AUSLEGUNG BATTERIESYSTEM ZUR LASTSPITZENREDUKTION

Auslegungsergebnis zum Angebot XX vom DD.MM.YYYY

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Dieses Dokument enthält das Auslegungsergebnis und die Dokumentation der Auslegung für den Demo-Lastgang „**Lastgang_Demoauslegung.xlsx**“. Neben dieser Beschreibung wird eine separate Datei mit den Zahlenwerten für die Ergebnisse geliefert. Ziel ist eine Reduktion der Lastspitze mit Hilfe eines elektrischen Energiespeichers (Batteriesystem).

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Formelzeichen und Abkürzungen II
Abbildungsverzeichnis II
Tabellenverzeichnis II
Grundlagen der Lastspitzenreduktion 1
Aufbau der Simulation und Auslegung 2
Datengrundlage 3
Auslegung des Batteriesystems 4
Kurzinterpretation 5
Hinweis 5
Erwarteter Lastverlauf 6
Ergebnisdatei 7
Anhang 8
Kontakt 8

DEMO-Auslegung

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Formelzeichen und Abkürzungen

Tab. 1 Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Beschreibung
P_{Lastg}	kW	Gesamtleistungsbedarf (Lastgang)
P_{Trafo}	kW	Leistung am Trafo (Bezug)
P_{Bat}	kW	Batterieleistung (>0 kW: Entladung, <0 kW: Beladung)
P_{max}	kW	Lastspitze
E_{max}	MWh	Gesamtenergiebedarf
AP	€/kWh	Arbeitspreis
LP	€/kW	Leistungspreis
dt	h	Messwertabtastung

Tab. 2 Abkürzungen

Abk.	Beschreibung
Bat	Batterie
Lastg	Lastgang
LR	Lastspitzenreduktion
Trafo	Transformator

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Schematische Darstellung der Funktionsweise der Lastspitzenreduktion 1
Abb. 2 Ein-/Ausgänge und Parameter des verwendeten Batteriemodells 2
Abb. 3 Darstellung und Auswertung der Eingangsdaten 3
Abb. 4 Auslegungsergebnis (vollständig) 4
Abb. 5 Auslegungsergebnis (Ausschnitt) 5
Abb. 6 Ausschnitt aus der zeitlichen Simulation für eine vorgegebene Bezugsgrenze 6

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Formelzeichen II
Tab. 2 Abkürzungen II
Tab. 3 Kennzahlen des Eingangsdatensatzes 3
Tab. 4 Spalten der Ergebnisdatei (Auslegung) 7
Tab. 5 Spalten der Ergebnisdatei (Lastspitzen) 7

DEMO-Auslegung

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Grundlagen der Lastspitzenreduktion

Die Funktionsweise der Lastspitzenreduktion ist in der Abb. 1 für ein Abrechnungsintervall von 15 Minuten schematisch dargestellt. Der **maximal zulässige 15-min-Mittelwert** (ab jetzt als max. zulässige Leistung oder als resultierende Lastspitze bezeichnet) gibt die mittlere Leistung an, die in keinem der auftretenden 15-min-Intervallen überschritten werden darf. Für eine geringere Zeitbasis (zum Beispiel 1 min) können aber durchaus Werte über dieser Grenze liegen, da nur der Mittelwert relevant ist. Die Differenz vom Leistungsbedarf zur maximal zulässigen Leistung muss durch das Batteriesystem (oder andere Speichertechnologien) bereitgestellt werden. Die **Ladegrenze** gibt an, bis zu welcher Lastgangleistung das Batteriesystem beladen werden darf. Dadurch wird sichergestellt, dass durch die Beladung der Batterie keine neuen Lastspitzen in das System eingeprägt werden. Die Differenz von Ladegrenze zur resultierenden Lastspitze wird im Folgenden auch **Ladeabstand** genannt.

