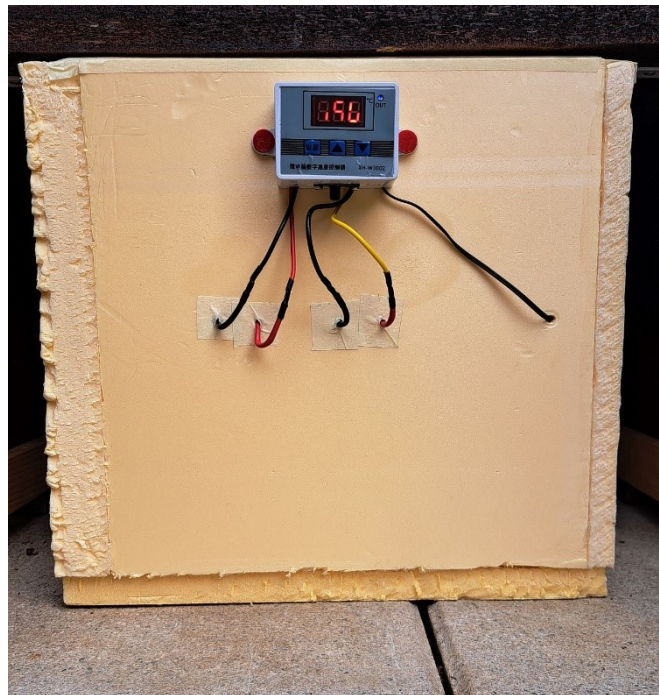


# ***Heizung für LiFePO<sub>4</sub> Solarakkumulator im Außenbereich***

***Eigenbau einer Isolierung und Heizungssteuerung  
für einen 24 V / 100 Ah Solarakkumulator***



***Christoph Schwärzler, OE1CGS***

***V3, Dezember 2023***

## Abstract

This document gives details of a DIY system for a thermal isolation and controlled heating of a LiFePO<sub>4</sub> battery used in a PV setup of a central European site.

Although LiFePO<sub>4</sub> batteries are less temperature sensitive than many other technologies (especially lead acid batteries), a positive temperature has to prevail during charging. This is not always the case during central European winters.

This project was built around a 24 V LiFePO<sub>4</sub> battery with a capacity of 100 Ah but can easily be adjusted to other sizes. Only readily available (hardware store and/or online dealers) and cost-effective components are used. A few 3D printed parts can easily be substituted by a multitude of different approaches. Total parts cost is about 30 \$ and the time required for building does not exceed 5 hours.

The system was thoroughly checked and measured during the winter 2023/24 and performed very well, keeping the minimum temperature under all conditions. At 0°C an average heating power of 4.4 W is sufficient.

## Zusammenfassung

Für einen LiFePO<sub>4</sub> Solarakkumulator, der im Rahmen einer Insellösung im mitteleuropäischen Klima im Außenbereich aufgestellt ist, wird der Selbstbau einer thermischen Isolierung samt gesteuerten Heizung beschrieben.

Obwohl die LiFePO<sub>4</sub>-Technologie weniger temperaturempfindlich ist als z.B. Blei-Säure Akkumulatoren, müssen zumindest bei einem Ladezyklus positive Zelltemperaturen vorherrschen, um den Akku nicht zu schädigen. Dies ist im mitteleuropäischen Winter nicht sichergestellt.

Die hier beschriebene Lösung für einen 24 V Akkumulator mit einer Kapazität von 100 Ah eignet sich für den Selbstbau unter Rückgriff auf Materialien aus dem Baumarkt für die Isolierung und günstige Komponenten für die Heizung und Heizungssteuerung aus dem Onlinehandel. Sie ist jedoch auch für andere Akkumulatoren leicht adaptierbar. Einzelne, mit 3D Druck erstellte Kleinteile sind leicht durch andere Materialien substituierbar. Insgesamt beliefen sich die Materialkosten auf rd. 30 € und der Arbeitsaufwand für den Bau betrug ca. 5 Stunden.

Während des Winters 2023/24 wurde das System ausgiebig getestet und gemessen. Es funktionierte

zur vollsten Zufriedenheit und konnte unter allen Bedingungen die eingestellte Mindesttemperatur sicherstellen. Bei 0°C genügt dazu eine durchschnittliche Heizleistung von 4,4 W.

