

Mehr PV an Straße und Schiene durch Geschäftsmodelle für Bund und Länder

Dr. Birgit Haller, Dr. Ole Langniß, Elena Chvanova (Dr. Langniß Energie & Analyse)*,

Prof. Dr. Uwe Leprich (E&E Consult GbR)

*Silberburgstr. 112, 70176 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711 252919-24

E-Mail: birgit.haller@energieanalyse.net

Internet: www.energieanalyse.net

Zusammenfassung

In Deutschland verursacht der gesamte Verkehrssektor mit 146 Mio. t rund 20 % der bundesweiten CO₂-Emissionen. Insbesondere durch eine Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf emissionsärmere Träger wie Bahn und Schifffahrt sowie durch das Auslaufen des fossil betriebenen Verbrennungsmotors soll ein wesentlicher Beitrag zum Erreichen der Klimaziele nach dem Paris-Abkommen geleistet werden. Darüber hinaus ist die Minderung der Emissionen beim Betrieb von Straßen, Schienen und Wasserstraßen eine wichtige Stellschraube in der Hand von Bund und Ländern. Gleichzeitig wird der Bedarf an elektrischer Energie insbesondere entlang der Fernstraßeninfrastruktur durch den Hochlauf der Elektromobilität stark wachsen, was eine gute Voraussetzung für die Nutzung der großen Potentiale Erneuerbarer Energien (EE) an und auf der Verkehrsinfrastruktur ist. Als Flächen stehen u. a. Lärmschutzwände und -wälle, Autobahneinhausungen, Parkplatzüberdachungen, Gebäudedächer von Straßenmeistereien und Bahnhöfen sowie Freiflächen an Tunnelportalen und in der Umgebung von Schiffshebewerken und Schleusen zur Verfügung.

Bundes- und Landesbehörden sowie bundeseigenen Unternehmen wie der Autobahn GmbH eröffnen sich durch die dezentrale Stromproduktion wirtschaftliche Potenziale durch Eigenversorgung oder Direktvermarktung. In der Bevölkerung ist bei der Bestückung bestehender Bauwerke mit einer hohen Akzeptanz zu rechnen, da keine zusätzlichen Flächen in Anspruch genommen werden müssen. Auch bei der Neuerrichtung von Lärmschutzwänden und -wällen werden Erwartungen an die effiziente Ausführung staatlicher Aufgaben erfüllt, wenn diese von Anfang an einem weiteren Zweck – der Energiegewinnung – dienen. Die Mehrfachnutzung von Infrastruktur zieht jedoch komplexere Anforderungen sowohl bei Genehmigungen wie auch während des Betriebs nach sich. Erste Praxiserfahrungen wurden schon gemacht, die bundesweite Realisierung von Photovoltaik (PV)-Vorhaben an Verkehrsträgern steht aber noch aus.

Die Unternehmen Dr. Langniß Energie & Analyse, Becker Büttner Held, E&E Consult GbR und Maxsolar GmbH haben in einer Studie (Chvanova et al. 2021) im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und des Expertennetzwerks „Erneuerbare Energien“ des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) die technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die verstärkte Erzeugung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien entlang von Verkehrsinfrastruktur untersucht und konkrete Lösungen erarbeitet. Die Studie ist als Leitfaden für Betreiber

bundeseigener Verkehrsinfrastruktur angelegt und zeigt vielfältige wirtschaftliche Möglichkeiten der Umsetzungen von EE an Straße, Schiene und Wasserstraße. Sowohl die Technologien als auch die Geschäftsmodelle mit dem entsprechenden rechtlichen Rahmen stehen zur Verfügung, um kurzfristig in die Umsetzung zu gehen.

Die Grundlage lieferte die Bewertung bereits erprobter Technologiefelder und Anwendungen im Bereich der Erneuerbaren Energien. Aus 67 nationalen und internationalen Projekten und der Analyse von Best-Practice-Beispielen geht hervor: Unter Berücksichtigung von Flächenpotenzial, Technologiereife und Wirtschaftlichkeit sind Photovoltaik auf Lärmschutzeinrichtungen, Überdachungen, Gebäudedächern und Freiflächen, darüber hinaus die Solarthermie besonders vielversprechend. Strenge Auflagen für die Sicherheit des Verkehrs und für die Wartung sowie unklare Zuständigkeiten bei Genehmigung und Betrieb bilden aktuell die größten Hindernisse. Diese können aber überwunden werden, indem Erfahrungen aus Pilotprojekten zügig auf den weiteren Zubau übertragen werden.

Im interdisziplinären Dialog zwischen Energieökonomie, -recht und -politik sowie Projektpraxis wurden Geschäftsmodelle für PV entlang von Verkehrsträgern identifiziert. Das Konsortium schätzte gemeinsam die jeweiligen Realisierungschancen hinsichtlich gesetzlicher Anforderungen sowie des Wettbewerbs ein. Beteiligte Rollen und Akteure und der Wertschöpfungsprozess wurden beschrieben. Die bestehenden rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen wurden erörtert, entsprechende vertragliche Regelungen sowie vergaberechtliche Fragen behandelt.

Als geeignete Geschäftsmodelle der wirtschaftlichen Umsetzung ergeben sich insbesondere die Eigenversorgung von bundeseigenen Liegenschaften mit vor Ort erzeugter elektrischer Energie, Direktlieferverträge mit Verbrauchern in direkter räumlicher Nähe, regionale Direktvermarktung sowie die Verpachtung von Flächen. Bei der Eigenversorgung werden die größten Ersparnisse durch die Senkung der Strombezugskosten erzielt, sie ist die bevorzugte Option zur Nutzung des EE-Potenzials für den Betrieb von Autobahn- und Straßenmeistereien, Tunnelbetrieben, Verkehrsleitzentralen etc. Die Direktlieferung ist eine vielversprechende Option etwa für die Kooperation mit Tank- und Rastanlagen oder Betreibern von Ladeinfrastruktur. Bei der regionalen Direktvermarktung wird nachweislich regionaler EE-Strom an Verbraucher im räumlichen Umfeld unter Verwendung des öffentlichen Stromnetzes vermarktet. Über den betriebswirtschaftlichen Nutzen hinaus spielen auch Effekte wie Green Labelling oder der Aufbau von Vertriebskapazitäten eine Rolle. Die Flächenverpachtung ist attraktiv, wenn die Priorität auf der schnellen Erschließung von verfügbaren Flächen für die EE-Stromerzeugung liegt und Aufwände und Risiken der Anlagenerrichtung, des Betriebs und der Stromvermarktung auf Dritte verlagert werden sollen.

Alle Geschäftsmodelle bis auf die Eigenversorgung eignen sich auch für den Austausch von Energie zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern. Den verantwortlichen Behörden werden mit der Studie praktische Handlungsempfehlungen mit Umsetzungspfaden für die optimale Nutzung des erzeugten Stroms für Eigenverbrauch oder die Belieferung von Dritten an die Hand gegeben.

1. PV-Ausbauziele erfordern Doppelnutzung von Infrastruktur

In Deutschland verursacht der gesamte Verkehrsbereich mit 146 Mio. t rund 20 % der bundesweiten CO₂-Emissionen. Bis 2030 sollen die Emissionen durch den Verkehr laut Klimaschutzgesetz auf 85 Mio. t CO₂-Äquivalente sinken. Bis zum Jahr 2045 muss Deutschland treibhausgasneutral werden, der Verkehrssektor muss damit voraussichtlich seine Treibhausgasemissionen auf Null reduzieren, so die Stellungnahme des Umweltbundesamts „Bausteine für einen klimaverträglichen Verkehr“ (Hendzlik, et al., 2021). Das Umweltbundesamt zählt acht Handlungsfelder auf, in welchen politische Instrumente ausgestaltet werden müssen. Die Elektrifizierung von PKW und LKW etwa mit einer nationalen E-Quote ist dabei eine wesentliche Maßnahme. Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ rechnet bis 2030 mit 14 Millionen Elektro-PKW und bei LKW mit einer Elektrifizierung von 30 % (Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021). Für die Stärkung von ÖPNV sowie des Rad-, Fuß- und Schienenverkehrs sind weitere Maßnahmen notwendig. In Summe geht es um die Verlagerung des Verkehrs auf emissionsarme Antriebe, für die die Politik den entsprechenden Rahmen setzen muss.