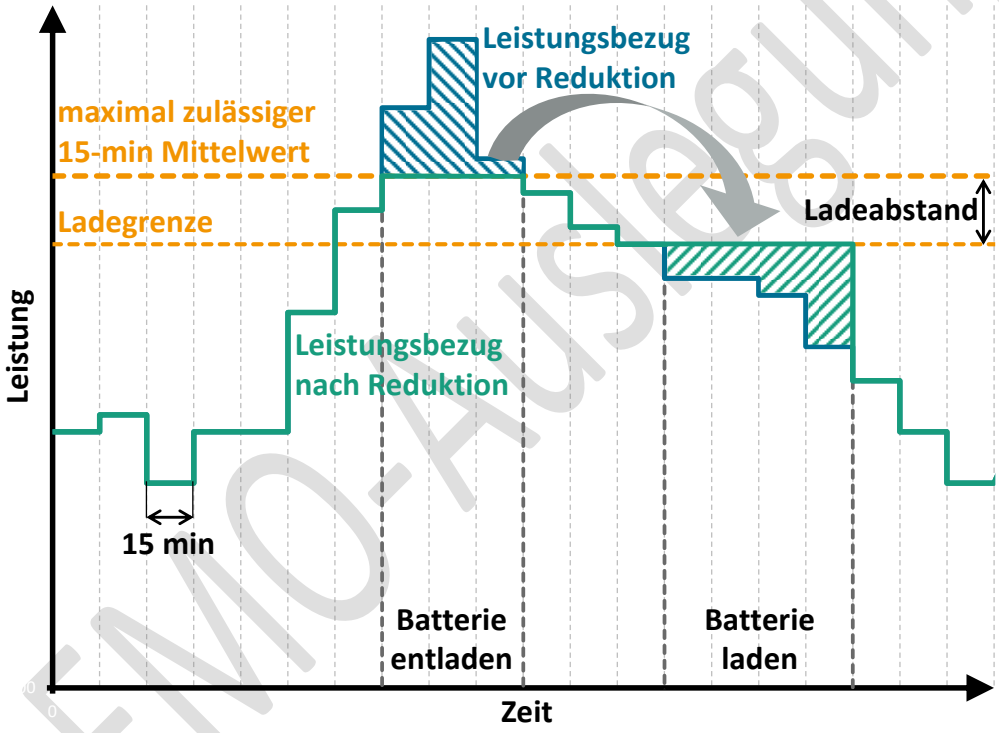


Abb. 1 Schematische Darstellung der Funktionsweise der Lastspitzenreduktion

Durch die Reduktion von Lastspitzen werden Einsparpotentiale bezüglich des Leistungspreises ermöglicht. Der Leistungspreis wird auf Basis der Jahreshöchstleistung bestimmt, wobei üblicherweise ein Mittelungszeitraum von 15 min verwendet wird. Die Abrechnung erfolgt monatlich oder jährlich. Die Kosten hängen zudem von der Jahresbenutzungsdauer ab (für Jahresbenutzungsdauern kleiner 2500 Stunden gelten verringerte Leistungspreise). Neben dem allgemeinen Entgelt sind auch individuelle Netzentgelte möglich (Atypische Netznutzung, Intensive Netznutzung, § 19 StromNEV), die Verfügbarkeit solcher Modelle richtet sich aber nach gesetzlichen Bedingungen sowie dem Anwendungsland.

DEMO-Auslegung

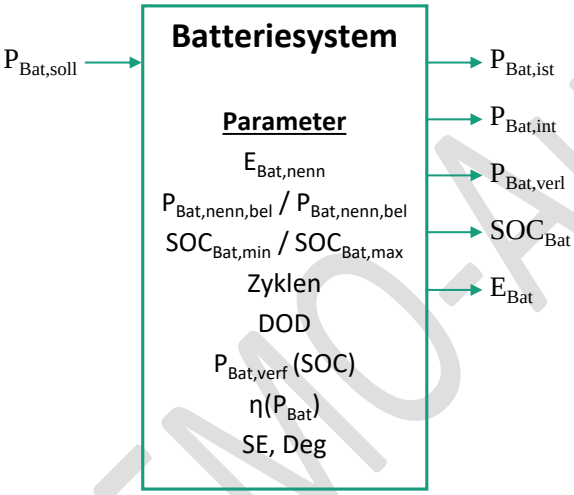
© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Aufbau der Simulation und Auslegung

