



# Ladeverhalten von Lithium-Eisenphosphat-Batterien

Whitepaper

© Fronius International GmbH

Version 01 01/2024

Business Unit Solar Energy

Fronius behält sich alle Rechte vor, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung. Kein Teil dieses Werkes darf ohne die schriftliche Zustimmung von Fronius in irgendeiner Weise vervielfältigt werden. Es darf nicht gespeichert, bearbeitet oder über ein elektrisches oder elektronisches System verbreitet werden. Bitte beachten Sie, dass sich die in diesem Dokument veröffentlichten Informationen trotz größtmöglicher Sorgfalt bei der Erstellung geändert haben können und dass weder der Autor noch Fronius eine rechtliche Haftung übernehmen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Technischer Hintergrund LFP-Batterie</b> .....	<b>5</b>
1.1	Allgemeine Informationen.....	5
1.2	Vor- und Nachteile LFP-Batterie.....	5
1.3	Fazit LFP-Batterie im Vergleich.....	6
<b>2</b>	<b>SoC-Bestimmung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Definition SoC.....	7
2.2	Vorgehensweise der Bestimmung unter idealen Voraussetzungen.....	7
2.3	Statement BYD zum Ladeverhalten und der SoC-Bestimmung.....	7
2.4	Fazit SoC-Bestimmung.....	8
<b>3</b>	<b>Beispiele im Fronius Solar.web</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>14</b>

# 1 Technischer Hintergrund der LFP-Batterie

## 1.1 Allgemeine Informationen

Die Entwicklung von Batteriespeichern hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht und so gibt es heute je nach Anwendung verschiedene Typen von Batterien zur Auswahl. Einer davon ist der Lithium-Eisenphosphat-Akku, auch LFP-Batterie oder  $\text{LiFePO}_4$  genannt, welcher unter anderem von BYD hergestellt wird.

## 1.2 Vor- und Nachteile der LFP-Batterie

Im Folgenden werden Vorteile und Nachteile der Lithium-Eisenphosphat Technologie in Hinblick auf Ladeverhalten, Sicherheit und Nachhaltigkeit aufgeführt.

Rohstoffabbau und die damit verbundenen Umweltschäden sind ein wichtiger Aspekt, wenn es um die Herstellung von Batterien geht. Besonders oft steht Kobalt im Fokus. Deshalb ist es ein wichtiger Aspekt, dass bei der Herstellung von  $\text{LiFePO}_4$ -Batterien auf dieses Element verzichtet wird. Dies ist ein Vorteil gegenüber Lithium-Cobalt(III)-oxid-Batterien wie zum Beispiel NMC oder NCA. Ein weiterer Faktor ist das Thema Sicherheit.  $\text{LiFePO}_4$  sind robust und bieten einen hohen Sicherheitsgrad. Daher ist die Wahrscheinlichkeit für thermisches Durchgehen (*thermal runaway*), bei dem der Schaden einer Zelle auch die anderen Zellen im Speicher beeinträchtigt, deutlich geringer.

Die Batterien sind hochstromfähig, sie weisen also eine hohe Be- und Entladeleistung auf. Die Ladezeiten werden dadurch verkürzt. Weiter verfügt die Batterie bei korrekter Installation und Verwendung über einen hohen Wirkungsgrad und eine hohe Lebensdauer.

Lithium-Eisenphosphat-Akkus haben eine geringe Selbstentladung von 3 bis 5 Prozent pro Monat. Zu beachten ist, dass zusätzlich verbaute Komponenten wie das Battery Management System (BMS) einen Eigenverbrauch mitbringen und zusätzliche Energie benötigen.

Die geringe Energiedichte von  $\text{LiFePO}_4$  bedingt, dass bei gleicher Leistung mehr Zellen verbaut werden müssen, verglichen mit anderen Batterietypen wie zum Beispiel Lithium-Cobalt(III)-oxid. Diese technische Eigenschaft hat ein höheres Gewicht und Volumen zur Folge.