Eine wichtige Stellschraube für die Emissionsreduktion in der Hand von Bund und Ländern ist die Umstellung der Versorgung des eigenen Betriebs von Straßen, Schienen und Wasserstraßen auf EE sowie die verstärkte Nutzung von Flächen in öffentlicher Hand für den Ausbau der EE. Der Einsatz von EE für den Betrieb eigener Liegenschaften wie Straßen- und Autobahnmeistereien, Verkehrsleitzentralen, Tunneln, Schiffshebewerken und Schleusen sowie von Bahnhöfen erfüllt neben dem längerfristigen betriebswirtschaftlichen Nutzen eine wichtige Vorbildfunktion des Staates.

Der Staat sollte in diesem Zusammenhang alle verfügbaren Flächenpotenziale verkehrsträgerübergreifend für die Erzeugung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen erschließen, um den größtmöglichen Beitrag zu den Flächenzielen beim Ausbau der EE zu leisten. In Erwartung eines stark anwachsenden Bedarfs an elektrischer Energie insbesondere entlang der Fernstraßeninfrastruktur durch den Hochlauf der Elektromobilität ist die Steigerung der dezentralen Erzeugungskapazität eine gemeinsame Aufgabe von Verkehrs- und Energiesektor. Da bundeseigene Flächen im Verkehrssektor aufgrund der meist unmittelbaren Nähe zum Verkehrsträger hohe Anforderungen an Verkehrs- und Betriebssicherheit aufweisen, liegt der Einsatz von Photovoltaik zu Energieerzeugung näher als die Windkraft, die größere Abstände erfordert.

Das Osterpaket 2022 der Bundesregierung sieht für PV ein Ausbauziel von 215 GW im Jahr 2030 vor. Das Klimaschutz-Sofortprogramm soll dem Grundsatz folgen, dass der EE-Ausbau im überragenden öffentlichen Interesse ist und der öffentlichen Sicherheit dient. Um die Ausbauziele zu erreichen, muss der jährliche Zubau zur vorhandenen Leistung von derzeit rund 5 GW auf 22 GW gesteigert werden. Würde man den Anteil von 20 % des Verkehrssektors an den THG-Emissionen auf entsprechende Sektorziele für den PV-Ausbau übertragen, müssten im Verkehrsbereich 4,4 GW pro Jahr an Leistung hinzukommen. Dieser politische Rahmen beinhaltet, dass neben der weiteren Erschließung von Freiflächen bebaute Flächen in deutlich stärkerem Maße als bisher mit PV belegt werden müssen.

Das Umweltbundesamt mahnt, dass Verkehrsrecht und Verkehrsplanung künftig den Klimaschutz in ihren Zielen widerspiegeln müssen. Verkehrsinfrastruktur sollte also doppelt genutzt werden und neben dem bisher vorrangigen Ziel, einen sicheren und flüssigen Verkehr zu ermöglichen, auch der Erzeugung elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen dienen. Der Anspruch an eine effizientere Flächennutzung schlägt sich auch in einer hohen Akzeptanz in der Bevölkerung nieder, wenn beispielsweise Lärmschutzwände mit PV-Modulen bestückt werden. (Nordmann et al., 2000). Dadurch kann mit geringen Konflikten bei der Umsetzung gerechnet werden. Entlang der Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße bietet sich ein großes Flächenpotenzial, das sich für die photovoltaische Stromerzeugung auf vielfältige Weise eignet. Als Flächen kommen Lärmschutzwände und -wälle, Fahrbahnüberdachungen und -einhausungen, Parkplatzüberdachungen, Gebäudedächer von Straßenmeistereien, anderen Betriebsstätten und Bahnhöfen sowie Freiflächen an Tunnelportalen und in der Umgebung von Schiffshebewerken und Schleusen in Betracht (Bild 1).



Bild 1: Lärmschutzwand mit integrierten PV-Modulen (Quelle: istock photos)

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) hat für Lärmschutzwälle, die in Deutschland eine Gesamtlänge von 1200 km aufweisen, ein technisches Potenzial für den jährlichen Stromertrag von rund 600 GWh abgeschätzt (Auerbach, et al., 2020). Geht man von einem Strombedarf von rund 40 TWh/a für 14 Mio. Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 aus (Schmitz, 2022), könnte mit dem Ertrag der Lärmschutzwälle 1,5 % dieses gesamten Bedarfs gedeckt werden. Das tatsächlich nutzbare Potenzial dürfte aufgrund wirtschaftlicher und standortspezifischer Einschränkungen niedriger sein – für die Schweiz wurde in einer aktuellen Studie ein technisches Potenzial für die PV-Energieerzeugung auf Lärmschutzwänden entlang von Nationalstraßen und Eisenbahnstrecken in Höhe von 438 GWh bzw. ein nutzbares Potenzial von 101 GWh ermittelt (Bundesrat, 2021) - für eine Einordnung im Hinblick auf künftige Erfordernisse geben diese Zahlen dennoch wichtige Hinweise. Die aktuellen Potenziale für PV auf Lärmschutzwänden, Parkplätzen und Raststätten in Deutschland werden derzeit auf der Basis von Geo- und Bauwerksdaten im Projekt „Potenziale für PV an Bundesfernstraßen“ im Auftrag der BASt untersucht.

2021 haben die BASt und das Expertennetzwerks „Erneuerbare Energien“ des BMDV das Beratungsunternehmen Dr. Langniß Energie & Analyse zusammen mit Becker

Büttner Held Rechtsanwälten, Prof. Uwe Leprich (E&E Consult GbR) sowie der Maxsolar GmbH als Praxispartner mit der Durchführung des wissenschaftlichen Forschungsprojekts „Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie“ beauftragt. Ziel der Studie war es, Lösungen zu erarbeiten, wie die in den Händen des Bundes liegenden Verkehrsinfrastrukturen stärker für die Erzeugung Erneuerbarer Energien (EE) genutzt werden können, um so einen Beitrag zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele zu leisten.

Von besonderem Interesse ist, die bereitzustellende Energie übergreifend durch die Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße, also möglichst im Verkehrssektor selbst zu nutzen, nicht zuletzt auch wegen der örtlichen Nähe. Das Forschungsteam entwickelte unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und rechtlicher Aspekte verschiedene Geschäftsmodelle mit Beteiligung des öffentlichen Sektors sowie Vorschläge, wie diese vertraglich und institutionell realisiert werden können. Darüber hinaus wurden gesetzliche Hemmnisse für die beschleunigte energie-wirtschaftliche Nutzung der Verkehrsinfrastrukturen identifiziert und Empfehlungen zur Anpassung des gesetzlichen Rahmens abgeleitet.

Die Studie bildet einen Leitfaden, der den Entscheidungsträgern in der Verwaltung der Verkehrsträger, insbesondere bei der Autobahn GmbH, praktische Handlungsempfehlungen mit Umsetzungspfaden liefert (Chvanova, et al., 2021). So hilft etwa ein Entscheidungsbaum, für eine gegebene Fläche die wirtschaftlich und administrativ am besten geeignete Form der Nutzung Erneuerbarer Energien zu finden. Die Nutzung des erzeugten Stroms für Eigenverbrauch oder die Vermarktung an Dritte, insbesondere auch zwischen Straße, Schiene und Wasserstraße, soll letztlich den verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien an den Verkehrsträgern befördern. In diesem Beitrag werden die wesentlichen Ergebnisse der Studie vorgestellt. Dabei werden insbesondere die Geschäftsmodelle beleuchtet, die im bestehenden rechtlichen Rahmen den Verantwortlichen in der Verwaltung der Verkehrsinfrastruktur einen breiten Handlungsspielraum eröffnen.