Im Rahmen der Simulation wird der in den Grundlagen vorgestellte Algorithmus für jeden Zeitschritt der Eingangsdaten ausgeführt. Die höchste Genauigkeit liefert eine Abtastung von einer Minute. Die Leistung am Trafo P_{Trafo} wird abhängig von dem Bedarf P_{Lastg} und der Batterieleistung P_{Bat} berechnet:

$$P_{Trafo} = P_{Lastg} - P_{Bat} \quad mit \quad P_{Bat} = \begin{cases} > 0 \; für \; Entladung \\ < 0 \; für \; Beladung \\ \quad 0 \; für \; Standby \end{cases}$$

Ziel ist die Einhaltung einer Bezugsgrenze P_{max}. Diese wird im Rahmen der Auslegung in einer vorgegebenen Schrittweite variiert. Für jeden Schritt werden das passende Batteriesystem sowie relevante Algorithmus-Parameter berechnet. Das Simulationsmodel des Batteriesystems ist in Abb. 2 dargestellt. Aus der Soll-Leistung $P_{Bat,soll}$ und einem internen Energieinhalt werden auf Basis Parameter die Ist-Leistungen und der Ladezustand berechnet. Arbeitspunktabhängige Parameter, wie der Wirkungsgrad abhängig von der aktuellen Leistung und die verfügbare Leistung abhängig vom Ladezustand, werden als Übersetzungstabelle (Lookup-Table) angegeben, um eine hohe Flexibilität zu ermöglichen.



Abkürzung	Beschreibung
$P_{Bat,soll}$	Soll-Leistung
$P_{Bat,ist}$	Ist-Leistung (Netzseite)
$P_{Bat,int}$	Ist-Leistung (Batterieseite)
$P_{Bat,verl}$	Verlustleistung
SOC_{Bat}	Ladezustand
E_{Bat}	Aktueller Energieinhalt
$E_{Bat,nenn}$	Nennkapazität
$P_{Bat,nenn,bel}$ / $P_{Bat,nenn,bel}$	Nennbe-/entladeleistung
$SOC_{Bat,min}$ / $SOC_{Bat,max}$	Min./max. Ladezustand
Zyklen	Zyklenanzahl und DOD
DOD	Entladetiefe für Zyklus
$P_{Bat,verf}$ (SOC)	Verfügbare Leistung
$\eta(P_{Bat})$	Wirkungsgrad
SE, Deg	Selbstentladung

Abb. 2 Ein-/Ausgänge und Parameter des verwendeten Batteriemodells

Die Auslegung beginnt mit der Festlegung der Parameter und dem Einlesen des Datensatzes für den Lastgang (zeitlicher Verlauf der bezogenen elektrischen Leistung). Im Rahmen einer Datenanalyse werden wichtige Kennzahlen des Eingangsdatensatzes, wie die höchste aufgetretene Lastspitze, bestimmt. Anschließend wird die Auslegung ausgeführt. Die Ergebnisse werden in verschiedenen Darstellungen ausgegeben.

DEMO-Auslegung

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Datengrundlage

Vor der Auslegung des Batteriesystems wird eine Datenanalyse durchgeführt, aus welcher die Randbedingungen für die Auslegung gewonnen werden. In der Abb. 3 ist der Lastgang zu sehen, welcher als Grundlage für alle weiteren Betrachtungen dient. Es sind die Trafo-, PV- und Gesamtleistung zu sehen. Eine negative Trafoleistung entspricht der Einspeisung überschüssiger PV-Leistung in das öffentliche Netz. Es können folgende Kennzahlen abgelesen werden (siehe Tab. 3):

Tab. 3 Kennzahlen des Eingangsdatensatzes

Kennzahl	Abk.	Einheit	Trafo	Bemerkung
Max. Leistung	P_{max}	kW	1919,4	Zeitbasis: 15 min
Max. Leistung	P_{max}	kW	2000,0	Zeitbasis: 1 min
Arbeit	E	MWh	7687,6	
Benutzungsdauer	B	h	4005,3	Zeitbasis: 15 min

Bei der Lastspitze handelt es sich um den maximalen 15-min-Mittelwert der Eingangsdaten: $P_{max} = max\{P\}$. Die Arbeit ergibt sich durch Integration des Lastgangs. Beim diskreten Datensatz entspricht das einer Summierung: $E = T_A \cdot \sum_{k=1}^{N} P_k$, wobei $T_A = 0{,}25\ h$ gilt. N entspricht der Eingangsdatenlänge. Die Jahresbenutzungsdauer ist definiert als der Quotient aus der Arbeit und aufgetretenen Lastspitze: $B = \frac{E}{P_{max}}$.