Der Spannungsverlauf, also die Spannungsänderung während des Ladens und Entladens, ist bei dieser Zellchemie sehr flach. Das macht es schwieriger, den aktuellen Ladezustand (SoC) zu bestimmen, da

dieser anhand der Spannung unter Einfluss von Temperatur und Zellalterung berechnet werden muss. Schon kleine Änderungen der Spannung etwa durch die Temperatur können den Wert beeinflussen.

### **1.3 Fazit LFP-Batterie im Vergleich**

Lithium-Eisenphosphat-Akkus sind schnellladefähig, hochstromfähig, langlebig und sicher. Sie sind umweltfreundlicher als Lithium-Cobalt(III)-oxid-Akkus. Durch ihre hohe Entladungsrate und Ihre Lebensdauer und Sicherheit sind sie ideal für die Anwendung als Heimspeicher in Kombination mit PV-Anlagen geeignet.

## 2 SoC-Bestimmung

### 2.1 Definition SoC

Der State of Charge (SoC) ist ein Kennwert für den Ladezustand einer Batterie. Er beschreibt die aktuell verfügbare Kapazität im Verhältnis zum Nominalwert und wird in Prozent angegeben. Der Nominalwert ist dabei abhängig vom State of Health (SoH), also der Zellalterung der Batterie. Der SoC ist ein über Spannung errechneter Wert, wobei Faktoren wie Temperatur, SoH, Stromfluss und Ladeverhalten ebenfalls eine Rolle spielen und Einfluss auf die Genauigkeit der Berechnung haben.

### 2.2 Vorgehensweise der Bestimmung unter idealen Voraussetzungen

Ausgehend von einem Referenzpunkt (z. B. SoC = 100 %), wird die Batterie mit konstantem Strom so lange entladen, bis sie die Entladeschlussspannung oder Ihre Eigenschutzspannung erreicht. Nach der Entladung folgt eine Pause, in der sich die Ruhespannung der Batterie einstellt. Ist diese Spannung erreicht, haben sich im System alle von der Entladung herrührenden Überspannungen abgebaut.

Anschließend beginnt das Prinzip in umgekehrter Reihenfolge und die Batterie wird mit einem konstanten Strom auf die volle Kapazität geladen. Nach der vollständigen Ladung erfolgt eine erneute Pause, bis wieder eine Entladung bis zur Entladeschlussspannung durchgeführt wird. Während dieser Entladung werden Strom, Spannung und Zeit aufgezeichnet.

Das hierbei entstehende Integral von Entladezeit, Strom und Spannung wird im Labor relativ einfach gewonnen und anschließend in Form einer Look-Up-Tabelle in ein Batteriemanagementsystem implementiert. Abhängig von der im System vorliegenden Spannung kann das BMS mit Hilfe der hinterlegten Werte die aktuelle Restenergie bestimmen und diese ins Verhältnis zur Gesamtkapazität stellen. Dieses Verhältnis beschreibt den SoC

### 2.3 Statement BYD zum Ladeverhalten und der SoC-Bestimmung

Im „BYD Battery-Box Premium HVS / HVM Service-Leitfaden und Checkliste“ (Version 1.5)<sup>1</sup> schreibt BYD in Kapitel 2.5 „SoC & Laderegulung zur SoC-Bestimmung“ Folgendes:

---

<sup>1</sup> [https://docs.eft-systems.de/download/DOC-00048&\\_lang=en](https://docs.eft-systems.de/download/DOC-00048&_lang=en)

*„Der Ladezustand einer LFP-Batterie kann nicht gemessen werden. Es handelt sich um einen errechneten Wert. Im Allgemeinen wird der Ladezustand einer Batterie über die Spannung berechnet, aber auch andere Faktoren wie Temperatur, Stromfluss und Ladeverhalten spielen eine Rolle. Die Berechnung des Ladezustands ist grundsätzlich genauer, wenn die Batterie regelmäßig volle Zyklen durchläuft. Nochmal und in ganz klaren Worten: Der SoC wird nur näherungsweise berechnet und kann durchaus mehrere Prozentpunkte vom echten Wert abweichen. Hin und wieder kommt es zu Korrekturen. Das ist normal.“*