## 1.) Konzept

Im Gegensatz zu vielen anderen Technologien sind LiFePO<sub>4</sub> Akkumulatoren relativ tolerant gegenüber Entladungen bei tiefen Temperaturen, weniger jedoch bei der Ladung. Für die Entladung wird üblicherweise eine tiefste Temperatur von -10°C angegeben, während für die Ladung positive Temperaturen gefordert werden. In Bild 1 ist die Abhängigkeit des maximalen Ladestroms von der Zelltemperatur dargestellt, wie sie vom weltgrößten Hersteller derartiger Akkumulatoren empfohlen wird<sup>1</sup>. Der Ladestrom ist darin in Einheiten von [C] angegeben, also der Nominalkapazität in Ah. Für den hier benutzten 100 Ah Akkumulator steht 1C somit für einen Ladestrom von 100 A.

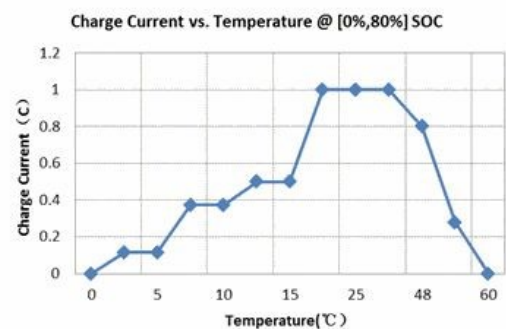


Bild 1: Abhängigkeit des maximal erlaubten Ladestroms in [C] von der Zelltemperatur eines LiFePO<sub>4</sub>-Akkus

Konservativ interpretiert, ist der Grafik zu entnehmen, dass bei Temperaturen unter 8°C der maximale Ladestrom beim hier verwendeten Akkumulator rd. 10 – 12 A beträgt. In meiner Solaranlage habe ich den maximalen Ladestrom im Inverter auf 30 A eingestellt, etwas unter dem maximal empfohlenen Wert von 0,5 C. Von der Heizungssteuerung erwarte ich daher, die Akkutemperatur immer mindestens auf 8°C zu halten, denn mit den knapp 40 A aus Bild 1 bin ich dann immer im sicheren Bereich.

Der Strom für die Akkuheizung wird direkt dem Akku entnommen. Um bei der Nennkapazität des Akkus von 2,5 kWh mindestens zwei Tage großer Kälte und ohne Solarladung überstehen zu können, war das Ziel, die Isolierung so auszulegen, dass rund 30 W Heizleistung ausreichen sollen um bei einer Außentemperatur von -20°C die geforderte Akkutemperatur sicher zu stellen.

Die Heizung ist durch kostengünstige Heizkabel aus PTFE umhüllten Kohlenstofffasern realisiert, die mit verschiedenen spezifischen Heizleistungen bzw. Widerständen als Meterware im Onlinehandel erhältlich ist. Bei entsprechender Dimensionierung kann das Heizkabel dann direkt an die 24 V des Akkus angeschlossen werden. Um das Heizkabel bei Unterschreiten der Mindesttemperatur einzuschalten und bei Erreichen einer genügend hohen Temperatur wieder auszuschalten, ist eine temperaturabhängige Steuerung erforderlich, die direkt am Akku angeschlossen wird. Passende Module samt Temperaturanzeige sind äußerst günstig ebenfalls im Onlinehandel verfügbar.

## 2.) Heizkabel

Zur Erzeugung der erforderlichen Wärmeleistung können kostengünstige Heizkabel (Bild 2) aus Kohlenstofffasern benutzt werden, wie sie in großen Mengen bei Fußboden- und Wandheizungen Verwendung finden. Diese Kabel stehen mit unterschiedlichen, spezifischen Widerständen zur Verfügung und können in vorkonfektionierten Längen, typischerweise ab 5 m für wenige Euro im Onlinehandel bezogen werden<sup>2</sup>.



*Bild 2: Heizkabel aus Kohlenstofffasern, wie es u.a. zur Herstellung von Fußbodenheizungen verwendet wird. Es ist kostengünstig in verschiedenen spezifischen Heizleistungen und Längen erhältlich.*

Bei der Auswahl des richtigen Kabels müssen einige Bedingungen beachtet werden. Einerseits müssen die Akkuspannung, der spezifischer Widerstand des Kabels und die Kabellänge aufeinander abgestimmt sein, um die gewünschte Wärmeleistung – in meinem Fall 30 W – zu erhalten. Andererseits darf aber auch eine vom Hersteller angegebene Leistung pro Meter Kabellänge – typisch 30 W/m – nicht überschritten werden, um eine Überhitzung des Kabels zu vermeiden.