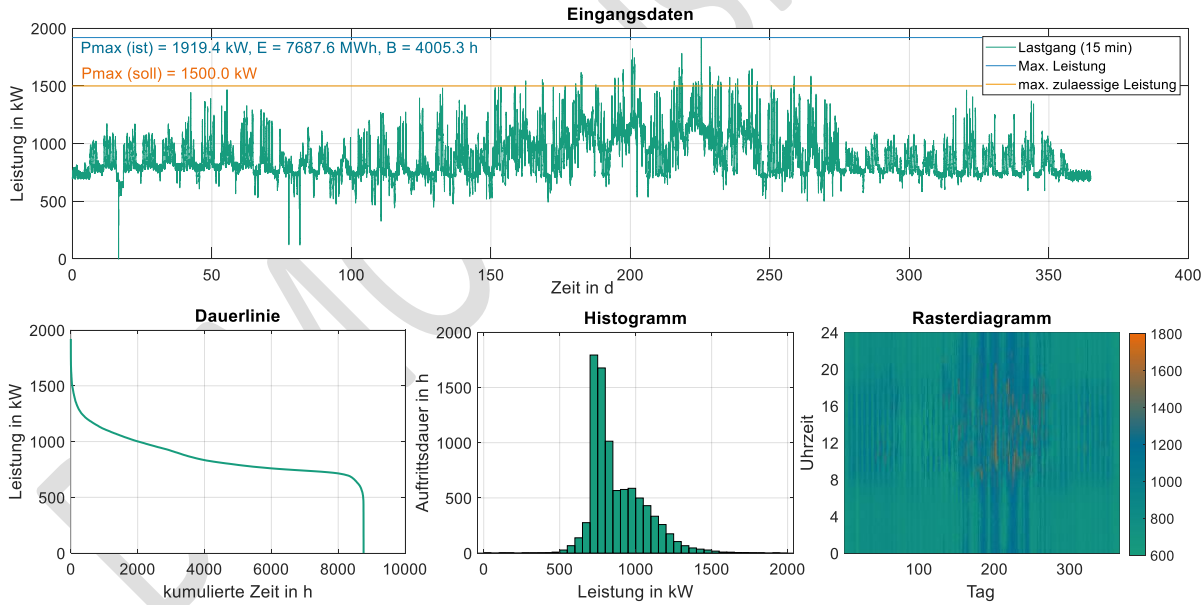


Abb. 3 Darstellung und Auswertung der Eingangsdaten

In der Abb. 3 sind zudem die Dauerlinien des Eingangsdatensatzes dargestellt (unten links). Aus diesen kann abgelesen werden, für welche Zeitdauer eine vorgegebene Leistung erreicht oder überschritten wurde. Im vorliegenden Eingangsdatensatz liegt zum Beispiel für ca. 2000 h eine Leistung größer gleich 1000 kW am Trafo vor. Der erste Punkt entspricht dabei der Lastspitze. Für eine Darstellung der Verteilung der Leistungsbereiche wird ein Balkendiagramm genutzt (unten rechts in Abb. 3), welches die Auftrittsdauer der in 50 kW-Schritte aufgelösten Leistungen zeigt. Es ist erkennbar, dass es in der Trafoleistung einen dominierenden Bereich zwischen 700 und 850 kW gibt, was laut dem Zeitverlauf der Grundlast entspricht.