2. Bewertung von Chancen und Risiken

Das interdisziplinär arbeitende Forschungsteam ging im Projekt iterativ vor: Aktuelle Literatur, Presstexte, Studien zu umgesetzten Fallbeispielen sowie Experten-gespräche wurden ausgewertet, um das nutzbare Potenzial verschiedener Einsatzwege erneuerbarer Energien an Verkehrsträgern abzuschätzen, neben der Photovoltaik auch Solarthermie in der kommunalen Wärmeversorgung, Kleinwindkraft an Straßen, Geothermie zur Straßenheizung oder die Nutzung von Straßenbegleitgrün in Biomassekraftwerken. Unter Berücksichtigung der Faktoren Flächenpotenzial, Technologiereife und Wirtschaftlichkeit verspricht die Photovoltaik auf Lärmschutzeinrichtungen, Überdachungen sowie auf Dach- und Freiflächen von Verkehrseinrichtungen die größten Chancen für eine flächendeckende Umsetzung. Dies zeigen Beispiele aus Deutschland und dem Ausland. Für die Studie wurden 67 Projektbeispiele im nationalen, europäischen und weltweiten Kontext gesichtet, in welchen PV-Anlagen entlang von Fernstraßen- und Eisenbahninfrastruktur auf unterschiedliche Art und Weise eingesetzt oder erprobt werden. Es wurden abgeschlossene, laufende oder geplante Forschungs- und Entwicklungs- sowie

kommerzielle Projekte berücksichtigt. Als Best-Practice-Beispiele wurden diejenigen weiter ausgewertet, die sich in einzelnen Aspekten herausheben, z. B. durch Anlagengröße, hohen Energieertrag oder gute Wirtschaftlichkeit. Da hauptsächlich öffentlich verfügbare Informationen verarbeitet wurden, wurden vor allem Demonstrations- und Leuchtturmprojekte erfasst, mit Merkmalen wie einem durchdachten Versorgungskonzept, nutzbringender Zusammenarbeit zwischen öffentlichen und privaten Akteuren oder der Vereinbarkeit mit dem Naturschutz.

Die Best-Practice-Beispiele umfassen Projekte mit Schwerpunkten in Deutschland und der Schweiz sowie weiteren in Österreich, den Niederlanden, Großbritannien, Belgien, Slowenien, Italien, Südkorea und Zimbabwe. Sie verteilen sich auf folgende Anwendungen:

- Lärmschutzwälle und -wände (14 Best-Practice-Beispiele)
- Fahrbahnüberdachungen (3)
- Dach- und Freiflächen von Meistereien, Leitzentralen, an Tunneln (2)
- Dach- und Freiflächen von Rast- und Parkplätzen, Tankstellen (6)

Deutschland hat seit 2002 mehrere Projekte auf Lärmschutzeinrichtungen sowie auf Dach- und Freiflächen in Zusammenhang mit Rast- und Parkplätzen erfolgreich realisiert. Ein Beispiel ist die 1 MW_p-Anlage auf einem Lärmschutzwall an der Autobahn 94 bei Töging (Bild 2). Die PV-Anlage wurde 2007 von einem privaten Betreiber auf der Einschnittsböschung der Autobahn errichtet. Der 1 km lange Randstreifen ist auf 25 Jahre verpachtet. Das Pachtentgelt wird durch die Autobahndirektion Südbayern zugunsten der Bundesrepublik Deutschland vereinnahmt.



Bild 2: PV-Lärmschutzwall an der A 94 bei Töging (Quelle: Creative Commons, Nicole Grandl)

Die „grüne Energiehecke“ in Biessenhofen im Allgäu ist bautechnisch interessant. Die begrünbare Lärmschutzwand mit Solarmodulen auf 360 m Länge und einer Leistung von 90 kW_p besteht aus einem verzinkten Baustahlgehäuse und wird komplett mit dem eigenen, für den Bau nötigen Erdaushub befüllt; ohne Betonfundament. Material wird eingespart, die Lärmschuttlösung ist pflege- und wartungsarm. Ein besonderes Projekt ist die mit PV-Paneeelen bestückte Autobahneinhausung an der A 3 zwischen Goldbach und Hösbach. Die 2009 auf einer Länge von 2,7 km errichtete Anlage mit einer Leistung von 2,65 MW_p profitiert bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit von einer

hohen Einspeisevergütung für den Überschussstrom. Ein Teil des Stroms wird zur Einhausungsbeleuchtung verwendet.

Österreich hat bereits mehrere Liegenschaften der Fernstraßenverwaltung mit PV-Anlagen zur Eigenversorgung ausgestattet. In Klagenfurt werden seit 2020 die Autobahnmeisterei, die Verkehrsleitzentrale und drei bis zu 70 kW starke Elektroladestationen mit einer 200 kW_p-Aufdach-Anlage versorgt. Eine intelligente Steuerung verknüpft zudem einen Batteriespeicher und ein Notstromaggregat, so dass ein autarker Betrieb möglich ist. Der Betreiber ASFINAG verfolgt damit nicht nur eine größere finanzielle Unabhängigkeit von Strompreisschwankungen, sondern auch das Ziel eines treibhausgasneutralen Betriebs der Verkehrsinfrastruktur bis 2030. So sind auch bereits mehrere PV-Projekte an Tunnelportalen zur Eigenstromversorgung in Betrieb (Bild 3).



Bild 3: PV-Freiflächenanlage am Herzogbergtunnel, Österreich (Quelle: ASFINAG)

Ein Beispiel für gelungene Sektorkopplung zwischen Energie und Verkehr sowie ein integriertes Angebot von Dienstleistungen ist die 2020 in Betrieb gegangene Raststätte Braintree Electric Forecourt in Großbritannien. Hier werden Aufdach-PV-Anlagen auf Carports und Gebäuden, ein Netzwerk von Hybridsolarparks vom gleichen Betreiber sowie ein Batteriespeicher eingesetzt, um 36 Schnellladesäulen und die Raststätte mit Strom zu versorgen. Darüber hinaus wird Strom ins Netz eingespeist und Flexibilität bereitgestellt, um das Stromnetz stabil zu halten (Bild 4).



Bild 4: PV-betriebener Elektroladepark Braintree Electric Forecourt, Großbritannien (Quelle: Gridserve)

Die untersuchten Projekte zeigen, dass als Demonstration, Pilot oder Leuchtturm geförderte Vorhaben häufig sehr zukunftsweisende, teilweise mit Preisen ausgezeichnete Lösungen hervorbringen. Die aktive, meist finanzielle Beteiligung Dritter, etwa der ansässigen Kommune oder einer Energiegenossenschaft, erweist sich in mehreren Fällen als förderlich.

Besondere Anforderungen für PV an Straße und Schiene

Um dem dennoch schleppenden PV-Ausbau entlang der Verkehrsinfrastruktur auf den Grund zu gehen, wurden die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Anforderungen für Planung, Bau und Betrieb betrachtet, hier mit besonderem Fokus auf PV-Lärmschutzeinrichtungen.

Zunächst ein Blick auf die Historie der über 40 berücksichtigten Lärmschutzprojekte: Nachdem in der Schweiz und in den Niederlanden bereits in den 1990er Jahren mehrere kleinere Anlagen realisiert worden waren, kamen in Deutschland vor allem zwischen 2002 und 2012, einer Phase hoher Einspeisevergütungen, mehrere größere Projekte mit Nennleistungen bis 1250 kWp hinzu (Bild 5). Die meisten Anlagen liegen jedoch im Leistungsbereich unter 300 kWp. Die Anlagenkonzepte sind zwar technisch ausgereift, jedoch handelt es sich bei den realisierten Projekten im Vergleich zum insgesamt beobachteten Ausbau der Photovoltaik immer noch um Einzelfälle.

