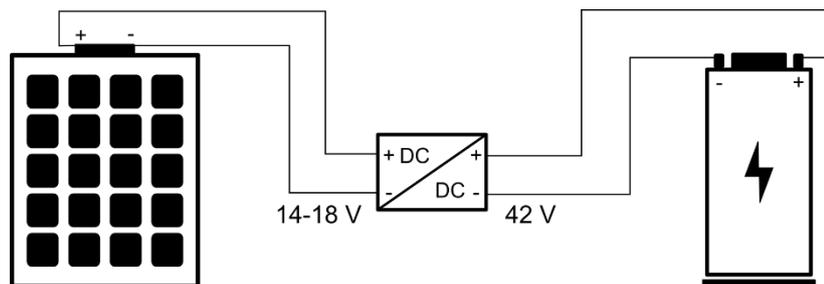


E-Bike - Solarladestation

***Minimalistisches System zur
Solarladung von E-Bikes***



Christoph Schwärzler

Juli 2021

Abstract

This document is about a simple and economic system for charging E-bikes. Technical details as well as ordering information and experience gained in using the system is given.

Through a minimalistic system and employing standard components, system hardware costs of less than 100 € can be achieved. Building this system is straightforward and can be done in one to two hours, mostly depending on mounting requirements for the solar module.

This system is in use for more than one year now and has proven its usability and reliability.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt ein sehr einfaches und kostengünstiges System zur Ladung von E-Bikes, nennt Bezugsquellen und berichtet über Erfahrungswerte.

Durch Beschränkung auf das Wesentliche und die Benutzung niedrigpreisiger Standardkomponenten kann bei Selbstbau ein Systempreis unter 100 € erzielt werden. Noch dazu ist die Errichtung sehr einfach und kann – abhängig von der konkreten Montagesituation des Solarmoduls – in ein bis zwei Arbeitsstunden erfolgen.

Das System hat sich hervorragend bewährt und steht seit über einem Jahr erfolgreich im Einsatz.

1.) Konzept

E-Bikes werden standardmäßig mit einem Ladegerät zum Anschluss an 230 V Wechselstrom ausgeliefert. Es gibt jedoch Gründe, dieses zu umgehen und das Fahrrad mit alternativen Energiequellen zu laden.

Soll zum Beispiel der Akku beim Laden am Fahrrad belassen werden, so ist in der Nähe des Fahrradabstellplatzes ein 230 V Anschluss notwendig. Oder es ist aus ökologischen Gründen erwünscht ohne Netzstrom das Auslangen zu finden. In meinem Fall gab einfach das technische Interesse den Ausschlag für dieses Projekt.

Ökonomische Überlegungen können bei den derzeitigen Strompreisen allerdings für dieses Projekt eher keine Rolle spielen. Wie eine kurze Überschlagsrechnung zeigen wird, müsste dazu ein Fahrradakku mehrere tausend Male komplett geladen werden, nur um die Materialkosten abzudecken. Damit bleibt die Wirtschaftlichkeit, so

überhaupt erzielbar, eher auf Nischenanwendungen wie z.B. den E-Bike Verleih beschränkt.

Typische Insellösungen würden nun unter Einbeziehung eines Solarladereglers, eines oder mehrerer Akkumulatoren und eines Wechselrichters konzipiert werden. Abgesehen von den Verlusten bei der mehrfachen Spannungswandlung und der Speicherung, stellte dieses Konzept für den geplanten Einsatzzweck in meinen Augen einen zu großen Kosten- und Arbeitsaufwand dar. Auch wäre der Wetterschutz für die Komponenten sowie der Wartungsaufwand für Akkumulatoren zu berücksichtigen.