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Auslegung des Batteriesystems

Die Auslegung wurde unter Annahme der folgenden Randbedingungen erstellt:

- **maximal zulässige Leistung** (resultierende Lastspitze) von 1500 bis 1910 kW in 10 kW Schritten
- **nutzbarer Ladezustand** der Batterie (Skalierung) von 5 bis 95 %
- **Wirkungsgrad der Batterie** ist unabhängig vom Arbeitspunkt 100 %
- **Verfügbare Leistung der Batterie** ist unabhängig vom Arbeitspunk 100 %
- **Verhältnis** von Batteriekapazität zu -leistung wurde nicht definiert
- **Ladeabstand** ist 200 kW (Abstand zwischen der maximal zulässigen Leistung und der Ladegrenze)
- **Leistungspreis** beträgt 130 EUR/kW (wird mit Hilfe der resultierenden Lastspitze berechnet)
- **Batteriekosten** sind 400 EUR/kWh (werden mit Hilfe der Kapazität des Batteriesystems berechnet)
- **Wandlerkosten** sind 200 EUR/kW (werden mit Hilfe der maximal nötigen Leistung des Batteriesystems berechnet)

Für die Berechnung der Ergebnisse gelten zudem folgende Zusammenhänge:

- Reduktion: $R = \frac{P_{max,ist} - P_{max,soll}}{P_{max,ist}}$, wobei $P_{max,ist}$ der Lastspitze des Eingangsdatensatzes und $P_{max,soll}$ der maximal zulässigen Leistung oder Bezugsgrenze entspricht.
- Amortisationszeit: $A = \frac{C}{E} = \frac{E_{Bat} \cdot C_{Bat} + P_{Bat} \cdot C_{Wandler}}{(P_{max}(ist) - P_{max}(soll)) \cdot C_L}$, C entspricht den Investitionskosten und E der Ersparnis durch die Lastspitzenreduktion. E_{Bat} ist die benötigte Batteriekapazität, P_{bat} die maximale Entladeleistung. C_{Bat} entspricht den Batteriekosten in EUR/kWh, $C_{Wandler}$ den leistungselektronischen Wandlern in EUR/kW. C_L repräsentiert den Leistungspreis.

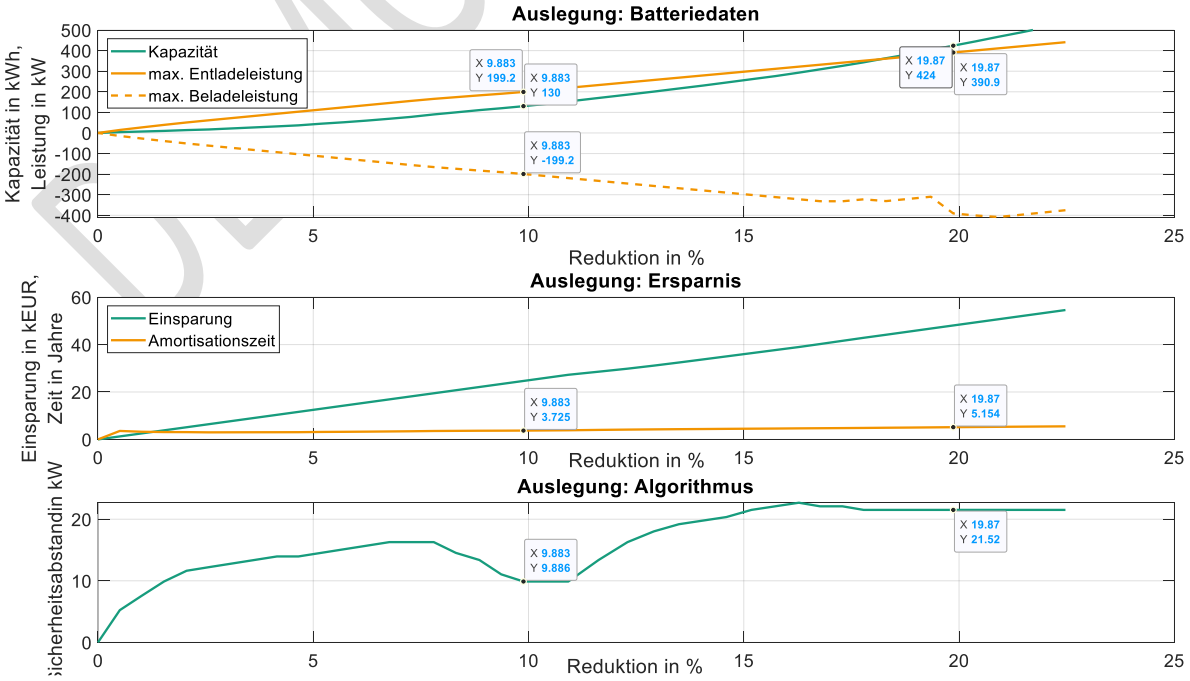


Abb. 4 Auslegungsergebnis (vollständig)

