorhaben

* Zeitstrahl EEG Novellierungen

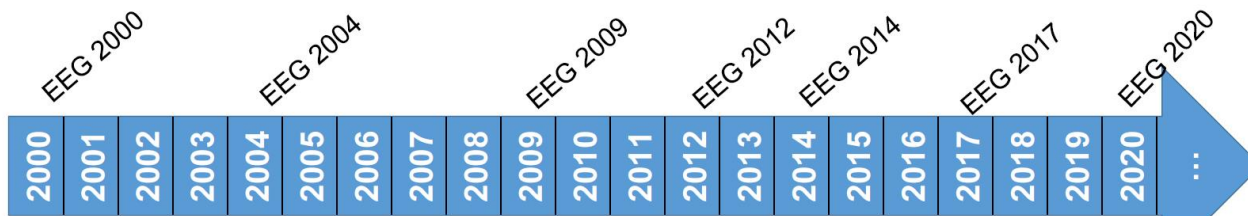
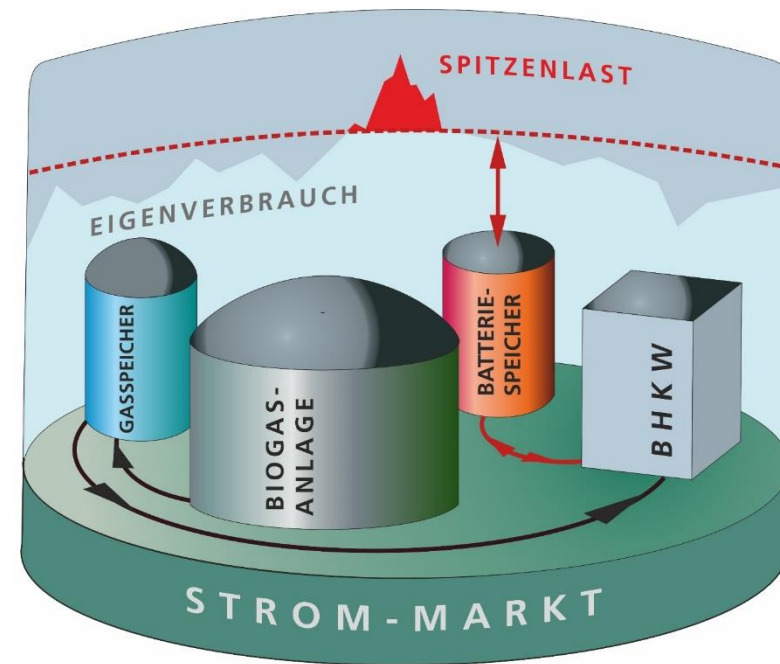
* 1991 Stromeinspeisungsgesetz

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



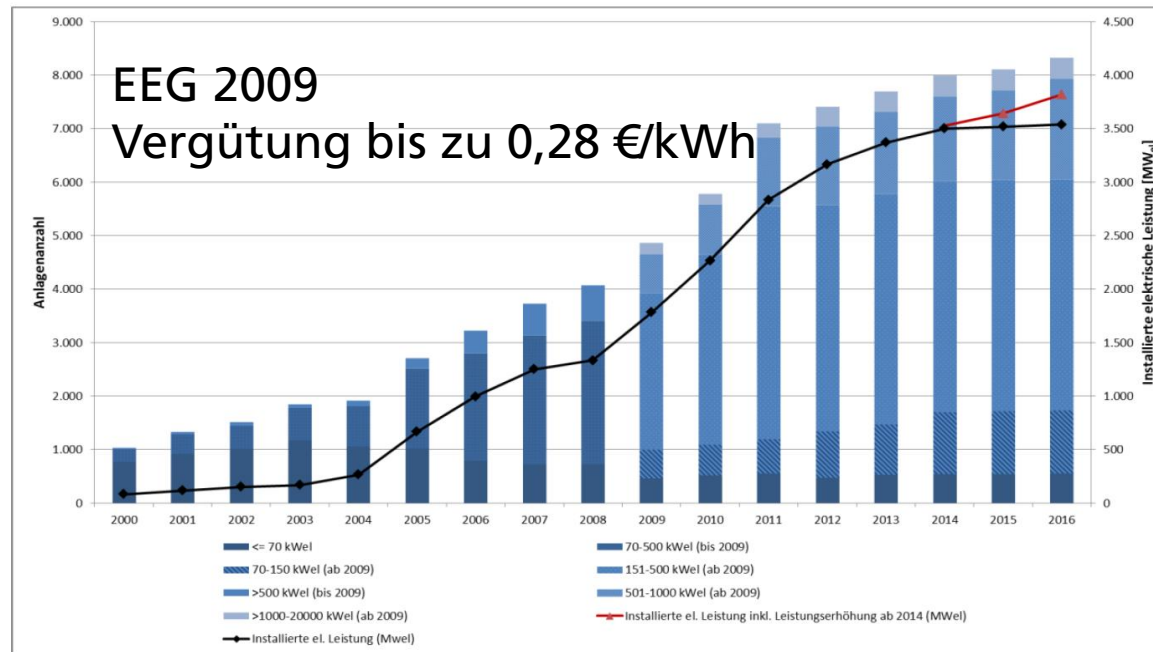
LEITFRAGEN – BIOGASANLAGEN/BATTERIESPEICHER

- Gibt es sinnvolle Vermarktungsmöglichkeiten nach Ablauf der festgeschriebenen EEG-Vergütung?
- Durch Kombination mit Batteriespeicher Erschließung zusätzlicher Anwendungen/Märkte?
- Ist Betrieb mit Batteriespeicher heute schon wirtschaftlich?
- Welche zusätzliche Funktionalität erhält die Biogasanlage durch die Kombination mit dem Batteriespeicher?
- Was kostet der Batteriespeicher?
- Dimensionierung des Batteriespeichers für unterschiedliche Anwendungen?