Das von mir benutzte Heizkabel hat einen nominellen, spezifischen Widerstand von 17  $\Omega$ /m, tatsächlich gemessen habe 15,4  $\Omega$ /m. Der Akkumulator hat einen Umfang von rd. 1,3 m. Mit zwei Schleifen um den Akku und unter Berücksichtigung der Anschlüsse (siehe Bild 3) ergab sich eine Kabellänge von 2,55 m. Der

entsprechende Kabelwiderstand von 15,4  $\Omega$ /m  $\cdot$  2,55 m = 39,3  $\Omega$  lässt an der typischen Akkuspannung von 26,4 V einen Strom von  $26,4 \text{ V} / 39,3 \Omega = 0,67 \text{ A}$  fließen. Da die elektrische Leistung praktisch vollständig in Wärmeleistung umgewandelt wird, erzeugt eine Schleife eine Wärmeleistung von rd.  $26,4 \text{ V} \cdot 0,67 \text{ A} = 17,7 \text{ W}$ . Die Wärmebelastung erreicht dabei  $17,7 \text{ W} / 2,55 \text{ m} = 6,9 \text{ W/m}$ . Damit erreicht das Kabel eine maximale Temperatur zwischen 30°C und 40°C (Herstellerangaben), was neben der Steuerung eine zusätzliche Sicherheit gegen eine ungewollte Überhitzung des Akkumulators darstellt.



*Bild 3: Die Heizkabel werden um den Akkumulator gewickelt und mit Klebeband o.ä. fixiert.*

Um die geforderte Gesamtleistung von mindestens 30 W zu erhalten, habe ich zwei derartige Kabelschleifen um den Akkumulator gelegt und parallel verbunden (siehe Bild 4). Damit verdoppelt sich der Strom auf 1,34 A. Dieser Wert ist sowohl vom Akkumulator als auch der Heizungssteuerung leicht zu verkraften und bringt sogar rd. 35 W Heizleistung.



*Bild 4: Um die geforderte Heizleistung zu erhalten, habe ich zwei Heizkabelschleifen benutzt und diese parallel geschaltet.*

Andere Kombinationen von Heizkabellänge und -type sind sicherlich möglich. Es muss aber im Einzelfall die Einhaltung sämtlicher Betriebsgrenzen sichergestellt werden.

### 3.) Heizungssteuerung

Bei der Heizungssteuerung habe ich auf eine fertige Komponente aus dem Onlinehandel zurückgegriffen. Diese ist unter der Bezeichnung XH-W3002 oder ähnlich weit verbreitet und für wenige Euro erhältlich<sup>3</sup>. Es gibt Versionen für 12 V, 24 V und auch 230 V, bitte bei der Bestellung darauf achten. Ich habe – passend zum Akkumulator – die 24 V Version bestellt.

Dieses Steuergerät (Bild 5) hat bereits alles eingebaut, was für die Akkuheizung erforderlich ist, und besitzt auch eine Anzeige für die aktuelle Temperatur sowie die Einstellung der gewünschten Betriebsparameter. Diese Einstellung ist beliebig oft änderbar und bleibt auch nach dem Ausschalten des Geräts erhalten. Sie ist sehr einfach und intuitiv durchzuführen. Eingestellt werden können:

- Einschalttemperatur in °C
- Ausschalttemperatur in °C
- Temperaturoffset in °C
- zeitliche Verzögerung in Minuten

Die beiden letzten Parameter sind standardmäßig Nullwerte, welche ich auch beibehalten habe.



Bild 5: Heizungssteuerungsgerät XH-W3002

Die eigentliche Heizung wird vom Steuergerät über ein eingebautes Relais ein- und ausgeschaltet. Eine eigene LED am Steuergerät zeigt jederzeit den Betriebsstatus der Heizung an.

Das Steuergerät wird mit der roten Leitung an den Pluspol des Akkus und mit der zugehörigen schwarzen Leitung an den Minuspol angeschlossen. Es muss auf jeden Fall eine passende Absicherung (bei mir 2A träge) in die Versorgungsleitung integriert werden. Das Heizkabel wird zwischen die gelbe und zugehörige schwarze Leitung angeschlossen, wobei hier die Polarität keine Rolle spielt. Durch eine dritte Öffnung im Gehäuse ist das Kabel mit dem Temperatursensor geführt. Der eigentliche Sensor ist dabei im ca. 2 cm langen,

metallischen Ende des etwa ein Meter langen Kabels. Ich habe einen einfachen Ein/Ausschalter direkt in die Unterseite des Gehäuses eingebaut (siehe Bild 5). Alternativ könnte ein passender Schalter auch in die Versorgungsleitung integriert werden.