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

DEMO-Auslegung

Das gesamte Auslegungsergebnis ist in Abb. 4 zu sehen. Die exakten Zahlenwerte können der Ergebnisdatei entnommen werden. Es werden die benötigte Kapazität und die Be- und Entladeleistung dargestellt. Weiterhin erfolgt eine wirtschaftliche Bewertung (mittleres Diagramm in Abb. 4). Für einen realen Betrieb ist die Parametrierung eines zusätzlichen Sicherheitsabstandes nötig, welcher die Prognoseunsicherheiten während eines laufenden 15-min Intervalls ausgleicht. Auch dieser wurde für die gegebenen max. zulässigen Leistungen bestimmt. Die Auslegungsergebnisse sind in Abb. 5 für einen eingeschränkten Wertebereich von P_{max} (und somit einen eingeschränkten Bereich für die Reduktion) dargestellt.

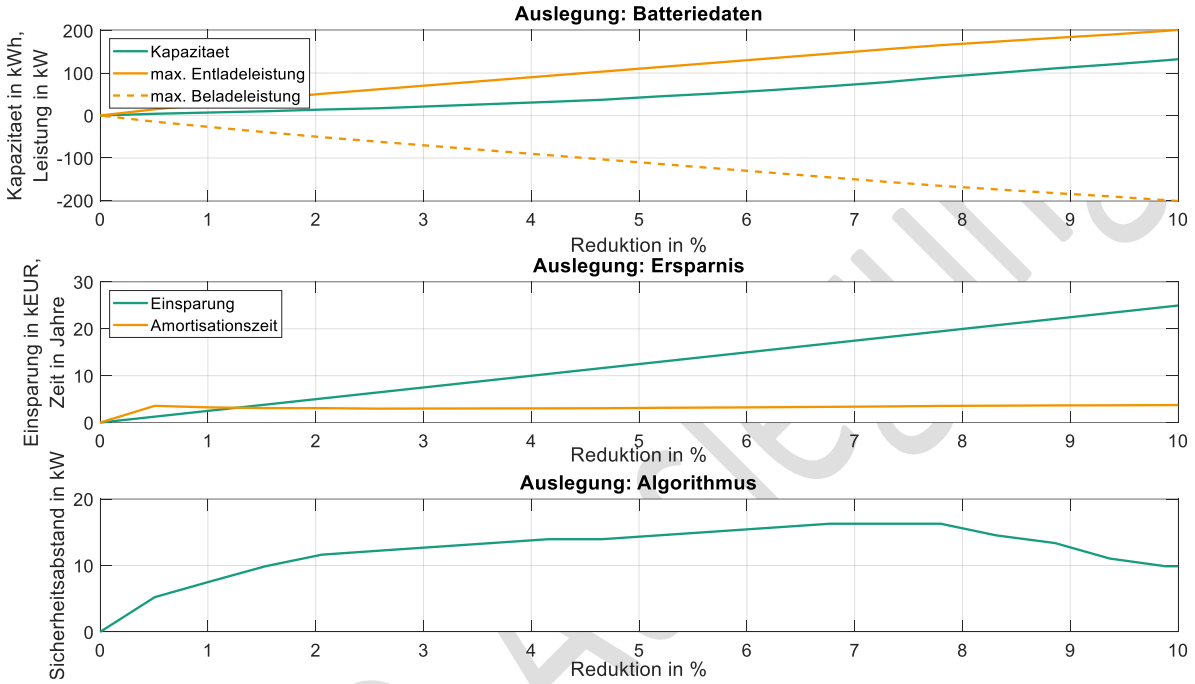


Abb. 5 Auslegungsergebnis (Ausschnitt)

Die Daten können optional auch in Abhängigkeit der Jahresbenutzungsdauer, Batteriekapazität oder Bezugsgrenze aufgezeigt werden.