(IZES Pertagnol et al. 2020)

EINGRENZUNG ZU UNTERSUCHENDE BIOGASANLAGEN

- Leistungsbereich von bis <70kW bis >1MW
- Fokus auf landwirtschaftliche BGA mit Direktverstromung
- Bis zu 8500 Volllaststunden im Jahr



Vergütung heute
Neuanlagen
16,4 ct/kWhel
Bestandsanlagen
18,4 ct/kWhel

(IEE EEG-Monitoring)

UNTERSUCHUNG VON ANWENDUNGSFÄLLEN UND AUSLEGUNGSKRITERIEN

■ Anwendungsfälle:

- Vermarktungsoptionen/ Systemdienstleistungen für die Kombination aus Biogasanlage und Batteriespeicher
- Eigenverbrauchsoptimierung / Lastspitzenkappung
- Notstromversorgung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung)
- Elektromobilität/ Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen
- Stromlieferung an Dritte

■ Auslegungskriterien hängen vom Anwendungsfall ab

UNTERSUCHUNG VON ANWENDUNGSFÄLLEN UND AUSLEGUNGSKRITERIEN

■ Anwendungsfälle:

- Vermarktungsoptionen/ Systemdienstleistungen für die Kombination aus Biogasanlage und Batteriespeicher
- **Eigenverbrauchsoptimierung / Lastspitzenkappung**
- Notstromversorgung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung)
- Elektromobilität/ Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen
- Stromlieferung an Dritte

■ Auslegungskriterien hängen vom Anwendungsfall ab

UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND BIOBATSYS



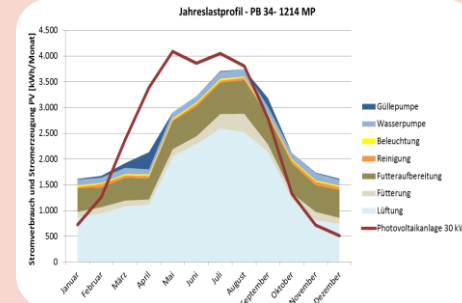
LWZ Eichhof

- Biogasanlage 200kW_{el}
- Photovoltaik 98,9kW_p
- Milchviehhaltung
- Sauenhaltung
- Ferkelaufzucht
- Verwaltung
- Labore
- Strombezug: RLM



Bioenergie Wabern GbR

- Biogasanlage 620kW_{el}
- Photovoltaik 106kW_p
- Ferkelaufzucht
- Schweinemast
- Strombezug: RLM



Repräsentative Landwirtschaftliche Betriebe

- Biogasanlage 75–500kW_{el}
- Photovoltaik 30 – 100kW_p
- Milchviehhaltung
- Schweinehaltung
- Geflügelhaltung
- Batteriebetr. Maschinen
- Strombezug: RLM u. SLP

MODELLFALL - EICHHOF

- Eichhof
- BHKW 1: 125 kW
- BHKW 2: 75 kW
- PV: 98,9 kWp
 - Baulehrschau 45,7 kWp
 - Strohhallen 40 kWp
 - Solarbäume 13,2 kWp



MODELLFALL – LWZ EICHHOF FÜR DAS JAHR 2021

Stromeinkauf	Arbeitspreis
Netz	0,1763 €/kWh
Stromverkauf	
BHKW	0,2359 €/kWh
PV	0,4617 €/kWh

- Warum eigenen Strom nutzen, wenn der Verkaufspreis höher ist als der Einkaufspreis?

MODELLFALL - EICHHOF

Einzelaufstellung Ihrer Verbrauchskosten vom 18.09.2020
für den Zeitraum vom 01.08.2020 bis zum 31.08.2020.