Das Steuergerät ist bestenfalls leicht spritzwassergeschützt und muss daher bei einer Aufstellung direkt im Freien nochmals geschützt werden. Da mein Akkumulator in einem Gartenhaus untergebracht ist, konnte ich auf eine derartige Maßnahme verzichten. Theoretisch könnte das Steuergerät zusammen mit dem Akkumulator auch innerhalb der Isolierungsbox untergebracht werden. Damit würden zusätzlich die Leitungswege vereinfacht und es wären auch keine Durchführungen durch die Isolierung erforderlich. Allerdings würde dadurch die Funktionskontrolle erschwert und die Ablesung der aktuellen Temperatur wäre auch nicht möglich. Ich habe das Steuergerät daher außerhalb der Isolierbox an der Stirnseite derselben befestigt. Zur Vermeidung von Kältebrücken habe ich dazu zwei 3D-gedruckte Kunststoffteile durch die Montagelöcher des Steuergeräts und die Isolierung geführt.

### 4.) Isolierung

Ohne eine Isolierung wäre die Heizung wirkungslos, da die Wärme sofort an die Umgebung abgegeben werden würde. Für einen effizienten Betrieb muss die Isolierung dem jeweiligen Akkumulator angepasst werden. Sie sollte diesen möglichst enganliegend allseitig umhüllen.

Ich habe für den Bau der Isolierung auf Dämmplatten aus Hartschaumplatten (auch XPS-Platten genannt) zurückgegriffen. Diese werden als Isoliermaterial im Hausbau verwendet und sind daher kostengünstig und leicht erhältlich. Mit einer Wärmeleitfähigkeit von nur  $0,032 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  sind sie für diesen Zweck hervorragend geeignet und auch leicht zu verarbeiten. Sie können mit Montageklebern dicht und kräftig verbunden werden. Ich habe dabei mit UHU POLYMAX eine sehr gute Erfahrung gemacht.



Bild 6: Der von mir verwendete Montagekleber für die Verbindung der XPS-Teile.

Häufig weisen XPS-Dämmplatten ein Nut-Feder-System auf, das bei der Konstruktion der Isolierbox

ausgenutzt werden kann. Ich habe darauf geachtet, dass auf der Oberseite der Box ein Rahmen entsteht in welchen eine XPS-Platte als Deckel möglichst passgenau eingelegt werden kann (siehe Bild 6). Dadurch wird eine gute Isolierung auch ohne Verklebung und nur mit einer Fixierung aus Klebeband erreicht und der abnehmbare Deckel erlaubt weiterhin den Zugang zum Akkumulator.



*Bild 6: Die Isolierbox aus verklebten XPS-Dämmplatten. Ein passgenau eingesetzter Deckel aus XPS wird später nur mit Klebeband fixiert und bleibt daher abnehmbar.*

Die Dicke der Dämmplatten hat einen unmittelbaren Einfluss auf ihre thermische Isolierfähigkeit. Sie bestimmt zusammen mit der verfügbaren Heizleistung und der Oberfläche der Isolierung den maximal erzielbaren Temperaturunterschied und damit die minimale Umgebungstemperatur, vor welcher die Konstruktion den Akkumulator auf Dauer schützen kann.

Ich habe die entsprechenden Berechnungen durchgeführt und diese zeigten, dass ein Boden und Deckel aus 20 mm XPS, zusammen mit 30 mm dicken Platten rundum den Akkumulator und der verfügbaren Heizleistung von 35 W eine Temperaturdifferenz von etwa 30°C aufrechterhalten kann. Der dünnere Boden und Deckel ist nur meinen konkreten Platzbeschränkungen geschuldet.

Ist die Isolierbox fertig gebaut, so müssen noch die Durchführungen und die Befestigung für das Steuergerät gebohrt werden. Hier gilt es nur Löcher mit möglichst geringem Durchmesser zu bohren, sodass Leitung und Befestigung gerade knapp durchgeführt werden können. Jede Durchführung geht auf Kosten der Isolierfähigkeit, neben den Kältebrücken, die die Kupferkabel selbst erzeugen.