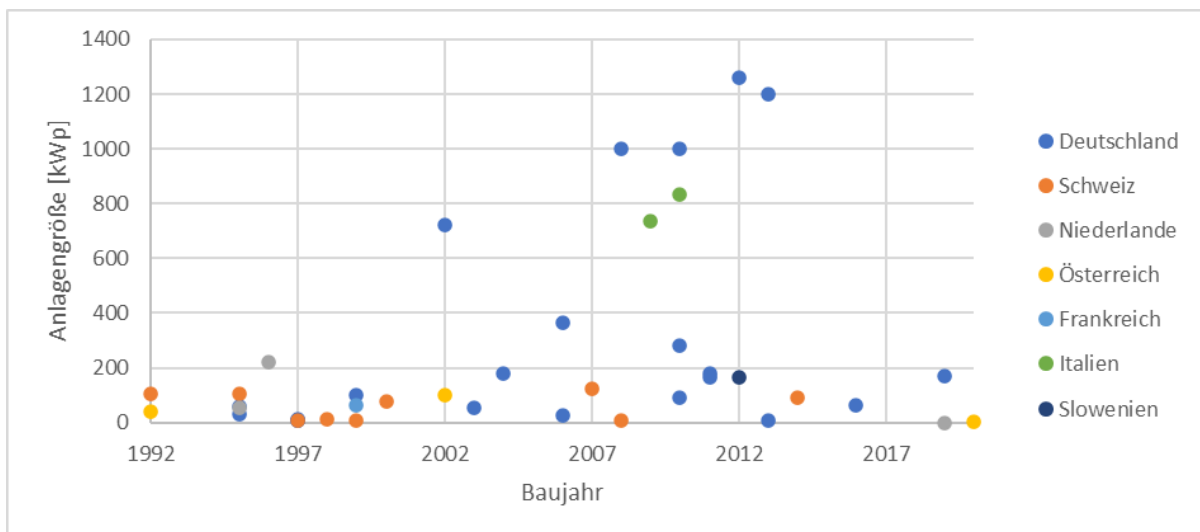


Bild 5: Anlagengrößen der untersuchten PV-Projekte auf Lärmschutzwänden und -wällen an Fernstraßen und Eisenbahnstrecken in Europa nach Baujahr. Jeder Punkt steht für eine Anlage.

Die Gesamtheit der Projektbeispiele wurde untersucht sowie Stellungnahmen von Experten aus der Fernstraßenverwaltung und des PV-Anlagenbaus einbezogen, um mit Hilfe von SWOT-Analysen einerseits Stärken und Schwächen der Anlagensysteme, andererseits begünstigende und hemmende äußere Faktoren für die Umsetzung darzustellen. Folgende Chancen und Herausforderungen lassen sich zusammenfassen (Tabelle 1): Die Photovoltaik lässt sich heute auf vielfältige Weise in Lärmschutzbauwerke integrieren, bestehende lassen sich nachrüsten. Blendfreie Oberflächen sind möglich, ebenso eine bifaziale Ausführung für beidseitigen Energie-

ertrag bei Nord-Süd-verlaufenden Wänden. Eine bessere Lärmabsorption als bei Standardlärmschutzwänden ist mittlerweile umsetzbar.

Tabelle 1: SWOT-Analyse für PV-Lärmschutzwände

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> - kein zusätzlicher Flächenverbrauch - Akzeptanz in der Bevölkerung - gebäudeintegrierte PV sowie bifaziale Module möglich - Ressourcenschonung durch integrierte Nutzung und Einsparung von Baumaterial 	<ul style="list-style-type: none"> - lange Genehmigungsverfahren - spezielle Anforderungen an die Komponenten (Module) und Errichtung, Wartung - Investitions- und Betriebskosten höher - technische Limitierung der Anlagengröße - erhöhte statische Anforderungen im Vergleich zu Standard-LSW
Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> - Stromnutzung in direkter Umgebung für kleine bis mittelgroße Stromverbraucher - Sektorkopplung - großes Nachrüstungspotenzial an Verkehrswegen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kein etablierter Standard - Verschmutzung der Module durch Verkehr - erhöhte Maßnahmen bzgl. Blendung gefordert

Spezielle Anforderungen an Verkehrssicherheit und Zugänglichkeit während Errichtung und Betrieb (Tabelle 2) stellen die Wirtschaftlichkeit nicht grundsätzlich in Frage, jedoch kommt es aufgrund fehlender Standards zu längeren Planungs- und Genehmigungszeiten als etwa bei Freiflächenanlagen. Erfahrungswerte sind für Lärmschutzwände 6 - 12 Monate für die Planung, 1 - 2 Jahre für die Genehmigung und 2 - 6 Monate für die Vergabe (1 - 5 Monate, 6 - 12 Monate, 1 - 2 Monate bei Freiflächenanlagen). Bei Neuanlagen sind ggf. Vorgaben der Bauordnung zu beachten. Bei Nachrüstung sind hingegen keine Baugenehmigungen bzw. Bauleitplanverfahren erforderlich. Die Betriebskosten liegen mit 12 – 25 €/kW_p und Jahr um den Faktor Zwei bis Drei über den Werten für Freiflächenanlagen. Die Mehrkosten für Investition und Betrieb der PV-Ausstattung bei zusätzlichem Nutzen ohne weiteren Flächenverbrauch sind insgesamt gegenüber einer Standard-Lärmschutzwand als gering zu betrachten.

Aufgrund der linienförmigen Ausprägung der Anlage ist es wichtig, die elektrische Energie ortsnah abzuleiten, sei es für Eigenverbrauch oder Netzeinspeisung. Lange Leitungstrassen führen zu schlechter Wirtschaftlichkeit. Dabei sind die Chancen für die ortsnah Nutzung gut, wenn bereits bestehende technische Einrichtungen wie z.B. Verkehrsleitzentralen beliefert oder wenn kommunale oder gewerbliche Betriebe in der Umgebung als direkte Abnehmer in das Nutzungskonzept einbezogen werden. Durch den Ausbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität entlang des Fernstraßennetzes wächst das Potenzial für die Sektorkopplung, d.h. weitere dezentrale Verbraucher kommen hinzu.

Sowohl bei der Planung als auch beim Betrieb sind unklare Zuständigkeiten ein Problem, da es bei der Fernstraßenverwaltung noch wenig Erfahrung mit der gleichzeitigen Nutzung von Verkehrsinfrastruktur für die Energieerzeugung gibt. Die Realisierung weiterer Projekte sollte vom Gesetzgeber und den nachgelagerten Organen deshalb als Chance genutzt werden, hier aktiv auf den verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien einzuwirken: Im Zuge von Änderungen und Sanierungen

an der Fahrbahn sollte der straßenerhaltenden Behörde eine Nachrüstpflicht zur energetischen Nutzung von Lärmschutzeinrichtungen vorgeschrieben werden.

Tabelle 2: Besondere Anforderungen an die Sicherheit bei Errichtung und Betrieb von PV-Lärmschutzwänden sowie Lösungsmöglichkeiten.

Anforderung	Beschreibung	Mögliche Maßnahmen
Blendung	je nach Ausrichtung der Module an den LSW von kritisch bei z.B. nachgerüsteten Modulen bis absolut unkritisch einzustufen	Blendgutachten erforderlich
Kabelführung	entlang oder unter Straße besonders zu beachten	in Kabelkanälen, evtl. Installation von Kabelschächten unter der Straße hindurch notwendig
Bruch / statische Belastbarkeit	bei starken Umwelt-verhältnissen (Orkan, Hagel, Schneesturm) zu beachten;	bauaufsichtliche Zulassung der Komponenten empfohlen
Verkehrssicherheit bei Wartungsmaßnahmen	erhöhter Aufwand, vor allem bei Montage und Wartungsarbeiten kritisch einzustufen	Sperrung eines Fahrstreifens häufig notwendig
Brandsicherheit	möglicherweise erhöhtes Brandrisiko je nach Materialien der LSW	Brandschutzgutachten

Schnelle Umsetzung möglich: Parkplätze mit PV

Gegenüber den noch zu bewältigenden Herausforderungen bei Lärmschutzbauwerken bieten PV-Carports, also mit aufgeständerten PV-Modulen belegte größere Parkplatzflächen, schnelle Realisierungschancen. Parkplätze sind praktisch "Totflächen", welche einer Zweitnutzung zugeführt werden sollten. Es bietet sich hier vor allem die Kombination mit Ladeeinrichtungen für die Elektromobilität an. Bei limitierter Anschlusskapazität bzw. um den Bedarf an teurem Netzausbau zu reduzieren, können solche Lösungen auch mit Lastmanagement und Energiespeichern optimiert werden.

Ein erster Schritt wäre auch hier eine Betreiberpflichtung auf Autobahnrastplätzen, bestehende Parkflächen zumindest teilweise mit PV-Carports auszustatten. Eine Solarpflicht für Parkplätze ab 35 Stellplätzen haben unter anderem Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen bereits in ihre Landesbauordnungen aufgenommen. Aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit durch Kombination des Carports mit einer Ladeeinrichtung wird eine solche Verpflichtung gleichzeitig zum Ausbau des Ladesäulenangebots führen. Nachteilig ist, dass möglicherweise einzelne Parkplätze aufgrund des größeren Flächenbedarfs der Carports wegfallen. Dem Flächenmehrbedarf kann durch eine Überdachung über mehrere Parkplätze oder mit Verbauung der Stützen im Bereich der Trenninseln teilweise entgegengewirkt werden. Dazu müssen einzelne Standorte individuell betrachtet werden.