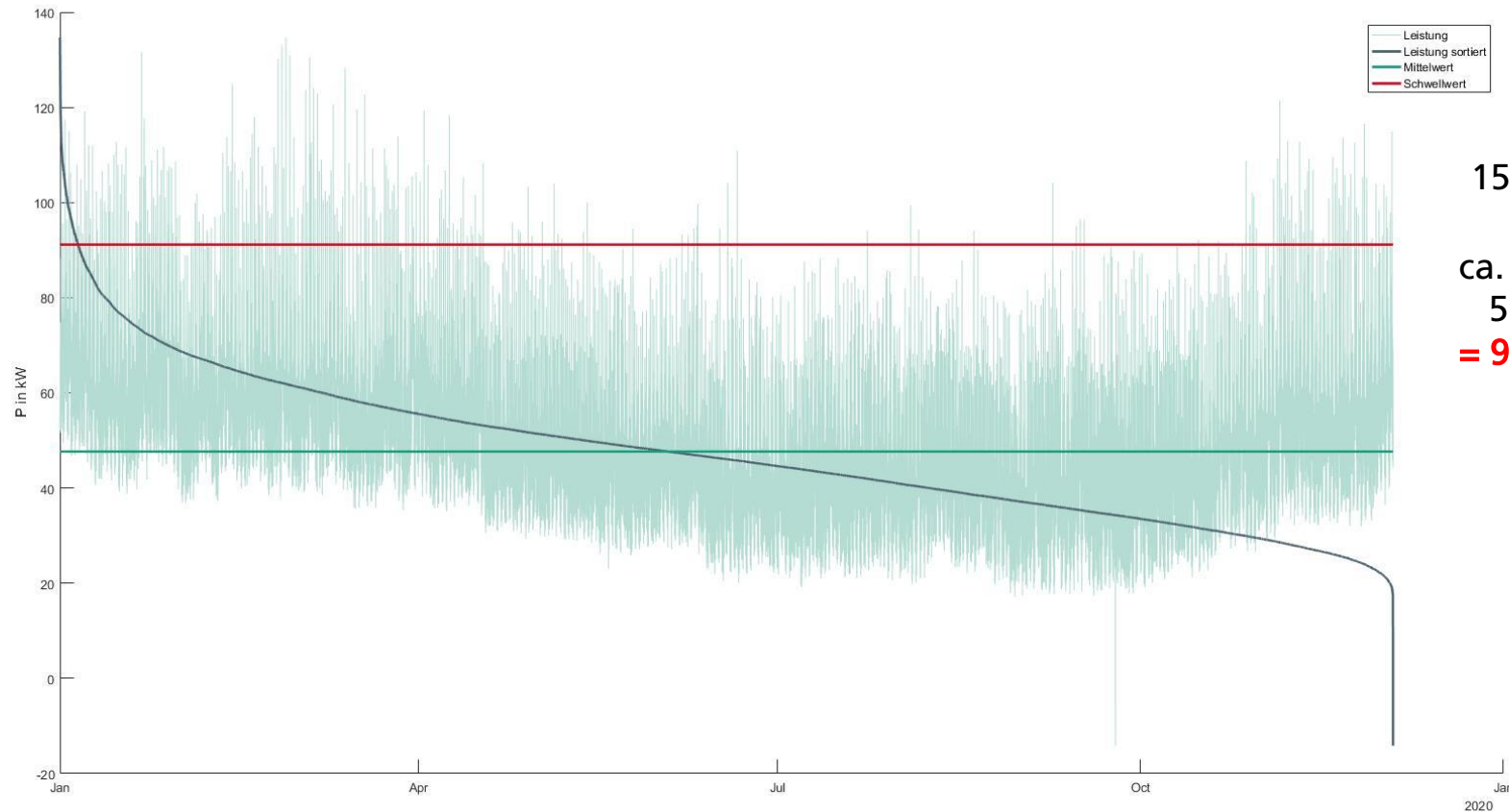
Seite

4

Bezeichnung	für Tage	Menge	Einzelpreis Netto	Nettobetrag EUR	Umsatzsteuer %	Bruttobetrag EUR
Zeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020 (Tarif: "Netzentgelte RLM USP")						
Leistungspreis (Verrechnung)	182			-15.338,07	19,00	
Leistungspreis	182	198 kW	154,93 EUR / kW	15.338,07	19,00	
Zeitraum: 01.07.2020 bis 31.07.2020 (Tarif: "Netzentgelte RLM USP")						
Leistungspreis (Verrechnung)	31			-2.556,35	16,00	
Leistungspreis	31	198 kW	154,93 EUR / kW	2.556,35	16,00	

-> Spitzenlastpreis 154,93 €/kW

LASTGANGANALYSE EICHHOF 2020



15 Minuten-Werte

ca. 50 kW Batterieleistung
 $50\text{kW} \cdot 154,93 \text{ €/kW}$
= 9295,8 €/Jahr Ersparnis

BEISPIEL ENERGIE SPEICHER FÜR LWZ EICHHOF

- Stromspeicher für Gewerbe, Industrie, **Landwirtschaft** und Mieterstromprojekte
- Hochvolt-Speicher mit hoher Skalierbarkeit und **Notstromfunktion**
- Integrierter **Speicher-Wechselrichter** und Open-source **FEMS Energiemanager**
- **Notstromfähigkeit, Lastspitzenkappung, Einbindung eines BHKW**
- Entladeleistung **60kW**, Nutzkapazität **60kWh** (auf 238kWh erweiterbar)
- Kaufpreis: **48.875 EUR** Netto zzgl. **MwSt im Jahr 2021**
-  **Amortisationszeit: 5,25 Jahre**
(ohne Einbindung und Zinsen)



BEISPIEL ENERGIESPEICHER FÜR LWZ EICHHOF

- Stromspeicher für Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft und Mieterstromprojekte

- Hochvolt-Speicher mit hoher Leistung und Notstromfunktion

- Integriertes

Tagespreis 17.01.2023:
58.363,03 EUR netto
Preissteigerung +20%

- Lithium-Ionen-Technologie auf Basis von Graphit und Nickel

- Leistung **60kW**, Nutzkapazität **60kWh** (auf 238kWh erweiterbar)

- Kaufpreis: **48.875 EUR** Netto zzgl. **MwSt** im Jahr 2021

-  **Amortisationszeit: 5,25 Jahre**

(ohne Einbindung und Zinsen)



ERGEBNISSE EICHHOF

BETRIEBSKOSTEN OPTIMIERUNG

Es ist theoretisch günstiger Lastspitzen mit dem BHKW zu kappen, vorausgesetzt es ist immer in der Lage dazu (Gasspeicher, Wartung, Leistungsgradient)

Betriebskosten am Eichhof sind am günstigsten wenn:

- EEG-Vergütung PV 6,63ct/kWh
- Batteriespeicher:
 - Kapazität 30kWh, Entladeleistung 45kW
 - 276 Zyklen pro Jahr (Lebensleistung 6000)
 - Anschaffungskosten 20.000 EUR

ERGEBNISSE EICHHOF

EIGENSTROMVERSORUNG-NOTSTROM

- Grundlastdeckung mit BHKW und Photovoltaik
- Spitzenlast durch Batteriespeicher
- 64kW, 10 kWh bei 9 Vollzyklen pro Einsatztag als Notstromversorgung
- Lebensdauer nur 2 Jahre (6000)
- Ersatz des Notstrom BHKW
- Anschaffungskosten ca. 40.000 EUR