Bezugnehmend auf die SoC-Bestimmung bei Erstinbetriebnahme gibt BYD im „BYD Battery-Box Premium HVS / HVM Service-Leitfaden und Checkliste“ (Version 1.5) folgendes an:

*„Bei einer Neuinstallation ist die Battery Control Unit (BCU) zunächst nicht mit dem Ladestand der Module vertraut. Sobald jedoch der Ladevorgang beginnt, wird die Erkennung des State of Charge (SoC) allmählich angepasst. Die vollständige Kalibrierung des SoC erfolgt spätestens nach einem vollständigen Zyklus, bei dem die Batterie auf 100 Prozent geladen wird und anschließend auf die maximale Entladetiefe entladen wird.“*

## **2.4 Fazit SoC-Bestimmung**

Da sich die genaue Bestimmung des SoC aufgrund von zeitlichem Aufwand, nicht idealen Rahmenbedingungen und vielen weiteren Faktoren (Temperatur, Ladeverhalten, Zellalterung (SOH), manuelle Batteriesteuerungsvorgaben und so weiter) nur schwer im Alltag umsetzen lässt, wird der SoC immer nur näherungsweise berechnet und kann durchaus mehrere Prozentpunkte vom echten Wert abweichen. So kommt es durch das System hin und wieder zu Korrekturen. Gerade in den dunkleren Monaten erfährt die Batterie keine vollen Ladezyklen, was zu einer höheren Ungenauigkeit der Berechnung des SoC und zu kurzfristigen Kapazitätseinbußen führt. Im Normalfall wird die Berechnung nach 5 bis 8 vollständigen Zyklen am Stück wieder genauer. In den Sommermonaten, wenn die Batterie regelmäßig volle Zyklen durchläuft, kann das System die Berechnung öfter und somit genauer durchführen. SoC-Sprünge werden seltener oder bleiben ganz aus.

Bei einer Neuinbetriebnahme sind ebenfalls einige vollständige Zyklen notwendig, damit das BMS die SoC-Kalibrierung durchführen und die differierenden Zellspannungen, die durch unterschiedliche Ladezustände der Zellen in den Batteriemodulen anliegen, ausbalancieren kann.

### 3 Beispiele im Fronius Solar.web

Das Online-Monitoring-Portal Solar.web von Fronius stellt Energiebilanzen bereit und ermöglicht dem Kunden die Überwachung seiner PV-Anlage mit Fronius Komponenten. In den Energiebilanzen sind Verlaufskurven des Batterieladezustands sowie Daten zu den Lade- und Entladeenergiemengen abrufbar. Bei den Daten handelt es sich um 5-Minuten-Mittelwerte, die vom Wechselrichter abgerufen werden. Der SoC der Batterie wird ausschließlich vom BMS der Batterie errechnet und an den Wechselrichter übermittelt. Diesen errechnet das Battery Management System basierend auf der Spannung der Batteriezellen. Im Folgenden werden zwei Beispiele für Verhalten bei ungenauer SoC-Berechnung aufgrund fehlender vollständiger Ladezyklen behandelt. Bei allen Beispielen wurden die Speichersysteme und PV-Systeme auf vollständige Funktion untersucht.