3. Geschäftsmodelle für den Bund als Betreiber von EE-Anlagen

Bei den untersuchten Projekten wird der erzeugte Strom bisher vorwiegend in das öffentliche Netz eingespeist. In Deutschland wird dem Betreiber von Neuanlagen die Einspeisung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. In einzelnen Projekten werden Abnehmer in der direkten Nachbarschaft durch den Betreiber versorgt, oder der Strom wird im Contracting vermarktet. Die Eigenversorgung der ent-

sprechenden Liegenschaften kommt im Fall von Dachflächen in einigen Fällen zum Einsatz.

Da die Einspeisevergütung sinkt und gleichzeitig die Strombezugskosten aus dem Netz steigen, gewinnen Geschäftsmodelle an Attraktivität, die sowohl auf das Gemeinwohl als auch auf den Strommarkt ausgerichtet werden: Neben der Eigenversorgung von Liegenschaften des Bundes mit EE kommen Direktlieferverträge, regionale Direktvermarktung und die Verpachtung von Flächen ins Spiel. Die Entwicklung von EE-Projekten am Verkehrsträger Straße berührt eine Vielzahl rechtlicher Fragestellungen. Dabei sind zunächst die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung von Anlagen näher zu betrachten. Es sind einerseits den Anforderungen des Bundesfernstraßengesetzes, andererseits den baurechtlichen Anforderungen Genüge zu tun.

Als zentrale Akteure werden in der Studie die ausführenden Behörden und Unternehmen der öffentlichen Hand betrachtet. Maßgebliche Aufgaben für die Bundesfernstraßen übernimmt hier die Autobahn GmbH, die im Auftrag des Bundes für Planung, Bau, Betrieb, Erhaltung, vermögensmäßige Verwaltung und Finanzierung der Autobahnen zuständig ist. Im Rahmen dieses Verantwortungsbereichs ist der gesetzliche Spielraum für den wirtschaftlichen Einsatz von EE-Anlagen durch die Autobahn GmbH vorhanden. Für den Betrieb sind Rechte und Pflichten zu beachten, die sich danach richten, welche der möglichen Rollen – Betreiber einer Erzeugungsanlage, Energieverbraucher, Energieversorgungsunternehmen oder Energiehändler – der Bund selbst übernimmt oder ob er nur die Fläche bereitstellt.

Eigenversorgung

Der Begriff der Eigenversorgung beschreibt die Nutzung von selbst erzeugtem Strom durch den Betreiber der Stromerzeugungsanlage vor Ort (Bild 6). Die wirtschaftliche Attraktivität des Geschäftsmodells beruht insbesondere auf dem teilweisen oder vollständigen Entfallen von EEG-Umlage, Netzentgelten, Strom- und Mehrwertsteuer sowie der sonstigen netzseitigen Umlagen (Konzessionsabgabe, KWK-Umlage, Offshore-Haftungsumlage, §19 StromNEV-Umlage, Umlage für abschaltbare Lasten).

Ziel ist ein möglichst hoher Eigenverbrauch bei gleichzeitig minimiertem Reststrombezug aus dem Netz. Der Betreiber reduziert direkt Treibhausgasemissionen gegenüber dem konventionellen Strommix in Deutschland. Eine am Lastprofil ausgerichtete Installation der PV-Anlage wie auch die Optimierung der Last hin zu hohem Eigenverbrauch entlastet darüber hinaus das vorgelagerte Verteilnetz.

Neben ausreichender Fläche sind auch rechtliche Voraussetzungen zu beachten. Der rechtliche Rahmen ergibt sich aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz. Die gesetzliche Definition findet sich in § 3 Nr. 19 EEG 2021 und enthält die Voraussetzungen „Personenidentität, keine Netzdurchleitung und unmittelbarer räumlicher Zusammenhang“. Ferner ist bei der Eigenversorgung die Zeitgleichheit von Stromerzeugung und Stromverbrauch im 15-Minuten-Intervall zu erfüllen (§ 62b Abs. 5 EEG 2021).

Die Meldepflichten eines Eigenversorgers ergeben sich aus § 74a EEG 2021. Initial ist eine Basisdatenmeldung fällig (§ 74a Abs. 1 EEG 2021) und sodann jährlich eine Strommengenmeldung an den zuständigen Netzbetreiber zur Abrechnung der EEG-Umlage. Deren Meldezeitpunkt (28.2. oder 31.5.) ist abhängig davon, ob dritte

Letztverbraucher durch den Eigenversorger mit Strom beliefert werden (§ 61j Abs. 1 Ziff. 3 i. V. m. § 74 EEG 2021).

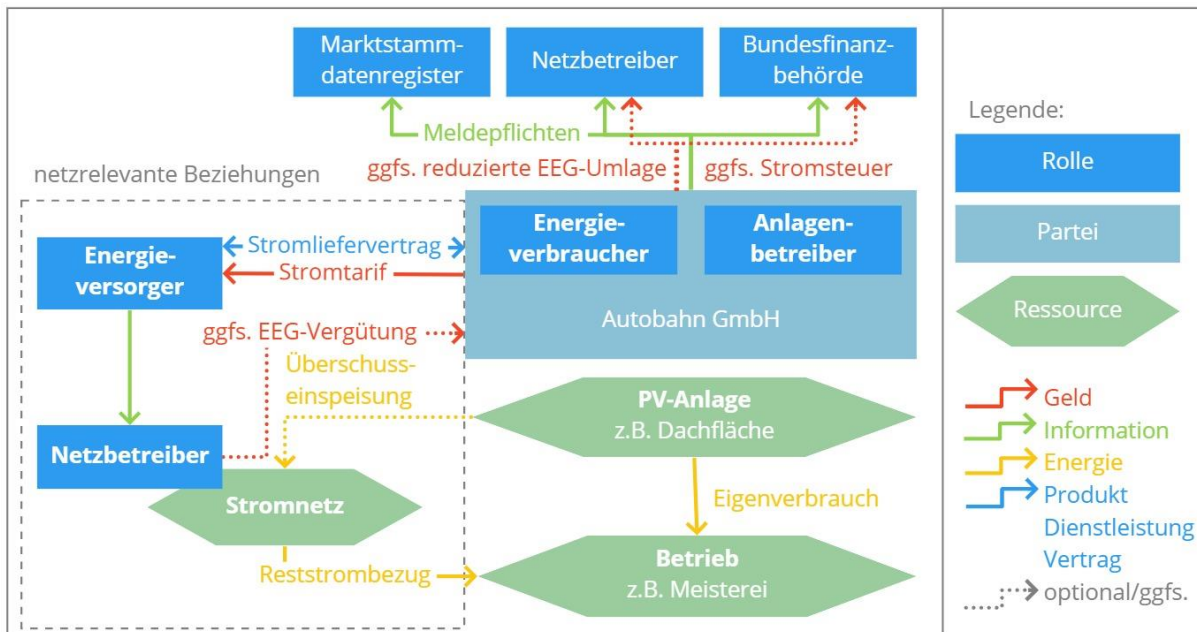


Bild 6: Rollen und Beziehungen des Geschäftsmodells „Eigenversorgung“ am Beispiel der Autobahn GmbH als Betreiber und Verbraucher. Netzrelevante Beziehungen (links) sind zu beachten, wenn Einspeisung und/oder Reststrombezug stattfinden.

Die Lösung bietet sich etwa für den Betrieb von Straßen- und Autobahnmeistereien, Betriebsgebäuden, Tunneln in Zusammenhang mit Aufdach-PV- oder vor Ort befindlichen Freiflächen-PV-Anlagen an. Beispielsweise folgen die PV-Projekte der ASFINAG in Österreich dem Konzept der Eigenversorgung. Aufdachanlagen mit Leistungen von 100, 150 bzw. 200 kW_p versorgen die Autobahnmeistereien Lieserhofen, Villach und Klagenfurt, inklusive eigener E-Fuhrparks. Die Straßenmeisterei Wieselburg nutzt den Strom einer 5 kW_p-PV-Lärmschutzwand für den Straßendienst. Betrieb und Sicherheitstechnik der Tunnel Manzenreith, Rustenfeld und Katschberg werden aus PV-Anlagen auf den Tunnelportalen versorgt (Nennleistungen 120, 130 bzw. 180 kW_p).