Vor diesem Problem stand ich insbesondere bei den beiden Verbindungskabeln zum Inverter, die zusätzlich zu ihrem großen Querschnitt auch bereits montierte Kabelschuhe aufwiesen. Um diese durch die Wände der Isolierbox fädeln zu können, mussten übergroße Löcher gebohrt werden. Ich habe mir dann etwas damit geholfen, dass ich jeweils zwei Halbschalen aus Kunststoff gedruckt habe (Bild 7), mit deren Hilfe ich die

Durchführungen nach dem Einziehen der Kabel wieder einigermaßen dicht bekam. Alternativ könnte man z.B. halbierte Dübel passender Größe benutzen (Danke Antoine für den Hinweis).



*Bild 7: Mit Kunststoffhalbschalen können große Durchführungslöcher nachträglich etwas abgedichtet werden.*

## 5.) Praktische Erfahrungen

Die Erstinbetriebnahme der Akkuheizung erfolgte im Spätsommer bei Außentemperaturen von bis zu 30°C. Befürchtungen, dass die Isolierung dabei zu einer Überhitzung des Akkumulators führen könnten, haben sich nicht bewahrheitet. Sowohl bei längerem Lade- als auch Entladebetrieb stieg die Temperatur im Inneren der Box nur um wenige Grad an und blieb weit innerhalb des zulässigen Temperaturbereichs. Dennoch werde ich die Problematik im Auge behalten und im kommenden Sommer nochmals intensiver testen. Sollte es zu einer deutlichen Erwärmung kommen, wäre eine erste und einfache Maßnahme die Abnahme des Deckels der Box während des Sommerhalbjahres.

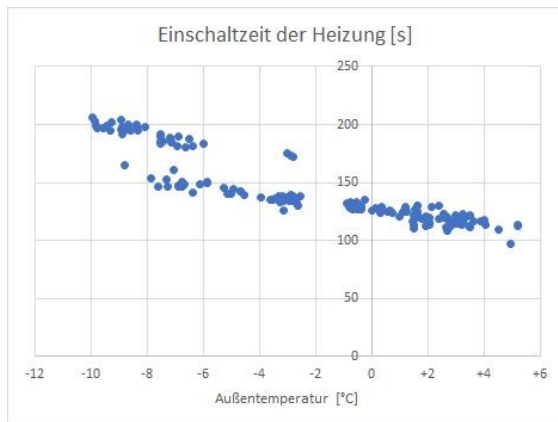
Bei aktivierter Heizung steigt die Temperatur innerhalb weniger Minuten deutlich an und die Isolierung sorgt dafür, dass nach einer Erhöhung um 5°C eine Rückkehr zur Außentemperatur erst über einen längeren Zeitraum (rd. 30 - 60 Minuten) erfolgt.

Bei den im Herbst einsetzenden kühleren Temperaturen konnte das System erstmals seine Praxistauglichkeit unter Beweis stellen. Nach wenigen Experimenten wählte ich eine Einschalttemperatur von 8°C und eine Ausschalttemperatur von 10°C. Damit unterschritt die Temperaturanzeige auf der Heizungssteuerung nie den Mindestwert von 8°C und stieg bei kühleren Außentemperaturen auch nur auf maximal gut 11°C.

Im Winter 2023 konnte ich die Isolierung und Heizung den ersten praktischen Tests unterziehen und gleichzeitig aussagekräftige Messungen durchführen. Bei diesen Messungen wurde mit einem Mikrocontroller und Sensoren das Einschaltverhalten der Heizung in Abhängigkeit von der Außentemperatur erfasst und aufgezeichnet<sup>4</sup>.

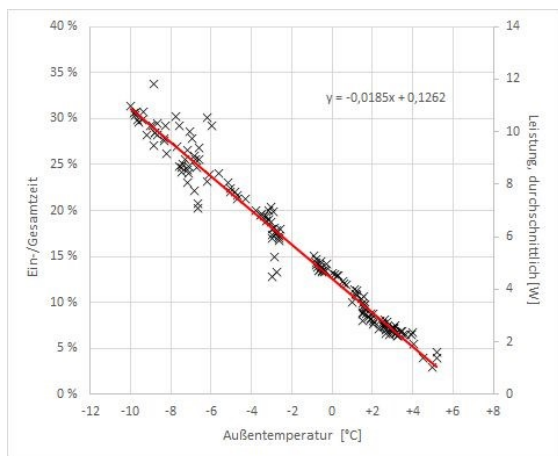
In Bild 8 sind die Einschaltzeiten der Heizung (Einstellung: 8°C ein und 10°C aus) in Abhängigkeit von der Außentemperatur aufgetragen. Diese liegen

bei Außentemperaturen zwischen  $-10^{\circ}\text{C}$  und  $+5^{\circ}\text{C}$  im Bereich von 100 bis 200 Sekunden. Die praktikable Größenordnung der Einschaltzeit liefert schon einen ersten Hinweis, dass die Heizleistung von 35 W passend gewählt wurde.