MODELLFÄLLE – BIOENERGIE WABERN GbR

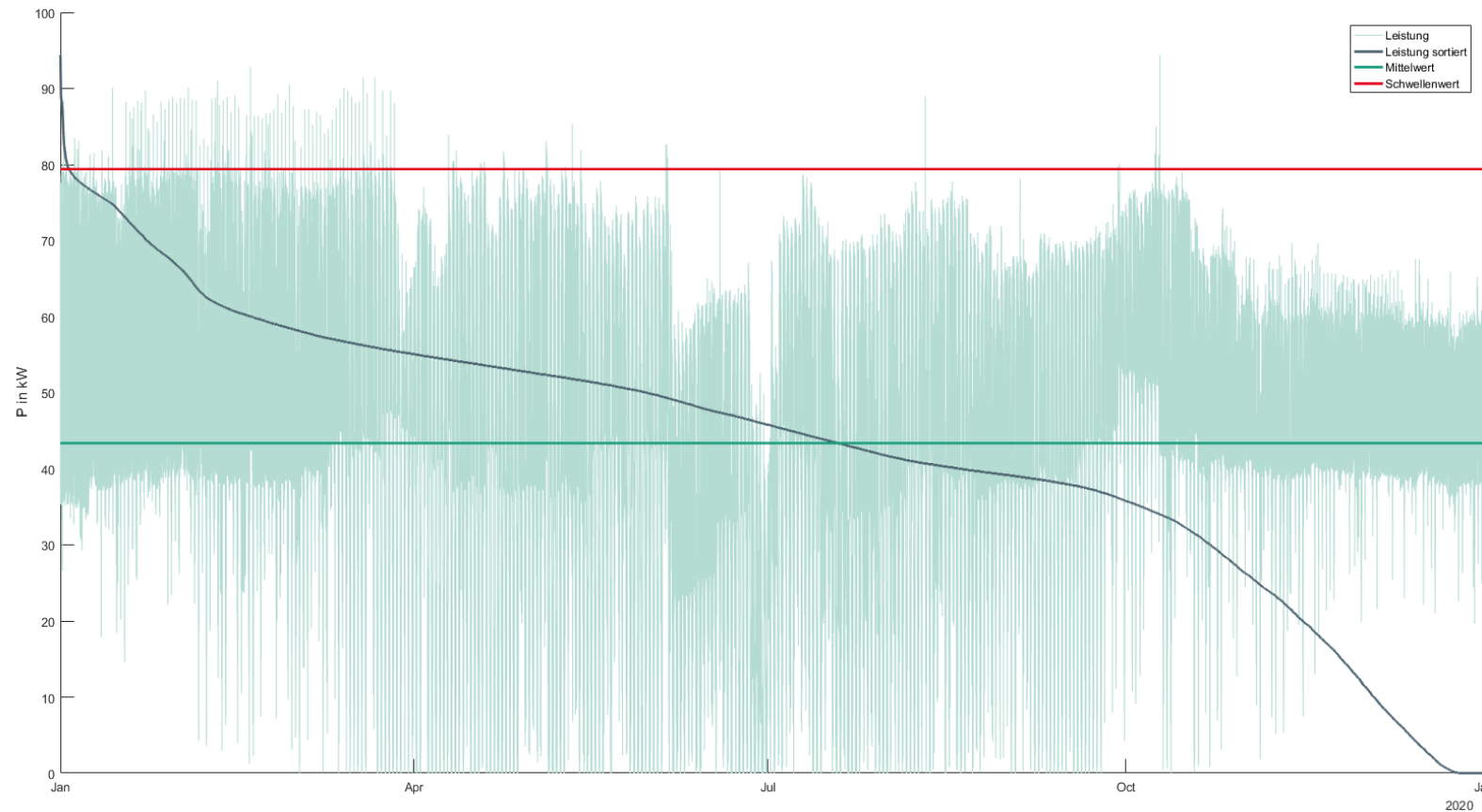
■ Bioenergie Wabern GbR

Biogasanlage, Ferkelaufzucht, Schweinemast, Photovoltaik

- BHKW 1 370 kW
- BHKW 2 250 kW
- PV 106 kWp



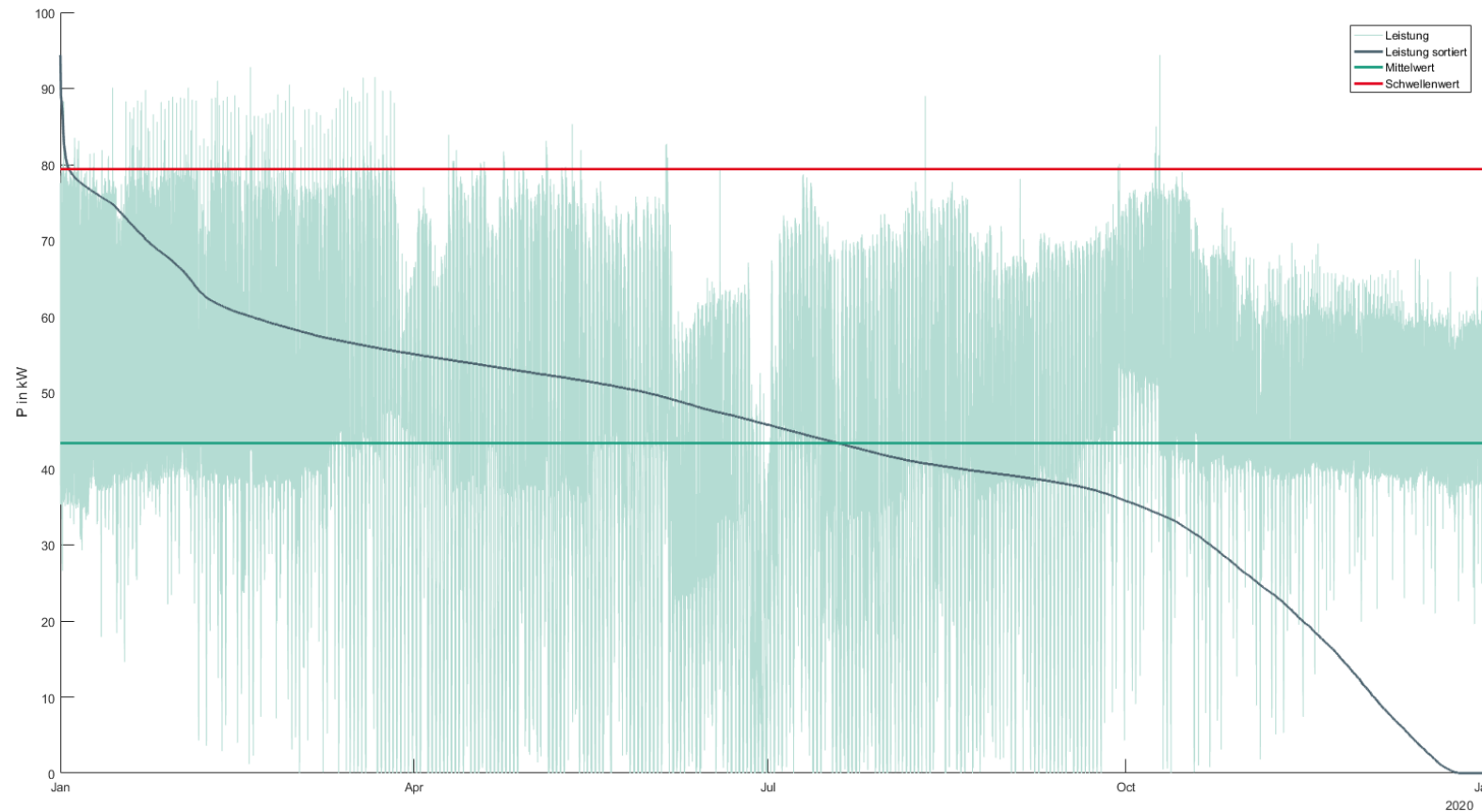
BIOENERGIE WABERN GBR 2020



ca. 30 kW Batterieleistung
 $30\text{kW} \cdot 49,86 \text{ €/kW}$
 $= 1496 \text{ €/Jahr Ersparnis}$

Kosten für Batteriespeicher: 16.800€

BIOENERGIE WABERN GBR 2020



ca. 30 kW Batterieleistung
 $30\text{kW} \cdot 49,86 \text{ €/kW}$
 $= 1496 \text{ €/Jahr Ersparnis}$

Kosten für Batteriespeicher: 16.800€

Annahme Tarifwechsel:

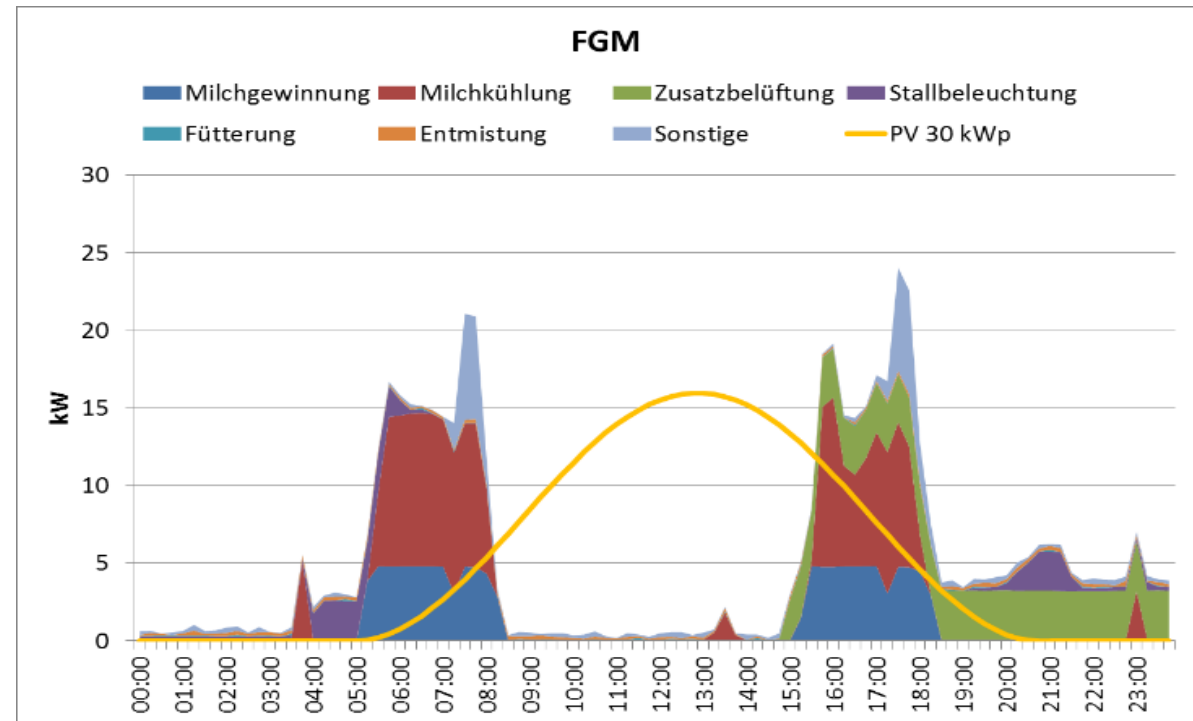
Leistungspreis: 154,93€/KW
Arbeitspreis 0,176 EUR/kWh

= 6000 €/Jahr Ersparnis

REPRÄSENTATIVE LANDWIRTSCHAFTLICHE BETRIEBE

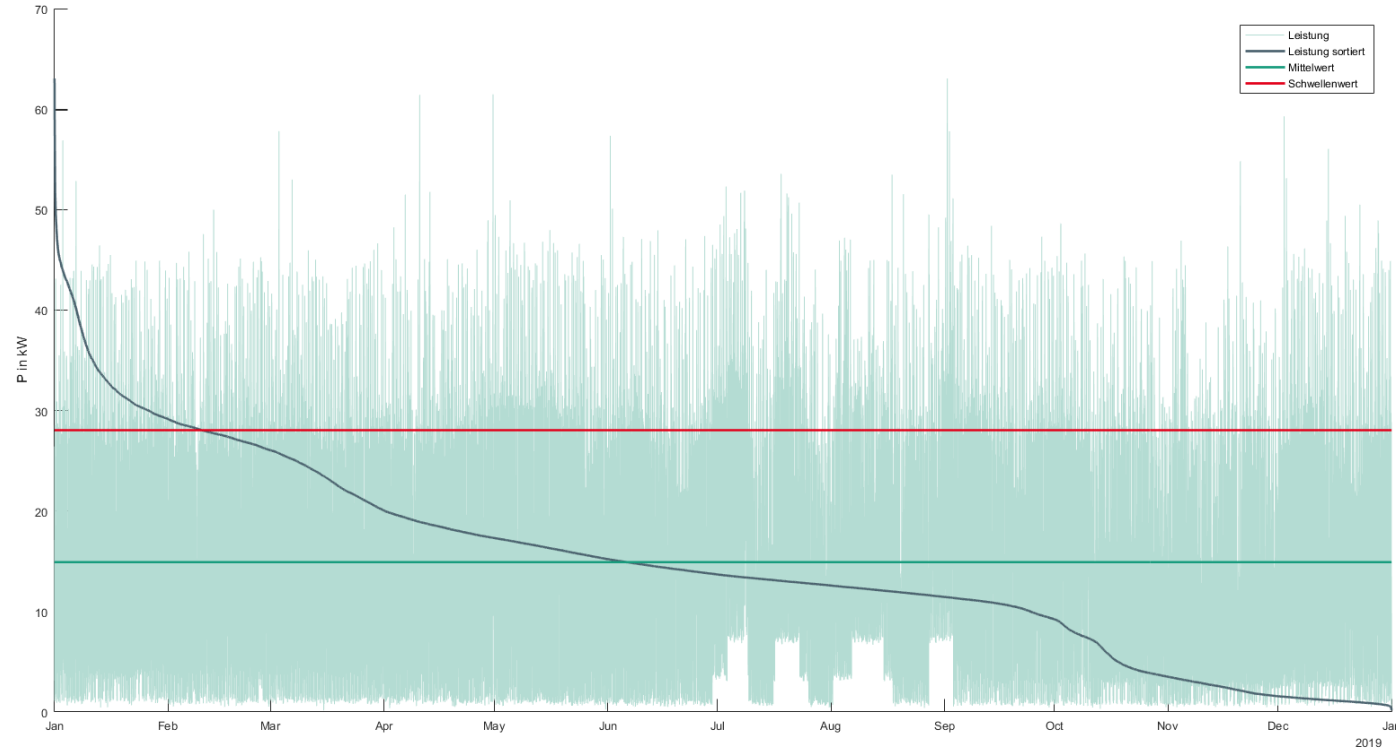
BIOBATSYS

- Biogasanlagen 75–500kWel
- Photovoltaik 30 – 100kWp
- Milchviehhaltung
- Schweinehaltung
- Geflügelhaltung
- Strombezug: RLM u. SLP