Direktlieferung

Eine Direktlieferung liegt vor, wenn der Betreiber einer Stromerzeugungsanlage einen Verbraucher mit Strom beliefert, der entweder Nutzer innerhalb derselben Liegenschaft (energiewirtschaftliche Kundenanlage) ist oder über eine Direktleitung mit der Erzeugungsanlage verbunden ist, ohne dass das öffentliche Stromnetz verwendet wird. Durch die Vermeidung der Netznutzung können netzbezogene Entgelte und Abgaben eingespart werden. Betreiber und Verbraucher können über einen Direktliefervertrag frei über den Strompreis – abgesehen von gesetzlichen Abgaben und Umlagen – verhandeln. Der EE-Anlagenbetreiber wird selbst zum Energieversorgungsunternehmen, womit mehrere energiewirtschaftliche Regelungen und Pflichten zu erfüllen sind (Bild 7).

Durch die Veräußerung des Stroms an einen ausgewählten Abnehmer auf Basis eines festen Vertragspreises kann der Bund die Wirtschaftlichkeit von Neuanlagen mit

höheren Baukosten (Überdachungen, Lärmschutz) absichern. Der erzeugungsnahe Verbrauch von Energie entlastet Netze, minimiert Übertragungsverluste, fördert regionale Wertschöpfung und die Akzeptanz für die EE-Anlagen vor Ort. Der Kunde reduziert Treibhausgasemissionen.

Bei der Direktlieferung ohne Nutzung eines Netzes fallen weder Netznutzungsentgelte noch netzseitige Umlagen (KWK-, StromNEV-, Offshore- und Abschaltbare Lasten-Umlage) an. Bezüglich der Stromsteuer kann auch bei der Direktlieferung in der Regel eine Befreiung genutzt werden. Diese wäre im Einzelfall zu prüfen. Sollte die Direktleitung auf öffentlichen Verkehrswegen verlegt werden, wird in der Regel die an die Kommune vor Ort zu entrichtende Konzessionsabgabe fällig. Die EEG-Umlage und die Umsatzsteuer fallen an.

Bei Pilotprojekten in diesem Segment ist abzuwägen, ob Renditeerwartungen oder zunächst die Signalwirkung auf regionaler und Bundesebene im Vordergrund stehen. Verwaltungsabläufe können mit steigender Anzahl von Projekten effizienter gestaltet werden, Kostensenkungen durch Lerneffekte bei Umsetzung und Betrieb sowie durch Skaleneffekte können mittelfristig die Wirtschaftlichkeit erhöhen. Die Autobahn GmbH könnte an attraktiven Standorten potenzielle Kunden werben und beispielsweise Energiepartnerschaften mit Kommunen oder Unternehmen eingehen. Die Zertifizierung des gelieferten PV-Stroms mittels Herkunftsnachweis (bei nicht geförderten Anlagen i. S. d. § 79 EEG 2021) oder über eine entsprechende Kennzeichnung in der Abrechnung als ausgewiesener regionaler Grünstrom ist bei Bedarf durch den Kunden möglich.

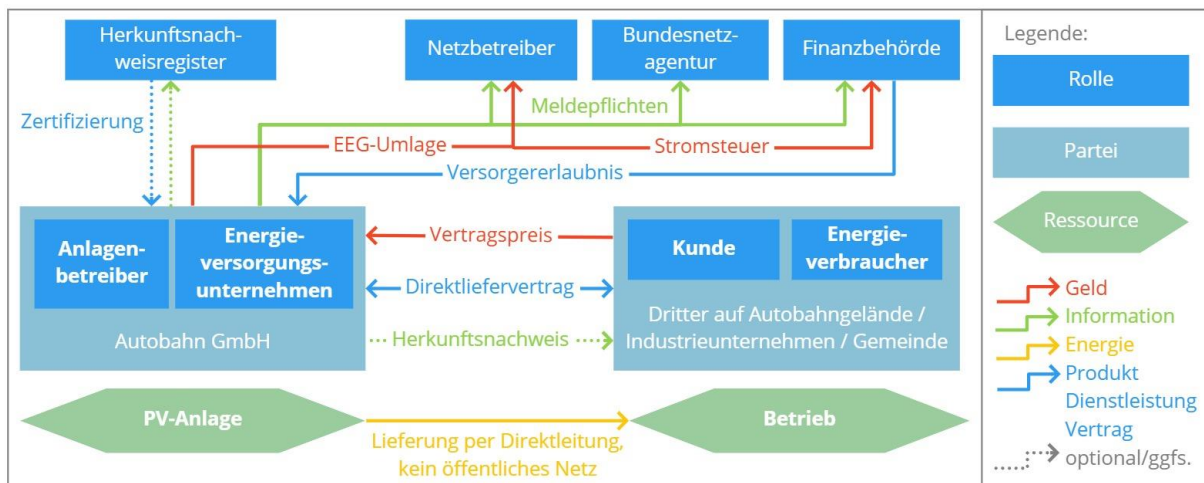


Bild 7: Rollen und Beziehungen des Geschäftsmodells „Direktlieferung“ am Beispiel der Autobahn GmbH als Betreiber und Versorger.

Die Lösung bietet sich an für PV-Anlagen auf Flächen der Autobahn GmbH, insbesondere Überdachungen, in Zusammenhang mit Betreibern von Raststätten, von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge oder anderen Konzessionsbetrieben. Für PV-Anlagen auf Lärmschutzeinrichtungen sollte eruiert werden, ob es etwa gewerbliche oder kommunale Abnehmer in unmittelbarer räumlicher Umgebung gibt, die über eine Direktleitung versorgt werden können. Ein ausgezeichnetes Praxisbeispiel ist die Lärmschutzwand mit integrierter Photovoltaik an der B 12 bei Neuötting. Der Betreiber Energiegenossenschaft Inn-Salzach liefert rund die Hälfte des erzeugten Stroms direkt

an die benachbarte Montessori-Schule, die in der Hand eines privaten Trägervereins ist, der Rest wird ins öffentliche Netz eingespeist.

Regionale Direktvermarktung

Bei der regionalen Direktvermarktung wird nachweislich regionaler EE-Strom an Verbraucher im räumlichen Umfeld unter Verwendung des öffentlichen Stromnetzes vermarktet. Dazu müssen standort- und kundenspezifische Bedingungen gegeben sein: Gibt es potenzielle ortsnahe Stromabnehmer und sind gleichzeitig die Bedingungen für eine Direktlieferung ungünstig, kann dennoch ein Stromliefervertrag mit dem Abnehmer angestrebt werden, der die regionale Komponente hervorhebt. Die Vorteile der dezentralen Energieversorgung gelten auch hier.

Besteht Anspruch auf EEG-Förderung, muss fallspezifisch geprüft werden, ob die freie Vermarktung als Regionalstrom oder die geförderte Direktvermarktung in Verbindung mit Regionalnachweisen i. S. d. § 79a EEG 2021 höhere Erlöse verspricht. Für den Stromkunden kann der über entsprechende Zertifikate (Herkunftsnachweise bei nicht geförderten Anlagen i. S. d. § 79 EEG 2021, Regionalnachweise für geförderte Anlagen i. S. d. § 79a EEG 2021) oder über eine entsprechende Kennzeichnung in der Abrechnung ausgewiesene regionale Grünstrom attraktiv sein, wenn er dies zum Beispiel gegenüber seinen Stakeholdern hervorheben möchte.

Die Vermarktung kann über einen Stromhändler erfolgen, der auf regionale Quellen bei der Stromversorgung setzt und seinen Kunden einen entsprechenden Regionalstromtarif anbietet (Bild 8).