Daher stellte ich folgende Überlegungen an: Ein Speicher war in Form des Fahrradakkus ja schon vorhanden und stand mit Ausnahme der Zeiten, in welchen das E-Bike benutzt wird, ja auch dem System zur Verfügung. Die modernen Fahrradakkumulatoren haben allesamt ein BMS (Battery Management System) eingebaut, welches den Akku u.a. auch vor Überladung schützt. Daher sind die mitgelieferten Ladegeräte recht einfache Geräte und stellen nur die notwendige Spannung und genügend Strom zur Verfügung. Die Laderegulierung und -abschaltung geschieht komplett im Fahrradakku. Es muss also vom Solarladesystem nur diese Spannung bereitgestellt werden, alles andere übernimmt der Akku selbst. Bei E-Bikes sind sehr häufig Akkus mit einer Nennspannung von 36 V anzutreffen, deren Ladeendspannung bei knapp 42 V liegt. Kleine Solarmodule oder Windgeneratoren sind meist für 12 V Systeme (manchmal auch 24 V) ausgelegt und liefern Licht/Wind- und Belastungsabhängig typisch zwischen 14 und 18 V. Diese variable Spannung kann aber mit einem passenden DC/DC – Wandler leicht auf konstante 42 V transformiert werden.

Dieses Konzept besticht durch seine Einfachheit, es galt aber die Praxistauglichkeit zu untersuchen. Mehr dazu in Abschnitt 3, zuvor beschreibe ich jedoch den Aufbau und dabei zu beachtende Details.

WICHTIG: Moderne Akkumulatoren weisen eine hohe Energiedichte auf und können bei falscher Handhabung eine große Gefahr darstellen. Ich weise darauf hin, dass die Durchführung sämtlicher, hier beschriebener Tätigkeiten ausschließlich in der Verantwortung des Lesers und Anwenders liegen. Insbesondere warne ich eindringlich davor, den Akkumulatorblock zu öffnen. Zu betonen ist auch, dass die Nutzungsbedingungen üblicherweise auf die Verwendung des mitgelieferten Ladegeräts beschränkt sind und daher die Verwendung dieser Solarladestation gegen die Garantiebedingungen verstoßen kann.

2.) Systemaufbau

In diesem Abschnitt wird das eingesetzte System zur Solarladung sowie die Bezugsquellen der Komponenten beschrieben. Selbstverständlich sind Abweichungen davon möglich, auf notwendige Parameter wird bei den einzelnen Teilen hingewiesen. Insbesondere sind anstelle des Solarmoduls auch andere Stromquellen wie z.B. Wind- oder Wassergeneratoren möglich. In Anbetracht der Anschaffungs- und Wartungskosten wird aber in den meisten Fällen der Solarenergie der Vorzug zu geben sein, und so sind auch die weiteren Ausführungen darauf ausgerichtet.

Das Gesamtsystem ist in Abbildung 1 dargestellt. Von links nach rechts besteht es aus dem Solarmodul, dem DC/DC-Wandler und dem Fahrradakkumulator.

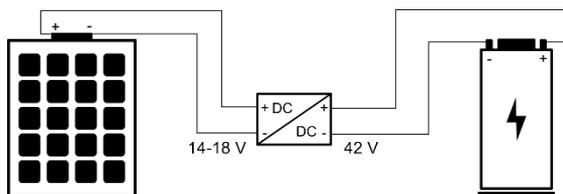


Bild 1: Schema der Solarladestation für E-Bikes

Die Größe und auch der Preis des Solarmoduls richten sich vorwiegend nach der Leistung, angegeben in W_p (Watt peak). Diese Maximalleistung wird aber nur unter Idealbedingungen erreicht und kann daher zwar beim Kauf zu Vergleichszwecken herangezogen werden, aber nicht direkt als Rechengrundlage für die Dimensionierung. Ich benutze ein Modell mit $100 W_p$, welches unter den mitteleuropäischen Wetterverhältnissen über zwei Jahre hinweg vom Frühling bis zum Herbst völlig ausreichend war. Leicht gegen Süden geneigt und nie abgeschattet, wird damit mein komplett leerer $460Wh$ ($36V/12,8Ah$) Fahrradakkubinnen eines Sonnentages vollgeladen. Für nur fallweisen E-Bikegebrauch wäre vielleicht auch mit einem $50 W_p$ Modul das Auslangen zu finden, empfehlen würde ich diese Variante jedoch nicht. Umgekehrt hat man mit einem 150 oder $200 W_p$ Solarmodul (bzw. -modulen) nicht nur eine schnellere Ladung, sondern sogar Reserven bei Bewölkung.