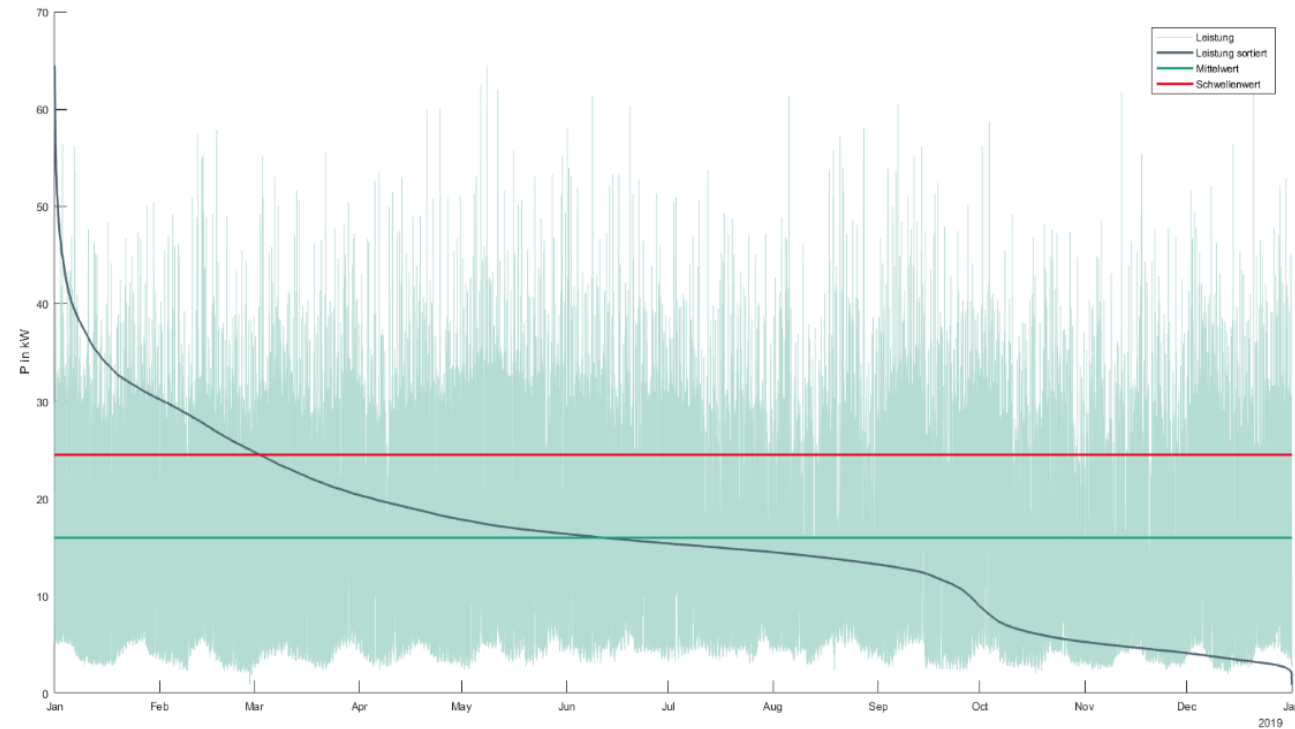
Quelle: KTBL

MILCHVIEH FGM 2X8 FGM 120 KÜHE



	BGA 75 kW	BGA mit 500 kW
Milchvieh FGM 2x8	35 kW / 25 kWh	165 kW / 110 kWh

FERKELERZEUGUNG 400 SAUENHALTUNG



	BGA 75 kW	BGA mit 500 kW
Ferkelerzeugung	40 kW / 30 kWh	170 kW / 120 kWh

REPRÄSENTATIVE LANDWIRTSCHAFTLICHE BETRIEBE

Dimensionierung des Batteriespeichers für die Modellfälle mit BGA

	BGA 75 kW	BGA mit 500 kW
Milchvieh FGM 2x8	35 kW / 25 kWh	165 kW / 110 kWh
Milchvieh IM 24	45 kW / 40 kWh	175 kW / 115 kWh
Milchvieh AMS	35 kW / 15 kWh	170 kW / 150 kWh
Ferkelerzeugung	40 kW / 30 kWh	170 kW / 120 kWh
Schweinemast	55 kW / 35 kWh	190 kW / 100 kWh
Schweinemast(Abluftreinigung)	30 kW / 25 kWh	175 kW / 130 kWh
Hühnermast (Kurzmast)	30 kW / 15 kWh	170 kW / 90 kWh
Hühnermast (Schwermast)	30 kW / 15 kWh	170 kW / 90 kWh
Legehennenhaltung	35 kW / 15 kWh	170 kW / 85 kWh
BGA 75 kW	35 kW / 15 kWh	
BGA 500 kW		170 kW / 90 kWh

FAZIT BIOBATSYS PHASE 1

- Einzelfallprüfung notwendig: Lastgänge, Arbeitspreise, Leistungspreis
- Sehr gute Ergänzung der Charakteristik von BGA und Batteriespeicher (Reaktionsgeschwindigkeit vs. Lange Bereitstellungszeiträume)
- Bisher keine wirtschaftlichen externen Vermarktungsmöglichkeiten, da Durchspeicherkosten zu hoch
- Spitzenlastkappung nimmt wichtige Rolle zur Kosteneinsparung ein
- Notstromversorgung als wichtige Zusatzoption

ZUKUNFT/ENERGIEKRISE:

- Bei weiter steigenden Energiepreisen wird die Eigenstromversorgung rentabler
- Notstromversorgung mit großer Relevanz
- Preise für Batteriespeicher beobachten

FAZIT BIOBATSYS PHASE 1

- Einzelfallprüfung notwendig: Lastgänge, Arbeitspreise, Leistungspreis
- Sehr gute Ergänzung der Charakteristik von BGA und Batteriespeicher (Reaktionsgeschwindigkeit vs. Lange Bereitstellungszeiträume)
- Bisher keine wirtschaftlichen externen Vermarktungsmöglichkeiten, da Durchspeicherkosten zu hoch
- Spitzenlastkappung nimmt wichtige Rolle zur Kosteneinsparung ein
- Notstromversorgung als wichtige Zusatzoption

ZUKUNFT/ENERGIEKRISE:

- Bei weiter steigenden Energiepreisen wird die Eigenstromversorgung rentabler
- Notstromversorgung mit großer Relevanz
- Preise für Batteriespeicher beobachten

<https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/laufende/BioBatSys.html>