Kurzinterpretation

Durch die hohen aber kurzen Lastspitzen ist das Batteriesystem bei der Lastspitzenreduktion nur wenige Stunden im Jahr in Betrieb, führt aber zu einem guten Reduktionsergebnis. Für eine Reduktion der Lastspitze um 10 % würde beispielsweise ein Batteriesystem mit einer Kapazität von ca. 130 kWh und einer maximalen Entladeleistung von ca. 200 kW benötigt. Mit den angenommenen Kosten für Batteriekapazität, leistungselektronischen Wandler und dem Leistungspreis führt die Reduktion um 10 % zu einer Ersparnis von etwa 26 k€ und zu einer Amortisationszeit von unter vier Jahren.

Hinweis

Bei der Auslegung muss beachtet werden, dass die Randbedingungen ggf. an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Das Batteriesystem wurde als verlustfrei angenommen. Weiterhin werden in den oben gezeigten Ergebnissen keine Sicherheitsaufschläge betrachtet, welche in der Realität aber nötig wären, da sich die Auslegung auf den historischen Lastgang bezieht. Ob sich der zukünftige Lastgang ähnlich verhält, kann nicht im Rahmen dieser Auslegung nicht beurteilt werden.

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Erwarteter Lastverlauf

In diesem Kapitel werden die Auslegungsergebnisse verwendet, um unter Berücksichtigung realitätsnaher Randbedingungen den erwarteten Lastverlauf darzustellen. Dazu wird der Algorithmus verwendet, der auch bei einer Realisierung auf zum Beispiel einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgeführt würde.

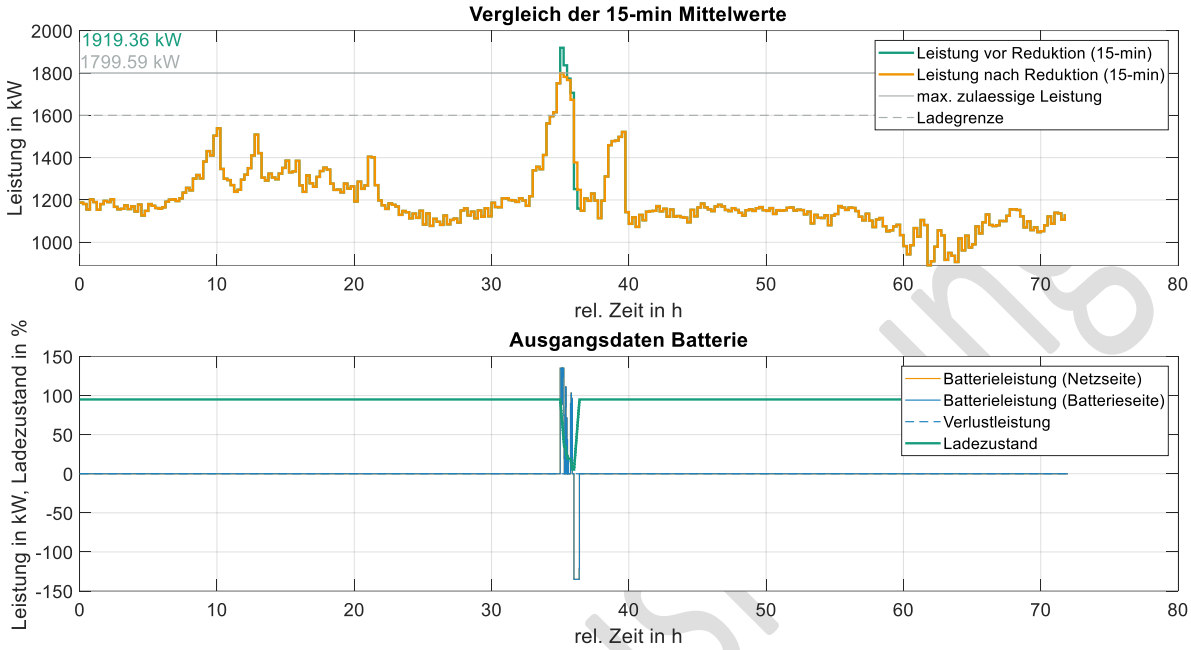


Abb. 6 Ausschnitt aus der zeitlichen Simulation für eine vorgegebene Bezugsgrenze