Solarmodule sind in verschiedenen Technologien und Bauformen erhältlich. Ob amorph oder kristallin ist weniger wichtig, aber das Modul muss natürlich wettertauglich sein. Dies bietet aber nicht nur die teure Variante mit Alurahmen und komplexen Befestigungsmöglichkeiten. Bei mir hat sich ein sogenanntes flexibles Modul, das durch die vorhandenen Löcher direkt auf das darunterliegende Dach montiert wurde, bewährt

(Abbildung 2). Detail am Rande: Für die Montage auf der gewellten Unterlage wurden sinusförmige 3D-Druckteile gefertigt, mit welchen eine planare und stabile Befestigung sehr einfach ist.

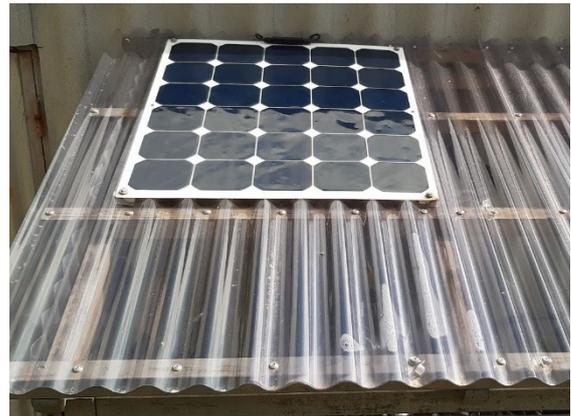


Bild 2: Montage des Solarmoduls auf dem Dach über dem Fahrradabstellplatz

Mein Modul hat die Abmessungen 68×80 cm und war um rd. 80 € erhältlich¹. In einem stabilen Alurahmen gibt es $100 W_p$ Module bei lokalen Händlern in Europa derzeit um rd. 150 €. Üblicherweise besitzen derartige Module Anschlüsse in Form von sogenannten MC4 Steckern und Buchsen, welche den Standard in der Photovoltaik darstellen. Diese Steckverbindungen sind witterungsbeständig, preisgünstig, gut erhältlich und leicht zu montieren. Selbstverständlich muss auf die Polarität geachtet und das Solarmodul korrekt an den Wandler angeschlossen werden. Die verwendeten Kabel müssen einen geeigneten Durchmesser (mind. $2,5 \text{ mm}^2$) aufweisen und witterungsbeständig sein.

Die Aufgabe des DC/DC-Wandlers ist es, die Ausgangsspannung des Solarmoduls auf die Ladespannung des E-Bike Akkus zu transformieren. Da das Modul je nach Sonneneinstrahlung und Belastung typische Spannungen zwischen 14 und 18 V abgibt, die Akkuspannung jedoch deutlich höher (üblich ist ein Wert von $42V$) ist, muss der Wandler in der Lage sein, die Spannung zu erhöhen. Derartige Wandler firmieren im englischen Sprachgebrauch unter „boost“ oder „buck-boost converter“. Die Ausgangsspannung muss einstellbar sein und der Wandler muss die maximal anfallende Leistung verkraften können. Diese Leistung kann anhand der Angaben auf dem mitgelieferten Ladegerät abgeschätzt werden. Entweder ist dem Gerät gleich eine Leistungsangabe in Watt (oft für den Input) angegeben, oder man multipliziert die angegebene Ausgangsspannung in Volt mit dem Ausgangsstrom in Ampere. Für gängige E-Bike Akkus wird man so

oder so zumeist einen Wert zwischen 80 und 200 W erhalten.