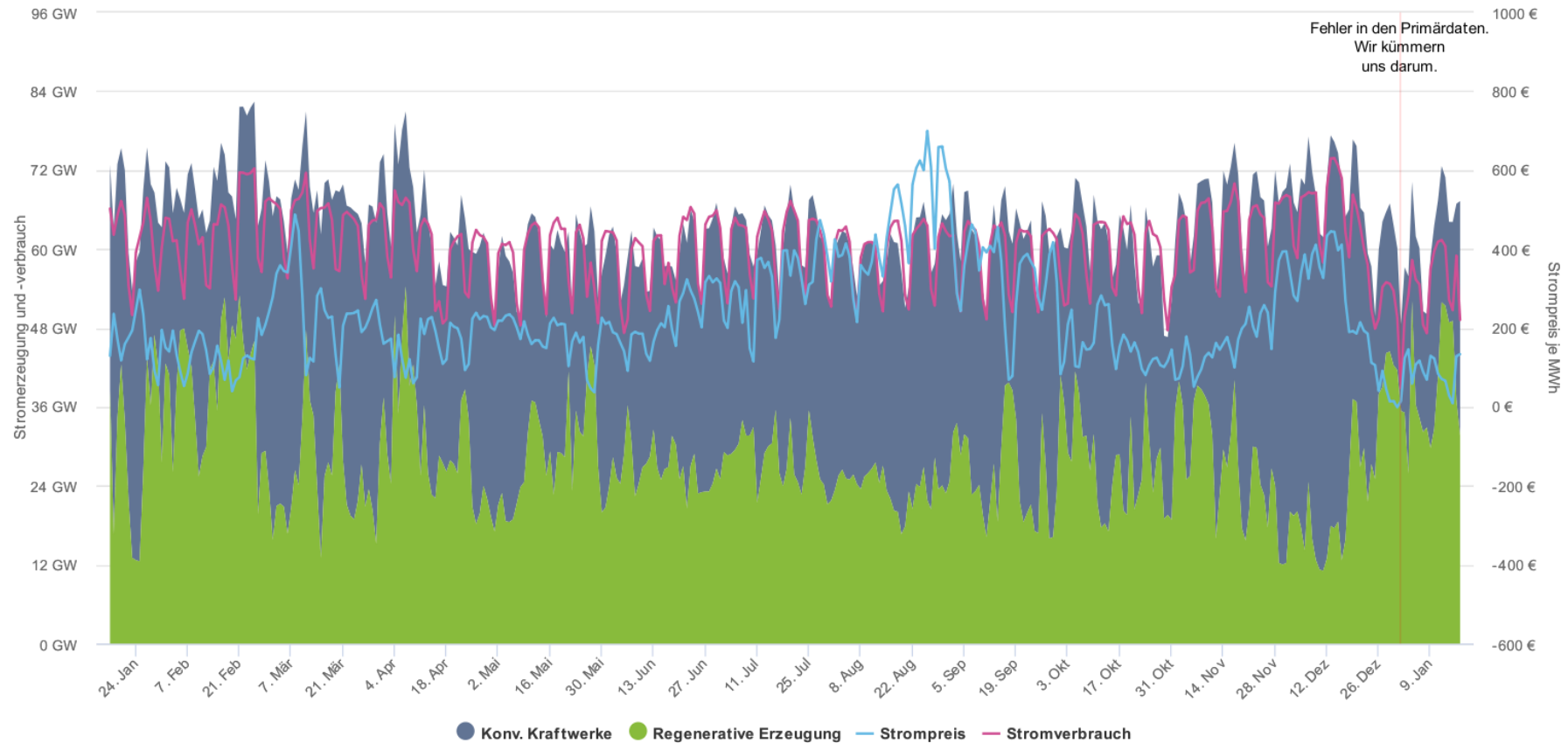


UPDATE 2023

A word cloud of terms related to energy and economics in 2023. The words are arranged in a roughly triangular shape, with 'Erdgasknappheit' being the largest and most central. Other prominent words include 'Windflaute', 'Lieferengpässe', 'Blackout', 'Corona', 'Lockdown', 'Lieferketten', 'Braunkohle', 'Atomausstieg', 'Klimawandel', 'Strommangel', 'Meritorder', 'Inflation', 'Pipeline', 'Ukrainekrieg', 'Ahrtal', 'Dunkelflaute', and 'Ukrainekrieg'.

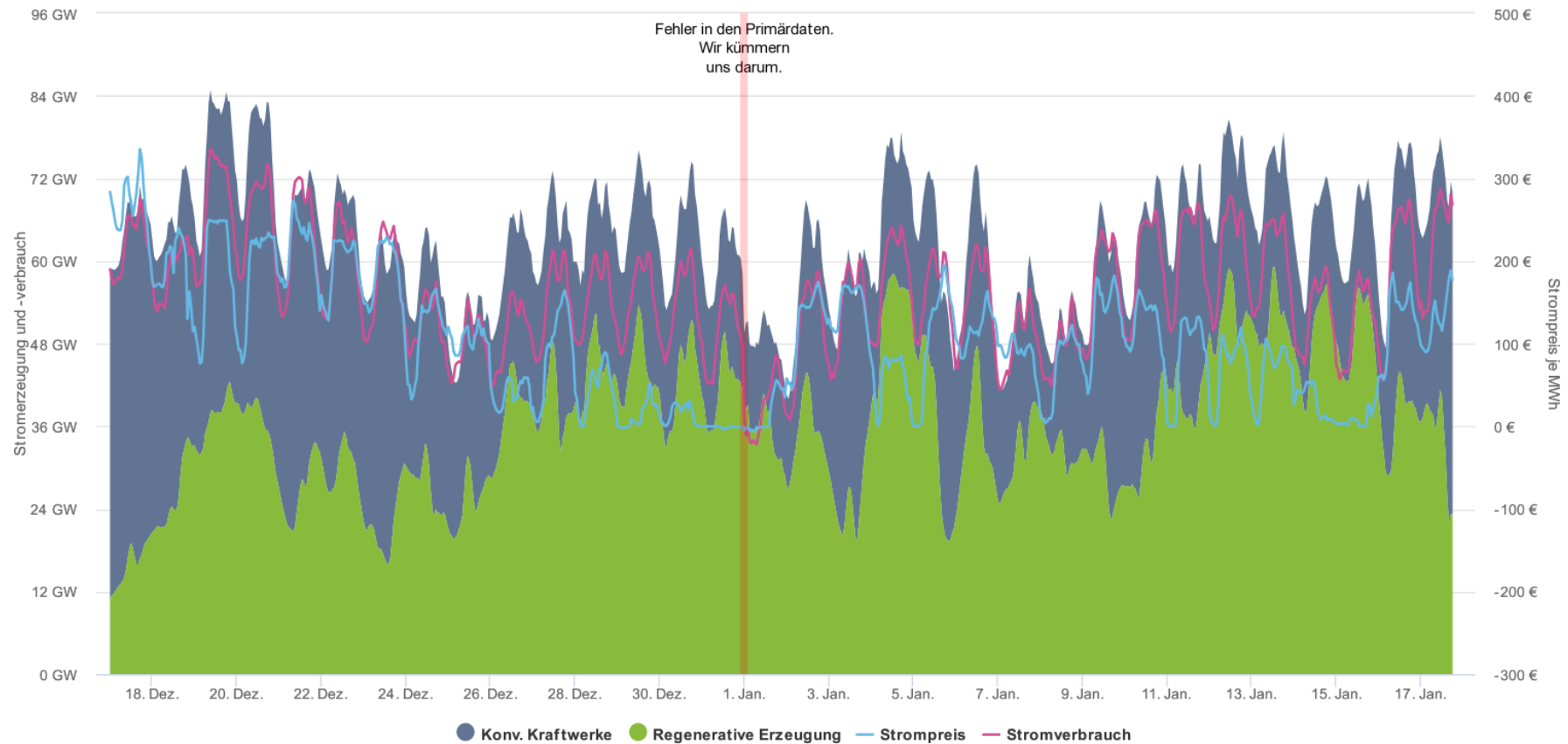
Meritorder Inflation Pipeline Ahrtal Ukrainekrieg
Strommangel Windflaute
Klimawandel Lieferengpässe
Erdgasknappheit
Dunkelflaute Corona Blackout
Lockdown Lieferketten
Atomausstieg Braunkohle