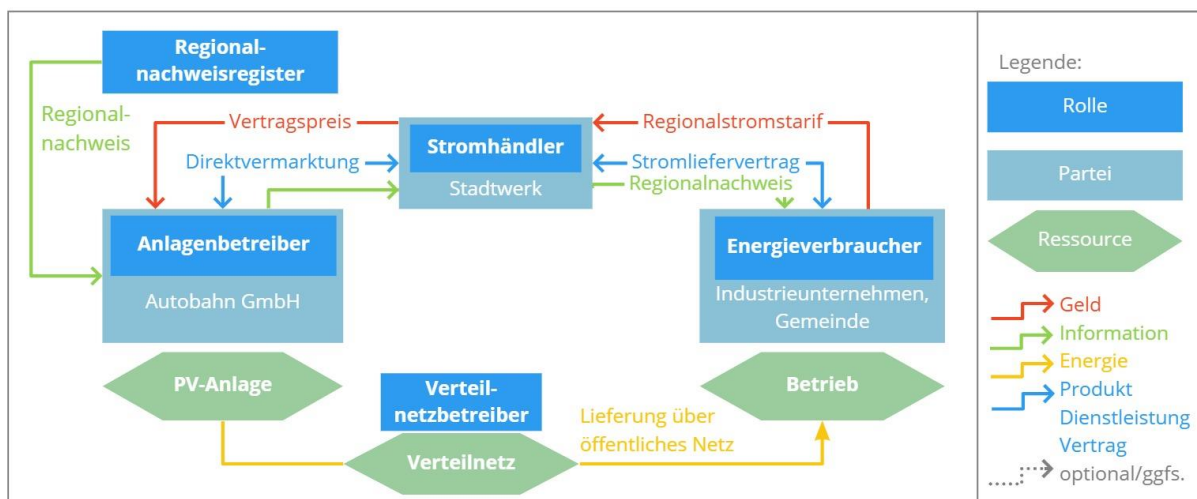


Bild 8: Rollen und Beziehungen des Geschäftsmodells „Regionale Direktvermarktung“ am Beispiel der Autobahn GmbH als Betreiber mit Vermarktung über ein Stadtwerk.

Die Autobahn GmbH kann aber auch selbst als Stromlieferant gegenüber Gewerbe oder anderen Verbrauchern auftreten.

Die Lösung bietet sich für die Autobahn GmbH für alle Arten von EE-Erzeugungsanlagen an. Ein Pilotprojekt könnte an einem Standort mit entsprechenden Voraussetzungen (Lärmschutzeinrichtung, benachbarte Kommune) umgesetzt werden, um Lerneffekte für Planung, Genehmigung, Vertragsgestaltung, Betrieb und Verwaltung bei allen beteiligten Parteien zu erzielen. Ein konkretes Projektbeispiel ist

die PV-Anlage auf der LSW in Münsingen, Schweiz. Der erzeugte Strom wird an der Ökostrombörse der „Energienstadt“ Münsingen gehandelt.

Flächenverpachtung

Die Flächenverpachtung beinhaltet, dass ein privater oder öffentlicher Betreiber eine PV-Anlage auf einer vom Bund gegen ein Pachtentgelt bereitgestellte Fläche errichtet und entweder den Bund selbst, vertreten z.B. durch die Autobahn GmbH (Variante 1) oder Dritte (Variante 2) mit dem erzeugten Strom beliefert. Variante 1 wird auch häufig als Contracting dargestellt und kommt mit umgekehrten Rollen der Direktlieferung nahe. Bei Variante 2 kommen für den Anlagenbetreiber alle anderen Vertriebsoptionen ins Spiel (Eigenverbrauch, Direktlieferung, Direktvermarktung, Netzeinspeisung).

Das Geschäftsmodell der Flächenverpachtung ist attraktiv, wenn es primär darum geht, zur Verfügung stehende Flächen schnell für die EE-Stromerzeugung zu erschließen und die wirtschaftlichen Risiken der Errichtung und des Betriebs von Energieerzeugungsanlagen zu verlagern.

Für die Umsetzung bietet sich beispielsweise die Verpachtung von Parkplatzüberdachungen an Investoren für die Errichtung und den Betrieb von PV-Aufdachanlagen an. Der erzeugte Strom wird idealerweise vor Ort für Ladeinfrastruktur, Beleuchtung und ggf. Zwischenspeicherung in einem Batteriespeicher und Netzeinspeisung verwendet.

Die PV-Anlage auf der Autobahneinhausung an der A3 zwischen Goldbach und Hösbach ist ein Praxisbeispiel mit Pilotcharakter. Die Autobahndirektion Nordbayern verpachtet das Dach der Einhausung an die Betreibergesellschaften Elektrizitätswerk Goldbach-Hösbach GmbH & Co. KG und A3 Solargesellschaft mbH. Der Strom wird vor Ort für die Fahrbahnbeleuchtung verwendet und ins Netz eingespeist.

Um die Wirkung von Flächenvergaben zu steuern, kann die Autobahn GmbH Ausschreibungen zur Verpachtung so ausgestalten, dass der Pächter verpflichtet ist, innovative Technologien bei der Stromerzeugung sowie eine ortsnahe Vermarktung einzusetzen. Im Idealfall erklärt sich eine ortsansässige Kommune oder ein Unternehmen bereit, die Anlage im Rahmen einer langfristigen, nachhaltigen Energiepartnerschaft mit der Autobahn GmbH zu errichten und zu betreiben. Nachteil der Vergabe ist, dass keine eigenen Erfahrungen bei Umsetzung und Betrieb von EE-Projekten an Verkehrsträgern erworben werden. Wissenserwerb und Kostensenkungen durch Skaleneffekte sowie wirtschaftliche Vorteile bleiben beim Anlagenbetreiber.

Verkehrsbetrieb und Energieversorgung gemeinsam verantworten

Alle Geschäftsmodelle bis auf die Eigenversorgung eignen sich bei entsprechenden räumlichen und technischen Voraussetzungen für den Austausch von Energie zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern. Die Geschäftsmodelle lassen sich je nach örtlichen Gegebenheiten miteinander kombinieren. Der Eigenversorger kann zum Beispiel überschüssige Mengen per Direktlieferung an andere Stromverbraucher vor Ort veräußern, oder er speist in das öffentliche Netz ein und geht in die (ggfs. geförderte) Direktvermarktung. Die wirtschaftliche Attraktivität der einzelnen

Geschäftsmodelle beruht auf der möglichen Einsparung von Strompreisbestandteilen (Tabelle 3). Bei der Eigenversorgung profitiert der Bund selbst vom günstigen Strombezugspreis, bei der Direktlieferung ist er in einer günstigen Verhandlungsposition gegenüber dem zu beliefernden Kunden. Auch bei dem angekündigten Wegfall der EEG-Umlage bleiben die Vorteile erhalten.

Tabelle 3: Strompreisbestandteile unter verschiedenen Geschäftsmodellen für das 1. Halbjahr 2022 in ct/KWh.

	Eigenversorgung	Direktlieferung	Direktvermarktung
Beschaffung & Vertrieb¹	5,00	5,00	5,00
EEG-Umlage	1,49 ²	3,72	3,72
Netznutzungsentgelte			7,91
Netzseitige Umlagen			1,24
Konzessionsabgabe		1,66 ⁴	1,66
Stromsteuer	entfällt i.d.R. ³	2,05 ³	2,05
Mehrwertsteuer		2,36	4,10
Summe	6,49	14,79	25,68

¹Annahme für PV pauschal. Fraunhofer ISE gibt Stromgestehungskosten für PV von 3,12 – 11,01 ct/kWh an, abhängig von Anlagentyp und -größe (Kost, et al., 2021). ²reduzierte EEG-Umlage (40 %), wenn Verbrauch durch Dritte auszuschließen, unter Bagatellgrenze oder abgerechnet. ³ Befreiung von Stromsteuer im Einzelfall mit Hauptzollamt abzustimmen, auch bei Direktlieferung möglich. ⁴ fällt bei Nutzung öffentlicher Verkehrswege an.

Die Flächenverpachtung, bei der der Bund nur von den Strompreisvergünstigungen profitiert, wenn er selbst beliefert wird, wird in unterschiedlicher Form bereits praktiziert, dies zeigen zahlreiche Beispiele. Ein Grund ist, dass hier bisher rechtlich der größte Spielraum gesehen und der betriebliche Aufwand mit dem entsprechenden wirtschaftlichen Risiko bevorzugt auf Dritte übertragen wurde.

Um im Gegensatz dazu den eigenen Verantwortungsbereich im Verkehr auf die Energieversorgung und -bereitstellung an Dritte auszuweiten und entsprechende Synergien zu nutzen, könnte der Bund den Aufbau eigener PV-Kapazitäten für die Vermarktung zum Baustein einer eigenen Ausbaustrategie machen und diese konsequent verfolgen. In diesem Sinne wird in der Studie ein Managementkonzept vorgestellt, das die Geschäftsmodelle mit aktiver Betreiberrolle unter einem Dach vereint: Die Führung eines eigenen Bilanzkreises. Wenn etwa die Autobahn GmbH alle bundeseigenen Erzeuger und Verbraucher in einem Bilanzkreis „Autobahn“ erfasst und bewirtschaftet, ermöglicht dies Kosteneinsparungen durch Saldierung von Erzeugung und Verbrauch sowie erhöhte Prognosegüte und eröffnet zusätzliche Perspektiven im Hinblick auf Sektorkopplung und sich schnell ändernde regulatorische Rahmenbedingungen. Für weitere Ausführungen sei auf die Studie verwiesen.

4. Fazit: Technischer und rechtlicher Spielraum – administrative Hürden überwindbar

In Chvanova et al. 2021 werden Handlungshilfen für den Bund vorgestellt, um die Erzeugung und Nutzung von PV-Strom rechtskonform und dabei unternehmerisch zu gestalten. Im Hinblick auf die dringend notwendige Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien werden Bundes- und Landesbehörden sowie bundeseigenen Unternehmen wie der Autobahn GmbH damit deutlich breitere Möglichkeiten zur aktiven Teilnahme am Energiemarkt dargestellt, als diese sie bisher wahrgenommen haben. Während die Technologien zur Verfügung stehen, um EE an Verkehrsträgern

effizient zu nutzen, müssen noch administrative Hürden überwunden werden, um den dringend notwendigen Beitrag zu den europäischen Klimazielen zu leisten.

Wirtschaftlich vielversprechend sind PV-Freiflächenanlagen auf Randflächen insbesondere in der Nähe von größeren Eigenverbrauchern (z.B. Lüftung und Beleuchtung von Tunneln) oder energieintensiven externen Verbrauchern (z.B. Ladeeinrichtungen). Dies kann in Form von Contracting mit Stromlieferverträgen mit Dritten geschehen oder als Eigenversorgung mit Veräußerung des Überschussstroms in der Direktvermarktung. Bei der Auslegung von Dachflächenanlagen sollten neben der Eigenbedarfsoptimierung die Überschusseinspeisung und damit die Maximalbelegung geprüft werden. Im Sinne der Sektorkopplung sollten die Optionen Elektromobilität und Wärmeversorgung frühzeitig in die Planung von Projekten mit eigenen Betriebsstätten einbezogen werden. Überschussstrom aus Dach- und Freiflächenanlagen kann im eigenen Bilanzkreis erfasst werden, sofern diese Lösung verfolgt wird. Mit einer schrittweisen Einführung eines eigenen Bilanzkreismanagements kann die Autobahn GmbH Kapazitäten als Energiemarktteilnehmer auf- und ausbauen, um die wachsenden Energieressourcen gebündelt zu bewirtschaften.

Während bei Dach- und Freiflächenanlagen auf Erfahrungen außerhalb des Verkehrssektors zurückgegriffen werden kann und sich hier entsprechende Standards für Planung, Bau und Betrieb etabliert haben, befinden sich PV-Anlagen an Lärmschutzeinrichtungen und auch auf Parkplatzüberdachungen noch in einem dynamischen Entwicklungsprozess. PV-Carports lassen sich bereits wirtschaftlich realisieren, vor allem in Verbindung mit Ladeinfrastruktur. Wirksam wäre hier eine Betreiberpflicht auf Autobahnrastplätzen, bestehende Parkflächen zumindest teilweise mit PV zu überdachen. Für bestehende Lärmschutzeinrichtungen sollte eine Nachrüstpflicht für die energetische Nutzung der Infrastruktur bei Sanierungs- und Ausbaumaßnahmen eingeführt werden. Für Dach- und Freiflächenanlagen bezüglich ihrer Einspeiseleistung relevant, insbesondere aber für Lärmschutzeinrichtungen entlang der Fernstraßen ist die Lokalisierung aller Netzverknüpfungspunkte an bundeseigenen Liegenschaften ein wichtiger Schritt zur Identifizierung von schnell umsetzbaren Projektstandorten. Je größer die Distanz zum nächsten verfügbaren Netzverknüpfungspunkt, umso stärker bestimmen die Netzanschlusskosten die Gesamtkosten bei Neuanlagen. Unter Einbindung der Netzbetreiber liefern Netzverträglichkeitsprüfungen Aufschluss über die bestehenden Einspeisemöglichkeiten sowie Grundlagen für die Netzplanung.

Weitere Anwendungen wie Fahrbahnüberbauungen mit Photovoltaik – freie Konstruktionen oder Einhausungen – stehen am Beginn ihrer Erprobung. Aktuelle Demonstrationsprojekte müssen ausgewertet und vor allem hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte überprüft werden. Eine vermehrte Umsetzung schafft Knowhow für das optimale Design und den Betrieb, sodass sie die Chance bieten, neues Flächenpotenzial zu erschließen.

Die Handlungsempfehlungen an die Politik sind: Es stehen sowohl die Technologien als auch die Geschäftsmodelle mit dem entsprechenden rechtlichen Rahmen zur Verfügung, um Erneuerbare Energien an Verkehrsträgern wirtschaftlich zu nutzen und den dringend notwendigen Beitrag zu den europäischen Klimazielen zu leisten. Hindernisse können überwunden werden, indem Erfahrungen aus Pilotprojekten zügig

auf den weiteren Zubau übertragen werden. Der Zubau sollte jetzt starten. Schnell umsetzbare Lösungen wie die Ausstattung von Eigenbetrieben mit PV-Dach- oder Freiflächenanlagen sollten unmittelbar begonnen werden. Für die mittel- und langfristige Dynamik beim Ausbau wird eine Roadmap empfohlen, die stufenweise zum Ziel eines emissionsfreien Betriebs der Verkehrsträger bis spätestens 2045, aber möglichst früher führt.

Wir empfehlen den Infrastrukturbetreibern, den Zubau von PV-Kapazitäten einerseits mit begleiteten Innovationsprojekten, andererseits mit einem auf emissionsfreien Betrieb ausgerichteten Rollout-Plan insbesondere für bundeseigene Liegenschaften voranzutreiben. Der Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit innerhalb der Verwaltung über Zuständigkeitsgrenzen hinweg kommt dabei eine zentrale Bedeutung zu. Neben einem innovationsfreundlichen Umfeld für Leuchtturmprojekte sollten auch Genehmigungspraxis und Regelbetrieb auf die Mehrfachnutzung von Infrastruktur als Chance für den Klimaschutz ausgerichtet werden.

Verweise

Auerbach, M. et al., 2020. Einsatzpotenziale erneuerbarer Energien für Verkehr und Infrastruktur verstärkt erschließen - Ergebnisbericht des Themenfeldes 5 im BMVI-Expertenetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019, Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI).

Bundesrat, 2021. Studie über das Potenzial der Lärmschutzwände entlang von Autobahnen und Bahnstrecken für die Produktion von Solarenergie, Bern: Schweizerische Eidgenossenschaft.

Chvanova, E. et al., 2021. Verkehrsträgerübergreifender Austausch von Erneuerbarer Energie, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 69.0009/2020 (eingereicht bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Stuttgart: Dr. Langniß Energie & Analyse.

Henzlik, M. et al., 2021. Klimaschutzinstrumente im Verkehr - Bausteine für einen klimagerechten Verkehr, Dessau: Umweltbundesamt.

Kost, C. et al., 2021. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.

Nordmann, T. et al., 2000. The potential of PV noise barrier technology in Europe. 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, May, p. 6.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021. Klimaneutrales Deutschland 2045 - Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, Berlin, Wuppertal: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut.

Schmitz, A., 2022. Wie viel Strom brauchen wir in Zukunft für Elektroautos?. [Online] Available at: <https://www.enercity.de/magazin/unsere-welt/genug-strom-fuer-elektroautos>