Ich benutze ein Modell, das im Onlinehandel vielfach erhältlich² ist und dessen Leistung mit sogar mit 600 W angegeben ist. Dementsprechend verfügt das Gerät auch über einen Kühlkörper, ein Kriterium, auf das bei der Anschaffung geachtet werden sollte. Dieser Wandler kostet derzeit rund 15 €, wird aber – wie viele andere Geräte aus Fernost – nur als aufgebaute Platine mit Kühlkörper geliefert. Er muss also noch in ein Gehäuse als Witterungsschutz eingebaut werden. Ich habe ein passendes Gehäuse für den 3D-Druck entworfen, welches bei Thingiverse heruntergeladen werden kann³ (Abbildung 3).



Bild 3: DC/DC-Wandler in 3D gedrucktem Gehäuse und mittels MC 4 Steckverbindung an das Solarpanel angeschlossen

Eine noch deutlich günstigere Alternative um rund 5 € könnte ein neueres Gerät⁴, ausgelegt für eine Leistung von 400 W sein. Dieses habe ich allerdings selbst noch nicht getestet. Auch andere DC/DC-Wandler können natürlich benutzt werden, sie müssen nur in der Lage sein, eine variable Eingangsspannung zwischen 14 und 18 V in eine fixe Ausgangsspannung von typ. 42 V (siehe auch nächstes Kapitel) zu wandeln. Üblicherweise geschieht dies dadurch, dass die Ausgangsspannung mit einem im Gerät befindlichen Potentiometer auf den gewünschten Wert eingestellt wird. Idealerweise kann zusätzlich auch der maximale Ausgangsstrom mit einem zweiten Potentiometer eingestellt werden, wie dies bei den beiden o.a. Geräten der Fall ist.

Es ist klar, dass das Solarpanel bei dieser Vorgehensweise nicht im optimalen Betriebspunkt (MPP) betrieben wird. Dies kann nur mit einem deutlich aufwändigeren MPPT-Wandler erfolgen, der dann aber zumeist den Einsatz einer Speicherlösung erfordert. Dementsprechend liefert das Solarpanel nicht die höchstmögliche Leistung. Mit einem kleinen Trick (nächstes Kapitel) kann das

System aber zumindest in die Nähe des MPP gebracht werden.

Der E-Bike Akkumulator wird nun direkt an den Ausgang des DC/DC-Wandlers angeschlossen (Abbildung 1, rechts). In den allermeisten Fällen wird man sich dazu eine passende Steckverbindung besorgen oder gar selbst basteln müssen.

In meinem Fall befindet sich im Akkumulator eine XLR-Buchse, wie sie in der Audiotechnik oft verwendet wird (Abbildung 4). Ich musste nur darauf achten, einen Stecker zu erwerben, der auch für den zu erwartenden Strom von rd. 2 A geeignet ist.



Bild 4: Schwierig kann die Suche nach dem passenden Stecker für den Akkumulator werden. In meinem Fall war es jedoch ein weit verbreiteter XLR-Stecker

Das zweiadrige Kabel vom Ausgang des DC/DC-Wandlers bis zur Steckverbindung für den Akku kann bei passendem Aufbau so abgelängt werden, dass der Akku während des Ladevorgangs im E-Bike verbleiben kann. Der Leiterquerschnitt sollte aber mindestens 1,5 mm² betragen, um Leistungsverluste zu minimieren. Auch dieses Kabel muss natürlich witterungsbeständig sein, gut geeignet ist sogenannte Gummileitung aus dem Baumarkt. Bei der Montage ist unbedingt auf die korrekte Polarität zu achten. Manchmal befinden sich die entsprechenden Angaben direkt auf dem Akku oder auf dem mitgelieferten Ladegerät. Sonst in der Betriebsanleitung nachsehen. Um auf Nummer sicher zu gehen, empfehle ich dennoch, die Polarität auch direkt an der Akkubuchse zu messen.

3.) Einstellungen

Obwohl die oben beschriebenen Betriebsparameter für die meisten, handelsüblichen E-Bikes passend sind, muss vor Inbetriebnahme eine Überprüfung der Einstellungen im jeweiligen Einzelfall erfolgen.

Dies bezieht sich zuallererst auf die Spannung des vorhandenen Akkus des eigenen E-Bikes. Am einfachsten ist es, die Leerlaufspannung des mitgelieferten Ladegeräts mit einem Voltmeter zu messen. Dazu das Ladegerät an die Steckdose anschließen und die Spannung an der Ausgangs-

buchse messen. Sollten mehr als 2 Anschlüsse vorhanden sein, einen eventuell auf dem Gerät aufgedruckten Belegungsplan oder das Handbuch zu Rate ziehen. Oder es wird einfach paarweise gemessen, bis eine sinnvolle (30 bis 60 V) Spannung angezeigt wird. Darauf achten, dass mit den Messkabeln keine Kurzschlüsse erzeugt werden.

Bei einem Akkumulator mit 36 V Nennspannung wird die Leerlaufspannung des Ladegeräts knapp über 42 V liegen. Etwas genauer wäre die Spannungsmessung während der Endphase der Ladung des Akkumulators, also wenn der angeschlossene Akku fast aber noch nicht ganz voll geladen ist. Leider ist diese Messung etwas aufwändiger, da zumeist mit einer frei fliegenden Verkabelung gearbeitet werden muss, welche ein erhöhtes Risiko von Kurzschlüssen mit sich bringt.

Die so ermittelte Spannung wird nun am DC/DC-Wandler eingestellt. Dazu den Wandler eingangsseitig an eine 12 V Quelle (Autobatterie, Labornetzteil oder an einem sonnigen Tag auch das Solarmodul) anschließen. Nun zuerst das Potentiometer für die Strombegrenzung (oftmals mit „I-Adj.“ oder ähnlich bezeichnet in Mittelstellung bringen. Dann wird ein Voltmeter an den Ausgang des Wandlers angeschlossen und mit dem Potentiometer für die Spannungseinstellung („U-Adj.“ o.ä.) die vorhin ermittelte Spannung eingestellt.

Nun kommt der schwierigste Teil der Einstellung: Der Maximalstrom. Er kann mit dem Potentiometer („I-Adj.“, o.ä.) eingestellt werden, aber nur bei einer genügend starken Quelle am Eingang des Wandlers und einem angeschlossenen Verbraucher der diesen Strom verkraftet. In der Praxis kommt dabei insbesondere ein Aufbau mit einer 12 V Autobatterie am Eingang und dem fast leeren Fahrradakku am Ausgang in Betracht. Die Messung erfolgt mit einem Amperemeter zwischen dem + Ausgang des Wandlers und dem + Eingang des Akkus. Bitte auf einen ausreichenden Querschnitt der Verbindungskabel achten! Mit dem „I-Adj.“ Potentiometer wird nun der Strom eingestellt, der vom Wandler später niemals überschritten wird.

Wem das zu kompliziert erscheint, der kann auch einfach den höchsten Strom einstellen, den der Wandler erzeugen kann. Dies ist bei einer der beiden Endstellungen des „I-Adj.“ Potentiometers der Fall. Welche dies ist, kann hoffentlich einer Beschreibung des Wandlers entnommen werden. Diese Methode sollte aber nur dann gewählt werden, wenn der angegebene Maximalstrom des Wandlers nicht höher ist, als der Strom, der auf dem mitgelieferten Ladegerät ausgangseitig

angeführt ist. Außerdem wird mit dieser Methode auf die im Folgenden beschriebene Verbesserung der Systemeffizienz verzichtet.

Solarmodule weisen einen komplexen Zusammenhang zwischen abgegebener Spannung und Strom, noch dazu abhängig von der Bestrahlungsintensität auf. Wird viel Strom entnommen, so sinkt die Spannung, im Extremfall auf fast Null Volt. Im Leerlauf, also wenn kein Strom entnommen wird, steigt die Spannung auf über 21 V. Irgendwo dazwischen liegt der Punkt, bei welchem das Produkt aus Strom und Spannung (also die Leistung) den Maximalwert annimmt. Das ist der Maximum Power Point (MPP), der bei guter Einstrahlung meist bei rund 17 V liegt. Für höchste Effizienz, sollte ein Solarmodul immer so belastet werden, dass es am MPP arbeitet. Mit dem hier beschriebenen, einfachen System ist dies aber nicht möglich. Ohne Strombegrenzung wird der Akku – sofern er nicht weitgehend geladen ist – den DC/DC-Wandler und damit das Solarmodul so stark belasten, dass dessen Spannung auf einen geringen Wert absinkt. Ich habe an meinem 100 W_p Modul dabei meist Spannungen von nur knapp über 10 V am Solarmodul gemessen. Weit weg vom MPP. Wird jedoch der Strom am Ausgang begrenzt, so steigt die Spannung des Solarmoduls in Richtung MPP an und damit die Effizienz des Systems. Selbst wenn die Spannung dabei über den MPP gehen sollte, wird die Effizienz in aller Regel höher als bei einer sehr niedrigen Spannung sein. Die Kehrseite ist allerdings, dass die Strombegrenzung natürlich genau ihrem Namen gerecht wird, sie begrenzt den Ladestrom und senkt auf diesem Weg die Effizienz des Systems. Die Kunst liegt nun darin, einen Maximalstrom einzustellen, der in vielen Situationen dafür sorgt, dass die Solarmodulspannung hoch (also in der Nähe des MPP) ist, andererseits aber möglichst wenig den Strom gegenüber dem Potential des Solarmoduls begrenzt. Hier eröffnet sich dem Bastler ein ganzes Betätigungsfeld, indem mit Messreihen das Optimum der jeweiligen Anlage ermittelt wird. Ich bin für mein 100 W_p Modul ohne allzuviel Aufwand zum Schluss gelangt, dass eine Strombegrenzung bei ca. 1,5 A einen guten Kompromiss darstellen dürfte.

Sind Spannung und Strom am DC/DC-Wandler eingestellt, so ist das System aus elektrischer Sicht einsatzbereit. Ideal wäre es dennoch, wenn die Ladeparameter Strom und Spannung bei den ersten paar Ladevorgängen zumindest stichprobenartig überprüft werden.

4.) Montage

Der Aufbau des Systems ist flexibel, hängt aber stark von den örtlichen Gegebenheiten ab. Dabei sollten zwei Dinge beachtet werden: Die Ausrichtung des Solarmoduls und die Länge der Leitungswege.

Das Solarmodul sollte zur Sonne hin ausgerichtet und nicht abgeschattet werden. Die Ausrichtung ist aber nicht sonderlich kritisch. Bis zu knapp 40° Abweichung von der Idealrichtung werden noch immer über 80% der Sonnenenergie erfasst. Eine fixe Montage, geneigt in südliche Richtung (bei uns auf der Nordhalbkugel) genügt vollauf, um einen Großteil der Energie ernten zu können. In Mitteleuropa ist für den vorwiegenden Gebrauch im Sommer ein Neigungswinkel von rund 30° optimal, im Winter wären es eher 60°. Da Fahrradfahren aber eher eine Tätigkeit für die wärmere Jahreszeit ist, reicht ein flacher Winkel, sogar eine komplett horizontale Montage ist vertretbar.

Wichtiger ist die weitgehende Vermeidung von Abschattungen. Direkte Sonneneinstrahlung ist vielfach stärker als das diffuse Licht, daher sollten so wenig wie möglich Hindernisse zwischen Solarmodul und Sonne sein. Wenn Abschattungen nicht vermeidbar sind, sollten sie zu den Tagesrandzeiten auftreten und nicht zur Mittagszeit.

Durch den elektrischen Widerstand treten in den Leitungen Verluste auf. Sie lassen sich durch kurze Verbindungen und große Kabelquerschnitte verringern. Die Verluste sind umso größer, je höher der Strom ist. Da dieser auf der Seite der Solarmodule (geringere Spannung und höherer Strom) größer ist als vom DC/DC-Wandler zum Fahrradakku, sollte bei der Dimensionierung insbesondere auf die Verbindung zwischen Modul und Wandler geachtet werden.

Schlussendlich muss auf eine wetterfeste Ausführung des Systems geachtet werden. Solarmodule sind normalerweise zumindest nach IP65 geschützt, aber insbesondere der DC/DC-Wandler muss Schmutz und Regen trotzen können. Daher habe ich das Gerät nicht nur mit einem Gehäuse versehen, sondern auch den ganzen Wandler unter dem Dach des Fahrradabstellplatzes montiert (siehe Abbildung 5 oben rechts).

Das Ladekabel vom Wandler zum E-Bike wurde dann entlang der Wände des Fahrradabstellplatzes bis in die unmittelbare Nähe der Position des Akkus geführt. So kann das E-Bike unmittelbar nach dem Gebrauch einfach an den Solarlader angeschlossen werden.



Bild 5: Das Solarmodul ist auf dem Dach des Fahrradabstellplatzes montiert, der DC/DC-Wandler unter dem Dach (oben rechts im Bild) und das Ladekabel so lang, dass es vom Wandler bis direkt an das E-Bike reicht

4.) Erfahrungen mit dem Solarlader

Das System ist nun seit über einem Jahr im Einsatz und hat sich in dieser Zeit vollkommen bewährt. Es gab keine Ausfälle und selbst leichter Hagelschlag hinterließ keinerlei Spuren.

Obwohl das 100 W_p Solarmodul mit einem Winkel von nur 7° gegenüber der Horizontalen nicht optimal aufgestellt ist, genügt die Ladeleistung um einen 460 Wh Akku an einem Sonntag komplett aufzuladen. Im praktischen Gebrauch reicht die Solarladung in rd. 95% der Zeit für den Betrieb des E-Bikes aus. Dabei werden in der warmen Jahreszeit an zwei bis drei Tagen pro Woche ca. 25 km mit dem E-Bike zurückgelegt. Auch bei bewölktem Himmel wird der Akku geladen, dann sind jedoch mehrere Tage erforderlich, um einen leeren Akku wieder voll zu laden.

Wie eingangs erwähnt, ist jedoch sogar bei günstiger Beschaffung und Selbstbau des Systems bei den derzeitigen Strompreisen kein ökonomischer Break-Even in Sicht. Dies tut aber dem guten Gefühl bei Fahren keinen Abbruch, mit Solarenergie unterwegs zu sein!

¹ Dieses Modul ist beim Anbieter, bei dem ich es bezog, nicht mehr erhältlich. Ein vergleichbares Modul scheint z.B. dieses zu sein: <https://www.banggood.com/18V-100W-PET-Flexible-Solar-Panel-Monocrystalline-Silicon-Laminated-Solar-Panel-1050mm+540mm-p-1805953.html>

² Bezugsquelle für diesen Wandler war: <https://www.banggood.com/DC-600W-10-60V-to-12-80V-Boost-Converter-Step-Up-Module-Power-Supply-p-1414323.html>

³ <https://www.thingiverse.com/thing:2642947>

⁴ Diesen Wandler gibt es z.B. bei: <https://aliexpress.com/item/1005001636280545.html>