Die Abb. 6 zeigt das Ergebnis der Simulation für den vollständigen Zeitbereich. Als maximal zulässige Leistung wurde 1800 kW festgelegt, was einer Reduktion um ca. 9,3 % entspricht. Das Batteriesystem wurde auf Basis des Auslegungsergebnis (Kapitel Auslegung des Batteriesystems) mit einer Kapazität von 60 kWh und einer maximalen Leistung von 135 kW angenommen. Alle weiteren Parameter und Ergebnisse können der Ergebnisdatei entnommen werden.

DEMO-Ausl

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Ergebnisdatei

Die Ergebnisdatei („**2020-07-14_Ergebnis_Demoauslegung.xlsx**“) enthält die numerischen Ergebnisse für die Auslegung. Im **Tabellenblatt Auslegung** sind die in Tab. 4 aufgelisteten Spalten enthalten.

Tab. 4 Spalten der Ergebnisdatei (Auslegung)

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Pmax soll	kW	Sollwert für die neue Lastspitze
Pmax ist	kW	Neue Lastspitze bei Verwendung einer Batterie mit der Kapazität Emax
Reduktion ist	%	Erreichte Reduktion
Ladegrenze	kW	Leistungsgrenze, aber welcher das Batteriesystem geladen wird
Ebat	kWh	Benötigte Batteriekapazität
Pentl	kW	Benötigte Entladeleistung der Batterie
Plade	kW	Benötigte Beladeleistung der Batterie
Zyklen	-	Anzahl der Batteriezyklen bezogen auf eine vorgegebene Entladetiefe (DOD)
Batterieentl.	h	Gesamtdauer für Batterieentladung im betrachteten Zeitraum
Batteriebel.	h	Gesamtdauer für Batteriebeladung im betrachteten Zeitraum
Benutzungsdauer	h	Resultierende Benutzungsdauer
Sicherheitsabs.	kW	Optimierter Sicherheitsabstand, welcher die Prognoseunsicherheiten während eines laufenden 15-min Intervalls ausgleicht
Kosten	kEUR	Kosten für Batteriesystem und leistungselektronische Wandler
Einsparung	kEUR	Einsparungen, welche durch die Reduktion der Lastspitze bezogen auf den Leistungspreis entstehen
Amortisationszeit	a	Quotient aus den Kosten und der Einsparung durch die Lastspitzenreduktion

Das **Tabellenblatt Lastspitzen** enthält die in Tab. 5 beschriebenen Spalten. In den letzten drei Zeilen sind jeweils das Minimum (min), der Mittelwert (avg) und das Maximum (max) zu finden.

Tab. 5 Spalten der Ergebnisdatei (Lastspitzen)

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Lfd	-	Nach Auftrittszeitpunkt chronologische Nummerierung der auftretenden Lastspitzen
Pmax	kW	Gesamtleistung der Lastspitze
Delta P	kW	Differenz zwischen der Lastspitze und der definierten Grenze
Beginn	h	Relativer Zeitpunkt des Beginns der Lastspitze
Ende	h	Relativer Zeitpunkt des Endes der Lastspitze
Dauer	h	Gesamtdauer der Lastspitze
Abstand	h	Abstand zur nächsten Lastspitze (für letzte Lastspitze immer 0)
E	kWh	Energieinhalt der Lastspitze

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB

Anhang

Kontakt

LZE GmbH
Frauenweiherstr. 15, 91058 Erlangen, Germany
Tel.: +49 (0) 9131 92894 80

Technologiekontakte

Dr. Christopher Lange | Tel.: +49 (0) 9131 761-107 | Christopher.Lange@iisb.fraunhofer.de
Dr. Richard Öchsner | Tel.: +49 (0) 9131 761-116 | Richard.Oechsner@iisb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
Intelligente Energiesysteme / Energietechnik
Schottkystr. 10, 91058 Erlangen, Germany
www.iisb.fraunhofer.de
www.energy-seeds.org

DEMO-Auslegung

© LZE GmbH, Inhalte erstellt auf Basis von Technologie des Fraunhofer IISB