STROMPREIS 2022



Agora Energiewende; Stand: 17.01.2023, 20:11

STROMPREIS LETZTE 30 TAGE



Agora Energiewende; Stand: 17.01.2023, 20:02

STROMPREIS ENDVERBRAUCHER 2023 (STAND 17.01.2023)

So viel kostet derzeit 1 kWh Strom für Neukunden

Änderung im Vergleich zur Vorwoche: -1,6%*

— 2023 — 2022 — 2021



Datenstand: 17.01.2023. *Werte an Sonntagen sind interpoliert, da sonntags kein Daten-Update erfolgt. Die Angaben stammen aus einer Erhebung des Vergleichsportals Verivox und beziehen sich auf Neukunden. Kunden mit bestehenden Verträgen zahlen oft weniger.

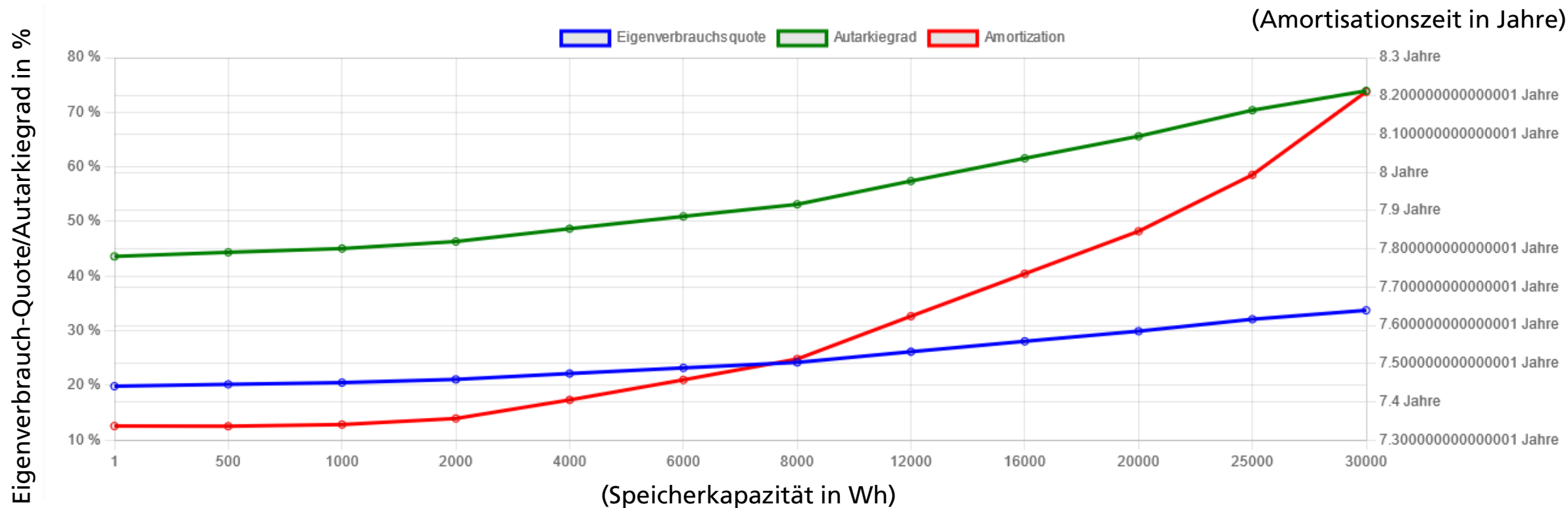
Grafik: NDR Data • Quelle: Verivox • [Daten herunterladen](#)

BATTERIESPEICHER-AUSLEGUNG 2023, MITTELGROßER LANDWIRTSCHAFTLICHER BETRIEB

Standort	Bad Hersfeld
Jährlicher Stromverbrauch	25.000 kWh
Strombezugskosten	40,1 ct/kWh
Einspeisevergütung (Teileinspeisung)	7,1 ct/kWh
Installationskosten Photovoltaik	1100 EUR/kWh
Batteriespeicherkosten	900 EUR/kWh
Photovoltaikanlage (Süden, 35° DN)	50 kW

*ohne Kalkulationszinssatz

BATTERIESPEICHER-AUSLEGUNG 2023, MITTELGROßER LANDWIRTSCHAFTLICHER BETRIEB



*ohne Kalkulationszinssatz

BATTERIESPEICHER-AUSLEGUNG 2023

Prüfung für den eigenen Betrieb:

- ✓ Lastgang messen + analysieren
- ✓ Strombezugskosten
- ✓ Überschuss-Vergütung PV-Anlage
- ✓ Preise Batteriespeicher
- ✓ Notstromkonzept
- ✓ Energiemanagement



Quelle: <https://blog.niedersachsen.cloud/>

VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT



Email: daniel.hau@iee.fraunhofer.de

Telefon: 06621 7945 318