#### **Beispiel 1:**

Hier ist ein rasanter Anstieg (Abb. 1 und 2) sowie ein rasanter Abfall des SoC (Abb. 3 und 4) in der Energiebilanz zu beobachten, obwohl keine Leistungen zur Batterie oder von der Batterie fließen. Hier handelt es sich um einen SoC-Sprung. Ein Phänomen, bei welchem der Speicher einen SoC an den Wechselrichter übermittelt, der nicht der Realität entspricht. Im Verlauf der Entladung reguliert sich das Verhalten und der SoC fällt kurzzeitig auf einen weiteren unrealistischen Wert (0 %), um dann wieder einen realen Wert anzunehmen. Bei einem Vergleich der zugeführten und der entnommenen Energie aus der Batterie wird deutlich, dass diese ziemlich genau übereinstimmt, aber keiner Ladung auf einen SoC von 100 % entsprechen. Abbildung 1 und 2 zeigen die zugeführte Energie im grünen Diagramm, Abbildung 4 und 5 die entnommene Energie im grünen Diagramm.

Abbildung 1:

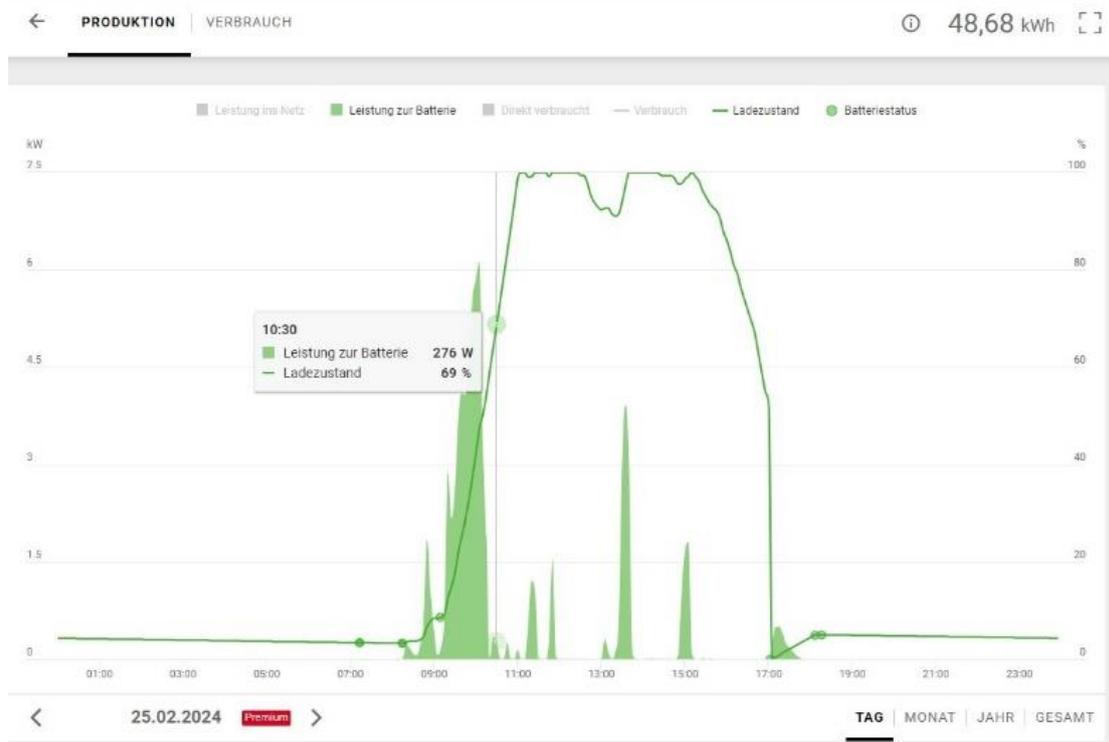


Abbildung 2:

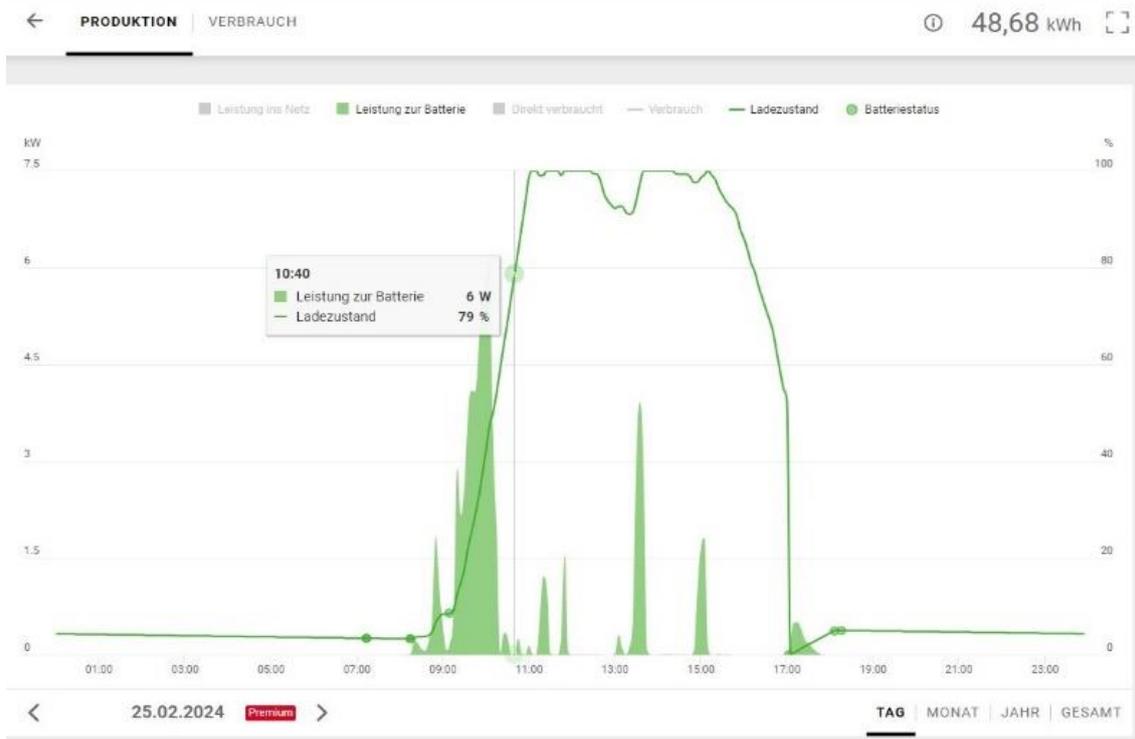


Abbildung 3:

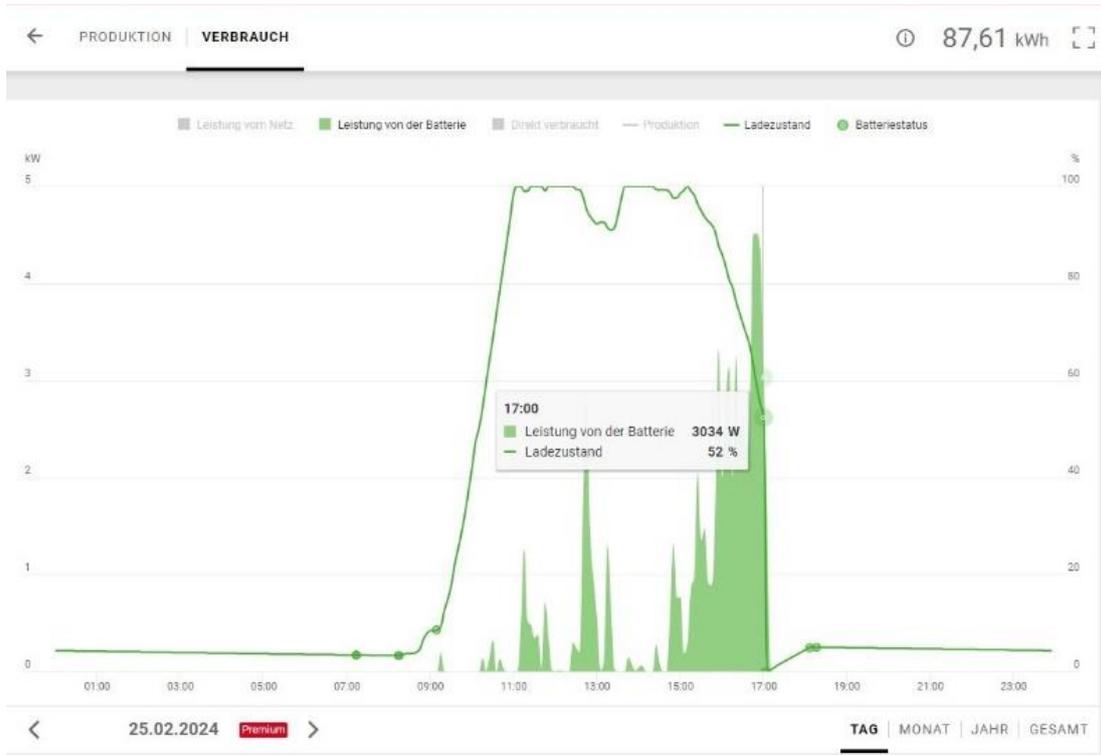


Abbildung 4:



### Beispiel 2:

In diesem Fall sind im Tagesverlauf keine SoC Sprünge zu erkennen (Abb. 5), dennoch wird der SoC der Batterie mit 100 % angezeigt, obwohl nicht die Menge an Energie geladen wurde, welche der Kapazität der Batterie entspricht (in diesem Fall BYD HVS 7.7 mit einer nutzbaren Kapazität von 7,3 kWh). In Abbildung 6 ist die am 01.02.2024 zugeführte Menge an Energie zur Ladung von 5 % bis 100 % in kWh angegeben. Dieser Tagesverlauf zeigt eine von zwei Vollladungen im Zeitraum von 20 Tagen. Zum Vergleich ist dieselbe Lademenge von 5 % bis 100 % in Abbildung 7 mit einer korrekten Kalibrierung angegeben, welche bei einer täglichen Be- und Entladung zu erreichen ist.

Abbildung 5:

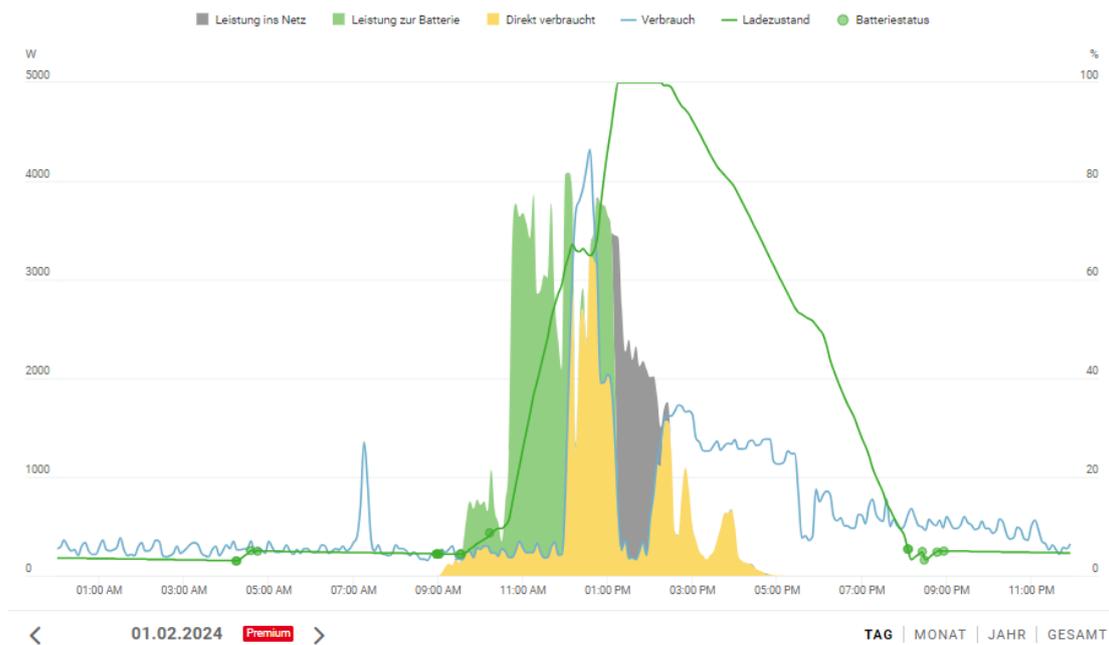


Abbildung 6:

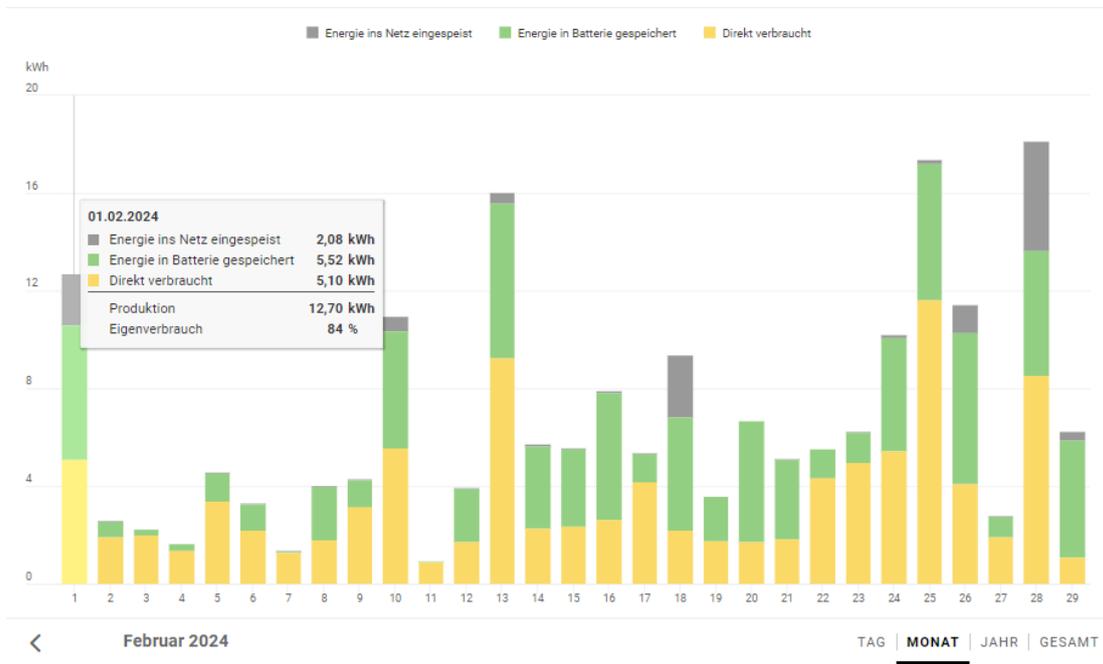
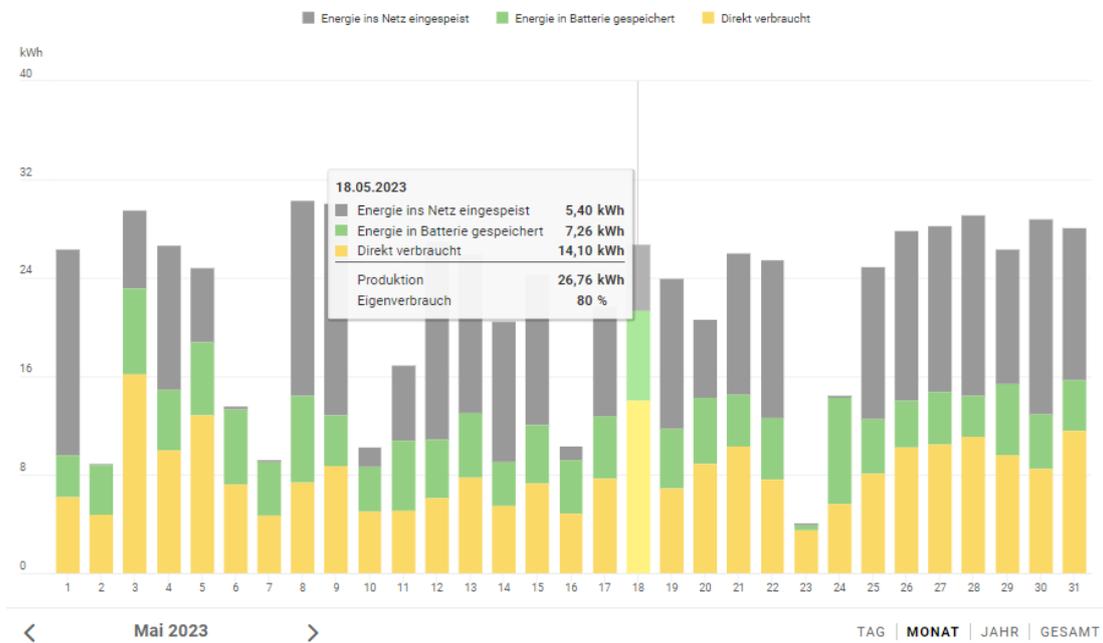