**Bild 8:** Einschaltzeiten der Heizung bei einer eingestellten Einschalttemperatur von  $8^{\circ}\text{C}$  und einer Ausschalttemperatur von  $10^{\circ}\text{C}$ .

Einer Einschaltphase der Heizung folgt eine Zeit ohne Heizung, während der das System abkühlt. Sobald die eingestellte Mindesttemperatur (hier:  $8^{\circ}\text{C}$ ) erreicht wird, aktiviert die Steuerung wiederum die Heizung und ein neuer Zyklus beginnt.



**Bild 9:** Gemessene Anteile von Heizzeiten und daraus berechnete durchschnittliche Heizleistungen in Abhängigkeit von der Außentemperatur

Aus dem Verhältnis der Einschalt- und Ausschaltzeiten [Bild 9] lässt sich mit der nominellen Heizleistung des Wärmekabels auch die durchschnittliche Heizleistung errechnen. Diese ist in der Grafik von Bild 9 ebenfalls eingetragen.

Aus den Daten ist ein linearer Trend mit einer Steigung von  $-0,65 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$  für den Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Heizleistung und Außentemperatur zu erkennen. Das ist der ermittelte Wert der Wärmeleitfähigkeit der gesamten Isolierung, er ist sogar noch besser als der bei der Planung angenommene Wert.

Beim Gefrierpunkt ist mit einer durchschnittlich erforderlichen Heizleistung von  $4,4 \text{ W}$  zu rechnen, bei  $-10^{\circ}\text{C}$  werden  $10,9 \text{ W}$  benötigt. Die niedrigste Außentemperatur bei der das System die geforderten  $+8^{\circ}\text{C}$  Akkutemperatur aufrechterhalten kann, ergibt sich durch Extrapolation mit rund minus  $47^{\circ}\text{C}$ , das sollte für unsere Breiten mehr als ausreichend sein. Dazu muss erwähnt werden, dass mein Aufbauort windgeschützt in einem lockeren Geräteschuppen liegt, die bei den Messungen berücksichtigte Außentemperatur aber natürlich diejenige seitlich in der Nähe des Akkus herrschende Temperatur war. Bei einer windexponierten Lage sollte die Isolierung großzügiger dimensioniert werden.

Insgesamt erfüllt das System die Erwartungen vollumfänglich. Die Messungen haben gezeigt, dass die Isolierwirkung sogar etwas über den Planwerten liegt. Die Belastung des Akkumulators durch die Heizung selbst ist gering und wird im Normalfall leicht durch die solare Stromerzeugung abgedeckt.

Version	Datum	Änderung
V1	05.10.2023	Erstversion
V2	05.12.2023	Erweiterung um praktische Erfahrungen und Messergebnisse
V3	20.12.2023	Datenfehler gefunden und behoben, Kleinere Textverbesserungen

1 Aus einem Online-Beitrag zur Ladung von  $\text{LiFePO}_4$ -Akkus:

<https://www.microcharge.de/forum/forum/index.php?thread/917-wichtiges-zur-ladung-von-lfp-lifepo4-akkus/>

2 Die Kabel sind mit dem Suchbegriff „Carbon Fibre Heating Cable“ leicht zu finden. Ich habe das folgende Produkte benutzt:

<https://www.aliexpress.com/item/1005003687884576.html>

3 Das Steuergerät wird auf vielen Onlineplattformen angeboten. Mein Gerät stammt von AliExpress und ist unter dem folgenden Link erhältlich: <https://www.aliexpress.com/item/1005004717623030.html>

4 Das Messsystem wurde auf Basis eines Arduino Mikrocontrollers realisiert und ist auf Github samt Programmcode dokumentiert: [https://github.com/christophschwaerzler/LiFePO4\\_Heizung\\_Messung](https://github.com/christophschwaerzler/LiFePO4_Heizung_Messung)