

Nachhaltigkeitskriterien der E-Bike-Mobilität

Von S. Arndt, L. Bergner, P. Frielinghaus & J. Sommer

Einleitung

Die Suche „nach saubereren und effizienteren Transportsystemen“ (MELLINO et al. 2017: 1830) gilt als ein Kernthema für die Erfüllung nationaler und EU Vorgaben zur Luftqualität und Emissionsbegrenzung sowie zur Umsetzung des Weltklimavertrages von Paris. Dafür sollte vor allem die E-Mobilität und erneuerbare Energien als Stromversorgung gefördert und Sharing-Systeme flächendeckend eingeführt werden (BWS 2017). E-Bikes sind energieeffizienter und produzieren weniger Treibhausgas-Emissionen pro Personenkilometer als andere motorisierte Verkehrsträger, einschließlich des Bustransitverkehrs, wobei die Auswirkungen des gesamten Lebenszyklus auf die Umwelt berücksichtigt werden (JI et al. 2013). CAIRNS et al. (2017) hat in einer Studie gezeigt, dass ein attraktiver Zugang zu E-Bikes zudem das Autofahren signifikant reduziert. Ebenso haben HISELIUS & SVENSSON (2016) herausgefunden, dass die Nutzung von E-Bikes in Bezug auf die Reduktion der CO₂-Emissionen durch eine Verringerung der Kilometerleistung der Autos stark verbessert werden kann. Dieses Potenzial ist sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum gleichermaßen hoch. In beiden Fällen liegt das Potenzial bei einer CO₂-Reduktion von 14–20% pro Person (ebd.).

Die Nachfrage für nicht motorisierte Fahrräder sank 2017 im Vergleich zum Vorjahr um 2,2 %. Dieser Rückgang spiegelt eine Wende in der Mobilitätsbranche wieder, da der Verkauf von E-Bikes im Jahr 2017 verglichen zu 2016 einen Zuwachs von rund 12% verzeichnet, ist davon auszugehen, dass elektrisch betriebene Fahrräder in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen (ZIV 2017). Deutschland und die Niederlande sind europaweit die größten Märkte für E-Bikes und machen alleine 70% der auf dem Kontinent vertriebenen E-Bikes aus. Davon sind 95-98% vom Typ Pedelec (HISELIUS & SVENSSON 2016). Pedelecs (im Folgenden weiterhin „E-Bike“) sind elektrisch betriebene Fahrräder mit einer Leistung von bis zu 250W und haben fast immer einen verbauten Lithium-Ionen-Akku als Speicher (ADFC o.J.).

Nach Mellino et al. (2017) hat die E-Bike-Mobilität großes Potenzial zur Bewältigung globaler Umweltauswirkungen beizutragen und die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen zu senken. Allerdings stellen die elektrisch betriebenen Fahrzeuge über ihren Lebenszyklus und ihre Stromversorgung neue Umweltrisiken dar (MELLINO et al. 2017). Welche Kriterien sollten beachtet werden, um das Potenzial der E-Bike-Mobilität bestmöglich auszuschöpfen?

Antriebsmöglichkeiten

Wie einleitend dargestellt, ist die Förderung der E-Mobilität „eines der Kernthemen zur Reduktion von globalen Umweltauswirkungen“ (MELLINO 2017). Auf der Suche nach Nachhaltigkeitskriterien der E-Bike-Mobilität, widmen wir uns im folgenden Kapitel dem Energiespeicher des E-Bikes und erläutern, wie elektrisch betriebene Fahrzeuge durch deren Produktion, den Betrieb und die Entsorgung neue Umweltrisiken darstellen (ebd.). Zudem zeigen wir anhand des H-Bikes eine mögliche Alternative, die

wir mit dem E-Bike vergleichen.

Lithium-Ionen-Akku

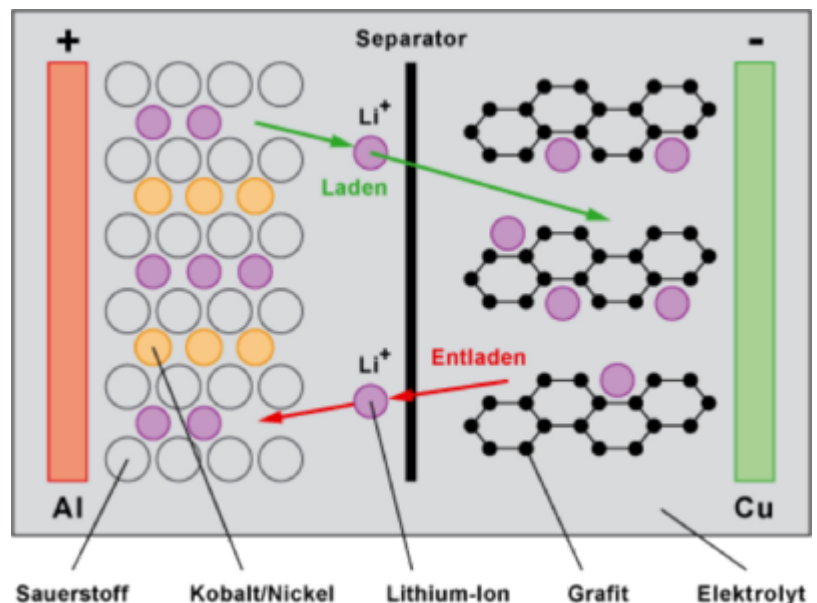
Lithium-Ionen-Akkus bieten sich aus heutiger Sicht für E-Bikes besonders an, weil sie die höchste Energiedichte bieten. Das bedeutet, dass sie bei minimalem Gewicht die maximale Energiemenge speichern können und flexibel in Form und Größe sind. Dadurch kommen sie mittlerweile in allen E-Bikes zum Einsatz (ADFC o.J.). Im Vergleich zu anderen Akkutypen enthalten Lithium-Ionen-Akkus zudem deutlich weniger toxische Substanzen, die nach dem Gebrauch wieder in die Umwelt gelangen könnten (BOYDEN et al. 2016).

Exkurs: Lithium

Lithium ist ein Leichtmetall und nebenbei das leichteste terrestrisch vorkommende Metall (SEILNACHT o.J.). Wegen seiner großen Reaktivität kommt es in der Natur nur in Form von Salz vor (AKKUREDAKTEUR 2015). Die größten Lithium-Vorkommen (gut 70%) befinden sich in Salzseen in Bolivien, Chile und Argentinien. Nach Schätzungen des U.S. Geological Surveys liegt die Menge der ökonomisch erschließbaren Lithiumreserven bei über 11 Mio Tonnen weltweit (SEILNACHT o.J.).

Aufbau und Funktionsweise

Abb. 1: Aufbau einer Zelle eines Lithium-Ionen-Akkus (SCHNABEL o. J.)



Ein Lithium-Ionen-Akku eines E-Bikes besteht aus mehreren kleineren Zellen, die miteinander verbunden sind. Jede Zelle stellt einen eigenen kleinen Akku dar. Die Zelle besitzt am Pluspol eine Aluminiumschicht und am Minuspol eine Kupferschicht. Die Aluminiumschicht wird von einer Lithium-Metalloxidschicht überlagert und fungiert als Kathode. Die Kupferschicht in Verbindung mit einer Lage aus reinem Graphit, stellt die Anode dar. Dabei gilt, je gleichmäßiger ihre chemische Zusammensetzung ist, desto höher ist die Lebensdauer und Leistung des Akkus. Der Innenraum der Zelle ist gefüllt mit einem organischen Lösungsmittel, das ein Leitsalz beinhaltet. Die Kathode und Anode sind durch einen Separator aus mikroporösem Kunststoff voneinander getrennt. Bei der Ladung des Akkus, wandern die Lithium-Ionen durch den Separator in zum Minuspol und lagern sich in dessen Graphitschicht ab. Beim Entladen des Akkus wandern die Lithium-Ionen wieder zurück (siehe [Abbildung 1](#), SCHNABEL o. J.).

Umweltgefahren

Lithium-Ionen-Akkus stellen über ihren Lebenszyklus einige Gefahren für die Umwelt dar, die im Folgenden benannt werden.

Rohstoffgewinnung

Lithium-Ionen-Akkus setzen sich aus einer Vielzahl von Komponenten zusammen. Zu den meistverwendeten Rohstoffen für die Produktion der Akkus zählen Lithium, Kobalt, Graphit, Kupfer, Aluminium, Nickel und Stahl. Diese Rohstoffe werden in Ländern abgebaut, deren Strommix größtenteils aus klimaschädlicher Kohleenergie besteht (VANDEPAER et al. 2016).

Akkuherstellung

Der größte Teil der Akkus und seiner Komponenten werden in Asien produziert (40,4%), darunter ist China der größte Produzent von Lithium-Ionen-Akkus und die dortige Industrie wächst stetig (VANDEPAER et al. 2016). Die energieintensive Produktion der Akkus ist deswegen problematisch, weil die größten Produktionsländer Strom aus fossilen Energiequellen beziehen. Das macht die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus zu einem weiteren Treiber für den Klimawandel (BOYDEN et al. 2016). Für die Produktion der Akkus wird zudem Polyetrafluoroethylen verwendet, dessen Herstellung einen signifikanten Anteil am Abbau der Ozonschicht hat (VANDEPAER et al. 2016).

Akku-Entsorgung

Auch die Entsorgung von Lithium-Ionen-Akkus stellt ein Problem dar, weil der weltweit hohe Bedarf noch nicht ansatzweise durch Recycling aufgeholt wurde. In Australien z.B. werden bis heute noch keine Lithium-Ionen-Akkus recycelt und das obwohl in Australien die größten Mengen Lithium gefördert werden. Bislang landen dort 98,3% der Akkus auf der Mülldeponie (BOYDEN et al. 2016).

Lithium in Boden-Pflanzen-Systemen

Der weltweit steigende Bedarf an Lithium für Akkus drückt sich auch in Boden-Pflanzen-Systemen aus. Aufgrund der Auffassung, dass Lithium ein nur gering toxisches Element ist, wurde bislang kaum erforscht, welche Auswirkungen dessen Akkumulation im Boden und in Pflanzen hat. Lithium ist in Boden-Pflanzen-Systemen mobil und konzentriert sich daher auch in Nahrungsmitteln. Besonders hoch ist die Lithium-Konzentration in Blattgemüse, während die Folgen für die tierische und menschliche Gesundheit daraus weitgehend unerforscht sind (ROBINSON et al. 2018).

Akku-Recycling

Lithium-Ionen-Akkus sind aus ökonomischer und ökologischer Sicht interessant für das Recycling, da sie wertvolle Rohstoffe wie Kupfer, Kobalt und Nickel enthalten. Der Wert einer Tonne Lithium-Ionen-Akkuschrott liegt bei etwa 11.800 AUD, umgerechnet also bei etwa 7.670€ (ebd., BDB 2018).

Das Recycling der Akkus würde sich positiv auf die Umwelt auswirken, indem es den Stromkonsum und die Treibhausgasemissionen aus Rohstoffgewinnung und Produktion senkt und nebenbei 51,3% der natürlichen Ressourcen spart. Die positiven Auswirkungen auf die Emissionen resultieren aus dem sinkenden Bedarf, neue Materialien herstellen zu müssen. Die Recycling-Verfahren, die sich bislang auf Akkus von mobilen Elektronikgeräten fokussieren, sind noch nicht wirtschaftlich und müssen auf ihre Effizienz und Umweltverträglichkeit geprüft werden (BOYDEN et al. 2016).

Diese Prüfung geht aus dem 2016 erschienenen Artikel „The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries“ hervor. BOYDEN et al. (2016) haben Recyclingunternehmen befragt,

wie effizient sie arbeiten (wiedergewonnene Rohstoffe) und welche Prozesse sie für das Recycling verwenden. Mithilfe externer Daten haben sie zudem ein LCA durchgeführt, das die Umweltauswirkungen des Recyclings evaluiert. Dabei zeigte sich, dass es große Unterschiede bei der Effizienz, der erfolgreichen Rückgewinnung der Rohstoffe, gibt. Diese lassen sich größtenteils auf unterschiedliche Wirksamkeiten einzelner Prozesse zurückführen. Die Anwendung von Hitze Prozessen etwa ist nur zur Rückgewinnung weniger Rohstoffe geeignet. Darüberhinaus führt die in diesen Prozessen durchgeführte Verbrennung des Plastiks zu einem hohen Risikopotenzial für die menschliche Gesundheit. Die Entsorgung der Reststoffe aus weniger effizienten Recyclingprozessen kann ein zusätzliches Umweltrisiko darstellen. Rein mechanische Prozesse oder solche, die auf Chemikalien zur Trennung der Komponenten (einschließlich Plastik) zurückgreifen, sind dagegen weit unschädlicher für die Umwelt (ebd.).

Des Weiteren hat die Studie gezeigt, dass der Transport des Akkumülls in die Recyclingfabriken, einen signifikanten Anteil an den Gesamtemissionen des Recyclings hat. Aufgrund der Seltenheit von Recyclingfabriken, die auf Lithium-Ionen-Akkus spezialisiert sind, kann der Transportweg mitunter weit sein. Das Recycling im Konsumentenland würde die Emissionen demnach erheblich senken. Ein weiterer Einflussfaktor geht vom Energiebedarf des Recyclings aus. Die Menge der Emissionen ist von der Stromquelle bzw. dem jeweiligen Strommix abhängig (ebd.).

H-Bike

E-Bikes sind in Westeuropa als umweltfreundliche Alternative zu Brennstoff-betriebenen Fahrzeugen mittlerweile weitgehend am Markt etabliert. Als Alternative dazu wächst das Interesse an Wasserstoff-betriebene Fahrräder (im Folgenden H-Bike). Ein H-Bike nutzt eine Brennstoffzelle, in der Protonen durch eine Nafion-Membran zwischen Anode und Kathode ausgetauscht werden, um Wasserstoff in Elektrizität umzuwandeln. Die Protonen wandern von der Anode zur Kathode, während die Elektronen in einen externen Kreislauf gelangen und den elektrischen Output der Zelle ausmachen. Auf der Kathodenseite werden die Protonen und Elektronen dann mit Sauerstoff in Verbindung gesetzt, wodurch Wasser entsteht, das einzige Abfallprodukt der Zelle. Diese sogenannte PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) eignet sich für Fahrzeuge, weil sie eine verhältnismäßig geringe Betriebstemperatur, eine schnelle Inangangsetzung, hohe Effizienz, hohe Energiedichte und geringe Emissionen verspricht (MELLINO et al. 2017).

Das H-Bike setzt sich außerdem aus einem Akku, einem Gleichspannungswandler, einem Elektromotor und einem Wasserstoffspeichertank zusammen. Die Vielzahl an Komponenten sorgt dafür, dass die Produktion der H-Bikes aufwändiger ist, als die der E-Bikes, was sich im Preis widerspiegelt (ebd.).

Das französische Unternehmen Pragma Industries hat als erstes Unternehmen weltweit die serienmäßige Produktion der H-Bikes begonnen. Das angebotene Fahrrad kostet 7.500€ und hat eine Reichweite von 100km. Potenzielle Käufer werden jedoch darüber informiert, dass zu dem H-Bike noch eine 75.000€ teure Tankstelle gehört, die die Elektrolyse des Wasserstoffs zu Brennstoff durchführt. Vorausgesetzt man besitzt die Tankstelle, kann man sein H-Bike in zwei Minuten volltanken und gewinnt viel Zeit im Vergleich zur Ladedauer des E-Bikes (ca. vier Stunden). Aufgrund des hohen Preises fokussiert sich der Anbieter (Pragma Industries) vorwiegend auf Kunden, die an Flottenangeboten (einschließlich Bike-Sharing-Programme) interessiert sind (DISTINKTIVE COMMUNICATION 2018).

Im Vergleich zu den Milliarden Lithium-Ionen-Akkus, werden pro Jahr nur etwa 70.000

Wasserstoffantriebe produziert. Sobald die Technologie flächendeckend in Serie verwendet wird, kann mit moderateren Preisen gerechnet werden (HUCKO 2018).

Umweltrisikenvergleich E- und H-Bikes

MELLINO et al. (2017) haben in einem Vergleich der Umweltgefahren von E- und H-Bikes über deren gesamte Lebenszyklen (LCA) gezeigt, dass die Produktion der H-Bikes in allen untersuchten Risikokategorien signifikant größere Umwelteinflüsse bewirkt. Das lässt sich nach Annahme der Autoren auf die „hohe Komplexität und die speziellen Materialien in der Produktkette“ (ebd.) der H-Bikes zurückführen. Besonders aufwändig und einflussreich ist demnach die Herstellung der elektronischen Steuerungseinheit und der PEMFC. Die entstehenden Umwelteinflüsse beziehen sich größtenteils auf die menschliche Gesundheit (ebd.).

In der Nutzungsphase verändern sich die Verhältnisse. Das H-Bike verursacht im Gebrauch kaum nennenswerte Auswirkungen. Das liegt an der hohen Systemeffizienz der PEMFC und der höheren Lebensdauer. Während ein H-Bike theoretisch 120.000km fahren kann, bevor die Leistung der Brennstoffzelle signifikant nachlässt, liefert der Lithium-Ionen-Akku im E-Bike durchschnittlich ausreichend Leistung für 24.000km (MELLINO et al. 2017). Allerdings sind die Umweltauswirkungen beider Alternativen in der Nutzungsphase relativ gering.

Die Autoren weisen aber auch auf die Tatsache hin, dass das H-Bike noch nicht serienmäßig produziert wird und die Herstellung noch nicht so effizient ist, wie die des E-Bikes. MELLINO et al. (2017) haben auch überprüft, wie sich Strom aus regenerativen Energien als Quelle für beide Bikes auswirken würde. Beim H-Bike wurde angenommen, dass die Tankstelle, die die Elektrolyse des Wasserstoffbrennstoffs durchführt, von einer PV-Anlage gespeist wird. Beim E-Bike wurde die Verwendung von Netzstrom aus erneuerbaren Energiequellen in Betracht gezogen. In beiden Fällen könnten die Umweltauswirkungen so signifikant reduziert werden (ebd.).

Stromquellen

Die Nutzung von E-Bikes in Verbindung mit Ladestationen, die ihren Strom aus erneuerbaren Energien beziehen, stellen „ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Mobilitätskonzept für Kurzstreckenpendler“ (MÜLLER 2014: 5) und im Bereich des Ökotourismus dar (ebd.).

Die Ladestationen des E-Bike-Mobilitätsnetzwerk „Sonne auf Rädern“ im BRSC beziehen ihren Strom aus dem Netz, der von den Partnern des Netzwerkes kostenlos zur Verfügung gestellt wird (siehe Kapitel E-Bike-Sharingsysteme). Es besteht keine Anforderung an die teilnehmenden Partner ihren Strom aus einer erneuerbaren Energiequelle zu beziehen, wie es in anderen Projekten (siehe Donk-EE Projekt, ebenfalls Kapitel E-Bike-Sharingsysteme) bereits praktiziert wird (SONNE AUF RÄDERN 2016). Für die Etablierung eines nachhaltiges E-Mobilitäts-Konzeptes im BRSC wäre es ein erster Schritt, Ökostrom als Energiequelle für die Partner des Projektes vorauszusetzen.

Das Wiederaufladen der E-Bike-Akkus erfordert den Zugang zu einer zuverlässigen Energiequelle, also eine Anbindung an das Stromnetz, die jedoch die Auswahl von Stationsstandorten einschränkt und zu erhöhten Installationskosten bei einer Stromnetzerweiterung führen könnte. Autarke Stromquellen für die Versorgung der E-Bike-Akkus in Betracht zu ziehen, bietet sich also an (JI et al. 2013). Eine Möglichkeit stellt eine Photovoltaik*-gespeiste, autark konstruierte Ladestation (*im Folgenden PV)

dar, die eine höhere Flexibilität bei der Standortwahl ermöglicht. Auch aus wirtschaftlicher Sicht kann PV aufgrund der geringeren Kosten im Vergleich zu herkömmlichem Strom eine sinnvolle Alternative darstellen (siehe Kapitel „Modellrechnung zu PV-Stromkosten im BRSC“, DGS LV BERLIN-BRANDENBURG 2014). Die Wetter- und Tageslichtabhängigkeit gewährleistet aber keine ununterbrochene Stromversorgung durch PV. Nach JI et al. (2013) wäre eine Lösung der Energieversorgung von E-Bikes ein Hybridsystem aus Energie vom Stromnetz sowie von Solarmodulen (ebd.).

Im Folgenden soll der Fokus der Rechercheergebnisse auf der E-Bike-Ladestationen mit PV als Energiequelle liegen. Insbesondere sollen die technischen Voraussetzungen und die Umsetzbarkeit im BSRC betrachtet werden.

Optimaler Aufbau und Ausstattung von PV-Ladestationen

Mit dem Aufbau einer PV-Ladestation sind einige standortbedingte Voraussetzungen verbunden. Zunächst sollten die Solarmodule nach Süden ausgerichtet sein und eine Neigung von 30-45° aufweisen. Zudem muss darauf geachtet werden, dass die Leistung der Solarmodule nicht durch den Schattenwurf umstehender Häuser oder Bäume beeinträchtigt wird (WULF o. J.).

Um die Attraktivität des Standortes für Nutzer zu steigern könnten die PV-Ladestationen ebenfalls mit Features versehen werden. Beispiele hierfür wären: ein Zugang zu freiem W-LAN, Sitzmöglichkeiten, Orientierungskarten sowie ein USB-Eingang zum Aufladen des Smartphones. Die Firma SOLeNERGY z.B. vertreibt bereits das auf PV basierende E-Bike-Ladestation-Modell „SOLETANK“, welches als W-LAN Hotspot erweitert werden kann. Bei diesem Modell gibt es ebenso eine Sitzmöglichkeit sowie die Option sein Smartphone über USB-Eingang aufzuladen (SOLETANK 2016).

Voraussetzungen und Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen

Im Weiteren sind als wichtige Voraussetzungen für eine PV-Anlage eine starke vorherrschende solare Strahlung sowie eine hohe Leistungsfähigkeit der installierten Solarzellen zu nennen.

Exkurs: Kilowatt Peak

Die Leistungsfähigkeit von Solarzellen wird in der Einheit Kilowatt Peak (kWp) angegeben. Sie entspricht der maximalen möglichen elektrischen Leistung einer Solarzelle unter Standardtestbedingungen, d.h. eine solare Strahlung von 1000W pro m² bei 25°C Umgebungstemperatur (LENGSFELD o. J.). Die Peakleistung einer Solaranlage hängt von zwei Faktoren ab: Zum einen von der Leistungsfähigkeit der Solarmodule, welche aus dem Verhältnis von Energieertrag und der eingestrahnten Solarenergie berechnet wird und zum anderen von der Anzahl der Module bzw. der Größe der Anlage. Daher ist die Aussagefähigkeit der Einheit kWp begrenzt. Die Peakleistung wird nur in den seltensten Fällen erreicht, sie kann andererseits aber auch überschritten werden, z.B. an klaren Wintertagen mit einer hohen Sonneneinstrahlung und niedriger Solarzelltemperatur. Die Verwendung von kWp ist sinnvoll, wenn etwa die Preise von Solarmodulen miteinander verglichen werden (WULF o. J.).

Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage ist abhängig von der vorherrschenden solaren Strahlung und der Leistungsfähigkeit der Solarzellen. Eine PV-Anlage muss jährlich eine Durchschnittsleistung von

800kWh je kWp erbringen können um wirtschaftlich zu sein. Es muss darauf geachtet werden, dass die Anlage nur so viel Solarstrom erzeugt, wie die Nachfrage erfordert, um den Verbrauch zu optimieren. Eine 1kWp-Anlage erzeugt bei einer durchschnittlichen Sonneneinstrahlung in Deutschland rund 1.000kWh Strom pro Jahr. Dafür benötigt man eine Solarmodul-Fläche von ca. 8-10m² (CLASSMARKETS o. J.a, LENGSELD o. J., SOLARPOWER o. J.). Die einmaligen Anschaffungskosten betragen dabei etwa 1.400€ (inkl. Montage, Stand 2016). Durch eine wachsende Nachfrage und den technischen Fortschritt nehmen diese Kosten jedoch jährlich ab (Schmitz 2018). Neben der einmaligen Anschaffung fallen für den Nutzer ebenfalls Betriebskosten an, welche etwa bei 1% des Anschaffungswertes liegen (CLASSMARKETS o. J.b, ANONDI o.J.). Bei einer 1kWp-Anlage betragen die Haltungskosten somit etwa 14€ im Jahr.

PV-Leistung im BRSC

Wir haben die grundsätzliche Verwendbarkeit von PV-Anlagen auch für unser Projektgebiet überprüft. Nach den bundesweiten Aufnahmen der monatlichen Stromertragsdaten von PV-Anlagen des Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V. lag der Stromertrag pro PV-Anlage im Projektgebiet bei 831/878kWh pro kWp (siehe Tabelle 1). Somit liegt der Stromertragswert über der Mindestleistung von 800Wh pro kWp um wirtschaftlich zu sein (vgl. Kapitel „Voraussetzungen und Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen“).

Tabelle 1: Durchschnittswerte der monatlichen Stromerträge von PV-Anlagen nach Region (SFV 2018)

für PLZ-Bereiche	Regionale Anlagen-Durchschnitt = kWh pro kWp pro PV-Anlage												
	Jan. 2017	Feb. 2017	Mär. 2017	Apr. 2017	Mai 2017	Jun 2017	Jul 2017	Aug. 2017	Sep. 2017	Okt. 2017	Nov. 2017	Dez. 2017	Jahr 2017
16000-16999 (Eberswalde, Joachimsthal, Angermünde)	18	33	72	94	122	118	112	113	74	42	21	12	831
17000-17999 (Templin)	21	35	74	100	125	114	120	81	45	45	23	11	878
24000-24999 (Flensburg)	21	23	76	98	137	123	111	104	73	47	22	12	847

Die in der Tabelle berechneten Stromertragswerte ergeben sich aus dem Durchschnittswert aller gemeldeten Erträge der PV-Anlagen für die jeweilige Region je des entsprechenden Monats (SFV 2018).

Modellrechnung zu PV-Stromkosten im BRSC

Die Verwaltung des BRSC hat sich schon über die mögliche Kombination von PV-Anlagen mit E-Bike-Ladestationen Gedanken gemacht. Die Ergebnisse sind im Endbericht Netzwerk Elektromobilität Schorfheide Chorin 2014 festgehalten, welche von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e. V., Berlin veröffentlicht wurde. Dabei wollte man herausfinden, wie viele Vollladungen mit einer bestimmten Fläche an PV-Modulen möglich sind bzw. wie hoch die Stromkosten bei der Nutzung von PV-Strom sind. Bei dieser Berechnung wird die Leistung einer PV-Fläche von einem m² berechnet. Diese liefert demnach im Mittel für das BR etwa 141kWh Strom pro Jahr. Das entspricht ca. 300 Vollladungen des 2014 im E-Netzwerk-Projekt „Sonne auf Rädern“ genutzten E-Bikes Hercules Tourer 8 Pro. Damit lassen sich theoretisch 28.000km im Tour-Modus zurücklegen.

Die Stromkosten liegen aufgrund der niedrigen Preise für PV-Anlagen (siehe Kapitel Voraussetzungen

und Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen) nur noch bei ca. 7ct pro 100km Fahrleistung, 28ct bei konventionellem Strom. Der Strompreis der PV-Anlage wird umso geringer, je mehr Strom durch Eigenverbrauch genutzt wird (DGS LV BERLIN BRANDENBURG 2014).

Fallbeispiel einer Ladestation mit regenerativer Energie

Im Folgenden soll ein Studienprojekt des Masterstudiengangs „Energie- und Umweltmanagement“ der FH Flensburg vorgestellt werden. Ziel des Projektes war es ein zukunftsfähiges Mobilitätskonzept für Kurzstreckenpendler sowie für den Bereich des Ökotourismus für die Stadt Flensburg zu erstellen. Im Rahmen dieses Projektes konzipierten und realisierten die Studierenden einen Prototyp einer autarken, mobilen Ladestation mit regenerativer Energie. Dieser bestand aus einem Container mit zwei PV-Modulen (Peakleistung = 460W) und einer Kleinwindkraftanlage (Peakleistung = 300W) auf dem Dach. Die Energie wurde in einem Blei-Säure-Akku (Energiegehalt = 15kWh) gespeichert, der zuvor als Antriebsakku in einem Gabelstapler diente. Die Funktionalität des Prototyps wurde anschließend in einem einjährigen Feldversuch evaluiert.

Ergebnisse und Schlussfolgerung

Die maximale Einspeiseleistung der PV-Anlage lag mit 441W im Bereich der Peakleistung und stellte 93% der Jahresenergie bereit. Die Windkraftanlage blieb im Gegensatz deutlich unter ihrer Peakleistung. Während des Feldversuches sind keine wesentlichen energetischen Engpässe aufgetreten. Die geringere Leistung der PV-Anlage im Winter wurde durch das korrelierende verringerte Nutzeraufkommen ausgeglichen.

Aufgrund der Auswertung der Ergebnisse schlussfolgern die Studierenden, dass ein Auflade-System, das allein auf PV basiert, am energetischsten und wirtschaftlichsten ist. Die Studierenden berechneten folgende Kennwerte, die nach ihrer Empfehlung beim Planen einer PV-gespeisten Ladestation berücksichtigt werden sollten:

1. Für ein E-Bike sollte eine jährliche PV-Leistung von ca. 130Wp eingeplant werden. Das bedeutet, dass bei einer 1kWp-Anlage, wie im Kapitel 2.2 beschrieben, etwa sieben bis acht E-Bikes eingeplant werden können.
2. Im Weiteren sollte der Akku der Ladestation eine Kapazität von 517Wh pro E-Bike besitzen, wenn angenommen wird, dass dieser nur bis zu 70% aufgeladen werden soll.

Nach den Studierenden lassen sich mithilfe dieser Kennzahlen beliebige Größen von autarken und regenerativen Ladestationen für E-Bikes adäquat auslegen (MÜLLER 2014).

Um zu überprüfen, ob die Ergebnisse der Studie auf das BRSC übertragbar sind, wurden die äußeren Rahmenbedingungen miteinander verglichen. Der Vergleich des durchschnittlichen monatlichen Stromertrags von PV-Anlagen in Flensburg und im BRSC zeigte eine hohe Übereinstimmung (siehe Tabelle 1).

E-Bike-Sharingsysteme

Die Anfänge des Bike-Sharing Prinzips gehen bis auf das Jahr 1965 zurück. In Amsterdam gab es

damals Fahrräder ohne feste Ausleihstationen, die man sich kostenlos ausleihen und überall in der Stadt abstellen konnte. Dieses Konzept war allerdings noch unsicher gegen Vandalismus und Diebstahl. Die nächste Generation des Bike-Sharing etablierte sich Anfang der 90er in Dänemark, wo Fahrräder an festen Stationen mithilfe von Münzeinzahlautomaten ausgeliehen werden konnten. Allerdings waren hier die Fahrräder aufgrund der Benutzeranonymität auch nicht vor Diebstählen sicher. Ende der 90er wurde in der Portsmouth University in England erstmals eine Fahrradleihstation eingeführt, an der sich Studierende mit einer benutzerdefinierten Magnetstreifenkarte Fahrräder mieten konnten (Jl et al. 2013). Darüber hinaus etablierten sich auch in den weiteren Jahren technische Verbesserungen hinsichtlich der Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit. Dazu zählen unter anderem elektronische Schließsysteme und Mobiltelefon-Verknüpfungen, welche heutzutage noch für die meisten Bike-Sharing-Konzepte unumgänglich sind (ebd.).

Auch aufgrund der zunehmenden Bike-Sharing-Projekte – jeden Monat wird ein Bike-Sharing-Programm auf der Welt gegründet (DEMAIO 2009) – sinkt die Nachfrage an nicht motorisierten Fahrrädern in Deutschland kontinuierlich. Das weisen auch die Verkaufszahlen von Fahrrädern in Deutschland vor, wie in der Einleitung bereits erwähnt wurde. Ein weiterer Faktor ist die steigende Nachfrage an E-Bikes. Diese haben nicht nur positive Auswirkung zur Treibhausgasreduzierung im Vergleich zu allen anderen motorisierten Transportmöglichkeiten, sie bieten auch den gesundheitlichen Nutzen des klassischen Fahrradfahrens durch eine, trotz Motor-Unterstützung nicht ausbleibende physische Aktivität (ebd.). E-Bikes und Sharing-Programme bieten sich zum einen in urbanen Räumen an, in denen somit eine nachhaltige Stadtentwicklung gefördert wird. Emissionen und Lärmbelästigungen werden reduziert und durch Sharing-Programme wird eine ständige Verfügbarkeit an E-Bikes gewährleistet (ZIV 2017). Zum anderen bieten sich Gebiete an, die von einem hügeligen und weitläufigen Relief geprägt sind, da die physische Anstrengung des Fahrradfahrens hier am stärksten ist und eine motorisierte Unterstützung entlastend wirkt (Jl et al. 2013). Demnach bietet sich das BRSC als geeigneten Standort eines Sharing-Programms an. Des Weiteren geht eine Etablierung eines E-Bike-Sharing-Konzeptes einher mit dem Grundgedanken des BRSC, als UNESCO-Modellregion zu fungieren und das Leben und Wirken von Menschen mit der Natur zu vereinen um *„gewachsene Kulturlandschaft zu schützen und nachhaltig weiterzuentwickeln“* (BRSC 2018).

Voraussetzungen

Voraussetzungen für ein E-Bike-Sharing sind neben den E-Bikes, Ladestationen und dementsprechend eine Stromzufuhr. Wie im Kapitel „Stromquellen“ beschrieben bietet sich hierfür eine autarke Stromzufuhr in Form von PV-Anlagen an. Insbesondere da ein großes Aufkommen an Fahrradfahrern meist kohärent mit der Verfügbarkeit an Solarenergie (Sonneneinstrahlung) verläuft (Jl et al. 2013) In der Studie *“Electric bike sharing: simulation of user demand and system availability”* untersuchen Jl et al. (2013) die Voraussetzungen einer Ladestation um stets die Verfügbarkeit an E-Bikes und geladenen off-board-Akkus (Akkus die vom E-Bike abgetrennt werden können) zu gewährleisten. Dabei werden einige Kriterien herausgearbeitet welche bei der Konzepterstellung von E-Bike-Sharing relevant sind. Bei vollautomatischen Ausleihstationen muss gewährleistet sein, dass die gebrauchten Akkus der Nutzer auch aufgeladen werden. Dies könnte als Teil des Check-Out Prozesses sichergestellt werden. Des Weiteren wird erläutert, dass zwischen schnellladenden Akkus, mit geringerer Speicherkapazität und eher langsamer ladenden Akkus, mit höherer Speicherkapazität unterschieden wird. Wenn also eine E-Bike-Sharing etabliert werden soll, hängt die Effizienz der Akkus vom Fahrverhalten der Nutzer ab, was wiederum vom Gebiet abhängig ist. Entscheidend für die Akkuverfügbarkeit ist nicht die Länge des Ausflugs, also die Auslastung des Akkus, sondern vor allem die Ausleihdauer des Akkus (Jl et al. 2013). Wichtig zur Bestimmung des geeigneten Akkus sind für

das jeweilige Nutzgebiet folgende Aspekte: Ausflüge pro Tag, durchschnittliche Länge des Ausfluges und Ausleihdauer.

Konzepte

Im Folgenden sollen zwei bereits existierende E-Bike-Sharingprojekte vorgestellt werden:

Donk-EE

Das „Donk-EE“ ist ein E-Lastenrad-Sharing in Köln, welches den Aufbau eines Partner-gestützten stationären Elektro-Lastenrad-Verleihsystems erstrebt. Es wird innerhalb der 15-monatigen Laufzeit bis zum 31.03.2018 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen der Klimaschutzinitiative gefördert. Der Fuhrpark von Donk-EE umfasst bis jetzt 50 Elektro-Lastenräder, die bei Projektpartnern verliehen werden. Diese sogenannten „Hosts“ sind demnach für das regelmäßige Aufladen des Akkus und die Pflege der E-Bikes zuständig. Als Host kommt jeder Betrieb infrage, der einen Abstellplatz für die Lastenräder, geregelte Öffnungszeiten und eine hohe Kundenzahl bieten kann und ausschließlich Öko-Strom bezieht. Dafür werden sie am Umsatz beteiligt. Die Standorte aller teilnehmenden Hosts werden in der projekteigenen „Donk-EE“-App gesammelt und so für potenzielle Kunden sichtbar. Das Ziel ist die Schaffung einer Transportalternative, besonders für Menschen, die nachhaltig und bequem Gepäck transportieren wollen ohne dafür auf ein Auto zurückgreifen zu müssen. Mit 3,50€ für die erste und 2,50€ für jede weitere Stunde ist das Lastenrad auch verhältnismäßig günstig. Das E-Bike hält eine Zusatzlast von 100kg aus und ist mit einer Reichweite von 75 km für den Kölner Stadtverkehr geeignet (DONK-EE 2017).

Sonne auf Rädern

Das im BRSC existierende E-Bike-Mobilitätskonzept „Sonne auf Rädern“ ist ein Netzwerk für Verleih- und Ladestationen, das in Berlin und Brandenburg operiert. Wie beim Donk-EE ist das Projekt Partner-gestützt, im Vergleich aber bereits gut etabliert. Interessierte Betriebe können sowohl den Verleih, als auch nur die Bereitstellung der Ladestation in Form handelsüblicher Steckdosen übernehmen. Die Anforderungen für die Teilnahme sind ein gut sichtbares Emblem, das auf die Partnerschaft mit „Sonne auf Rädern“ aufmerksam macht, Stellplätze sowie Stromzufuhr für die E-Bikes und die Auslage von Informationsmaterial über das Projekt. Auch hier sind alle teilnehmenden Betriebe über eine App sichtbar. Im Gegensatz zum Donk-EE ist regenerativ erzeugter Strom jedoch keine Voraussetzung. Bei den Verleihrädern des Projekts handelt es sich um Pedelecs vom Hersteller VICTORIA (Trekking-Räder). Der Akku ist ein Lithium-Ionen-Akku mit einer Kapazität von 300Wh (36V). Darüber hinaus verfügen sie über ein integriertes Display mit einer Auswahl verschiedener Modi und der Anzeige über Fahrteninformationen, wie Geschwindigkeit, Fahrtdauer und Kilometer (SONNE AUF RÄDERN 2016).

Fazit E-Bike-Mobilität

Wir konstatieren, dass E-Bike-Mobilität eine geeignete Möglichkeit darstellt, globalen, anthropogenen Umweltbelastungen entgegenzuwirken. Die Verwendung von Lithium-Ionen-Akkus empfiehlt sich aufgrund ihrer Langlebigkeit und ihrer Effizienz. Allerdings ist die Umweltverträglichkeit von Lithium noch nicht abschließend erforscht, weshalb ein höherer Fokus auf die steigende Bedeutung von

Lithium in der Umwelt gelegt werden sollte. Bei der Konzipierung sollte zudem großer Wert auf die verbindliche Abgabe defekter oder aufgebrauchter Akkus an möglichst nahegelegene Recycling-Standorte gelegt werden (vgl. Kapitel Umweltgefahren). Für das Recycling gilt des Weiteren, dass Hitzeprozesse vermieden und möglichst effiziente Methoden verwendet werden sollten, um den umweltschädlichen Abfall zu minimieren. Die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien für das Recycling könnte darüberhinaus einen signifikanten Anteil der potenziellen Umweltauswirkungen vermeiden (vgl. ebd).

Das H-Bike, als geläufigste Alternative zum E-Bike, beeindruckt vor allem durch die hohe Lebensdauer und die geringe Ladezeit von ca. 2 Minuten. Für das Erstellen eines Mobilitätsnetzwerkes aus H-Bikes muss jedoch eine Elektrolyse-Tankstelle berücksichtigt werden, die ihrerseits wieder aus regenerativen Energiequellen gespeist werden sollte. Dafür eignet sich auch eine PV-basierte Lösung. Allerdings werden die H-Bikes bislang nur von einer Firma aus Frankreich serienmäßig gebaut, weshalb die Anschaffungskosten von 7.500€ pro Bike noch horrend sind (vgl. Kapitel H-Bike).

Auch für die Ladestation gilt, dass erneuerbare Energien die Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase der E-Bikes reduzieren würden. Autarke PV-basierende Ladestationen kommen im BRSC infrage, da die Solarstromerzeugung im Projektgebiet bei 831kWh pro kWp pro Jahr liegt und somit die Mindestanforderung von 800kWh pro kWp pro Jahr erfüllt, um wirtschaftlich zu sein (vgl. Kapitel „PV-Leistung im BRSC“). Die Verwendung von Solarenergie erscheint zudem sinnvoll, weil sie von einer nachhaltigen Energiequelle stammt und deutlich günstiger als konventioneller Strom ist (7ct bei PV-Strom und 28ct bei konventionellem bei einer Fahrleistung von 100km, vgl. Kapitel „Modellrechnung zu PV-Stromkosten im BRSC“). Ein E-Bike-Sharing mit effizienter Akku- und Fahrradauslastung bedarf einer Untersuchung des Fahrverhaltens und der Höhe der Nachfrage im jeweiligen Nutzgebiet um so die höchste Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Diese Daten sind ebenfalls wichtig um wirtschaftliche PV-Ladestationen mit optimalen Eigenverbrauch konzipieren zu können. Mithilfe der berechneten Kennzahlen (PV-Leistung von ca. 130Wp pro E-Bike und Ladestations-Akku mit einer Kapazität von min. 517Wh pro E-Bike) können PV-Ladestationen jeglicher Größe entworfen werden (vgl. Kapitel „Fallbeispiel einer Ladestation mit regenerativer Energie“). Für die Planung eines nachhaltigen E-Mobilitäts-Netzwerkes mit einer zuverlässigen Energiequelle ist es nach Ji et al. (2013) sinnvoll eine Kombination von autarken solarbetriebenen und am Stromnetz angeschlossenen Ladestationen zu wählen (vgl. Kapitel „Stromquellen“). Im Sinne der Nachhaltigkeit könnte zusätzlich die Pflicht zu einem Ökostromanbieter für die Ladestationen mit Stromnetzanschluss eingeführt werden.

Quellen

ANONDI GMBH (Hrsg.), o.J.: Photovoltaik Betriebskosten. Online in Internet: URL: www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/photovoltaik-betriebskosten [Stand 09.02.18]

AKKUREDAKTEUR, 2015: Lithium-Ionen-Akku – 10 spannende Fakten zur Herstellung des Energiespeichers. Online im Internet: URL: www.akku.net/magazin/lithium-ionen-akku-zehn-spannende-fakten-zur-herstellung-des-energiespeichers/ [Stand: 29.01.18]

ALLGEMEINER DEUTSCHER FAHRRAD CLUB (Hrsg.), o.J.: Elektrorad-Typen. Online im Internet. URL: www.adfc.de/pedelecs/elektrorad-typen/elektrorad-typen [Stand: 27.01.2018]

BADEN-WÜRTTEMBERG STIFTUNG GGMBH (BWS) (Hrsg.), 2017: Mobiles Baden-Württemberg - Wege

der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität. Zusammenfassung der Studie, 28-31 S.

BARZEL, P., o.J.: Voll geladen. Online im Internet. URL:

www.adfc.de/files/2/135/Einblick_Pedelec-Akkus_Radwelt_3.14.pdf [Stand: 27.01.2018]

BUNDESVERBAND DEUTSCHER BANKEN E.V. (BDB) (Hrsg.), 2018: Währungsrechner. Online im Internet. URL: <https://bankenverband.de/service/waehrungsrechner/> [Stand 14.02.18]

BOYDEN, A., SOO., V. K. & DOOLAN, M. 2016: The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries. –Procedia CIRP 48: 188-193 S.

CAIRNS, S., BEHRENDT, F., RAFFO, D., BEAUMONT, C. & KIEFER, C., 2017: Electrically-assisted bikes: Potential impacts on travel behaviour. – Transportation Research Part A: Policy and Practice 103: 327-342 S.

CLASSMARKETS GMBH (Hrsg.), o. J.a: Photovoltaik-Anlage planen – Wie groß sollte die PV-Anlage sein?. Online in Internet: URL: www.immobilo.de/ratgeber/solaranlagen/photovoltaik/groesse-anlage [Stand 20.01.18]

CLASSMARKETS GMBH (Hrsg.), o. J.b: Photovoltaik Kosten: Unterhaltung der Photovoltaikanlage. Online in Internet: URL: www.immobilo.de/ratgeber/solaranlagen/photovoltaik/unterhalt-wartung [Stand 09.02.18]

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE, LANDESVERBAND BERLIN BRANDENBURG E. V., Berlin (DGS LV Berlin Brandenburg e. V.) (Hrsg.), 2014: Endbericht Netzwerk Elektromobilität Schorfheide Chorin 2014, 13 S.

DISTINKTIVE COMMUNICATION (Hrsg.), 2018: Products/ Light Mobility. Online im Internet. URL: <https://www.pragma-industries.com/products/light-mobility/> [Stand: 11.02.18]

DONK-EE, o.J.: Donk-EE - Dein Miet-Lastenrad für Köln. Online im Internet. URL: <https://donk-ee.de> [Stand: 23.01.2018]

GEBETSROITHER-GERINGER, E., STOLLNBERGER, R. & KÖSTL, M., 2017: Photovoltaik für Elektromobilität – eine GIS-gestützte Analyse zur Identifizierung und Bewertung des Photovoltaikpotenzials auf städtischen Freiflächen zur Versorgung von Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge. – REAL CORP 2017 – PANTA RHEI – A World in Constant Motion. Proceedings of 22nd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society: 401-412 S.

HUCKO, M., 2018: Gib Stoff mit Wasserstoff – Erstes Wasserstoff-Bike in Serie. Online im Internet. URL: <http://www.spiegel.de/forum/auto/erstes-wasserstoff-bike-serie-gib-stoff-mit-wasserstoff-thread-711439-1.html> [Stand 11.02.18]

Jl, S., CERRY, C. R., HAN, L. D. & JORDAN, D. A. 2013: Electric bike sharing: simulation of user demand and system availability. – Journal of Cleaner Production 85: 250-257 S.

LENGSFELD, D. (V.i.S.d.P.) (Hrsg.), o. J.: kWp - Kilowatt-Peak | Spitzenleistung. Online in Internet: URL: www.ngo-online.de/lexikon/kilowatt-peak-kwp-spitzenleistung [Stand 20.01.18]

MELLINO, S., PETRILLO, A., CIGIOTTI, V., AUTORINO, C., JANNELLI, E. & ULGIATI, S., 2017: A Life Cycle Assessment of lithium battery and hydrogen-FC powered electric bicycles: Searching for cleaner

solutions to urban mobility. – International Journal of Hydrogen Energy 42: 1830-1840 S.

MÜLLER, U.P., 2014: Mobile autark-regenerative Ladestation für Elektrofahrräder - Konzeption und Realisierung eines Prototyps sowie Evaluierung der Funktionalität im Feldversuch. Abschlussbericht Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH (EKSH)-Projekt, 1-25 S.

ROBINSON, B. et al., 2018: Lithium as an emerging environmental contaminant: Mobility in the soil-plant system. – Chemosphere 197: 1-6 S.

SCHMITZ, J., 2018: Durchschnittliche Photovoltaik-Preise 2018. Online im Internet: URL: www.solaranlagen-portal.de/photovoltaik/preis-solar-kosten.html#! [Stand 28.01.18]

SCHNABEL, P., o. J.: Lithium-Ionen-Akkus. Online im Internet: URL: www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0810281.htm [Stand: 09.02.18]

SEILNACHT, T., o.J.: Die leichtesten chemischen Elemente. Online im Internet: URL: www.seilnacht.com/Lexikon/schwerl.htm [Stand: 29.01.18]

SOLARENERGIE-FÖRDERVEREIN DEUTSCHLAND E.V. (SFV) (Hrsg.), 2018: Bundesweite Aufnahme der monatlichen Stromertragsdaten von PV-Anlagen. Online im Internet: URL: https://www.pv-ertraege.de/cgi-bin/pvdaten/src/region_uebersichten_auswahl.pl/kl [Stand: 23.01.18]

SOLARPOWER (Hrsg.), o.J.: Wann ist eine PV-Anlage wirtschaftlich sinnvoll?. Online im Internet: URL: www.solar.lucycity.de/index.php/wirtschaftlichkeit [Stand 20.01.18]

SOLETANK (Hrsg.), 2016: SOLeTANK: Ihre Ladestation für E-Bike, Smartphone & Co.. Online im Internet: URL: <http://sol-energy.at/soletank/> [Stand 08.02.18]

SONNE AUF RÄDERN, 2016: Elektrisch Radeln in Brandenburg. Online im Internet. URL: <http://www.sonne-auf-raedern.de> [Stand: 23.01 2018]

VANDEPAER, L., 2016: Environmental impacts of Lithium Metal Polymer and Lithium-ion stationary batteries. – Renewable and Sustainable Energy Reviews 78: 46-60 S.

HISELIUS, L. W. & SVENSSON, Å., 2016: E-bike use in Sweden e CO2 effects due to modal change and municipal promotion strategies. – Journal of Cleaner Production 141: 818-824 S.

WULF, O., o. J.: Die Leistung von Photovoltaikanlagen. Online in Internet: URL: www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/leistung [Stand 20.01.18]

ZWEIRAD-INDUSTRIE-VERBAND (ZIV) (Hrsg.), 2017: Zahlen - Daten - Fakten zum Fahrradmarkt in Deutschland 1. Halbjahr 2014 – 2017. Online im Internet. URL: www.ziv-zweirad.de/uploads/media/PK-EB-2017_ZIV-Statistik_29.08.2017_Presse.pdf [Stand: 27.01.2018]

From:
<https://vp1718.wiki.tu-berlin.de/> - **Zukunftsfähige Schorfheide-Chorin**

Permanent link:
<https://vp1718.wiki.tu-berlin.de/doku.php?id=vertiefung:aufgabe1:nachhaltigkeitskriterien-der-e-bike-mobilitaet>

Last update: **2018/06/04 21:45**