Abbildung 7:



## 4 Zusammenfassung

Das Ladeverhalten einer Lithium-Eisenphosphat-Batterie ist vor allem im Hinblick auf Berechnung und Kalibrierung des SoC in Monaten mit wenigen Sonnenstunden ein Aspekt, der sowohl Fronius als auch den Batterieherstellern bekannt ist. Wir haben aufgrund des hohen Anfrageaufkommens diesbezüglich viele Batteriespeichersysteme analysiert. Wechselnde Wetterbedingungen sowie weniger Sonnenstunden in den Wintermonaten erzeugen vermehrt Teilladezyklen, welche das Ladeverhalten negativ beeinflussen. In den Vorjahren sahen wir im südlichen Raum noch über Wochen hinweg schneebedeckte Dächer. In dieser Zeit wurden die Speichersysteme nicht genutzt und verblieben im Energiesparmodus. Im Winter 2023/24 erhöhten sich die Teilladungszyklen und verschärften die SoC-Thematik deutlich. Die in diesem Dokument beschriebenen Beispiele und Verhaltensweisen können immer wieder in den Wintermonaten vom Spätherbst bis zum Frühling beobachtet werden. Es wird nun deutlich mehr Vollladezyklen brauchen, bis sich die Anzeige im Solar.web wieder relativiert. Im Frühjahr sollten sich die Systeme jedoch wieder neu kalibriert haben, im vollen Leistungsspektrum arbeiten und die gesamte Kapazität zur Verfügung stellen.

Mit einem Wechselrichter von Fronius und einer Batterie von BYD haben Sie sich für eines der besten und sichersten Systeme am Markt entschieden, dies zeigt auch im Jahr 2024 wieder die Stromspeicher-Inspektion der HTW Berlin<sup>2</sup>. Sehen Sie dazu ebenfalls die folgenden Bilder mit dem Ergebnis der Stromspeicher-Inspektion 2024 (Abbildung 8) und dem von BYD durchgeführten Sicherheitstest unter Extrembedingungen, bei welchem die Batteriemodule sowohl bei Brand, Durchbohrung als auch bei starken Druckauswirkungen keine explosiven oder flammbaren Eigenschaften aufwiesen (Abbildung 9<sup>3</sup>).

---

<sup>2</sup> <https://solar.htw-berlin.de/studien/stromspeicher-inspektion-2024>

<sup>3</sup> Präsentation von BYD

Abbildung 8:



Abbildung 9:

