

Photovoltaik

Technologie-Roadmap Teil 2

Potenziale und Technologie-Entwicklungsbedarf für Photovoltaik in den Sektoren
Gewerbe/Industrie – Mobilität – Landwirtschaft – Gebäude/Städte

Hubert Fechner, Maximilian Rosner, TECHNIKUM WIEN GmbH
Christoph Mayr, Marcus Rennhofer, Astrid Schneider, AIT-Austrian Institute of Technology
Gerhard Peharz, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH



Impressum

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Photovoltaik

Technologie-Roadmap Teil 2

**Potenziale und Technologie-Entwicklungsbedarf für Photovoltaik in den Sektoren
Gewerbe/Industrie – Mobilität – Landwirtschaft – Gebäude/Städte**

Hubert Fechner, Maximilian Rosner, TECHNIKUM WIEN GmbH
Christoph Mayr, Marcus Rennhofer, Astrid Schneider, AIT-Austrian Institute of Technology
Gerhard Peharz, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH

Wien, November 2018

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr,
Innovation und Technologie

Vorwort



Norbert Hofer
Bundesminister für
Verkehr, Innovation
und Technologie

Um die Ziele der Klima- und Energiestrategie #mission2030 zu erreichen und ein zukunftsfähiges, klimaverträgliches Energiesystem zu etablieren, müssen wir erneuerbare Energien umfassend ausbauen und die Energieeffizienz weiter steigern. Bis 2030 soll die Stromversorgung zu 100% aus erneuerbaren Quellen stammen. Bei der Zielerreichung spielen Forschung und Innovation eine essenzielle Rolle – die Photovoltaik-Technologie zählt dabei zu einem wichtigen Entwicklungsstrang und wesentlichen Bestandteil der neuen Energiewelt. Sie liefert hochwertige elektrische Energie, ist wartungsarm und lässt eine Doppelnutzung bei verbauten Flächen zu. Seien es Elektrofahrzeuge in der Mobilität, Wärmepumpen im Wärmebereich oder rasant ansteigende Serverleistung im Kommunikationsbereich, der Strombedarf sowie seine Anwendungsbereiche steigen deutlich.

Mit diesen großen Herausforderungen sind auch beachtliche Chancen in der Technologieentwicklung verbunden. Seit einiger Zeit wandelt sich die Photovoltaik von einer Randtechnologie zu einem wichtigen Teil in der Stromversorgung. Zu diesem Wandel tragen auch österreichische Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei und sind dabei weltweit hervorragend positioniert.

Das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie hat in diesem Zusammenhang die Photovoltaik Technologie-Roadmap beauftragt. Im ersten Teil der Roadmap wurde die mögliche Rolle der Photovoltaik in einem bis 2050 vollständig dekarbonisierten Energieszenario Österreichs beleuchtet. Der vorliegende zweite Teil der Roadmap zeigt auf, welche Potenziale und welcher Technologieentwicklungsbedarf für die verschiedenen Sektoren – Gewerbe/Industrie, Mobilität, Landwirtschaft sowie Gebäude/Städte – bestehen. In vielen Teilbereichen dieser Sektoren hat Österreich bereits seit vielen Jahren Weltmarktführerschaften und eine hervorragende Ausgangsposition. Diese gilt es weiterhin durch ein koordiniertes Zusammenspiel von Forschung, industrieller Entwicklung und Forschungsadministration zu stärken.

A handwritten signature in dark ink, reading 'Norbert Hofer', with a stylized flourish at the end.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	10
Photovoltaik in Industrie und Gewerbe	16
2.1 Einleitung	16
2.2 Energieaufkommen in Industrie und Gewerbe	16
2.3 Ausgangslage und Nutzen der Photovoltaik in Industrie und Gewerbe	17
2.4 Potenziale der Photovoltaik für Industrie und Gewerbe	18
2.5 Herausforderung für die Anwendung von Photovoltaik in Industrie und Gewerbe	20
2.6 Forschungsbedarf für Photovoltaik in Industrie und Gewerbe	21
2.7 Chancen für die österreichische Technologie- und Innovationslandschaft	23
Photovoltaik in der Mobilität	26
3.1 Einleitung	26
3.2 Nutzen der Photovoltaik in der Mobilität	28
3.3 Potenziale der Photovoltaik in der Mobilität	35
3.4 Herausforderungen für die Anwendung von Photovoltaik in der Mobilität	36
3.5 Forschungsbedarf für Photovoltaik in der Mobilität	39
3.6 Chancen für die österreichische Innovations- und Forschungslandschaft	41

Photovoltaik in der Landwirtschaft	44
4.1 Trends in der Landwirtschaft	44
4.2 Ausgangslage der Photovoltaik in der Landwirtschaft	45
4.3 Potenziale der Photovoltaik in der Landwirtschaft	47
4.4 Herausforderungen für die Anwendung der Photovoltaik in der Landwirtschaft	53
4.5 Forschungsbedarf für Photovoltaik in der Landwirtschaft	58
4.6 Chancen für die österreichische Technologie- und Innovationslandschaft	59
Photovoltaik in Gebäuden und Städten	62
5.1 Trends von Photovoltaik in Gebäuden und Städten	62
5.2 Energieaufkommen in Gebäuden und Städten	63
5.3 Ausgangslage der Photovoltaik in Gebäuden und Städten	65
5.4 Potenziale der Photovoltaik in Gebäuden und Städten	68
5.5 Herausforderungen für die Anwendung von Photovoltaik in Gebäuden und Städten	69
5.6 Innovations- und Forschungsbedarf für Photovoltaik in Gebäuden und Städten	72
5.7 Chancen für die österreichische Technologie und Forschungslandschaft	76
Schlussfolgerung	77
Notizen	78
Literaturverzeichnis	80



1



Einleitung

Einleitung

15 Gigawatt bis 2030 30 Gigawatt bis 2050

Keine Stromerzeugungstechnologie weist in Österreich ein derart hohes Potenzial für einen weiteren Ausbau auf wie die Photovoltaik (PV). Nationale Klima- und Energieziele sind nur zu erreichen, wenn Photovoltaik eine der zentralen Säulen im Energiesystem bildet. Photovoltaik liefert hochwertige elektrische Energie, ist wartungsarm, langlebig und führt verbaute Flächen einer Doppelnutzung zu.

Überdies ist global ein deutlicher Trend zu verstärkten Stromanwendungen zu erkennen: In der Mobilität steigt der Bedarf an elektrischer Energie durch verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen, im Wärmebereich durch verstärkte Nutzung von Wärmepumpen, aber auch im Bereich der Kommunikation durch stark steigende Serverleistungen. Überdies müssen Kapazitäten ersetzt werden, die durch das Abschalten von Kohle- und Atomkraftwerken wegfallen.

Die „Photovoltaik Technologie-Roadmap Teil 1“ hatte das Ziel, die mögliche Rolle der Photovoltaik in einem bis 2050 vollständig erneuerbaren Energieszenario Österreichs aufzuzeigen. Dieser Zeitraum und der Ansatz des 100%-Erneuerbaren-Szenarios leiten sich aus dem 2-Grad-Klimaziel ab, zu dem sich die österreichische Regierung im COP-21-Klimaabkommen von Paris 2015 verpflichtet hat; dieses sieht eine etwa 85-prozentige Reduktion der CO₂ Emissionen bis 2050 vor. Die EU-Kommission hat in ihrem „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050“ Wege skizziert, die zu einem 80–95-prozentigen CO₂ Rückgang gegenüber 1990 führen sollen, wobei der Stromsektor bis 2030 CO₂-frei sein wird. Ausgehend von dem Ziel 100%

erneuerbaren Strom bis 2030 und einem nahezu völligen Ausstieg aus der fossilen Energie bis 2050 wurde in Roadmap Teil 1 die notwendige Rolle der Photovoltaik skizziert und die Realisierbarkeit eines Anteiles von bis zu 27% am Stromaufkommen diskutiert. Aufgrund des deutlich steigenden Anteiles des Stromes an der Energieversorgung sind bis 2030 etwa 15 GW und bis 2050 etwa 30 GW Photovoltaik erforderlich.

Die Technologie der Photovoltaik erfuhr in den letzten Jahren einen Wandel von einer Randtechnologie zu einem wichtigen Akteur in der Energieversorgung. 1985 waren erst einige Kilowatt PV weltweit installiert, erste gesicherte Daten existieren für 1992, wo weltweit etwa 44 MW Photovoltaik installiert waren [IEA-PVPS Trends Report 1993]. Ende 2017 sind etwa 400.000 MW Photovoltaik weltweit installiert [IEA-PVPS Snapshot Report 2018], was etwa einem Drittel der weltweit installierten Wasserkraftkapazität entspricht; 2017 wurde die weltweit installierte Kapazität an Kernkraftwerksleistung übertroffen. Bei anhaltendem Trend wird Photovoltaik damit in 5–10 Jahren die meist installierte erneuerbare Kraftwerkskapazität sein und auch die sich dynamisch entwickelnde Windkraft überholen [GWEC 2017]. Bei der erzeugten Jahresenergiemenge liegt die Photovoltaik aufgrund der geringeren Volllaststunden freilich noch zurück. Aktuell decken mindestens 22 Staaten mit ihrer installierten Kapazität bereits mehr als ein Prozent ihres Strombedarfs mit Photovoltaik [REN21 2016]. Ein wesentlicher Faktor dafür ist die Entwicklung der Stromgestehungskosten, welche heutzutage zumindest im Bereich jener von fossilen Stromerzeugern liegen, bzw. in sonnigen Regionen bereits deutlich darunter; alles deutet darauf hin, dass Photovoltaik mittelfristig die absolut günstigste Stromerzeugungsart wird [Agora 2015].

Eine beschleunigte Verbreitung der Photovoltaik wird erwartet, wenn folgende techno-ökonomische Schwellwerte über- bzw. unterschritten werden:

Wenn die Erzeugungskosten der Photovoltaik unter den ENDKUNDENSTROMPREIS fallen und der PV-Strom zum größten Teil zur Eigenversorgung herangezogen wird; die Kostenparität wurde im Haushaltsbereich in Österreich bereits vor einigen Jahren erreicht, im Industriebereich, aufgrund der geringeren Industriestrompreise, jedoch meist noch nicht.

Wenn die Erzeugungskosten unter den ENERGIEMARKTPREIS fallen, wird die Energiebereitstellung für sämtliche Anwendungen konkurrenzfähig zu fossilen Energieträgern

Wenn die QUADRATMETERPREISE für bauwerkintegrierte Photovoltaik unter die Preise von Fassaden - und Dachelementen fallen, ebenso z.B.: bei Schallschutzelementen, werden diese Anwendungen als gleichwertige Bauprodukte betrachtet (wobei sie darüber hinaus immer den Zusatznutzen der Stromerzeugung haben).

Wenn die Kosten für in Fahrzeuge integrierte Photovoltaik geringer sind als die Strafzahlungen der Automobilindustrie aufgrund zu hoher CO₂-Emissionen (95 g pro km).

Wenn durch Photovoltaikinstallation an den Hüllflächen von Elektro-PKW oder Elektro-LKW eine REICHWEITENSTEIGERUNG erzielt wird, die Tankzeiten deutlich verringert oder im Idealfall sogar vermieden werden; dies wird für typische PKW-Tagesreichweiten von 30 km von ersten Prototypen bereits angestrebt (z.B.: sonomotors.com).

Weitere treibende Faktoren für den Einsatz von Photovoltaik sind u.a.:

Wenn Photovoltaik Voraussetzung für die Erreichung von Zielvorgaben ist (z.B. Gebäuderichtlinie, Nachweise des Besitzes einer PV-Anlage bzw. der Nutzung von erneuerbarem Strom bei der Förderung von E-Mobilität in Österreich).

Wenn durch Photovoltaik die Netzstabilität erhöht wird, was besonders in schwachen Stromnetzen zusehends Thema wird.

Wenn Photovoltaik (z.B. in der Architektur) optische und funktionale Effekte ermöglicht, die mit anderen Elementen nicht erzielbar sind.

Wenn verstärkt positive Sensibilisierung/Bewusstseinsbildung für Umweltthemen durch den Einsatz von Photovoltaik erzielt wird („Öko-Image“).

Wenn durch Photovoltaik (in Kombination mit Speichern und oft auch in Kombination mit anderen dezentralen Erneuerbaren) Bestrebungen zur Energieunabhängigkeit unterstützt werden, die sowohl im Privatbereich als auch im Bereich der öffentlichen Sicherheit vorhanden sind.

Internationale Trends in der Photovoltaik-Technologie zur Kostensenkung

Schon heute sind die Kosten bei Großanlagen in einem Bereich von <5ct/kWh in Deutschland, in sonnigeren Ländern noch darunter. Die Frage der Kostendeckung ist aber bei einem so niedrigen Gebotspreis dennoch zu stellen. Sichtbar ist aber jedenfalls der weiter anhaltende Trend zur Kostenreduktion¹.

- Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen
- Erhöhung des Modul-Wirkungsgrades auf > 30% durch:
 - Entwicklung und Einsatz hocheffizienter Solarzelltechnologien (Multi-Junction)
 - Verbesserung der Lichtnutzung im Modul bzw. Reduktion der optischen Verluste
 - Optimierung der elektrischen Verschaltung und Minimierung elektrischer Verluste
- Verringerung der Kosten auf < 30 €/m² durch:
 - Reduktion des Materialeinsatzes (z.B. dünnere Gläser)
 - Substitution von teuren Materialien (z.B. Silber durch Kupfer ersetzen)
 - Erhöhung der Produktivität bestehender Produktionsanlagen
 - Reduktion des Energieverbrauchs bei der Produktion
 - Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit von Photovoltaikmodulen mittel Rolle-zu-Rolle-Verfahren
 - Implementierung kostengünstiger Produktionsprozesse (z.B. gedruckte elektrische Verschaltungen)
- Garantierte Lebensdauer > 30 Jahre
 - Verbessertes Verständnis über Alterungsmechanismen in unterschiedlichen Einsatzumgebungen
 - Einsatz robusterer Materialien
- Reduktion der Balance-of-System-Kosten:
 - Montagesysteme für eine schnelle und kostengünstige Installation von PV-Systemen (Vormontage, Plug-and-Play, Easy-to-Install)
 - Entwicklung von Leichtbaumodulen
 - Reduktion des Materialaufwandes im PV-System (z.B. bei Kabellängen, Stecker, Haltevorrichtungen)
 - Reduktion der Kosten für Wechselrichter
- Standardisierungsaktivitäten
 - Harmonisierung von Anforderungen an Produkte, Systeme und Anwendungen
 - Anpassung an neueste Technologieentwicklungen
- Erhöhung des Gestaltungs- und Designfreiraums
 - Forschung und Entwicklung zu gefärbten PV-Elementen bzw. PV-Elementen mit beliebigen Formfaktoren
 - Alternative bzw. „Easy-to-Install“-Montagesysteme

¹ Bundesnetzagentur [BNetzA]; Ausschreibung für Solarenergie zum Gebotstermin 1. Februar 2018; Die im Gebotspreisverfahren ermittelten Zuschläge lagen zwischen 3,86 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh) und 4,59 ct/kWh (Vorrunde 4,29 bis 5,06 ct/kWh), der durchschnittliche, mengengewichtete Zuschlagswert betrug 4,33 ct/kWh (Vorrunde 4,91 ct/kWh).

Technologie-Entwicklungen im Photovoltaik-Umfeld als Chancen für österreichische Unternehmen

Photovoltaikprodukte und -systeme werden in diversen Branchen zunehmend eine größere Rolle spielen: Dazu zählen die Gebäudetechnik, die Halbleiterindustrie, die glasverarbeitende Industrie, die Elektro-Elektronik- und die Kommunikationsbranche, aber auch die Landwirtschaft sowie der Mobilitätsbereich (KFZ- und LKW-Industrie, Fahrzeugzulieferindustrie, Bahnindustrie, Verkehrselektronik, Verkehrsleitsysteme etc.).

Die Photovoltaik kann überdies als wesentlicher Treiber für digitale Anwendungen betrachtet werden, zumal diese dezentrale Form der Stromgewinnung mittels Kommunikation völlig neue Möglichkeiten schafft. Als Beispiel seien Schlagworte wie „Smart Buildings“ genannt, aber auch „Smart/Intelligent Roads“, die diverse Straßenzustände übermitteln, „Smart Agriculture“, die auf Basis von Sensordaten landwirtschaftliche Prozesse steuert, oder auch eine

intelligente Stromversorgung in der Industrie, die auf das fluktuierende Angebot aus erneuerbaren Energien mit flexiblen Prozessen reagiert.

Chancen für die österreichische Technologie- und Innovationslandschaft

Das Regierungsprogramm 2017 [Zusammen 2017] mit dem Ziel, bis zum Jahr 2030 in Österreich 100% erneuerbare Energien in der Stromerzeugung zu erzielen, bietet die Chance für einen Entwicklungsschub: Der nebenstehende Innovationszyklus zeigt die Herausforderung und Chance: Ganz oben steht als wichtiger Motor für den Innovationszyklus die Zielsetzung einer auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung. Während das Ziel bereits mit dem Österreichischen Regierungsprogramm 2017 formuliert ist, bildet ein Energiekonzept die Basis für konkrete technologiebezogene Forschungsziele und Energieanwendung.

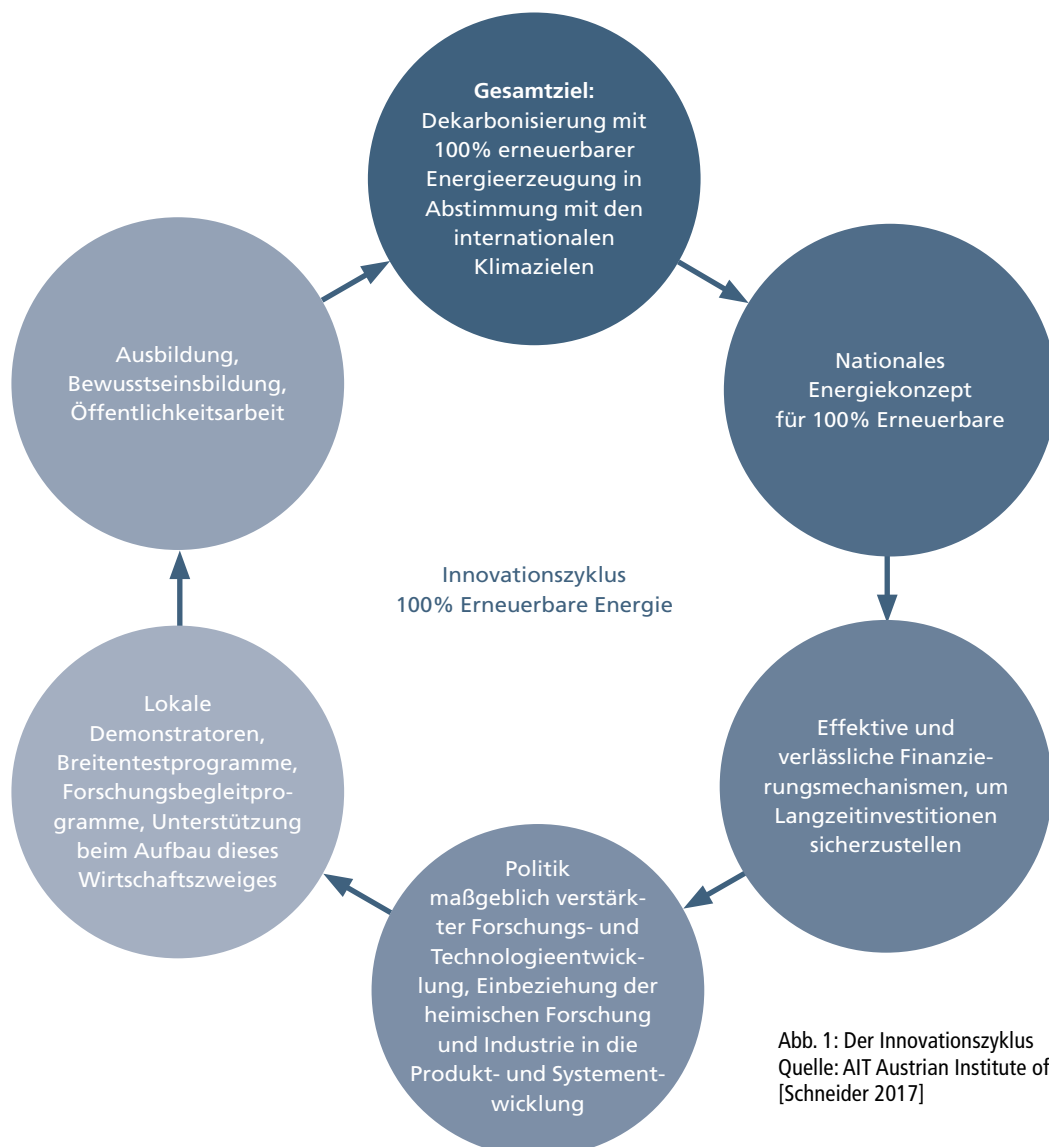


Abb. 1: Der Innovationszyklus
Quelle: AIT Austrian Institute of Technology
[Schneider 2017]





Photovoltaik in Industrie und Gewerbe

Photovoltaik in Industrie und Gewerbe

2.1 Einleitung

Photovoltaik wird dazu beitragen, CO₂-Kosten zu vermeiden und die Energiekosten am Standort von Industrie und Gewerbe zu senken.

Elektrische Energie aus Photovoltaik kann dezentral und in nahezu beliebig skalierbarer Weise erzeugt werden. Dadurch wird Photovoltaik zukünftig auch eine wichtige Rolle für die Industrie und das Gewerbe am Standort Österreich spielen. Darüber hinaus wird mit dem verstärkten Einsatz von PV in Industrie und Gewerbe eine Dezentralisierung der Energieversorgung verbunden sein. Dies stellt einerseits eine Herausforderung dar, bietet andererseits die Chance zur Flexibilisierung, die Möglichkeit, Lastspitzen zu verschieben und durch eine größere Kraftwerksanzahl schließlich auch mehr Ausfallsicherheit zu erreichen.

Industrie- und Gewerbebetriebe, die elektrische Energie zu den in der Einleitung genannten geringen Stromgestehungskosten produzieren und nutzen können, hätten einen signifikanten Wettbewerbsvorteil gegenüber jenen, die nach wie vor elektrische Energie primär aus dem Netz zukaufen. Dabei gestaltet sich die Produktion der elektrischen Energie mittels Photovoltaik einfach, wenn die Gewerbe- und Industriebetriebe über die notwendigen Flächen verfügen. Eine deutlich größere Herausforderung für die Betriebe stellt die zeitgleiche effiziente Nutzung der eigenproduzierten elektrischen Energie dar. Ziel der Forschung sollte daher sein, die sich bietenden Chancen der Photovoltaiktechnologie möglichst gut nutzbar zu machen, indem diese Technologie innovativ in Produktions- und Betriebsprozesse eingebunden wird. Das bedeutet, die Integration von Photovoltaik in die Prozesse und die Betriebsführung von Liegenschaften, Mobilität und Produktion definiert einen Schwerpunkt des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs von Gewerbe und Industrie.

2.2 Energieaufkommen in Industrie und Gewerbe

Der Endenergieverbrauch (Primärenergie) Österreichs betrug 2017 etwa 1121 PJ [BMWFW 2017]; etwa 39% davon wurden von der produzierenden Industrie bzw. dem Dienstleistungsgewerbe in Anspruch genommen. Der Anteil am elektrischen Energieverbrauch (ca. 23 TWh) bei Gewerbe und Industrie war aktuell mit 66% deutlich höher.

40% der Energie in der Produktion werden fossil durch Kohle, Gas und Öl bereitgestellt. Fast ein Drittel ist elektrische Energie, von der aber 25% ebenfalls fossil bereitgestellt werden. Wenn Erneuerbare Energie eine zentrale Säule der zukünftigen Energiebereit-

stellung sein soll, müssen in Gewerbe und Industrie über 42 TWh durch Erneuerbare Energie ersetzt werden [BMWFW 2015].

Insgesamt wird der Bedarf an elektrischer Energie, auch über die Bereitstellung von Mobilität und Ersatz fossiler Energiebereitstellung hinaus, wachsen. Das betrifft besonders auch die Bereitstellung von prozesschemischen Stoffen oder jetzt noch fossil bereitgestellten Kohlenwasserstoffen (etwa Wasserstoff bei der Stahlverhüttung oder Basisstoffe für petrochemisch erzeugte Kunststoffe).

2.3 Ausgangslage und Nutzen der Photovoltaik in Industrie und Gewerbe

- **Standortsicherung durch Stromkostensenkung**
- **Bereitstellung von Erneuerbarer Energie für Liegenschaften**
- **Thermische Prozesse über Wärmepumpen, elektrische Prozessenergie, Lastspitzenreduktion, Lastverschiebung**
- **Ausgleich von Netzschwankungen**
- **Aktive Maßnahme im Energie-Effizienzgesetz und zur Senkung des CO₂-Fußabdrucks**
- **Teilnahme am Energiemarkt**
- **Anlagenamortisation im Bereich 5–8 Jahre**

Der aktuell bereits in Industrie und Gewerbe erzeugte Photovoltaikstrom wird zum größten Teil in das öffentliche Netz gespeist. Die Netzeinspeisung war bis vor kurzem, aufgrund eines attraktiven Fördertarifes für Einspeisung von Photovoltaikstrom, die rentabelste Variante.

Für neue Installationen wird durch die aktuell niedrigen Stromgestehungskosten oft auch auf eine möglichst hohe Eigennutzung hin optimiert. Die beste Option hängt dabei stark von der möglichen direkten Verwertung des Stromes oder seiner Speicherbarkeit ab.

Hierfür gibt es mittlerweile Best-practice-Beispiele, wo Photovoltaik zur Erzeugung von Strom für Prozesse oder für Beheizung konzipiert wurde.

Entweder wird der Eigenverbrauch rechnerisch aufgewogen, das Netz als Speicher verwendet (wo die Einspeisung bilanziell gegen den Bezug aufgerechnet wird), oder PV wird als Stromquelle für Prozesse oder Liegenschaftsstrom eingesetzt. Die Amortisation wird hier gesamtbetrieblich und über längere Zeiträume betrachtet.



Abb. 2: Volles Ausnutzen der Betriebsdachflächen für eine Photovoltaikanlage.

2.4 Potenziale der Photovoltaik für Industrie und Gewerbe

2.4.1 Kostensparpotenzial

Für Gewerbe und Industrie ist das Potenzial von PV durch die geringen Stromgestehungskosten definiert. Speziell unter der Annahme, dass mittelfristig die Strompreise bei Netzbezug aufgrund des zunehmenden Strombedarfs (z.B. durch Elektromobilität, Wärmepumpen, IKT ...), steigen werden, ermöglicht PV eine signifikante Senkung der Kosten für die Bereitstellung von Energie. Nachdem es sich bei Photovoltaik um eine erneuerbare Energietechnologie handelt, fallen auch keine Kosten für CO₂-Zertifikate an, was speziell für die energieintensive Industrie interessant ist. Dies trifft in besonderem Maße auf produzierende Industrie mit hohem Energieaufkommen oder prozessimmanenten CO₂-Emissionen zu (z.B. Stahl- oder Petrochemie).

Photovoltaik kann durch kostengünstige und klar kalkulierbare Energiebereitstellung schon jetzt und in den kommenden Jahren auch für energieintensive Unternehmen standortentscheidend sein.

Das betrifft beispielsweise die Erhöhung der finanziellen Liquidität von Standorten, wenn Liegenschaftsstrom (z.B. Beleuchtung), Strom für Heizung über Wärmepumpen oder lokale Mobilität mittels Photovoltaik bereitgestellt wird. So werden nach der Investition permanent Betriebskosten für Energie am Standort reduziert.

Weiter wird Photovoltaik auch im Rahmen des Energieeffizienzgesetzes eine zentrale Rolle für Maßnahmen zur aktiven CO₂-Reduktion darstellen. Das betrifft aktive Maßnahmen zur CO₂-Senkung alleine (etwa Errichtung einer Anlage) oder auch im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen (etwa thermische Sanierung von Bauteilen oder Hallen verbunden mit aktiver Erzeugung von Energie auf den Liegenschaften). Diese Anwendung birgt für die Industrie auch enormes Kostensparpotenzial und Reduktionspotenzial fossilen Energieeinsatzes und wirkt sich direkt wirtschaftlich aus.

Aus Sicht der Wirtschaftlichkeit derartiger Lösungen wäre es zudem förderlich, die Besteuerung von photovoltaischer Eigenstromnutzung, die derzeit ab einer Größe von 25.000 kWh Jahresverbrauch besteht und 1,5 Cent pro kWh beträgt, ersatzlos zu streichen.

2.4.2 Beispiel regenerativer Erzeugung von Prozessstoffen

Bei der Reduktion von Eisenerzen wird bisher primär Kohle eingesetzt, der Prozess funktioniert jedoch prinzipiell auch mit Wasserstoff. Dabei würde bei der Reduktion kein CO₂ freigesetzt, sondern Wasserdampf. Wasserstoff lässt sich mittels Elektrolyse von Wasser gewinnen, indem die Wassermoleküle durch elektrischen Energieeinsatz in Wasserstoff und Sau-

erstoffmoleküle zerlegt werden. Das bedeutet, sehr günstiger Strom aus Photovoltaik bietet der Stahlindustrie das Potenzial die CO₂-Emissionen (bzw. Zertifikatskosten) zu verringern. Die voestalpine installiert aktuell im Rahmen des EU-Projektes „H2FUTURE“ ein 6-MW-Elektrolysemodul [H2future 2018].

2.4.3 Photovoltaik mit Speicherung für Wärmeanwendungen

Bei Betrieben, die über einen relativ hohen Wärmebedarf (Lebensmittelindustrie, Papierproduktion ...) verfügen, können Wärmepumpen mit Photovoltaikstrom betrieben werden. Optimal ist diese Anwendung, wenn die generierte Wärme zudem gut

gespeichert werden kann. Alle Arten von Speichertechnologien werden eine wichtige Rolle spielen, um mit der intrinsischen Variabilität der Energiebereitstellung umzugehen.

2.4.4 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

- **Einsatz für Maßnahmen im Energie-Effizienzgesetz**
- **Deckung von Energie für Liegenschaften und Mobilität**
- **Stufenweiser Ausbau hin zu großen Installationszahlen**
- **Bereitstellen von Wärme und Kälte**
- **Bereitstellen von Prozessenergie**

Neben den oben genannten Potenzialen ergeben sich viele Anwendungsfälle, wo Photovoltaik das Ersetzen fossiler Energie, systematische CO₂-Reduktionen und das Umstellen von Prozessen auf erneuerbare Energie ermöglicht. Die genannten Themen sind aufbauend gedacht, sodass eine immer höhere Integration von Photovoltaik in die Energiebereitstellung von Industrie erreicht wird. Dabei wird für verschiedene produzierende Betriebe in Industrie und Gewerbe die Rentabilität für verschiedene Anwendungen zu unterschiedlichen Zeiten erreicht werden, z.B. abhängig von ihrem Energiebedarf und ihrer Produktionsweise.

- In ersten Schritten vor allem durch hohe Deckungsgrade in Mobilität und Stromversorgung von Liegenschaftsgebäuden. Zuerst wird dadurch schon eine Einsparung von laufenden Energiekosten für diese Anwendungen im Prozent-Bereich erreicht (z.B. durch Verschiebung von laufenden Kosten in Investitionskosten, bei niedrigem Zinsniveau).

- Werden in einem Stufenplan immer weitere PV-Anlagen errichtet, kann ein dauerhafter wirtschaftliche Vorteil erreicht werden, da schon früh die Vorteile der Eigenstromerzeugung und der Energieeinsparung sowie CO₂-Reduktion zum Tragen kommen.

- Einen weiterführenden Schritt in der Stromerzeugung durch Photovoltaik für Industrie und Gewerbe stellt die Prozesswärmebereitstellung und Heiz- bzw. Kühlenergie und schließlich Prozessenergie dar; ermöglicht wird dies durch weiter fallende PV-Stromgestehungskosten.

- Folgt die Photovoltaik weiter der entsprechenden industriellen Lernkurve, kann das Eintreten von ROI-Fällen (Laufzeiten von unter 5 Jahren) innerhalb der nächsten 10 Jahre vorhergesagt werden².

- Ein großes Potenzial der österreichischen Industrie könnte eine konsequente Umsetzung des Energieeffizienzgesetzes (EEffG) und das Umsetzen von weiteren Effizienzmaßnahmen (bzw. Energieauditing) bieten: Es entsteht mehr und mehr Bedarf, Strom selbst zu erzeugen, selbst zu verbrauchen und gleichzeitig den Energieverbrauch zu senken.

Photovoltaik bietet dazu eine kostengünstige und sofort umsetzbare Maßnahme. Möglichkeiten, dies effizient und vielfältig anwendbar zu tun, müssen aber noch untersucht und entwickelt werden.

² Unter der Annahme von 3–4 ct/kWh Nettostrompreis und 4–5 ct/kWh Abgaben folgt eine ROI für Anlagen in 5 Jahren mit einem Ertrag von 950 kWh/kWp frühestens unter 330–430 EUR je kWh Investitionskosten, in 8 Jahren frühestens unter 530–680 EUR je kWp Investitionskosten. Diese Werte verbessern sich, falls andere Kosten für die Prozesse gegengerechnet werden können (Bereitstellung, Transport, Wartung etc.). Heute werden in Deutschland bereits Anlagen um unter 690 EUR je kWp ausgeschrieben.

2.5 Herausforderung für die Anwendung von Photovoltaik in Industrie und Gewerbe

- **Umgang mit Fluktuierende Energiebereitstellung muss gemeistert werden**
- **Weitere Absenkung von Installations- bzw. Stromgestehungskosten**
- **Steigerung der Effizienz**
- **Speicherung muss einfach skalierbar und billiger werden**

2.5.1 Variable Energiebereitstellung

Die energieintensive Industrie kann derzeit Energie weitgehend uneingeschränkt nutzen. Ein Umstieg auf eine überwiegende Versorgung durch Photovoltaik stellt diese Industrie vor eine große Herausforderung, da die unmittelbare Verfügbarkeit von photovoltaischer Energie variiert. Um für Gewerbe und Industrie Photovoltaik in hohem Ausmaß nutzbar zu machen, müssen entweder technische Lösungen zur Speicherung der Energie angewendet und/oder die Betriebsführung flexibilisiert und auf das variable Angebot von photovoltaischer Energie eingestellt werden. Die Speicherung kann direkt in elektrischer, in thermischer oder chemischer Art (z.B.: Wasserstoff) erfolgen oder auch nach Umwandlung in Gas über Zwischenspeicherung im Gasnetz (z.B.: Power2Gas). Energie muss jedenfalls weiterhin entsprechend den industriellen Fertigungsprozessen unmittelbar verfügbar sein.

Notwendige Schritte zur Verwertung von photovoltaischer Energie in diesen Sektoren sind daher die Bereitstellung von Speichern sowie die Flexibilisierung der Produktion („Industrie 4.0“).

Grundsätzlich eignen sich viele Branchen und Bereiche für eine Lastverschiebung. Nicht nur energieintensive Elektrolyse- oder Schmelzöfen kommen für Demand Side Management (DSM) in Frage. Auch Kläranlagen, Pumpen, Klimaanlage, Druckluftprozesse, Blockheizkraftwerke u.a. können Energie „verschieben“.

Ein sehr anschauliches Beispiel für die Anpassung des Strombedarfs an das fluktuierende Aufkommen ist das deutsche Unternehmen TRIMET, ein energieintensiver Aluminiumhersteller, der einen Bedarf von etwa 1% des deutschen Stroms aufweist. Bei der Herstellung von Aluminium wird ein Elektrolyseprozess (zur Zerlegung von Aluminiumoxid) eingesetzt bzw. wird zusätzlich Wärme benötigt. Bei TRIMET wird der Aluminiumofen als Wärmebatterie genutzt. Das bedeutet durch steuerbare Wärmetauscher kann die Energiebilanz während des Prozesses konstant gehalten werden, trotz fluktuierender Versorgung mit elektrischer Energie. TRIMET gibt an, dass mit diesem Konzept Leistungsschwankungen von +/- 25% ausgeglichen werden können und am ersten Pilotstandort eine Speicherkapazität von 3300 Megawattstunden realisiert werden kann.

In Baden-Württemberg wird die Stuttgart GmbH als erstes Unternehmen im Pilotprojekt „Demand Side Management Baden-Württemberg“ ihre flexiblen Stromlasten vermarkten. Der Flughafen Stuttgart wird unter anderem die Flexibilität seiner Klimaanlage als Regelleistung anbieten. Klimaanlage eignen sich gut für Demand Side Management: Sie lassen sich kurzzeitig abschalten, ohne dass die Kühlleistung spürbar beeinträchtigt wird. Über die thermische Trägheit der Gebäude kann man so auch vorkühlen und Lastspitzen reduzieren. Im Laufe des Pilotprojekts werden bis zu zehn weitere Unternehmen ihre flexiblen Lasten vermarkten. [Energiewende für Unternehmer 2016].

2.5.2 Speichertechnologien

Derzeit herrscht ein Trend zu Lithium-Ionen-Akkumulatoren vor, die eine Preisentwicklung mit starker Kostenreduktion nach der industriellen Lernkurve aufweisen. Speicher müssen in Zukunft technologisch aber nach ihren Anforderungen bereitgestellt werden. Das kann eine Optimierung hinsichtlich Kosten, Verfügbarkeit, Lebensdauer, Entladefähigkeit,

Standzeiten und Wartungsaufwand sein. In produzierenden Betrieben können dann verschiedenen optimierte Speicherformen für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden, z.B. mobile Zwischenspeicher für die Mobilität, statische für Liegenschaften und flexible und/oder große Speicher für Netzdienstleistungen oder Prozessenergie.

2.6 Forschungsbedarf für Photovoltaik in Industrie und Gewerbe

- Digitalisierung und Flexibilisierung der Produktion
- Sektorkopplung zwischen Produktion, Energie, Wärme, Kälte, Speicherung, Netze und Mobilität
- Eigenverbrauchssteigerung von Photovoltaik
- Sanierung vs. Neubau von Betriebsliegenschaften mit PV
- Kostenreduktion der Energieversorgung

Für eine Umsetzung von Forschungsergebnissen müssen Innovationen frühzeitig eingeleitet werden, um oftmals erst einige Jahre später in der Produktion wirksam etabliert zu werden. Forschungsinitiativen müssen demnach rasch begonnen und entlang der gesamten TRL-(Technology Readiness Level) Kette angesetzt werden, um in den nächsten 5–10 Jahren die Lösungen für die großflächige Ausrollung zur Verfügung zu haben. Besonders muss auch der Ausbildungsbereich entlang der Wertschöpfungskette gefördert und teilweise überhaupt erst aufgebaut werden. Dies gilt sowohl für grundlagen-

nahe Ausbildung, wie z.B. Universitäten, als auch anwendungsnahe akademische Ausbildung, wie z.B. Fachhochschulen, aber auch in HTLs, Colleges oder für weiterbildende Lehrgänge.

Die Forschungsfragen ergeben sich entlang der Wertschöpfungskette der Photovoltaik im Speziellen für die Anwendung im Gewerbebereich und in der Industrie. Dies inkludiert damit auch die Forschungsfragen, die von der Photovoltaik-Industrie adressiert werden müssen.

Forschungsbereich	F&E-Bedarf
Materialforschung und Materialentwicklung inkludierend Struktur, Funktion, Oberflächen, Beschichtungen und Prozesse	• Anheben der technischen Lebensdauer von PV-Systemen und -Komponenten, um Rentabilität zu erhöhen und Stromproduktionskosten weiter drastisch zu senken. • Effizienzsteigerung hinsichtlich höherer erzeugter Energiedichte je Fläche • Recycling von enthaltenen Stoffen und von Produkten in zyklischer Wirtschaft • Funktionale Oberflächen und Schichten für spezifische Anwendungen entwickeln • Schadstoffverträglichkeit und Lebensdauer hinsichtlich Integration in Industriegebäude
Technologieforschung und Komponenten inkludierend Kostensenkung, Effizienzsteigerung, Lebenszeiterhöhung, mechanischer, elektrischer, tribologischer und chemischer Eigenschaften	• Effizienzsteigerung hinsichtlich höherer erzeugter Energiedichte je Fläche • Kosten und Kostenrücklauf, d.h. Kosten je kW / Kosten je kWh / Kosten je m²; Gewichtsreduktion und Möglichkeit für flexible Lösungen und Leichtbau • Speicherbarkeit kurzfristig über kleine thermische Speicher, Bauteilaktivierung oder kleine und mittlere elektrische Speicher • Neue Systemkomponenten zu systematischem Preis, Dimensionierungs-, Verlust- und Gewichtsreduktion • Große oder flexible elektrische Speicher • Power-2-X: Als Bereitstellung von Prozesschemie
Systemische Forschung inkludierend zeitlicher Aspekte, Prognose, Interaktion auf unterschiedlichen Ebenen und zwischen hierarchischen Systemebenen sowie Korrelation von System und Systemteil bzw. Komponente und technischem und nichttechnischem Teil von Systemen (wie z.B. sozial, etc.), Integration von Komponenten in Systemen und Systemtopologien und Optimierung.	• Technische Integrierbarkeit, Mehrwert, Substitutionskosten • Anwendung der PV im Neubau und Retrofitting (insbesondere bei einer angestrebten Renovierungsrate von 3%/a und den energetischen Richtlinien für Gebäude) • Einbindbarkeit in Energiesysteme, d.h. Systemlösungen mit dynamischen Verbrauchern, Netz und verschiedenen Speicherformen • Bereitstellen von Lastkurven bzw. Verschieben von produktionsbedingten Lastspitzen. • Sektorkopplung und Digitalisierung (z.B. auch Industrie 4.0) • Lösung für energiereduzierte Renovierungen • Speicherbarkeit kurzfristig über kleine thermische Speicher, Bauteilaktivierung oder kleine und mittlere elektrische Speicher • Vorhersagbarkeit von Erträgen und Kopplung klimatischer, energiemeteorologischer und PV-spezifischer Modelle • Monitoring und Bewertungsmodelle von Qualität und Ertrag für verschiedene Anlagentypen
Produktion inkludierend Prozesse, Standardisierung, Multiplizierbarkeit, Digitalisierung, Automatisierung, Integration vs. Dezentralisierung von Produktion, Flexibilisierung und Hochskalierbarkeit.	• Kosten und Kostenrücklauf d.h. Kosten je kW / Kosten je kWh / Kosten je m² • CO₂-effiziente und schadstofffreie Prozesse • für die Großindustrie geeignete energieeffiziente Prozesse mit hohem Kostensenkungspotenzial • Speicherbarkeit Langfrist: lokale elektrische Speicher für Netzdienstleistungen im MWh-Bereich, Power-2-X, oder über Netzverbund • Speicherbarkeit kurzfristig über kleine thermische Speicher, Bauteilaktivierung oder kleine und mittlere elektrische Speicher • Standardisierte Produkte, die Skalierbarkeit, Vorfertigung, Einbindung in Baunormen und dadurch Kostenreduktion in Produktion ermöglichen

2.7 Chancen für die österreichische Technologie- und Innovationslandschaft

Nur massive Anstrengungen im Bereich der industriellen Forschung, von Grundlagenforschung bis hin zu Demonstratoren, unterstützt von flächendeckenden universitären und außeruniversitären Ausbildungsprogrammen, können die notwendigen Innovationen zum Nutzen der österreichischen Industrie bereitstellen.

Innovationen im Photovoltaikumfeld müssen unmittelbar intensiviert werden, um die nötige zur Zielerreichung 2020/2030 bereitstellen zu können.

Wie beschrieben, werden durch die Anwendung von Photovoltaik im Gewerbe- und Industriesektor viele Möglichkeiten eröffnet, die wirtschaftliche und volkswirtschaftliche Mehrwerte bringen. Die österreichische Industrie kann im Hinblick auf die Energiewende nur dann wettbewerbsfähig bleiben, wenn diese Rahmenbedingungen durch Forschung und Entwicklung geschaffen und Hemmnisse durch gesetzliche und regulatorische Vorgaben (z.B. im Bereich der Stromnetzanbindung) minimiert werden. Wird dies erreicht, kann die Anwendung von Photovoltaik in diesem Sektor standortentscheidend sein.

Die Österreichische Technologieplattform Photovoltaik

versteht sich als Plattform für Forschung und Innovation der österreichischen Photovoltaikindustrie und wurde 2006 mit Unterstützung des BMVIT als F&E-Partner-Plattform ins Leben gerufen. Der „Verein Österreichische Technologieplattform Photovoltaik“ wurde daraus im Mai 2012 als gemeinsame Initiative der in Österreich produzierenden Betriebe im Bereich der Photovoltaik sowie der relevanten österreichischen Forschungseinrichtungen gegründet. Innovation und Forschung für die heimische Photovoltaik-Wirtschaft sollen optimiert werden, um eine Vergrößerung der österreichischen Wertschöpfungsanteile am globalen Photovoltaikmarkt zu erreichen. Zu den Gewerbe- bzw. Industriemitgliedern zählen die Firmen ATB Becker, Continental-Corporation, Crystalsol, DAS-Energy GmbH, Ertex-Solar, Fronius International, Levion Technologies GmbH, Lisec Holding, Sunplugged, Ulbrich of Austria GmbH, Welser Profile Austria; seitens der Forschungseinrichtungen bzw. Hochschulen beteiligen sich AIT, CTR, FH Technikum Wien, FH Oberösterreich, Joanneum Research Materials, OFI, PCCL, TU Graz und TU Wien. (www.tppv.at)

Potenzial für Branchen und Akteure

Insbesondere sind produzierende Unternehmen Akteure, die vom Einsatz von Photovoltaik mittelfristig und langfristig profitieren. Im Bereich Handel und Warenproduktion gibt es in Österreich alleine über 120.000 Unternehmen unterschiedlicher Größe. Einige sind in einer Größe, dass sie am Gesamt-

energieverbrauch Österreichs einen nennenswerten Anteil haben. Dort ist der Hebel freilich am größten, signifikante Schritte in Richtung Energiewende zu gehen und rasch sichtbare Maßnahmen im Bereich Photovoltaik umzusetzen.



Abb. 3: Großflächige PV-Anlage auf einem Industriebetrieb.





Photovoltaik in der Mobilität

Photovoltaik in der Mobilität

3.1 Einleitung

Der Mobilitätssektor trägt in Österreich mit etwa 28% zu den Treibhausgasemissionen bei. [Umweltbundesamt 2015]; der PKW-Anteil alleine beträgt 12%.

Beim energetischen Endverbrauch in Österreich nimmt die Mobilität („Traktion“) die führende Rolle ein: 35,4% des energetischen Endverbrauchs in Österreich gehen in diesen Sektor; 87,7% dieses Energiebedarfs werden durch fossile Energie gedeckt, nur 12,3% durch erneuerbare (inklusive der verpflichtenden Beimischung von Biotreibstoffen) [BMFWF 2016].

Strom nimmt bereits heute eine bedeutende Rolle in der Mobilität ein: Bahn, U-Bahn und Straßenbahnen sowie Oberleitungsbusse sind seit vielen Jahrzehnten mit elektrischen Antrieben ausgestattet. Von den Personenkilometern ist dies aber dennoch ein geringerer Anteil, da der Individualverkehr überwiegt und auch im öffentlichen Verkehr die Sektoren Bus und Luftfahrt nahezu ausschließlich mit fossilen Treibstoffen betrieben werden.

Unter der Voraussetzung, dass die Elektrizität aus erneuerbaren Quellen kommt, ist die Elektrifizierung des Verkehrssektors vielfach positiv zu beurteilen; die aktuelle Entwicklung der Individual-E-Mobilität darf dennoch nicht als singuläres Element verstanden werden, sondern kann nur Teil einer Mobilitätswende sein, die Verkehrsvermeidung und Ausweitung des öffentlichen Verkehrs als vorrangige zentrale Elemente beinhalten muss.

Im Bereich der PKWs, LKWs und Busse werden erneuerbar erzeugter Strom und/oder aus erneuerbaren Energien erzeugte Gase (Wasserstoff etc.) als Antrieb einzusetzen sein. Oberleitungs-LKWs werden aktuell in Deutschland getestet: auf Teilstrecken einer Autobahn südlich von Frankfurt, später dann auch auf Teilstrecken der Autobahn A1 bei Lübeck und auf der Bundesstraße B442 bei Gaggenau; auf jeweils sechs Kilometern Länge können die Hybrid-LKWs während der Fahrt Strom tanken und ihren Akku füllen – um dann möglichst den Rest der Strecke elektrisch zu fahren [Autogazette 2018].

In allen Fällen kommt der Photovoltaik als Stromquelle eine große Rolle zu. Unter der Annahme, dass es zu einer massiven Elektrifizierung des Energiesystems und Umstellung des Mobilitätssystems als auch aller wesentlichen Industrieprozesse auf Strombasis kommt, können laut Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich bis 2030 etwa 15% und bis 2050 mindestens 27% des österreichischen Gesamt-Strombedarfs mittels PV gedeckt werden. Die Flächenverfügbarkeit ist dabei bereits heute gegeben, auch wenn nur die Potenziale von heute bereits bestehenden Dächern und Fassaden sowie aktuelle PV-Wirkungsgrade berücksichtigt werden [Fechner et al. 2016].

Trends in der Mobilität

Die Anfänge, Photovoltaik für die Mobilität einzusetzen, reichen zumindest bis ins Jahr 1985 zurück, als die erste „Tour del Sol“ in der Schweiz durchgeführt wurde. Sie führte in fünf Etappen von Romanshorn über Winterthur nach Genf. Am Start waren 73 Solarmobile, wobei über 50 davon die Strecke bewältigten.

Die Weltumrundung des Solarschiffs „Türanor Planet-Solar“ sowie jene des Solarflugzeuges „Solar Impulse 2“

zählen zu den bedeutendsten Pionierprojekten im Bereich der PV in der Mobilität [PlanetSolar 2016]. Der aufkommenden Attraktivität für die Integration von PV im Mobilitätssektor liegt der ebenfalls stark wachsende Markt der Elektromobilität zugrunde. Etwa 15.000 reine Elektrofahrzeuge sind in Österreich Ende 2017 zugelassen [Statista 2017]. Aktuell ist die Stromversorgung aller E-Autos in Österreich ohne signifikanten Ausbau des Stromnetzes zu bewerkstelligen.

Der weitere Ausbau der Elektromobilität muss Hand in Hand mit einem weiteren Ausbau der Erneuerbaren, allen voran der Photovoltaik gehen.

Als Richtlinie gilt ein wachsender Stromverbrauch Österreichs von etwa 0,3% pro 100.000 Elektroautos³. In Österreich fahren E-Autos aufgrund des hohen Anteils von rund 70% erneuerbarer Energieträger an Österreichs Stromversorgung mit zumindest ca. 80% weniger Treibhausgas-Emissionen als Benzin- oder Dieselfahrzeuge, direktes Laden an Tankstellen,

deren Strom ausschließlich aus Erneuerbaren Energien kommt, erhöht diesen Wert gegen nahezu 100%. Österreich hat somit gegenüber den meisten EU-Staaten mit geringeren Anteilen nachhaltiger Energieerzeuger eine gute Position für den Einstieg in die E-Mobilität [Österreichs Energie k.J.].

Photovoltaik in der Mobilität – Generelle Einsatzbereiche

In der Verkehrsinfrastruktur	• Schallschutzwände • Solare Straßenbeläge, Smart Roads • Parkraumüberdachungen, Carports • solarbetriebene Verkehrsleittechnik
Direkt am Fahrzeug	• An PKW Oberflächen • Auf Kühl-LKWs • Auf Schiffen, Flugzeugen und Eisenbahnwaggons
Für das Laden der Stromspeicher von E-Mobilen	• um sicherzustellen, dass Elektromobilität mit erneuerbaren Quellen, darunter wesentlich Photovoltaik, betrieben wird

Die fahrzeugintegrierte Photovoltaik wird vor allem durch die steigende Elektrifizierung der Mobilität und aufgrund regulatorischer CO₂-Emissionsbeschränkungen für Automobilhersteller vorangetrieben. Eine Arbeitsgruppe des IEA-PVPS Programmes widmet sich diesem Thema [IEA-PVPS Task 17 2018].

³ Unter Annahme eines Energiebedarfs pro elektrischem PKW von 0.15 kWh/km, bei 10 000 km pro Jahr und PKW

3.2 Nutzen der Photovoltaik in der Mobilität

3.2.1 Die Rolle der Photovoltaik in der Verkehrsinfrastruktur

- **Lärmschutzeinrichtungen**
- **Solare Straßen**
- **Photovoltaische Überdachungselemente – Parkplätze/Carports**
- **Verkehrsleittechnik**

Im Verkehrsbereich gibt es vielfältige Anwendungen mit geringem Strombedarf, welcher leicht und effizient mit Strom aus PV gedeckt werden kann. Hierzu zählen zum Beispiel Fahrplanbeleuchtungen, Parkscheinautomaten, ereignisorientierte Stauwarnungs- und Verkehrsinformationseinrichtungen, Notrufsäulen, Navigationssysteme und andere Leitsysteme oder Kommunikationssysteme. Gerade die Flexibilität, die aus solarstrombetriebenen Verkehrseinrichtungen resultiert, bringt eine gewisse Attraktivität mit sich [Lang 1999]. So ermöglichen beispielsweise Ampeln mit solarer Stromversorgung bei Baumaßnahmen oder geänderter Verkehrsführung eine flexible Aufstellung ohne Netzanschluss.

Photovoltaik-Lärmschutzeinrichtungen

Bereits Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre wurden erste Projekte von PV-Lärmschutzwänden realisiert. Durch den allgemeinen Preisrückgang von PV-Anlagen ist auch der Preis für PV-Lärmschutzwände kontinuierlich gesunken [Gündra et al. 2015]. Die weltweit erste PV-Lärmschutzwand hat der Pionier Thomas Nordmann von der Schweizer TNC Consulting 1989 entlang der A 13 bei Donat/Ems errichtet [Nordmann et al. 2012].

PV-Lärmschutzwände entstehen durch zwei Möglichkeiten: Entweder werden bestehende Lärmschutzwände mit Photovoltaikmodulen aufgerüstet oder neue Schallschutzanlagen mit direkt integrierter PV errichtet. Die multifunktionale Nutzung von Bauwerken im Straßenraum kann zu Kosteneinsparungen führen und gleichzeitig eine Stromquelle aus Erneuerbarer Energie darstellen.

Im gemeinsamen Projekt der Schweiz und Deutschlands „Integrale Photovoltaik-Schallschutzelemente für den Einsatz entlang von Verkehrsträgern“ wurden bereits 1993 verschiedene Möglichkeiten der PV-Integration in Lärmschutzwänden realisiert und getestet.

Neben diesen Möglichkeiten können die Module auch ähnlich einer normalen Freiflächenanlage auf Lärmschutzwällen – entweder böschungseitig oder auf der Wallkrone – installiert werden. Die Installation auf Lärmschutzwällen bietet den Vorteil, dass große Flächen mit optimaler Neigung genutzt werden können, während geringe bauliche und planungsmä-

ßige Anforderungen gestellt werden. Die mögliche Gefährdung von Autofahrern durch Reflexionen des Sonnenlichts bei tiefstehender Sonne kann dabei ein Problem darstellen. In solchen Fällen kann nur die straßenabgewandte Seite des Walls genutzt werden. Das hat auch im Falle von Schneeräumung im Winter den Vorteil, die PV-Module nicht zu beschädigen und weniger Salzeis auszusetzen [Gündra et al. 2015]. Bei Autobahnen gilt es, sicherheitstechnische Anforderungen bezüglich Lichtraum, Elastizität der Konstruktion sowie Blendung zu beachten, bei Bahnwegen spielt die Beeinträchtigung des Bahnbetriebs während Bau und Betrieb sowie die Anlagenerdung eine wichtige Rolle. Auf Brücken ist es wichtig, ein Augenmerk auf die besonders gute Isolation gegen Beton zu richten, da diese durch Kriechströme beschädigt werden können. Die Beeinträchtigung durch Feinstaub und hoch geschleuderten Schmutz ist noch im Detail zu evaluieren. Ebenso stellen sich noch Fragen des effektiven Diebstahlschutzes von Modulen. Es ist vorteilhaft, die Modulunterkante möglichst hoch zu setzen, wobei die minimale Höhe projektspezifisch in Abhängigkeit des Abstandes von der Fahrbahn und der zu erreichenden Lärmschutzeigenschaften festgelegt werden muss. Bei straßenabgewandter Montage könnte die Gefahr der Beschädigung durch Stein Schlag oder Eis von winterlicher Straßenräumung minimiert werden. Entscheidend für eine breitere Umsetzung wäre es laut Süß [2017a] auch, engere Kooperationen des Straßenerhalters mit Anlagenbetreibern durch geeignete Geschäftsmodelle zu vereinfachen.

Für nord-süd-verlaufende Straßen eignen sich besonders bifaziale Photovoltaikzellen, die beidseitig nutzbar sind [Nordmann et al. 2012; TNC Consulting AG k.J.].

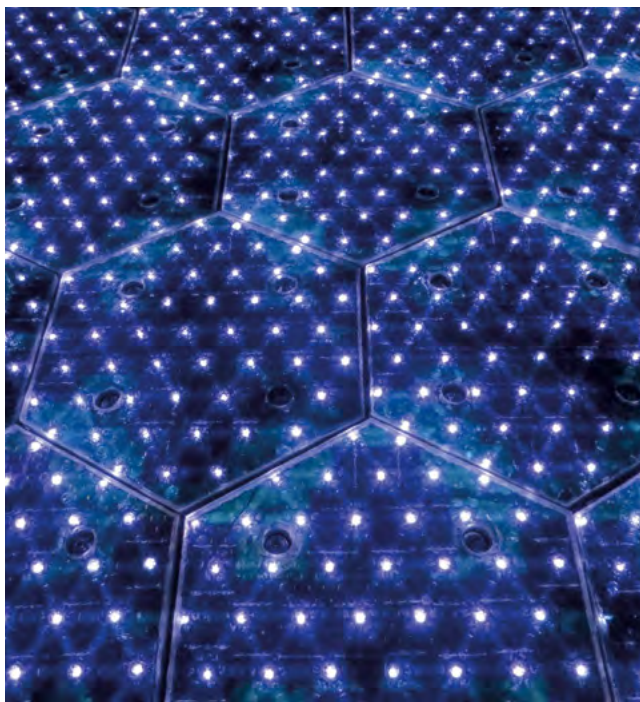
Österreich hat aktuell 3 PV-Lärmschutzwände mit insgesamt 156 kW installierter Leistung aufzuweisen. Weltweit am stärksten vertreten ist Deutschland mit einer installierten Gesamtleistung von 6,4 MW. Das entspricht in etwa 2/3 der gesamten global installierten Leistung an Lärmschutzwänden von 9,1 MW. Italien nimmt mit 1,6 MW den zweiten Platz ein, gefolgt von der Schweiz, die derzeit 9 kleinere Anlagen mit insgesamt 625 kW betreibt [Lenardic 2015].



Solare-Straßen

Smart Highway und Smart Road sind generelle Bezeichnungen für die Integration von Intelligenz in Straßenoberflächen: Für die Gewinnung von Solar-energie ebenso wie für den Betrieb autonomer Fahrzeuge, für Beleuchtung sowie für ein Monitoring der Straßenzustände.

- Eine der ersten Photovoltaik Straßen wurde im Herbst 2016 in Tourouvre, Orne (Frankreich) zu Forschungszwecken errichtet. Etwa 2800 m² Paneele wurden auf einer Länge von einem Kilometer ausgebaut. Die Abbildungen links zeigen beispielhafte Prototypen beziehungsweise Teststrecken der ersten Projekte für Solarstraßen. Hierbei handelt es sich derzeit ausschließlich um Pilotprojekte.
- In den Niederlanden wurde im Zuge des Projekts SolaRoad ein Radweg mit integrierten Solarpanee-len errichtet [Bergman et al. k.J.]. Die Kosten für das Pilotprojekt lagen hier bei 3,75 Millionen US\$ für einen schmalen, etwa 70 Meter langen Abschnitt [Peters 2014]. Der jährliche Ertrag des Radwegs beläuft sich auf etwa 70 kWh/m².
- In Jinan, in der ostchinesischen Provinz Shan-dong, wurde im Dezember 2017 der Jinan City Ring Expressway eröffnet; eine PV-Straße, die gesamt 1 GWh/a erzeugt: die mit PV-Panee-len ausgelegte Straße ist etwa zwei Kilometer lang und soll zukünftig E-Autos drahtlos laden [en.people.cn 2017] [LuFang, 2018].



© Solar Roadways (3)

Abb. 4–7: Prototypische Solarstraßen-Elemente aktuell laufender Projekte.



Rutschfestigkeit, Tragfähigkeit und Beständigkeit: Neben der Gefahr von Modulbrüchen durch die Schwerverkehrsbelastung müssen die Module auch den wechselnden Temperaturbedingungen standhalten. Die erforderliche Rutschfestigkeit von PV-Straßenelementen kann ersten Prototypen zu Folge beispielsweise durch eine Behandlung beziehungsweise Texturierung der obersten Schicht der Module erreicht werden, welche laut Solmove zusätzlich eine Optimierung des Energieertrags durch Lichtlenkung sowie selbstreinigende Effekte durch einen profilgeführten Abfluss von Regenwasser bewirken kann [Solmove GmbH 2017b].

Montage und Wartung: Bei aktuellen Projekten werden zwei unterschiedliche Ansätze der Montage beziehungsweise Integration der PV-Zellen verfolgt: das Verkleben von dünnschichtigen PV-Elementen auf bestehenden Verkehrsflächen [Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen 2016; Wattway by Colas 2016] oder dickere PV-Elemente, welche konventionelle Straßenbeläge gänzlich ersetzen [Solar Roadways® 2016].

Unfallsituationen: Ein intelligentes Schaltsystem ist erforderlich, welches im Fehler- oder Schadensfall nur die betroffenen Teile des Systems abschaltet; die Zellen sollten sich untereinander nicht beeinflussen [Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen 2016; Solar Roadways® 2016; Wattway by

Colas 2016]. Generell müssen Hochspannungen an Straßenoberflächen im Fall von Beschädigungen laut Süß [2017a] vermieden werden. In diesem Kontext liegt die Herausforderung darin, Straßenelemente mit integrierter Photovoltaik möglichst unempfindlich gegenüber Störungen und Fehlern in Unfallsituationen oder auch sich ändernden Bodenbedingungen zu gestalten. Aber auch durch Feuchtigkeitseintrag oder Verschmutzungen könnten Kriechströme an der Straßenoberfläche entstehen. Dementsprechend ist die Wasserdichtigkeit der Module im Betrieb, aber auch im Schadensfall nicht zu vernachlässigen; vor allem Stecksysteme und Verkabelungen sollten dahingehend möglichst gut isoliert und unzugänglich gehalten werden [Süß 2017a].

Wirtschaftlichkeit: Die Kosten von Solarstraßen liegen entsprechend dem Entwicklungsstadium dieser Anwendungstechnologie der Photovoltaik noch weit über denen einer herkömmlichen Straße [Harder 2013; Wattway by Colas 2016]. Die Forschung sollte auch auf die Optimierung der Produktionsprozesse solcher PV-Straßenpaneele abzielen.

Straßenmarkierungen können durch direkt in die Paneele integrierte LEDs realisiert werden; Thermoelemente werden, in die Paneele integriert, für Glatteiswarnungen genutzt etc. [Solar Roadways® 2016], ebenso ist eine lokale Nutzung des Stromes für Ladestationen für E-PKWs denkbar.

Photovoltaik in Überdachungselementen von Verkehrsflächen, Parkraum, Fahrwegen und Carports

Im Gegensatz zu den bereits genannten Ansätzen der PV-Integration in die Verkehrsinfrastruktur liegt bei der Einbindung in Überdachungselemente die Verantwortung des Einsatzes meist nicht in der öffentlichen Hand. Neben Photovoltaikanlagen an Parkhäusern sind bereits eigens für Elektrofahrzeuge entwickelte Solar-Carports für Privatanutzer am Markt erhältlich.



© Fronius International GmbH

- Beispielhaft für die Nutzung der Photovoltaik an Parkhäusern steht die Solargarage Vauban in Freiburg/Breisgau in Deutschland; das Parkdeck der 4-geschossigen Parkanlage ist von einer 750 m² großen PV-Anlage überdacht; bei insgesamt 90 kWp liefert die Anlage 81 MWh im Jahr. Eine 4,8 MWp große Parkraumüberdachung befindet sich an der California State University in Long Beach (CSULB); neben der Solarstrom-Erzeugung werden die Carports in diesem Projekt auch mit Lademöglichkeiten für 50 Elektroautos ausgestattet [SunPower Corporation 2016].

- Eine etwas andere Herangehensweise wird von Ford mit dem „C-Max Solar Energi“-Konzept verfolgt. Das Hybridfahrzeug erhält seine Energie über eine 1,5-m²-Solarzellenfläche auf dem Dach. Diese wurde von SunPower entwickelt. Um trotz dieser kleinen Fläche schnelle Ladezeiten zu erreichen, wurde der sogenannte „Solar Concentrator“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine Art Carport, welches mit Hilfe von Fresnel'schen Linsen die Solarstrahlung auf das PV-Modul des Fahrzeugs konzentriert und damit eine achtfache Ladegeschwindigkeit ermöglicht. Verantwortlich hierfür ist das Georgia Institute of Technology [Jeß 2014]. Die Überhitzung des Fahrzeuges stellt jedoch eine Herausforderung dar.

- Dass PV nicht nur in Überdachungselementen von Parkräumen integriert werden kann, hat ein Projekt in Südkorea bewiesen. Zwischen Daejeon und Sejong verläuft ein 30 km langer, mit PV-überdachter Radweg zwischen den Straßen. Die Überdachung bietet neben der Solarstromerzeugung einen Watterschutz für Radfahrer [Sorrel 2015].



© Everto

Abb. 8–9: Carport mit integrierten PV Modulen spendet Schatten und produziert Strom.

3.2.2 Die Rolle der Photovoltaik an Fahrzeugen

Für Automobilhersteller wird es zunehmend schwieriger, die in der EU-Regulation EC443/2009⁴ zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen festgelegten Grenzwerte des CO₂-Ausstoßes einzuhalten [Süß 2017b]. Bei Nichterreichen der Zielvorgaben müssen Automobilhersteller mit Strafzahlungen rechnen. Der Grenzwert liegt hierbei seit 2015 bei 130 g CO₂/km als Durchschnittswert aller neu zugelassenen PKWs der gesamten Flotte eines Herstellers. Ab 2020 gilt jedoch die neue Zielvorgabe von 95 g CO₂/km. Das entspricht einem durchschnittlichen Verbrauch von 3,6 Liter Diesel bzw. 4,1 Liter Benzin. Die Entwicklung des Fahrzeugdesigns zeigt sich diesbezüglich kontraproduktiv, denn viele Fahrzeuge werden z.B. durch Allradsysteme oder Fahrzeuggröße zunehmend schwerer. Die von der EU festgelegte Abgabe für eine Überschreitung des maximal zulässigen CO₂-Ausstoßes beträgt 95 € pro PKW und g CO₂.

Zusätzlich zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes der Fahrzeuge selbst sollen auch indirekte CO₂-Einsparungen durch den Einsatz innovativer Technologien in Form von CO₂-Gutschriften berücksichtigt werden. Zu diesen Eco-Technologien zählt neben effizienteren Kühlsystemen, LED-Beleuchtung oder dem Abschalten des Fahrzeugs im Leerlauf auch die direkte Integration von Photovoltaik in das Fahrzeug. Diese kann neben der Reichweitenverlängerung von Elektrofahrzeugen auch anderen Anwendungen, wie z.B. der Stromversorgung von Klimageräten oder anderer Systeme dienen. Die CO₂-Gutschriften aus PV-Integration werden unabhängig vom Verbrauch des jeweiligen Fahrzeugs berücksichtigt und bewirken somit eine Reduktion des Flottenverbrauchs. Dadurch erlangt die direkte Integration der PV maßgeblich an Bedeutung. Ein weiterer Vorteil der CO₂-Gutschrift liegt darin, dass dadurch die nationale Besteuerung beim Fahrzeugankauf und im Betrieb geringer ausfällt [Süß 2017b].

International kann man den Einsatz von Photovoltaik z.B. auf Bussen in China beobachten. Es handelt sich um Elektro-Linienbusse, welche mit PV-Paneeelen auf dem Dach ausgestattet sind. Die solare Stromerzeugung dient der Ladung der Batterien und somit der Reichweitenverlängerung. Dennoch müssen die Batterien der Busse außerhalb ihrer Betriebszeiten über einen Netzanschluss geladen werden. Die Elektrobusse benötigen 0,7 kWh/km und können bis zu 100 Passagiere transportieren [Max 2012].

In Österreich hat das Austrian Institute of Technology (AIT) gemeinsam mit dem Fahrzeughersteller Kutschenits Busconstruction, der Technischen Universität Graz/Institut für Fahrzeugsicherheit, Solarmobil Austria und dem Energieerzeuger Ökostrom ein Konzept für einen rein elektrisch betriebenen Bus entwickelt, welcher mit speziellen österreichischen Photovoltaikpaneelen auf dem Dach ausgestattet ist. Diese liefern eine Leistung von 1,2 kWp und dienen der Versorgung der elektrischen Verbraucher an Bord. Die Heizung und Kühlung des Solarbusses wurde mittels einer speziellen Wärmepumpe realisiert. Zusätzlich wurde bei dem Bus auf Gewichtsreduktion geachtet. Der Solarbus wurde bis Juli 2012 im Ortslinienbetrieb der ÖBB Postbus in Perchtoldsdorf getestet. Der mittlere Verbrauchswert von ca. 72 kWh pro 100 km entspricht einem Äquivalent von 6 Liter Diesel. Damit weist der Solarbus einen etwa 5-mal effizienteren Betrieb im Vergleich zu den bisher eingesetzten Midibussen auf, die einen Verbrauch von über 30 Liter pro 100 km verzeichneten [Kieninger k.J.].

⁴ April 23, 2009 <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0443&from=DE>

PV als Hauptenergiequelle für den Antrieb von Straßenfahrzeugen

Nach heutigen Gesichtspunkten sollten Fahrzeuge, welche ausschließlich direkt am Fahrzeug erzeugte Solarenergie als Antriebsenergie nutzen, ihre Karosserie an die Nutzung von PV anpassen. Die PV-Zellen sind dabei in fast allen Teilen der Karosserie integriert. Derartige Solarautos, welche ausschließlich mit umgewandelter Sonnenenergie angetrieben werden, gibt es zurzeit allerdings nur als Konzepte oder Studien von Universitäten bzw. Rennautos der World Solar Challenge. Dennoch wird, durch die steigende Nachfrage nach immer effizienteren, hybrid- und rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen, der Einsatz von fahrzeugintegrierter PV für den Antrieb auch im kommerziellen Bereich interessanter. Dies ist vor allem auf die Entwicklung dünner, leichter, flexibler und effizienter PV-Module zurückzuführen [Ver-Bruggen 2012]; speziell die Entwicklung von PKW-Leichtbaukonzepten würde diese Entwicklung zusätzlich fördern.

Das grundlegende Konzept verfolgt den heute noch futuristisch klingenden Ansatz eines „Fahrens, ohne Tankstopps einlegen zu müssen“, was die Energieversorgung der Mobilität revolutionieren würde.

PV auf Fahrzeugen, insbesondere PKWs, ist durch zwei grundlegende Faktoren begrenzt: die verfügbare Fläche am Fahrzeug und der Zellwirkungsgrad. Dementsprechend hat die Zellforschung eine hohe Priorität. Zum einen gilt es, den Wirkungsgrad unter ästhetischen Anforderungen für die Integration in die Fahrzeugkarosserie zu erhöhen. Zum anderen ist ein hoher Flexibilitätsgrad erforderlich, um einen möglichst hohen Anteil der Karosserie mit PV-Zellen versehen zu können. Um die Photovoltaik als Hauptantriebsquelle nutzen zu können, könnte ein Umdenken/Überdenken des am Markt üblichen Fahrzeugkonzepts zielbringend sein. Ein neues, für eine optimale PV-Erzeugung optimiertes Konzept würde zum Beispiel ein hohes Maß an horizontalen Flächen aufweisen und als Leichtbau ausgeführt sein, wie das Automobilkonzept sunswift zeigt. Heutige Privat-PKWs sind zu etwa 95% der Zeit nicht in Betrieb; Untersuchungen zur optimierten Solarnutzung im Stillstand (z.B. Ausnutzung größerer Flächen, ausroll-/fahrbare PV).

Aufgrund der Tatsache, dass private Kfz typischerweise bis zu 95% des Tages nicht betrieben werden, ergibt sich ein Potenzial an Speichern, das bei hoher Verbreitung von E-Mobilität hohe Ausmaße annehmen wird.

Das Münchener Start-up-Unternehmen Sono Motors setzt mit ihrem Solarauto Sion auf einen Aufbau aus rostfreiem Polycarbonat, wobei insgesamt 330 Solarzellen mit einer Gesamtfläche von 7,5 m² auf beiden Seiten, dem Dach, dem Heck und der Motorhaube in die Karosserie integriert sind [Sono Motors 2017]. Ein von einem 21-köpfigen Studentinnenteam der TU Eindhoven in den Niederlanden entwickeltes Solarauto, das Stella Lux, weist eine aerodynamische Bauweise und Materialien wie Kohlefaser und Aluminium auf [Harder 2015]. Sono Motors [2017] gibt eine allein durch PV-Strom gewonnene Reichweite von bis zu 30 km an sonnigen Tagen an, das Stella Lux soll laut Solar Team Eindhoven [k.J.] in den Sommermonaten bis zu 300 km durch PV-erzeugten Strom fahren.

Durch die höhere Erzeugungsleistung direkt am Fahrzeug ergeben sich auch andere Nutzungsmöglichkeiten für den Solarstrom. Das Ladesystem des Sions soll bidirektionales Laden ermöglichen, das heißt, dass das Fahrzeug mit integrierter PV-Anlage als mobiles Kraftwerk operieren kann. Mit einem Haushaltsstecker können alle gängigen elektrischen Geräte mit bis zu 2,7 kW vom Sion angetrieben werden [Sono Motors 2017].



© Sono Motors



© DAS Energy GmbH

Abb. 10: Solarauto von Sono Motors mit integrierter Photovoltaik
Abb. 11: Das bestehende Dach des Golfwagens kann durch die leichte und dünne Konstruktion des Photovoltaikmoduls selbst Strom produzieren.

PV auf den Dächern von Eisenbahnwaggons

Indian Railways hat am 14. Juli 2017 den ersten „solar-powered DEMU“- (diesel electrical multiple unit) Zug in der „Safdarjung Railway Station“ in Delhi auf die Reise geschickt. Gesamt 16 PV-Module, jedes 300 Wp, sind auf 6 Waggons montiert. Damit wird vor allem das Licht in den Waggons betrieben [The Hindu 2017]. In Byron Bay, Australien, wurde im Jänner 2018 ebenso ein „Solartrain“ in Betrieb genommen [Elley 2017].

PV in der Schifffahrt und im Flugverkehr

Der Einsatz von Photovoltaikpaneelen in der Schifffahrt gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben Anwendungen im privaten Yachtbereich, wie z.B. als Dieselgeneratorersatz für die Erzeugung des Bordstroms, werden PV-Paneele auch in der Energiegewinnung für elektrische Antriebskonzepte vorgesehen. Ein Vorteil der Anwendung von PV auf Schiffen ist die nicht vorhandene Verschattung durch externe Objekte. Gerade im Bereich der Binnenschifffahrt haben Solarschiffe Potenzial [Jung und Haude 2016].

Im Sektor des Flugverkehrs gibt es derzeit nur wenige Pilotprojekte, als Beispiel kann das Solarflugzeug Solar Impulse 2 genannt werden. Dieses ist das erste rein solar betriebene Flugzeug, welches eine Weltumrundung absolviert hat. Mit einer Spannweite von 72 m, welche der Spannweite einer Boeing 747 entspricht, und einer Masse von 2,3 t ist es möglich, rund um die Uhr mit Solarenergie zu fliegen. Insgesamt 17.248 Solarzellen wurden in das Flugzeug verbaut. Dabei erzeugen die vier 15 kW elektrisch betriebenen Propeller genug Vortrieb, um eine Reisegeschwindigkeit von 75 km/h zu erreichen. Die Pioniere Andre Borschberg und Bertrand Piccard absolvierten in 17 Etappen die Weltumrundung, ohne das Flugzeug extern zu betanken. Aufgrund der Auslegung der PV, der Batterien und der Motoren ist es möglich, rund um die Uhr in der Luft zu bleiben [Solar Impulse 2016].



Abb. 12: Solar Impulse 2 mit Photovoltaik auf den Gleitflächen

3.2.3 Photovoltaikstrom zum Laden von E-Mobilen

Mit dem erwarteten Zuwachs der E-Mobilität steigt die Relevanz des Aufbaus einer geeigneten Ladeinfrastruktur. Im Sinne eines funktionierenden, flexiblen Energiesystems könnten alternative Lademöglichkeiten zur Schnellladung an Ladestationen eine entscheidende Rolle spielen. Um das Stromnetz zu entlasten, wäre eine möglichst langsame Ladung der Fahrzeuge bzw. eine maximale Nutzung von lokal erzeugtem Photovoltaikstrom erstrebenswert. Dies könnte durch viele, kleine Energieeinträge in das Elektroauto während der Fahrt oder während Stehzeiten anstelle eines durchgängigen Ladevorgangs ermöglicht werden.

Eine Enablertechnologie für so ein System stellt das induktive Laden dar, welches in Zukunft eine wichtige Rolle in der E-Mobilität spielen könnte. Dieses Ladekonzept soll kontaktloses Laden von Elektroautos im Stillstand oder sogar während der Fahrt durch direkt im Asphalt integrierte Induktionsschleifen ermöglichen. Damit wird die Reichweitenlimitierung bei E-Fahrzeugen adressiert. Das dynamische Laden wird derzeit auf einer Versuchsstrecke in Frankreich erprobt. Hierbei werden Abschnitte der mittleren Spur einer dreispurigen Autobahn mit Ladestrecken bestückt, die das Laden während des Fahrens ermög-

lichen sollen [Amditis k.J.; Imhof 2016]. Zeitliche und leistungsmäßige Anpassung des Ladevorganges an die lokal gerade verfügbaren Reserven im Niederspannungsnetz unter Berücksichtigung örtlicher Einspeisung z.B. aus PV-Anlagen des Kunden; Nutzung der Ladestellen auch als Regellast; Bei Schnellladestationen > 100 kW ist eine Abstimmung mit dem Netzbetrieb erforderlich, da der Anschluss an höhere Spannungsebenen erfolgt; netzschonende Ladeeinrichtungen sind zu entwickeln, um eine Belastung durch Oberschwingungen und Phasenasymmetrie zu vermeiden.

Weiters gilt es Spitzenlasten durch Gleichzeitigkeitseffekte zu vermeiden; intelligente PV-Wechselrichter-Konzepte könnten als Vorbild dienen; Systeme zur lokalen (automatisierten) Optimierung von Erzeugung und Verbrauch (CEMS, HEMS ...) sind ebenso zu entwickeln wie eine Leistungselektronik, die in der Lage ist, auf Optimierungsbedarf zu reagieren, z.B. Abdeckung mehrerer Use Cases gleichzeitig – Laden, Netzdienstleistungen (Blindleistung, Phasensymmetrierung etc. – mit flexibler Priorisierung). Im Bereich alternativer Lademöglichkeiten könnte der Einsatz von induktiven Ladestreifen, aber auch von Oberleitungssystemen interessant sein.

3.3 Potenziale der Photovoltaik in der Mobilität

Alle Betrachtungen werden auf Basis heutiger Zell- bzw. Modulwirkungsgrade gemacht. Die zu erwartenden Steigerungen in den kommenden Jahrzehnten, die bis zu einer Verdoppelung der heutigen Wirkungsgrade oder mehr führen könnten, wurden dabei nicht berücksichtigt.

Dieses physikalische Potenzial ist jedoch dem technischen Potenzial gegenüberzustellen, das sich erst daraus ergeben kann, welche Technologien ihre Einsatztauglichkeit in größerer Breite beweisen werden. Das wirtschaftliche Potenzial kann zum derzeitigen Zeitpunkt daher noch keinesfalls abgeschätzt werden, einzig im Bereich des PV-Schallschutzes und der PV-Überdachungselemente können Überlegungen angestellt werden.

PV-Flächenbedarf für Individual-E-Mobil-Jahresbedarf

Bereits 18 m² PV-Module heutiger Technologie sind ausreichend, um ein Elektrofahrzeug im Jahreschnitt mit Energie für 10.000 km Reichweite zu versorgen [Rimpfl 2015]⁵. Bei einer kompletten Umstellung auf Elektromobilität ist freilich die zeitliche Verfügbarkeit der Photovoltaik zu beachten, d.h. andere erneuerbare Stromquellen, allen voran Windkraft, aber auch Stromspeicherung und andere Flexibilisierungsmaßnahmen werden ebenso eine große Bedeutung bekommen.

PV-Potenzial durch direkte Fahrzeugintegration

Als „best case“ der direkten Nutzung an der Fahrzeugoberfläche kann ein durchgehend unverschattetes Fahrzeuges mit 600 Wp Solarmodulen und eine Besonnung in optimalem Winkel in der Dauer von 8 Stunden angenommen werden. Mit Höchsteffizienzen könnten damit maximal 4,8 kWh Strom erzeugt werden, was bei heutigen E-Mobilen eine Reichweitenverlängerung um ca. 15–30 km ergäbe.

Im Abschlussbericht „e-connected II“ der im Jahr 2009 unter Federführung des Klima- und Energiefonds gegründeten Plattform „e-connected“ wird das Ziel von 250.000 Elektroautos auf Österreichs Straßen bis zum Jahr 2020 angeführt [Klima- und Energiefonds 2010].

Unter Annahme, dass alle Elektrofahrzeuge mit PV ausgestattet werden, ergibt sich ein Gesamtpotenzial von 75 MWp, bei einer kompletten Umstellung auf E-Mobilität (ca. 4,8 Mio. Fahrzeuge) wären es ca. 1,5 GWp.

PV-Potenzial auf Straßen, Geh- und Radwegen

Eine Doppelnutzung von Straßen für Verkehr und zur Energiegewinnung durch Photovoltaik bietet ein großes Flächenpotenzial. Dieses Potenzial übersteigt das von Photovoltaik auf dem Dach [Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen 2016].

In Österreich sind etwa 2043 km² mit Verkehrsflächen verbaut [Stand 2013; VCÖ – Mobilität mit Zukunft 2015]. Bei Annahme, dass in etwa 70% der Flächen mit PV-Paneelen ausgestattet werden können und entsprechende Einstrahlungswerte aufweisen ergibt sich somit bei Erzeugungskapazitäten von 70–126 kWh/m²a, welche bei verschiedenen Pilotprojekten erzielt wurden, ein theoretisches Potenzial von 100–180 TWh/a für Österreich, bei heutigen Modul-Wirkungsgraden. Anhand dieser Zahlen ist erkennbar, dass alleine das Potenzial der Verkehrsflächen ausreicht, um das 3- bis 6-Fache des erforderlichen Anteils der Photovoltaik für eine 100-prozentig erneuerbare Stromversorgung Österreichs zu ermöglichen.

PV-Potenzial auf Lärmschutzwänden

Aktuell gibt es 4,38 km² Lärmschutzwände in Österreich auf etwa 1370 km Länge [Asfinag 2016]⁶.

Bei Annahme einer eingeschränkten Nutzbarkeit von 50% aufgrund von Orientierung, Neigung und Verschattung könnten etwa 320 MW Photovoltaik installiert, und somit etwa 0,32 TWh Strom produziert werden.

Gündra et al. [2015] haben mit der Arbeit „Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen“ ein Potenzial für den gesamten Straßenraum des Bundesgebiets Deutschland von 1242 GW ermittelt. Die Integration von PV in bereits bestehende Lärmschutzeinrichtungen ergibt allein ein Potenzial von 14,4 TWh bei 1.6 GWp installierter PV-Leistung.

⁵ Der zusätzliche Strombedarf bei einer vollkommenen Umstellung auf E-Mobilität bei PKW/LKW und Bussen wird in Studien unterschiedlich angegeben, je nach weiterer Entwicklung der E-Mobile, aber auch des Verkehrsaufkommens. Mittlere Werte liegen bei einem Stromzuwachs von 30–50% bei kompletter Umstellung auf E-Mobilität bei PKW/LKW und Busverkehr.

⁶ Das österreichische Straßennetz wies laut BMVIT (2012) eine Gesamtlänge von 124.510 km im Jahr 2011 auf, davon sind 2.180 km Autobahnen und Schnellstraßen und 33.660 km Landesstraßen.

PV-Potenzial auf Parkplatzüberdachungen

Über 15.000 österreichische Großparkplätze im siedlungsnahen Bereich wurden auf ihre Eignung zur Photovoltaiknutzung geschätzt. Dabei wurden die Lage der Parkplätze, die Beschattung durch umliegende Gebäude sowie die wetterbedingte tatsächliche Sonneneinstrahlung der vergangenen zehn Jahre in Modellrechnungen berücksichtigt. „Selbst wenn man davon ausgeht, dass nur etwa 50% der Parkplatzflächen tatsächlich mit Photovoltaikpaneelen überdacht werden können, so ergibt sich daraus ein solares Erwartungspotenzial von 4,2 TWh pro Jahr“, so Projektmitarbeiter DI Christoph Graf vom BOKU-Institut für Landschaftsentwicklung.

Diese Menge entspricht dem Strombedarf von ca. 1,4 Millionen Elektroautos mit einer durchschnittlichen Fahrleistung von 15.000 km pro Jahr [Salak 2017].

PV-Potenzial im Eisenbahnwesen

Bei aktuell ca. 3000 Waggons des Personenverkehrs der ÖBB [ÖBB 2016] und der Annahme von 5kWp-PV-Anlage pro Waggon ergibt dies ein Potenzial von 15 MW elektrischer Leistung, die im Falle voller Bestrahlung erreicht werden kann; unter Annahme von realistisch erscheinenden 800 Volllaststunden ergibt das eine Jahresenergie von 12 GWh. Im Vergleich zu den aktuell eingesetzten 1792 GWh für Traktion bei den ÖBB (Oberleitungsstrom) wären das etwa 0,6%. Könnten auch die etwa 24.000 Güterwaggons [ÖBB 2016] genutzt werden, erhöht sich das Potenzial auf etwa 5%.

Darüber hinaus gibt es ein schwer quantifizierbares Potenzial an den etwa 900 km Lärmschutzeinrichtungen der ÖBB sowie an den etwa 5000 Gebäuden des Bahnbetriebs [ÖBB 2016].

3.4 Herausforderungen für die Anwendung von Photovoltaik in der Mobilität

3.4.1 Herausforderungen im Bereich Verkehrsinfrastruktur

Die Einsatzbereiche von Photovoltaikstraßen sind überwiegend auf weniger frequentierten Straßen wie Zufahrtsstraßen oder Fußgängerüberwege zu sehen, da diese meist weniger beschattet sind [Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen 2016]. Aber auch alle anderen begehbaren oder befahrbaren Oberflächen, wie zum Beispiel Parkplätze, Gehwege, öffentliche Plätze, Radwege, Spielplätze, Innenhöfe oder auch Flughäfen, könnten mit photovoltaischen Elementen ausgestattet werden [Harder 2013]. Durch die Integration von PV in all diese Verkehrsflächen, erlangen diese eine Doppelfunktion: Zusätzlich zur tragenden Funktion als Straßenelemente werden sie zu dezentralen Stromerzeugungsanlagen. Hierbei stellt sich die wesentliche Frage, wie diese in das bestehende Stromnetz integriert werden können, beziehungsweise wie der erzeugte Strom genutzt werden kann.

Neben der Stromerzeugung der Solarpaneele wird z.B. im Projekt SolarRoad auch an einem effizienten Energiemanagement sowie an der Einbindung verschiedener Applikationen in das System geforscht [Bergman et al. k.J.]. Wattway by Colas hat dahingehend im Juni 2016 bereits einige Versuchsstrecken

in Betrieb genommen, welche Ergebnisse über das Potenzial der Technologie in verschiedenen Anwendungen zeigen sollen. Die Standorte der Teststrecken unterscheiden sich hinsichtlich solarer Einstrahlung, Temperatur und Raum (urban/ländlich).

Bisherige Erkenntnisse zeigen, dass die erzeugte Energie solcher Solarstraßen einerseits direkt genutzt werden kann, um anliegende Verkehrsinfrastruktur, wie zum Beispiel Ampeln, Schalttafeln oder E-Ladestationen, mit Strom zu versorgen. Daneben bietet sich auch die Möglichkeit, Straßenmarkierungen durch direkt in die Paneele integrierte LEDs zu realisieren, wie es bei den Projekten Solmove und Solar Roadways® geplant ist [Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen 2016]. Der Wechsel von reinem Asphalt zu intelligenten Systemen kann den Einsatz selbstfahrender Fahrzeuge unterstützen, da die nötige Sensorik vergleichsweise einfach in ein solches PV-System integriert werden kann. Auch die automatische Glatteisvermeidung und Anpassung der LED-Intensität nach Tageszeit bei dem Projekt Solar Roadways® [2016] zeigen hier eine Richtung, in die sich der Straßenbau entwickeln könnte.

3.4.2 Herausforderungen bei der direkten Fahrzeugintegration

Bestimmend für die Rolle der direkt ins Fahrzeug integrierten Photovoltaik ist unter anderem auch die Entwicklung der Batteriesysteme in den nächsten Jahren. Wenn erhebliche Verbesserungen hinsichtlich der Reichweite erreicht werden sollten, sinkt zwar im Verhältnis dazu der prozentuelle Beitrag der Photovoltaik, da der mögliche Solarertrag durch technologische Grenzen limitiert ist, jedoch entsteht eine Unabhängigkeit von zusätzlichen Energiegewinnen am Fahrzeug. Die Photovoltaik kann in so einem Szenario vorwiegend als Add-On dienen. Zur Verdeutlichung stelle man sich vor, dass durch eine neue Entwicklung Elektroautos mit Reichweiten von über 1000 km auf den Markt kommen. Damit würde das Elektroauto allen Anforderungen hinsichtlich Reichweite entsprechen und weite Fahrten wären kein Problem mehr. Für typische tägliche Fahrten von etwa 30 km könnte in solch einem Szenario auch die integrierte PV die nötige Energiemenge bereitstellen, „Fahren ohne Laden“ wäre möglich.

Ein Argument für die Anwendung von fahrzeugintegrierter PV ist, dass ein herkömmlicher PKW im Durchschnitt 95% des Tages nicht in Betrieb ist [Harder 2015].

Betrachtet man die Rolle des Solarautos im Energienetz, so wäre es möglich, parkende Autos an das Energienetz, z.B. zu Ladezwecken, zu schließen. Die Idee, an das Netz angeschlossene Elektrofahrzeuge aktiv am Netzmanagement teilnehmen zu lassen, lässt den Gedanken weiterführen, in Zukunft Elektroautos mit fahrzeugintegrierter PV zusätzlich als dezentrale Einspeiser und/oder Speicher agieren zu lassen. Hierfür müsste eine Umstrukturierung der Mobilität, insbesondere der Ladeinfrastruktur, sowie des Netzmanagements erfolgen. Die Anwendung der

fahrzeugintegrierten PV als Stromerzeuger für Klimaanlagen scheint aktuell der vielversprechendste Anwendungsbereich zu sein. Sowohl für die Energieversorgung einer Standkühlung in PKWs als auch als Stromerzeuger für Kühl-LKWs wird die PV als zukunftsweisende Technologie eingestuft [Peschel 2016]. Die errechnete Senkung des Treibstoffverbrauchs eines Kühl-LKWs von bis zu 1000 l pro Jahr wäre einer von vielen wichtigen Schritten, um den CO₂-Ausstoß im Verkehr zu reduzieren [Peschel 2016]. Durch den quaderförmigen Aufbau von LKWs und LKW-Anhängern ergeben sich an diesen Fahrzeugen große und vor allem auch ebene Flächen, welche gut nutzbar für PV-Zellen sind. Der erzielbare Solarertrag reicht aus, um beispielsweise die Klimatisierung eines Kühl-LKWs zu versorgen, wie ein Projekt des EWE-Forschungszentrums Next Energy zeigte. Eine Besonderheit des Systems ist, dass es nachrüstbar ist und somit an jedem herkömmlichen Kühl-LKW implementiert werden kann [Peschel 2016]. Ein vergleichbares FFG-Projekt (HELIOSTAR) wurde von einem österreichischen PV-Produzenten bereits 2011 umgesetzt, hat aber nie zur Serienreife des Produktes geführt.

Am kommerziellen PKW-Markt finden sich bisher vorwiegend dachintegrierte Systeme. Die PV-Zellen werden hierbei direkt am Dach oder – in semitransparenter Ausführung – in Dachfenster eingebettet. Diese Module dienen neben der Stromerzeugung auch als Verschattung. Möglichkeiten, den erzeugten Strom zu nutzen, liegen in der Versorgung beziehungsweise Unterstützung der Bordelektronik oder anderer elektrischer Systeme im Fahrzeug. Über diesen Weg können zum Beispiel Fensterheber, Lüftung/Klima, Radio u.a. versorgt werden.

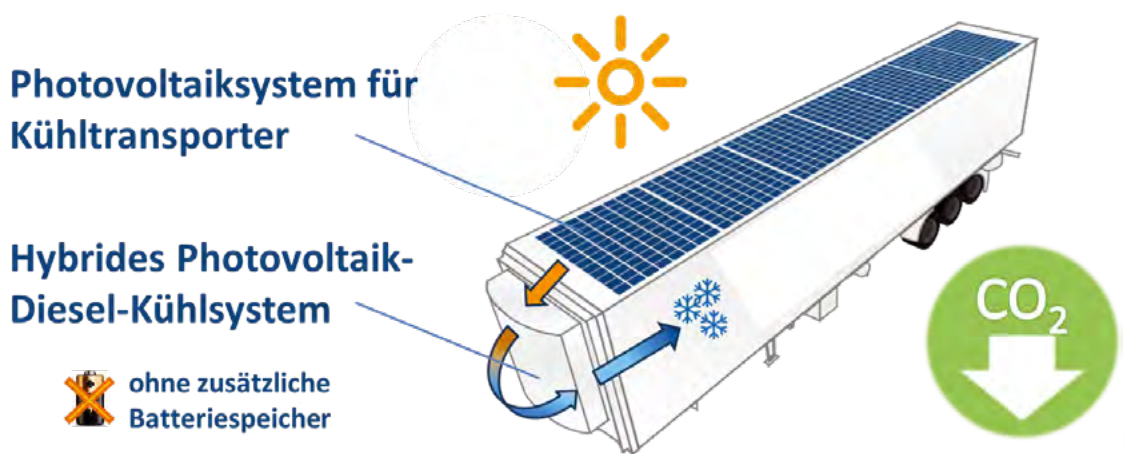


Abb. 13: Konzept des PV-Thermo-Truk schematisch dargestellt

3.4.3 Herausforderungen beim (schnellen) Laden von E-Mobilen

Die Technologie des kontaktlosen dynamischen Ladens bedarf noch eines hohen Forschungsaufwandes, Spezialisten wie Qualcomm, aber auch Autohersteller wie BMW und Audi sehen derzeit in stationären und vor allem proprietären induktiven Ladesystemen mehr Potenzial. Damit sind Ladepads gemeint, die an das System eines bestimmten Herstellers gebunden sind und daher nur zu Hause oder am Arbeitsplatz zum Einsatz kommen. Universell verwendbare Ladepads könnten in Zukunft jedoch eine interessante Möglichkeit darstellen, E-Fahrzeuge bei kürzeren Zwischenstopps, etwa beim Arztbesuch oder beim Einkauf im Supermarkt, mit geringen Ladeschüben zu versorgen [Imhof 2016].

Qualcomm Technologies [2016] bietet beispielsweise mit der QualcommHalo™-Technologie eine Lösung für induktive Ladeparkplätze an. Die Effizienz der kabellosen Übertragung liege hier bei 90%.

Ein anderer interessanter Lösungsansatz greift auf ein altbekanntes System zurück. Ähnlich dem System von Zügen könnten Oberleitungen auf einzelnen Autobahnspuren Elektro-LKWs während der Fahrt mit Strom versorgen. In Deutschland sollen auf zwei Autobahnabschnitten spätestens Ende 2018 Elektrolastwagen mit Stromversorgung über eine Oberleitung getestet werden [Beer 2017].

In Schweden ging bereits im Juni 2016 der erste „E-Highway“ von Siemens auf einer öffentlichen Straße in Betrieb. Hier wird auf einer Länge von zwei Kilometern ein Oberleitungssystem getestet [Beer 2017].

Eine Kombination dieser Technologie mit Photovoltaikelementen in der Straße, in Lärmschutzelementen oder Überdachungen könnte es ermöglichen, dass der lokal erzeugte PV-Strom direkt in Elektrofahrzeuge geladen wird. Die Elektrifizierung der Straßen bietet eine Kombination all dieser Möglichkeiten an; so könnten beispielsweise Oberleitungen direkt auf PV-Lärmschutzwände aufgesetzt, oder PV-Straßenelemente mit induktiven Ladestreifen kombiniert werden. Der Wandel zur Elektromobilität wird an einer Umstellung des Energiesystems und auch des Verkehrssystems nicht vorbeigehen, somit sollten all diese Technologien im systemischen Kontext erforscht und weiterentwickelt werden.

Eine Herausforderung der Elektromobilität ist die Umsetzung einer effizienten Ladeinfrastruktur. Da die zukünftige Energieversorgung der Elektromobilität zur Gänze auf erneuerbaren Energien basieren muss, um den Mobilitätsbereich möglichst CO₂-frei umsetzen zu können, könnte Solarstrom beitragen, indem im Inselbetrieb Ladestationen mit Strom versorgt werden. Speichersysteme werden in diesem Szenario eine wichtige Rolle spielen, da ein zuverlässiger, leistungsstarker und somit schneller Ladevorgang gewährleistet sein muss. Die Förderung von privaten Ladestationen im eigenen Haus mittels eigenem PV-System wird für viele E-Auto-Besitzer eine Alternative, ihr Fahrzeug langfristig kostengünstig und CO₂-neutral laden zu können [SOLARWATT k.J.]. Erforderliche Speicherkapazitäten müssten jedoch denen der größeren Fahrzeugbatterien entsprechen, d.h. 40–100 kWh. Aktuelle Heimspeicherlösungen bewegen sich vorrangig jedoch zumeist in der Größe von etwa 3–10 kWh.

Ladeleistungen bis zu 120 kW und darüber hinaus sind aktuell in Diskussion, was typische Leistungen von Haushalten (1 bis 4 kW) um ein Vielfaches übersteigt. Ein typischer Jahresfahrzyklus eines Kfz in Österreich liegt je nach Bundesland zwischen 11.700 km (Vorarlberg) und 14.000 km (Burgenland) – was bei Ladung zu Hause einem Durchschnittsverbrauch von 15 kWh/100 km eines E-Mobiles einen zusätzlichen Strombedarf von bis zu 2100 kWh generiert. Es würde daher bereits eine 2-kWp-PV-Anlage in Verbindung mit dem Kauf eines Elektrofahrzeuges den zusätzlichen Strombedarf jahresbilanzmäßig etwa kompensieren. Aus Sicht der Momentanleistung und damit der Netzbelastung sind aber vielschichtige Herausforderungen gegeben.



Abb. 14–15:
Elektroautos laden an
einer mit Photovoltaik
ausgestatteten
E-Tankstelle Strom.

3.5 Forschungsbedarf für Photovoltaik in der Mobilität

Forschungsbereich	F&E-Bedarf
PV-Lärmschutzeinrichtungen	• Sicherheit bei Autobahnen und Bahnwegen • Kriechströme • Verschmutzung • Diebstahlschutz, Graffiti: Schutz durch eine teflonartige Beschichtung, um Farbspray gut entfernen zu können [Neidlein 2009]. • Verringerung der Modulbruchgefahr
Integration des am Fahrzeug erzeugten PV-Stroms in Antriebs- und Nebenaggregate	• Einbindung des PV-Stroms in die elektrischen Systeme des Fahrzeugs, Versorgung von Nebenantrieben, effizientere Kühlung ...
PV-Fahrzeugbatterie – Heimspeicher	• Anpassung an die verschiedenen Spannungslevel, Optimierung von Batterie-Managementsystemen in Zusammenspiel mit PV-Beladung
Zellforschung	• Zellwirkungsgrade unter ästhetischen Anforderungen für die Integration in die Fahrzeugkarosserie erhöhen • hoher Flexibilitätsgrad erforderlich, um einen möglichst hohen Anteil der Karosserie mit PV-Zellen versehen zu können
Neue Fahrzeugkonzepte/ Leichtbauweise	• Karosserie-Design mit hohem Maß an horizontalen bzw. gering geneigten Flächen • Leichtbau
Effizientere/intelligentere Fahrzeugelektronik	• Klima über Strahlungsheizungen (Sitzheizung ...); Leistung der Kühlung abhängig von Solarstrahlung etc.
PV-Systeme für Kühl-LKWs	• Materialforschung, Studien, Tests zum Testen der Beständigkeit/Lebensdauer; Standards/Normen für „mobile“ PV-Module, geeignete Konstruktionen, Folien; • Installation der PV-Zellen am Dach der Fahrerkabine. In diesem Fall dient die Anlage nur zur Unterstützung der Board-Elektronik.
Überlegung PV-Nutzung im Fahrbetrieb oder im Stillstand	• Optimierte Solarnutzung im Stillstand (z.B. Ausnutzung größerer Flächen, ausroll-/fahrbare PV)
Vehicle2Grid/Grid2Vehicle	• Wie erreicht man eine möglichst durchgehende Kopplung stehender Fahrzeuge mit dem Stromnetz? • Welche Rolle kann induktives Laden einnehmen? • Design „smarter Straßenabschnitte“, die neben diversen anderen Eigenschaften (Sicherheits-Beleuchtung, Warnhinweise und andere Informationen etc.) auch ein photovoltaisches Laden ermöglichen
F&E-Bedarf für solare Verkehrsflächen (Straßen, Geh-Radwege)	• Rutschfestigkeit, Tragfähigkeit und Beständigkeit • Montage und Wartung • Unfallsituationen, Vermeidung von elektrischen Gefahrenpotenzialen • Verbesserung der Wirtschaftlichkeit • Nutzung des erzeugten PV-Stroms/Integration in das bestehende Stromnetz
Flexible PV-Zellen	• Anpassung an unterschiedlichste Formen, nachträgliche Anbringung flexibler PV-Folien, Überstreifen von flexiblen PV-Folien über das gesamte Fahrzeug im Parkmodus, Fragen von Montage, Handling und Diebstahlschutz derartiger Folien
Hocheffizienzzellen, Bifaziale Zellen	• Entwicklung neuer Hocheffizienz-Zellkonzepte

Forschungsbereich	F&E-Bedarf
F&E-Bedarf für PV-Ladeinfrastruktur	• Anpassung des Ladevorganges an die lokal gerade verfügbaren Reserven im Niederspannungsnetz • Nutzung der Ladestellen auch als Regellast • Bei Schnellladestationen > 100 kW: Abstimmung mit dem Netzbetrieb (da Anschluss an höhere Spannungsebenen) • Belastung durch sog. Oberschwingungen und Phasenasymmetrie: Entwicklung netzschonender Ladeeinrichtungen • Weiterentwicklung der Netzanschlussregeln in den TOR-Richtlinien • Systeme zur lokalen (automatisierten) Optimierung von Erzeugung und Verbrauch (CEMS, HEMS ...) • Induktive Ladestreifen, Oberleitungen

Folgende Funktionen sind gemeinsam mit den Herstellern der Autos und Ladestationen zu definieren und zu standardisieren:

Netzanforderung	Anmerkung
Dreiphasiges Laden	Dient der Beherrschung und Vermeidung von Asymmetrie-Problemen im Netz.
Blindleistungsverstellung im Leistungsfaktorbereich $\lambda=0,9$ symmetrisch während des Ladevorganges	VERORDNUNG (EU) 2016/1388 vom 17.08.2016 zur Festlegung eines Netzkodex für den Lastanschluss.
Möglichkeit einer Leistungsregelung durch Verstellung des Ladestromes Pulsweitenmodulation (z.B. über PWM oder PLC, spezifiziert z.B. von 6A-80A)	Netzsteuerung durch den Verteilernetzbetreiber. Anmerkung: Der Wirkungsgrad des Laders im Teilleistungsbetrieb ist zu beachten.
P(U)-Funktion, reduziert die Leistungsaufnahme, wenn die Spannung schon tief ist.	Lokale Rückfallebene, wenn Kommunikation zum Netzbetreiber ausfällt.
Low Voltage Fault Ride Through (LVFRT)	Wichtig bei Kurzschlüssen in der Höchstspannung. Zeitgleiches Abschalten vieler E-Autos gefährdet die Netzstabilität.
Schnittstelle des Verteilernetzbetreibers zur Ladeeinrichtung (Wallbox)	Eine Standardisierung fehlt derzeit, ist aber für die Zukunft wichtig.
Rückkanal mit kWh-Anforderung vom Kfz und Zeitvorgabe für die Ladung	Ermöglicht treffsichere Netzsteuerung mit Erfüllung des Mobilitätsbedürfnisses der Kunden.
Unterbrechung und Wiedereinschaltung der Ladung sollte für das E-Auto kein Problem sein	Derzeit gibt es bei einzelnen Fahrzeugtypen keine automatische Wiedereinschaltung.

Quelle: Österr. Technologieplattform Smart Grids Austria

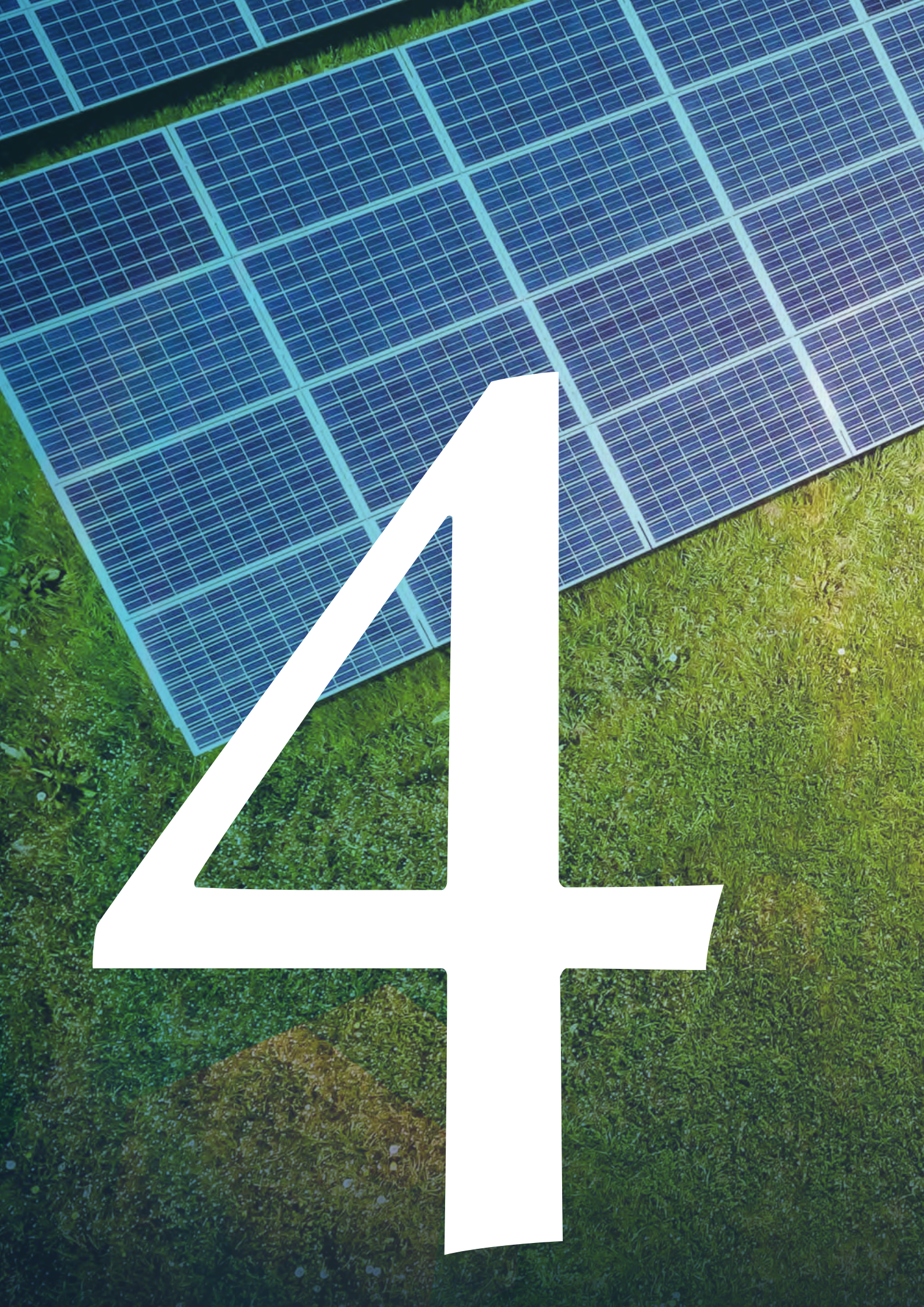
3.6 Chancen für die österreichische Innovations- und Forschungslandschaft

Generell ist bei Überlegungen über die zukünftige Entwicklung der Nutzung von solarer Stromerzeugung direkt an Fahrzeugen in zwei unterschiedliche Perspektiven zu differenzieren: die Einbindung der PV in das aktuelle Konzept eines PKWs oder die Gestaltung eines „neuen Autokonzepts“ mit dem Ziel bestmöglicher Integration und Nutzung der Solarstrahlung. Darunter fallen auch Optimierungen anderer Bauteile, wie zum Beispiel die Effizienzsteigerung der elektrischen Systeme oder auch eine leichtere Bauweise. Dahingehend wird beispielsweise an innovativen Konzepten für Klimaanlage gearbeitet, welche nicht über die Luft, sondern über die Sitzflächen kühlen sollen und somit effizienter sind [Süß 2017b]. Außerdem kann es erforderlich sein, die Fahrzeugelektronik an Anforderungen der Photovoltaik anzupassen. Hierbei spielen alle elektrischen Systeme sowie auch die Batterie eine entscheidende Rolle. Für die international gut positionierte österreichische Autozulieferindustrie, aber auch die traditionell starke Elektro-Elektronikbranche sowie die innovativen Unternehmen am Photovoltaikgebiet finden sich in diesem Umfeld daher diverse Chancen, Technologieführerschaften zu übernehmen.

Abzuwarten bleibt, welche interessanten Möglichkeiten flexible Photovoltaikmodule in Zukunft der Mobilität bieten können. Diese könnten den Anwendungsbereich der fahrzeugintegrierten PV erweitern, welche sowohl nachträglich installiert als auch großflächiger (gesamte Karosserie statt nur Dach) eingesetzt werden kann. In Zukunft könnte eine geometrisch anpassbare PV bei entsprechenden Wirkungsgraden einen höheren solaren Deckungsgrad am Energieanteil des Elektrofahrzeugs erzielen. Ziel könnte es sein, PV in den Produktionsprozess der Karosserie zu integrieren.

Zu beachten ist auch die Problematik der elektronischen Einbindung der PV in fahrzeuginterne elektrische Systeme. Die wirtschaftliche Nutzung fahrzeugintegrierter PV wird in Zukunft einerseits von der technologischen Entwicklung, andererseits von der Entwicklung der Infrastruktur und der Mobilität generell abhängen. Auf technologischer Ebene gilt es vor allem leichte, flexible PV-Filme mit Wirkungsgraden von > 20% günstig anbieten zu können.







Photovoltaik
in der Landwirtschaft

Photovoltaik in der Landwirtschaft

Im folgenden Kapitel wird aufgezeigt, welche Potenziale Photovoltaiknutzung in der Landwirtschaft hat, aber auch, welche Vorteile, Möglichkeiten und Herausforderungen sich für die Landwirtschaft dadurch ergeben.

4.1 Trends in der Landwirtschaft

- Digitalisierung und Sensorik in der Landwirtschaft
- Elektrifizierung der Landwirtschaft
- Diversifizierung und Synergie von Agrarnutzung, Schutz der Natur, Flächenwidmung
- Ökologische Landwirtschaft
- Wandel landwirtschaftlicher Nutzung
- Landwirt als Energiewirt

Schon immer waren Landwirtschaftsbetriebe Vorreiter der Photovoltaik, da sie hohen Energieeigenverbrauch erreichen können, geeignete Dachflächen oder Freiflächen für PV besitzen. In der Landwirtschaft von heute sind mehrere Trends erkennbar, die in Zukunft durch den Einsatz von Photovoltaik unterstützt werden können. Auch stehen manche Trends in der Landwirtschaft im Widerspruch, z.B. stehen wachsende Betriebsgrößen und Preisdruck dem Trend nach „Österreich als Feinkostladen Europas“ entgegen. Weitere Trends, die in der Landwirtschaft erkennbar werden, sind Digitalisierung, verstärkte Elektrifizierung oder Wandel der landwirtschaftlichen Nutzung.

Die Wirtschaftlichkeit steht bei allen technischen Entwicklungen im Vordergrund. Neue Lösungen werden erwartet, wie mit Flächenkonkurrenz bzw. Mehrfachnutzung von Flächen umgegangen wird. Beispielsweise gilt es Landschaftsschutz und Schutzgebiete (z.B. Wasser) zu beachten. Konkurrenz besteht auch in der konventionellen Nutzung von Photovoltaik auf Grünflächen, die für Agrarnutzung ebenso geeignet wären. Die aktuellen Förderbedingungen für PV in der Landwirtschaft schließen etwa eine Förderung für PV auf Agrarflächen aus, während z.B. in Deutschland gerade eine eigene Innovationsstrategie entwickelt wird⁷.

Auch die landwirtschaftliche Produktion ist von der Digitalisierung erfasst; Automatisierung und Sensorik haben sich bereits durchgesetzt, autonome Fahrzeuge, messdatengestützte Bewirtschaftung der Felder aus Geo-, Umwelt-, Boden- oder Pflanzendaten. Damit kann eine Optimierung vom Ressourcen-, Zeit- und Energieeinsatz erzielt werden. Automatisierung und Digitalisierung sind aber auch mit „Elektrifizierung“ verbunden. Dies betrifft neben den landwirtschaftlichen Maschinen selbst auch die Anlagen in Stallungen, Sensorsysteme auf Feldern, Bewässerungssysteme etc. Photovoltaik kann für die Versorgung dieser mobilen und dezentralen Verbraucher die entsprechende Energieversorgung bereitstellen. Die Diversifizierung (d.h. fortschreitende Spezialisierung auf einzelne landwirtschaftliche Produktion je Betrieb) der Landwirtschaftszweige stellt eine Herausforderung für Photovoltaikanwendungen dar. Die Photovoltaiknutzung und die technischen Entwicklungen müssen daran angepasst werden, wie verschiedene Landwirtschaftszweige produzieren. So unterscheiden sich z.B. Tiermastbetriebe und Felderwirtschaft in Art und Weise ihres Flächenangebotes und dem saisonal schwankenden Energieverbrauch (z.B. Heizung von Ställen im Winter bei Tiermast und Elektromobilität im Sommer bei der Ernte bei Felderwirtschaft).

⁷ Förderleitfaden April 2017: Voraussetzung NICHT landw. Nutz- oder Naturschutzfläche (Seite 4 Förderleitfaden)
https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/media/umweltfoerderung/Dokumente_Betriebe/PV_Anlagen_in_der_Land_und_Forstwirtschaft_2017/klien_leitfaden_pv_lw.pdf
<http://www.agrophotovoltaik.de/>

Das führt dazu, dass Unterschiede der Energiebereitstellung zwischen ökologischer Landwirtschaft und industrieller Landwirtschaft kleiner werden (z.B. durch verminderten Ausstoß von CO₂, oder Reduktion von Öl, das bei fossilen Motoren und Maschinen benötigt wird). Eine autarkere, rentable Energiebereitstellung unterstützt damit auch die Umstellung auf ökologische Landwirtschaft.

Stromerzeugung durch Photovoltaik wird jede Art von Landwirtschaft CO₂-neutraler und von Energiezukauf unabhängiger machen.

Die genannten Entwicklungen unterstützen den Wandel in der landwirtschaftlichen Nutzung. Das sind wie beschrieben die ökologische Landwirtschaft und die fortschreitende Spezialisierung je Betrieb. Darüber hinaus ermöglicht die Photovoltaik neue Geschäftsmodelle im Energiesektor. Das sind z.B. Stromlieferungen an das Netz, Verpachtung von Ackerflächen für Photovoltaik oder die erneuerbare Erzeugung fossiler Rohstoffe durch Überschussenergie. Herkömmliche Landwirte werden dadurch zu „Energiewirten“, die viele Eigenschaften verbinden, wie z.B. Futtermittelproduktion, Lebensmittelproduktion, Tierhaltung, Landschaftsschutz, Energieproduktion und Herstellung erneuerbarer Energieträger.

4.2 Ausgangslage der Photovoltaik in der Landwirtschaft

4.2.1 Energieaufkommen in der Landwirtschaft

Der landwirtschaftliche Sektor ist vom Klimawandel wesentlich betroffen, zählt aber zugleich zu den maßgeblichen Verursachern⁸. In der österreichischen Landwirtschaft werden aktuell etwa 22 PJ an Primärenergie pro Jahr verbraucht, und der elektrische Energiebedarf in der österreichischen Landwirtschaft beträgt etwa 1.1 TWh/Jahr. Damit trägt die Landwirtschaft in Österreich zu etwa 2% des Energieverbrauchs bei [BMWWF 2017]. Angesichts eines sehr großen Flächenpotenzials der Landwirtschaft (siehe

Abschnitt 4.2.2 und 4.2.3) ließe sich nicht nur der gesamte Energiebedarf in der Landwirtschaft durch Photovoltaik decken, sondern darüber hinaus auch noch Energie für Industrie, Haushalte und Mobilität bereitstellen. Dem gegenüber stehen die CO₂-Emissionen, die auch den Transport landwirtschaftlicher Güter, Herstellung und Einsatz von Dünger und Viehhaltung beinhalten. Diese müssen bei einer systematischen Dekarbonisierung mitberücksichtigt werden⁹.

⁸ Siehe http://www.soel.de/fileadmin/Medien/downloads/03_publicationen/poster_01_klimawandel.pdf - CO₂-Äquivalent 12% direkt, 40% inkl. indirekter Wirkungen.

⁹ CO₂-Emission durch Industrie, Transport und Landwirtschaft, je ca. 14%. Die CO₂ Emissionen der Landwirtschaft sind zu 38% durch Dünger, zu 31% durch Tierhaltung verursacht. (Quelle: BOKU Wien).

4.2.2 Photovoltaik bei landwirtschaftlichen Gebäuden

Photovoltaik als dezentrale und leistungsbezogen skalierbare Technologie kann optimal in der Landwirtschaft genutzt werden, um elektrische Systeme zu versorgen (so z.B.: Heizung, Kühlung, Beleuchtung, Brunnen, Pumpen, Gebläse etc.). Die Einsparung des Netzbezuges kann groß sein, wenn man bedenkt, dass speziell Pumpen, Gebläse oder Außenbeleuchtungen (bzw. in Zuchtbetrieben auch Innenbeleuchtungen, Heizung oder Kühlung) oft hohe Laufzeiten im Jahr erreichen, also einen beachtlichen Energieverbrauch darstellen.

Beispielsweise können die elektrisch betriebene Kühlung (z.B. Milch oder Stall) und die Heizung (evtl. in Kombination mit Wärmepumpen) mit Photovoltaik

versorgt werden. Für eine hohe Eigennutzung wird dafür noch ein Speichersystem (z.B. Batteriespeicher oder Wärmepufferspeicher) benötigt. Die aktuell stark fallenden Kosten für Batteriespeicher und die im Vergleich sehr geringen Stromgestehungskosten für Photovoltaik machen diese Art der Nutzung von PV in der Landwirtschaft bereits heute wirtschaftlich. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die elektrische Energie für die Herstellung von Gütern zu verwenden. Beispielsweise könnten auf landwirtschaftlichen Flächen sowohl Biomasse als auch elektrischer Strom erzeugt werden, um daraus chemische Verbindungen (z.B. Methanol) für die Kunststoffindustrie oder für Treibstoffe herzustellen. Das Thema der Stromerzeugung ist weiter in Abschnitt 4.4.7 ausgeführt.



Abb. 16: Beispiel einer voll integrierten Photovoltaikanlage auf einem landwirtschaftlichen Nutz-/Wohngebäude in der Schweiz¹⁰.

4.2.3 Flächenpotenzial der Agrarflächen

Sind auch die meisten PV-Anlagen im landwirtschaftlichen Bereich heute auf Gebäuden angebracht, stellt die Grünfläche, die zu landwirtschaftlichen Betrieben gehört, ein riesiges Flächenpotenzial dar. Dieses ist heute durch brachliegende Flächen nicht voll ausgeschöpft. Ein Teil davon könnte also alleine für Photovoltaik verwendet werden oder in synergetischer Nutzung mit landwirtschaftlicher Erzeugung. Die Nutzung von Flächen für große PV-Kraftwerke hätte

vor allen den Vorteil, durch Skaleneffekte rasch weitere Kostenreduktionspotenziale auszunutzen. Das wiederum würde Photovoltaikstrom schneller noch günstiger machen.

Die folgende Aufstellung soll zeigen, wie groß das Potenzial landwirtschaftlicher Flächen ist, wenn eine gemeinsame Nutzung von Photovoltaik und Ackerbau technisch gelöst werden kann [Stanzer 2010].

¹⁰ <https://maissen-sa.ch/bauten/umgebauter-stall/>

Bei einer intensiven, ertragsoptimierten PV-Freifeldanlage wird etwa eine Nennleistung von 80 MWp/km² installiert, bei extensiven, vertikalen Anlagen mit großem Reihenabstand etwa 30 MWp/km². Wird beispielsweise 1/6 des Flächenpotenzials des intensiv genutzten Wirtschaftsgrünlandes doppelt genutzt, wären das 950 km² x 30 MWp/km² = 28.5 GWp bzw. 35 TWh/a, was 1/30 der gesamten Landwirtschaftsfläche entspricht und etwa 50% des heutigen österreichischen Strombedarfes decken würde. Dies wäre auch ohne weitere Flächenpotenziale (Industrie, graue Flächen, wie Parkplätze oder Gebäude) fast der gesamte benötigte Energiebeitrag, den Photovoltaik im der Roadmap zugrunde gelegten Szenario einnimmt [Fechner 2016].

Wichtig wird auch die Rolle der Landwirtschaft in einer zukünftigen Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft sein. Damit werden die Sektoren Landwirtschaft und Energiewirtschaft gekoppelt. Schon heute ist dies zum Teil der Fall, wenn man an ländliche Biogasanlagen denkt. Kommt nun die Photovoltaik hinzu, kann man mit der elektrischen Energie aktiv ein ähnliches Marktmodell im Agrarsektor gestalten.

Ein Aspekt, der bei einer technischen Nutzung von Grünräumen zur Energiebereitstellung beachtet werden muss, ist der der Flächenversiegelung. Wie auch nachfolgend beschrieben, liegt das Niveau der Boden-

Landwirtschaftliche Nutzfläche in Österreich: gesamt 28 800 km²

Ackerland	• 13 700 km ² (48%)
Wirtschaftsgrünland	• 5 700 km ² (20%)
Extensives Grünland	• 8 700 km ² (30%)
Sonderkulturen	• 6 800 km ² (2%)

davon 120 km² Obstbau, 500 km² Weinbau, 20 km² Gartenbau mit 5 km² Glashäusern

versiegelung in Österreich nach wie vor hoch¹¹. Der tägliche Flächenbedarf Österreichs ist dabei 12,9 ha. Dies Flächen gehen dabei als Grünland verloren. Für die Integration von Photovoltaik ist nun zu klären, ob und in wieweit sie eine Bodenversiegelung darstellt. Weiter ist zu beachten, dass eine ausreichende Verträglichkeit der eingesetzten Technologie für Landschaftsschutz besteht (z.B. Probleme durch mögliche Korrosion von Metallen in einem Wasserschutzgebiet). Im Detail werden die Herausforderungen davon in Abschnitt 4.4 behandelt.

4.3 Potenziale der Photovoltaik in der Landwirtschaft

- Photovoltaische Nutzung auf Gebäuden
- Photovoltaische Nutzung auf Agrarflächen primär zur Energieerzeugung
- Synergetische Nutzung von Photovoltaik auf Agrarflächen
- Photovoltaische Nutzung auf Gewächshäusern
- Photovoltaische Nutzung für "Urban Farming"
- Andere photovoltaische Nutzungsarten in der Landwirtschaft

4.3.1 Photovoltaische Nutzung auf Gebäuden und Agrarflächen

Die Anwendungsbereiche in der Landwirtschaft sind hauptsächlich die photovoltaische Nutzung auf Gebäuden zum Eigenverbrauch oder zur Einspeisung in das Stromnetz und die photovoltaische Nutzung auf Agrarflächen primär zur Netzeinspeisung.

Die Potenziale für eine Nutzung alleine auf Gebäuden im landwirtschaftlichen Sektor sind sehr groß. Zum einen ist ein Großteil der Installationen bisher überhaupt nur auf Gebäuden passiert (2016 wurden etwa 93% aller Anlagen in Österreich auf Dächern

montiert [Biermayr 2017]). Zum anderen folgt das große Potenzial auch aus dem Gesamtpotenzial von Gebäudeflächen, wie im letzten Kapitel gezeigt. Werden PV-Großanlagen auf Freiflächen errichtet, so wird heute die Flächenbelegung auf den Energieertrag optimiert (möglichst geringer Reihenabstand der Modultische). Dies wird aus Kostengründen gemacht und auch, um die Flächen mit maximalem elektrischen Ertrag zu nutzen.

¹¹ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/

4.3.2 Synergetische Nutzung von Photovoltaik auf Agrarflächen

In den letzten Jahren wurden mehrere Versuchsanlagen mit PV realisiert, die elektrische Solarenergienutzung und landwirtschaftliche Flächen in Einklang bringen. Das sind z.B. PV-Anlagen über Agrarflächen (etwa als Verschattung, so, dass Traktoren darunter fahren können), PV-Anlagen in Agrarflächen (etwa

in Synergie mit Kleinviehhaltung wie Ziegen oder Schafen, die zwischen den Modulreihen grasen) und PV-Anlagen als Schutzabdeckung (z.B. für Obst- und Gemüse-Anbauflächen im Fall von Gebieten mit Hagelgefahr)¹².



Abb. 17: Die PV-Anlage bietet hier für die extensive Tierhaltung eine Doppelfunktion.



Abb. 18: Agrophotovoltaik Pilotanlage: Aufständigung der PV-Module auf mehreren Metern Höhe.

¹² <https://www.solarify.eu/2016/02/16/237-pilotprojekt-agrophotovoltaik-startet/2/>
<https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiJ4PGN-fDWAhXDNJoKHQgBC00QFggyMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.raumberg-gumpenstein.at%2Fcm4%2Fde%2Fforschung%2Fpublikationen%2Fdownloadsveranstaltungen%2Ffinish%2F3132-jaegertagung-2016%2F28843-landwirtschaftliche-nutzung-in-oesterreich-vortrag.html&usg=AOvVaw0k7f4fCGY9eY-MAeg0Ys0q>
<https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/pv-anlagen-freiflaechen.pdf>

Die Idee, landwirtschaftliche Produktion und Photovoltaik zu verbinden, wurde bereits 1982 erstmals vorgeschlagen [Goetzberger 1982]. Viele Anwendungen der landwirtschaftlichen Photovoltaik sind heute schon in Versuchsprojekten erprobt worden, müssen aber jedenfalls zu einer Marktreife weiterentwickelt werden. Es sind grundsätzlich mehrere Anordnungen der PV-Nutzung in Kombination mit landwirtschaftlicher Produktion möglich, so z.B. PV alleine auf Grünflächen oder auf Ackerflächen, Photovoltaik für Anwendung von Sensorik im und am Rand von Äckern und photovoltaische Energie für Services der Energiewirtschaft¹³.

Die Arten der technischen Integration sind ebenfalls vielfältig. Sie hängen von der Landnutzung, der geplanten elektrischen Energieerzeugung, aber auch von den Bedürfnissen der Pflanzen ab, die im Anbau mit Photovoltaikanlagen kombiniert werden.

- Hoch aufgeständerte Anlagen, südorientiert, eventuell auch einachsiger nachgeführt, sodass darunter die Bearbeitung mit Traktoren möglich ist.
- Möglicher Zusatznutzen durch Reduktion der Verdunstung durch Teilbeschattung, Hagelschutz, integriertes Bewässerungssystem.
- In Kombination mit Sonderkulturen, die ohnehin vertikale Unterstützungssysteme aufweisen
- Vertikal west-ost-orientiert mit großem Reihenabstand und bifazialen Modulen, die etwas größeren

Ertrag und eine ausgeprägte Produktionsspitze am Morgen und Abend statt zur Mittagszeit aufweisen. Kombination mit Pflanzenbau dazwischen, oder als Weidefläche, kann auch Winderosion verringern.

- Vertikale, bifaziale Anlagen können am Rand von Äckern (im Windschutzgürtel) in einer Aufstellungshöhe von 6–14 m errichtet werden (über dem Buschland und statt der großen Bäume). Dort können sie neben der Erhöhung des Ertrages durch Windkühlung mehrere Vorteile erfüllen: verteilte Erzeugungsprofile durch verschiedene Ausrichtungen, gute Kühlung, Windschutz gegen Erosion und Bodenverfrachtung, Verminderung des Wasserbedarfs am Ackerrand und Möglichkeit, Energie dezentral bereitzustellen z.B. für Wasserpumpen, Ladung von elektrischen Landmaschinen.



Abb. 19: Gemeinsame Flächennutzung: Modell der vertikalen Integration in nutzbarer landwirtschaftlicher Fläche.

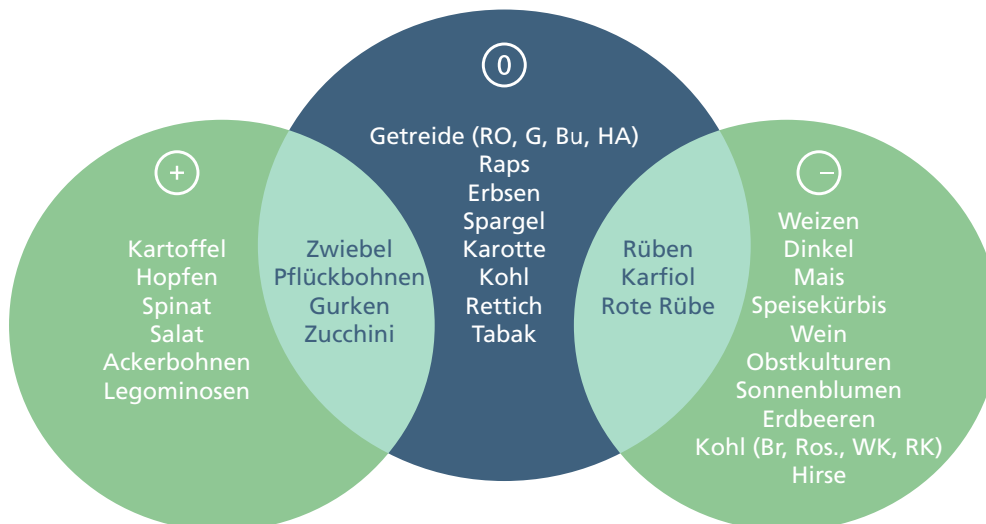


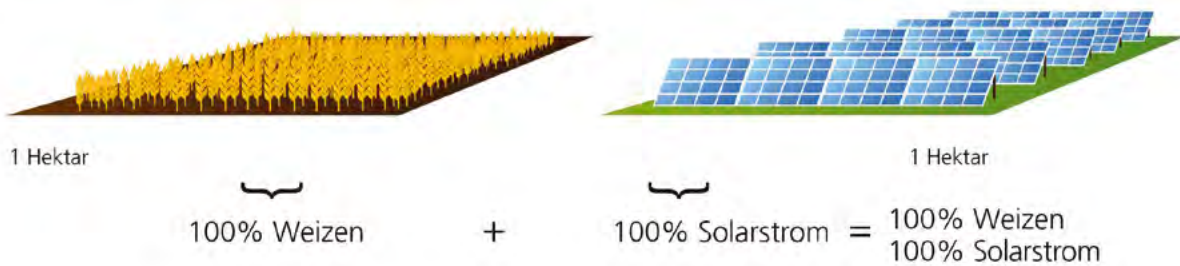
Abb. 20: Eignung von Pflanzen zur synergetischen Nutzung mit Photovoltaik über der Anbaufläche. Bedingt durch die einfallende Lichtmenge wird der Ertrag gesteigert (+), bleibt gleich (o), oder verringert sich (-) [Oberfell, 2017].

Die Installation von PV auf landwirtschaftlichen Anbauflächen wurde, wie zuvor erwähnt, bereits in Pilotprojekten gezeigt. Es ist bekannt, dass in vielen Fällen das Lichtangebot nicht der limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum ist; viele Kulturen gedeihen auch

im Halbschatten gut bzw. sogar besser, da der UV-Stress für die Pflanze reduziert wird. Dadurch kann man auch Dünger einsparen sowie Wassermenge, die zugeführt werden muss.

¹³ Z.B. Energie gezielt und vom Energiemarkt geregelt selbst zu verbrauchen, zu speichern oder einzuspeisen, auch wenn etwa technisch aller erzeugter Strom selbst verbraucht werden könnte.

Getrennte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland



Gemischte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland: Effizienz > 60% gesteigert

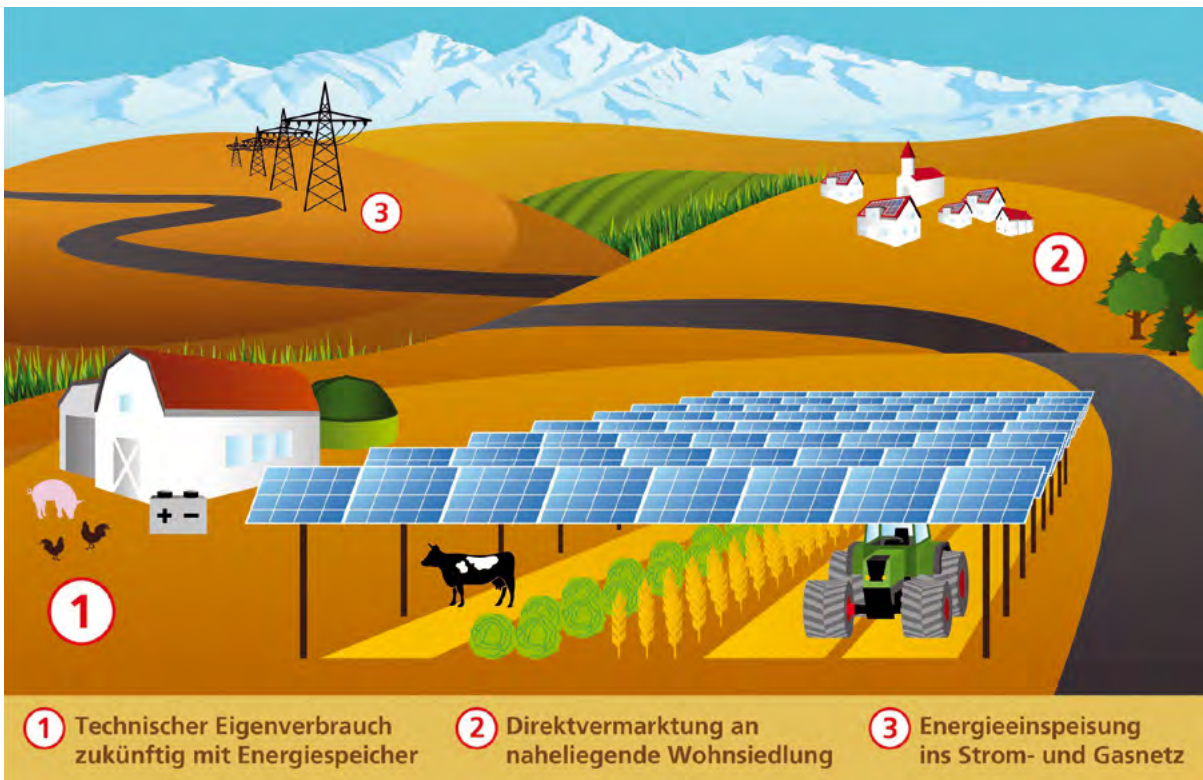
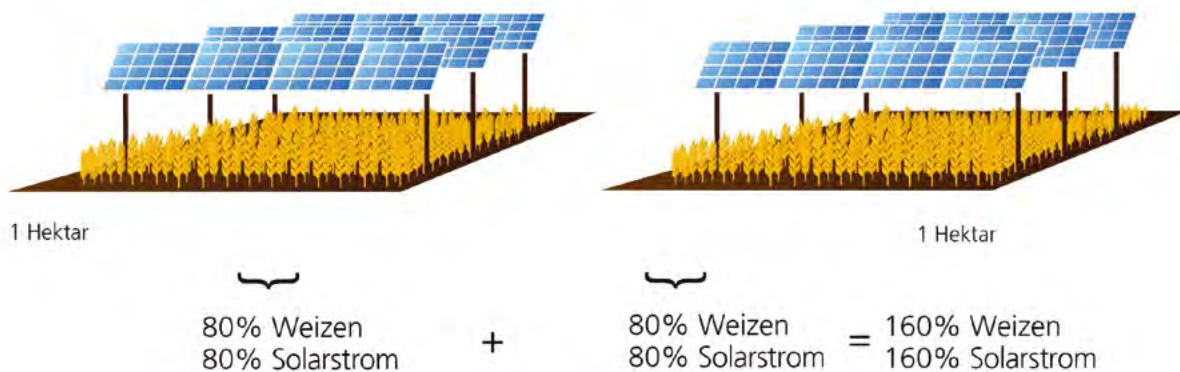


Abb. 21: Vergleich der Effizienz von getrennter und gemischter Photovoltaik Flächennutzung auf 2 ha Ackerland.

Abb. 22: Gemeinsame Flächennutzung: Modell AgroPhotovoltaik APV.

4.3.3 Photovoltaik auf Gewächshäuser

Hohes Potenzial hat auch die Integration in Glashäuser. Diese Form der photovoltaischen Anwendung bildet ein Bindeglied zwischen einer Nutzung auf Gebäuden und auf Grünflächen. Die zur Verfügung stehenden Flächen sind beträchtlich. Beispielsweise bilden nur die Flächen zum Tomatenanbau in Wien eine Fläche von 43 ha, die fast ausschließlich durch Glashäuser überdacht sind¹⁷. In anderen Bundesländern Österreichs gibt es vergleichbare Potenziale, wenn auch dort die Anzahl der Folientunnel höher ist. Diese sind bisher nur bedingt mit Photovoltaik überdachbar.

In Glashäusern kann man die Photovoltaik daher auch so einsetzen wie in Gebäuden oder auf Äckern: integriert, zur Beschattung oder Lichtsteuerung und zur Energiebereitstellung. Elektrische Verbraucher können dabei die Bewässerung, Düngung, Beleuchtung oder Heizung sein. Die Heizung wird oft benötigt, um die Saison der Ernte zu verlängern, früher mit dem Anbau zu beginnen oder sogar die Saison in den Winter zu verschieben.

Ebenso lassen sich Sensoren, die speziell im Gewächshaus nötig sind, auch über kleine Speicher rund um die Uhr zuverlässig mit Photovoltaikstrom betreiben.



Abb. 23: PV-Integration im Gewächshaus

© KIOTO Photovoltaics GmbH

4.3.4 Obst- und Gemüseanbau im Innenbereich

Ein Trend, der aktuell weltweit beobachtet wird, ist Pflanzen nicht unter freiem Himmel anzubauen, sondern unter kontrollierten Bedingungen mit Kunstlicht (primär hocheffiziente LED Beleuchtung) heranzuziehen. Diese Anwendung ist ein sehr schnell wachsendes Marktsegment in der Beleuchtungsindustrie, und aus mehreren Gründen kann angenommen werden, dass sich die künstliche Beleuchtung bei der Produktion von Nutzpflanzen in den kommenden Jahren weiterverbreiten wird:

- Es können Liefertermine und Qualitäten garantiert werden.
- Es kann durch vertikale Anordnungen deutlich mehr Biomasse pro Fläche produziert werden.

- Der Wasserverbrauch kann massiv reduziert werden, denn versickerndes Wasser kann wiederverwendet werden.

- Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist nahezu nicht notwendig, da die Umgebungsbedingungen kontrolliert sind.

Den oben genannten Vorteilen steht ein stark erhöhter Bedarf an elektrischer Energie in der Landwirtschaft für Pumpen, Belüftung, die künstliche Beleuchtung und Beheizung gegenüber. Dieser Bedarf kann durch Photovoltaik gedeckt werden. Die Anforderungen an PV sind dabei denen sehr ähnlich, die an PV für Gewächshäuser im Freifeldbereich gestellt werden.

4.3.5 Spezialisierte Anwendungen von Photovoltaik in der Landwirtschaft

Über die bereits genannten Beispiele hinaus eröffnet Photovoltaik ein noch nicht ausgeschöpftes Potenzial an elektrischen Anwendungen. Diese werden erst durch Photovoltaik möglich, oder sie werden durch Photovoltaik energieneutraler, rentabler oder autarker. Dies sind z.B. Bewässerungssysteme oder mobile Bewässerungssysteme. Photovoltaik ermöglicht statische und mobile Bewässerungsanlagen ohne Dieselgenerator oder Netzanschluss zu betreiben.

Eine weitere Anwendung ist der Einsatz von PV zur Kühlung und Heizung in Mastbetrieben. Kühle Winter und heiße Sommer können hohe Energiekosten verursachen. Diese könnten mit dem Einsatz von Photovoltaik und Wärmepumpen bzw. Wärmespeichern nach der Anschaffung in den Folgejahren vermieden werden.

Ein großes Potenzial hat PV als Schutzfunktion für landwirtschaftliche Produkte. Wird PV im Überkopfbereich auf Äckern oder Gewächshäusern angebracht, kann sowohl Schutz vor zu viel Sonne aber auch Schutz vor Hagel erreicht werden. Hier können dazu der Verbrauch von Wasser, Dünger, die Verdunstung und möglicherweise sogar die bereitgestellte Farbe des Lichtes gesteuert werden, um den Ertrag zu erhöhen. Eine erweiterte Schutzfunktion erreicht Photovoltaik bei der Überdachung von Kanälen, die zum Wasser-

transport dienen. Durch die Überdachung wird die Sonneneinstrahlung auf den Kanal verringert und damit die Verdunstung wesentlich reduziert. Speziell in Regionen mit dem Problem sommerlicher Wasserversorgung und Trockenheit, wie sie auch in Österreich vermehrt vorkommen (z.B. im Marchfeld oder Grazer Becken¹⁴), hat diese Anwendung großes Potenzial.

Eine weitere Anwendung ist die systematische Elektrifizierung von technischen Einrichtungen, wie Sensoren (Messung von Feuchte, Regen, Einstrahlung etc.) und Fahrzeuge. Ein großes Potenzial kann PV dabei für die Aufladung solcher Maschinen am Acker oder am Hof bieten. Für kleinere Maschinen, wie etwa zum Jäten von Unkraut oder auch Mähen, könnte eine Kombination von Laden, Reichweitenverlängerung im Betrieb, Datentransfer und Kommunikation und autonomem Fahren über Photovoltaik unterstützt werden.

Schließlich kann man durch verteiltes Aufbringen und Ausrichten von Photovoltaikanlagen den Ertrag in bestimmtem Maß an den Verbrauch anpassen und so den Eigenverbrauchsgrad heben. Das kann im einfachsten Fall z.B. durch eine Kombination einer Anlage, die nach Osten orientiert ist, und einer Anlage, die nach Westen orientiert ist, erreicht werden.

¹⁴ <http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/12656671/4570277/>

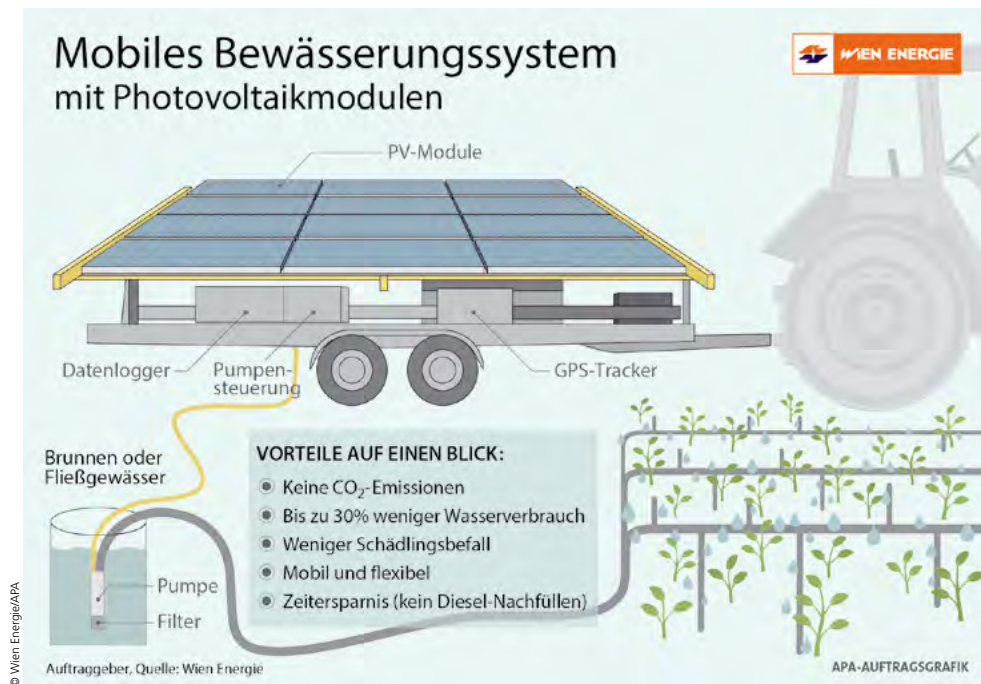


Abb. 24: Beispiel einer fertigen mobilen Bewässerungseinheit mit Photovoltaik.

4.4 Herausforderungen für die Anwendung der Photovoltaik in der Landwirtschaft

- **Photovoltaik für diversifizierte Landwirtschaftszweige**
- **Elektrifizierung in der Landwirtschaft**
- **Digitalisierung und Sensorik**
- **Rentabilität**
- **Sensibilisierung und Akzeptanz**
- **Versiegelung von Flächen**
- **Landwirtschaft als Energiewirtschaft**

Photovoltaik ist jene Technologie, die die oben beschriebenen Entwicklungen im landwirtschaftlichen Bereich optimal unterstützen kann. Dies betrifft die Elektrifizierung und Digitalisierung sowie die Verein-

barung von Energieproduktion und Lebensmittelproduktion. Dennoch gilt es einige Herausforderungen zu bewältigen, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

4.4.1 Photovoltaik für diversifizierte Landwirtschaftszweige

Viele landwirtschaftliche Betriebe haben sich auf bestimmte Landwirtschaftszweige spezialisiert, wie z.B. Weinbau, Energiepflanzen, Futterwirtschaft, Obstbau, Viehwirtschaft, Schweine oder Hühnerzuchtbetriebe etc. Je nach Landwirtschaftszweig ergeben sich auch die jeweiligen Bedürfnisse für Energieverbrauch bzw. Energieversorgung, z.B. Ernte, Melken, Kühlen, Heizen etc. Im Falle einer Feldbewirtschaftung wird Energie für die landwirtschaftlichen Maschinen benötigt, die vorrangig von Frühjahr bis Herbst genutzt werden, im Falle einer Viehzucht oder Mastbetrieb sind die Verbrauchsprofile an die Gebäude und deren Verbraucher gekoppelt (z.B. Heizung und Beleuchtung im Winter). Photovoltaik bietet in allen Fällen eine geeignete Energieversorgung mit hohem Eigendeckungsgrad.

Denkbar sind auch Lösungen, die als Schutz vor Hagel eingesetzt werden, oder nur zeitweise auf gewissen Feldern (Mehrfelderwirtschaft) sind (z.B. ausrollbare Photovoltaik, die nach der Saison wieder eingerollt werden kann). Elektrische Energie aus Photovoltaik kann auch nur zeitweise genutzt werden; beispielsweise in automatisierter Landwirtschaft, wo elektrische Geräte von Carports (als geschützter Abstellplatz für elektrisch betriebene Agrarmaschinen, die vor Ort geladen werden) betrieben werden, die auf den Feldern eingesetzt werden und diese nur im Sommer mit Strom versorgen.

Die Herausforderungen sind, spezifische Anwendungen, Produkte, technische Innovationen und Systeme für spezifische Fälle zu entwickeln, zu demonstrieren und im Massenmarkt verfügbar zu machen. Die Rentabilität hängt dann stark von dem Einsatz aber auch von der jährlichen Nutzungsdauer ab.



Abb. 25: Ausrollbare Photovoltaik Einheit für zeitweises Aufbringen auf Brachflächen oder Leestehenden Feldern.

© Renovagen Ltd

4.4.2 Elektrifizierung in der Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Maschinen und Fahrzeuge werden zunehmend elektrisch angetrieben. Noch sind es zumeist Hilfsantriebe, die dezentral ihren Dienst tun. Auch Zugmaschinen werden von namhaften Herstellern bereits voll elektrisch angeboten. Die elektrischen Leistungen sind relativ groß, die Einsatzzeiten aber noch kurz, d.h. für einen ganztägigen Einsatz müssen die Maschinen zwischendurch geladen werden. Die Elektromobilität in der Landwirtschaft wird dann wirtschaftlich und erfolgreich sein, wenn auch diese auf erneuerbaren Energiequellen beruht.

- Ladestationen mit PV und Speicher (am Hof, am Feld, öffentlich, landwirtschaftliche Genossenschaft)
- Autonome Feldroboter (elektrisch angetrieben, mit PV versorgt)

Rentabilität wird vor allem dann erreicht, wenn es zu einer gleichzeitigen Entwicklung und Kostensenkung im Technologiebereich der Photovoltaik und im Speicherbereich kommt.

Dies kann natürlich saisonal stark schwanken, stimmt für die meisten landwirtschaftlichen Zweige aber grundsätzlich gut mit saisonalen Energieaufkommen der Landbewirtschaftung überein (Pflügen, Säen, Ernte etc.). Als Beispiel können etwa kleine autonome Maschinen genannt werden, die auch in Zukunft immer mehr eingesetzt werden. Im Falle von automatischen, PV-betriebenen Robotern zum Jäten von Unkraut ist das auch heute schon der Fall.

4.4.3 Digitalisierung und Sensorik

Eine der kommenden großen Herausforderungen ist die Einführung und Nutzung von Sensorik sowie die Automatisierung und Steuerbarkeit in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und der Maschinenparks. Die industrielle Landwirtschaft ist dabei schon deutlich automatisierter als die kleinteilige lokale Landwirtschaft. Die Photovoltaik bietet die Möglichkeit, diesen zusätzlichen Technologiezweig der Datenaufnahmen und Datenverarbeitung energieautonom oder sogar mit Überschussenergieerzeugung bereitzustellen. Denkt man an Traktoren oder Erntemaschinen, wird Photovoltaik wohl nicht direkt in diese integriert werden, um sie anzutreiben, aber um Sensorik oder Datenverarbeitung zu betreiben. Bodengestützte Messnetze können dazu die lokalen Umweltdaten (wie etwa: Einstrahlung, Bodenozon,

Temperatur, Bodenfeuchte oder auch Unkrautwachstum) messen und zur weiteren Bewertung senden. Die gesamte Elektrifizierung solcher Sensoren, Messgeräte oder auch Aktuatoren kann von Photovoltaik in Kombination mit zum Teil auch kleinen Speichern netzunabhängig betrieben werden. Beispielsweise kann ein Feuchtesensor Trockenheit erkennen und daraufhin eine Bewässerungspumpe einschalten. Diese Komponenten können mittels Photovoltaikstrom betrieben werden. Photovoltaik kann all diese Netzwerke, die Kommunikation und Datenverarbeitung versorgen. Für alle Komponenten, die Sensoren, die Elektronik und die Photovoltaik sind neben Effizienz die Robustheit und Langlebigkeit von entscheidender Bedeutung.

4.4.4 Rentabilität

Die zentrale Herausforderung für den Einsatz von Photovoltaik im Sektor Landwirtschaft ist die Rentabilität. Rentabilität kann durch Mehrfachnutzung von Photovoltaik erreicht werden, wie beispielsweise Mehrfachnutzung einer Ackerfläche durch Überspannung mit PV, Multifunktionale PV (Verschattung, Hagelschutz und Stromerzeugung), autonome Energieversorgung (Einsparung der Netzkosten oder Anschlusskosten am Acker) oder hohe Leistung vor Ort ohne Netzverstärkungsmaßnahmen.

Eine andere Frage ist, welche Kosten durch Dezentralisierung eingespart werden oder entstehen (z.B. kann für eine Bewässerungsanlage die Kabelverlegung eingespart werden, aber möglicherweise müssen ein Speicher und eine wetterfeste Einhausung angeschafft werden). Die Rentabilität und der gegenrechenbare Strompreis aus dem Netz werden auch stark vom Strompreis für Landwirte beeinflusst, der sich je nach angeschlossener Netzebene (z.B. Netz-

ebene 6, Netzebene 5 oder Netzebene 4 ab 100 kW Anschlussleistung) unterscheidet. Es muss untersucht werden, inwieweit die konzentrierte Integration von Photovoltaik in der Landwirtschaft einen Netzausbau notwendig macht.

Weitere Herausforderung ist es, Lösungen zu finden und Produkte zu entwickeln, die Photovoltaik noch rentabler werden lassen. Dafür müssen spezifische Lösungen entwickelt und Kostenreduktionspotenziale noch systematischer ausgeschöpft werden (Reduktion der Kosten für Komponenten, Systemlösungen, oder PV-Technologie).

Schließlich müssen entsprechende Vergütungsmodelle für Energiedienstleistungen oder Landschaftsschutzleistungen im Zusammenhang mit Photovoltaik gefunden werden. Diese könnten die Rentabilität und Attraktivität des Einsatzes von Photovoltaik unterstützen.

4.4.5 Sensibilisierung und Akzeptanz

Photovoltaik im Freifeld verändert das Landschaftsbild. Diese Einwirkung ist seitens Landschaftsschutz und gesellschaftlicher Akzeptanz nicht immer problemlos.

Die Herausforderung besteht, mehr Möglichkeiten der optischen und technischen Verträglichkeit zu identifizieren und die Wechselwirkung zwischen Land, Menschen und der Photovoltaik-Technologie zu untersuchen. Hinsichtlich sozialer Akzeptanz ist zu untersuchen, wie sich das Bild der Landwirtschaft aus Sicht der Bevölkerung ändert, wenn Grünräume tech-

nisch erschlossen werden. Zum einen können Landwirte hier Vorbildwirkung in der Sensibilisierung gegenüber ökologischen Themen einnehmen. Sie könnten dabei zu Multiplikatoren für einen vermehrten Einsatz von Photovoltaik im privaten Bereich werden. Zum anderen könnte ein vermehrter Einsatz von Photovoltaik als Technisierung einer sonst als möglichst ökologischen Landwirtschaft verstanden werden. Hier ist die Herausforderung, das positive Image der Landwirtschaft und der Photovoltaik zu verbinden und beide zu erhalten.





4.4.6 Versiegelung von Flächen

Wie beschrieben, werden in Österreich jährlich große Flächen Grünland versiegelt. Täglich sind das 12,9 ha, die verbaut werden. Diese Flächen stehen danach nicht mehr für Agrarnutzung zur Verfügung. Durch die Widmung und die Verwendung ist bisher meistens auch keine PV-Nutzung vorgesehen. Die Bodenversiegelung hat damit negativen Einfluss auf verfügbares Grünland, schränkt den Anbau von Futtermitteln, Lebensmitteln oder Energiepflanzen ein und verbraucht freie Flächen, die auch zur Stromproduktion mit PV genutzt werden könnten. Weitere Nachteile sind weiterer Bodenverlust (d.h. Humus), Verlust von Produktivität, wie oben genannt, erhöhtes Hochwasserrisiko, erhöhtes Hitzerrisiko und vermehrte Staubbildung¹⁵.

Diese Einflüsse stellen große technische Herausforderungen für den Einsatz von Photovoltaik in diesen Regionen dar. Es müssen technische Entwicklungen gemacht werden, die es erlauben, Photovoltaik trotzdem mit hohem Ertrag einzusetzen. Photovoltaik muss im Grünland integriert werden, ohne weiter zur Flächenversiegelung beizutragen. Es müssen multiplizierbare Lösungen gefunden werden, um versiegelte Flächen mit Photovoltaik auszustatten: Z.B. kann bei der Bauplanung Photovoltaik mitgeplant werden, oder es können bereits bebaute Flächen nachgerüstet werden, wie Parkplatzüberdachung, thermische Fassadensanierungen mit PV-Dachsanierung durch PV-Dächer.

4.4.7 Landwirtschaft als Energiewirtschaft

Durch den stark anwachsenden Einsatz von Photovoltaik wächst der Anteil der in einem landwirtschaftlichen Betrieb erzeugten elektrischen Energie. Heute gibt es bereits zwei hauptsächliche Nutzungsmodelle: zum einen die Erzeugung für Eigenverbrauch (möglicherweise mit Überschusseinspeisung), zum anderen die Volleinspeisung. In Zukunft werden zwischen diesen Extremen viele verschiedene Anwendermodelle existieren. Je nach Energiepreisen kann es für einen Landwirt rentabler sein, Strom zu produzieren, als landwirtschaftliche Produkte zu erzeugen.

Viele der oben genannten Potenziale und auch Herausforderungen werden dazu führen, dass neben den Erlösen aus Tierhaltung und Pflanzenanbau auch der Verkauf von Energie (als Strom oder erneuerbar hergestellte fossile Rohstoffe, wie z.B. Methan oder Methanol) als Erlös immer wichtiger wird.

Die Landwirte werden dann zum Teil auch zu „Energiewirten“. Ein mögliches Szenario wäre sogar die Herstellung von „Frei-Land-Methan“ analog zu Biogasanlagen. Das erneuerbar hergestellte Erdgas könnte in bestehende Erdgasnetze eingebracht, verteilt oder gespeichert werden. Weitere gasförmige oder flüssige Energieträger (Methanol) können auch für Mobilitätsanwendungen, die sich nicht gut elektrifizieren lassen (z.B. Flugverkehr), dienen.

Die Herstellung von fossilen Rohstoffen mit Strom aus Photovoltaik oder auch die elektrische Speicherung erlaubt auch Netzdienstleistungen anzubieten, wie Lastgänge zu verschieben oder das Netz bei Bedarf zu entlasten.

Die Herausforderung besteht darin, technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Modelle zu entwickeln, die Photovoltaik in der Landwirtschaft für den Energiesektor nutzbar machen.

¹⁵ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/

4.5 Forschungsbedarf für Photovoltaik in der Landwirtschaft

Die sich aus den oben genannten Themen ergebenden Forschungs- und Entwicklungsfragen werden entscheidend für eine erfolgreiche Anwendung von Photovoltaik in der Landwirtschaft sein. Dabei sind konkrete Entwicklungsziele durch möglichst geringe Stromgestehungskosten von Photovoltaik in der landwirtschaftlichen Anwendung zu erzielen, als auch eine optimale Doppelnutzung von landwirtschaftlichen Flächen oder Gebäuden zu erreichen (z.B. Nutzpflanzenproduktion und elektrische Energiegeneration oder auch PV auf Liegenschaften). Ebenso müssen die speziellen Herausforderungen hinsichtlich Speicherung oder Netzausbau untersucht werden, wenn hohe Leistungen oder große Strommengen durch Photovoltaik lokal bereitgestellt werden. Forschungsfragestellungen, die einen breiten Einsatz im Landwirtschaftssektor ermöglichen und auch rentabel machen, sind im Folgenden genannt.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für PV im Sektor Landwirtschaft

- Digitalisierung und Elektrifizierung der landwirtschaftlichen Erzeugung
- Synergie zwischen Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Flächen und Bepflanzung
- Sektorkopplung zwischen landwirtschaftlicher Produktion, Speicherung, Netzen, Mobilität und Prozesschemie
- Eigenverbrauchssteigerung von Photovoltaik hin zu Überschusseinspeisung und Autarkie
- Synergie der Saisonalität von Landwirtschaft und Photovoltaik in Energieerzeugung und Konsum
- Wirtschaftlichkeit durch Entkoppeln der Energieversorgung



Um einen flächendeckenden Einsatz von Photovoltaik in der Landwirtschaft bei gegebener Rentabilität zu erreichen, sind Forschung und Innovation in verschiedenen Kategorien notwendig.

Forschungsbereich	Aufgaben
Materialforschung und Materialentwicklung inkludierend Struktur, Funktion, Oberflächen, Beschichtungen und Prozesse	• Massives Anheben der technischen Lebensdauer von PV, um Rentabilität zu erhöhen und Stromproduktionskosten weiter drastisch zu senken • Effizienzsteigerung hinsichtlich höherer erzeugter Energiedichte je Fläche • Recycling von enthaltenen Stoffen und von Produkten in zyklischer Wirtschaft • Schadstoffverträglichkeit und Lebensdauer hinsichtlich Integration in Liegenschafts- und Stallgebäude
Technologieforschung und Komponenten inkludierend Kostensenkung, Effizienzsteigerung, Lebenszeiterhöhung, mechanischer, elektrischer, tribologischer und chemischer Eigenschaften	• Effizienzsteigerung hinsichtlich höherer erzeugter Energiedichte je Fläche • Kosten und Kostenrücklauf, d.h. Kosten je kW/Kosten je kWh/Kosten je m² • Gewichtsreduktion und Möglichkeit für flexible Lösungen und Leichtbau • Speicherbarkeit kurzfristig über kleine thermische Speicher, Bauteilaktivierung oder kleine und mittlere elektrische Speicher • Große oder flexible elektrische Speicher • Power-2-X: Als Bereitstellung von Prozesschemie • Aufständerungssysteme, bifaziale Module
Systemische Forschung inkludierend zeitlicher Aspekte, Prognose, Interaktion auf unterschiedlichen Ebenen und zwischen hierarchischen Systemebenen sowie Korrelation von System und Systemteil bzw. Komponente und technischem und nichttechnischem Teil von Systemen (wie z.B. sozial etc.), Integration von Komponenten in Systemen und Systemtopologien und Optimierung	• Technische Integrierbarkeit, Mehrwert, Substitutionskosten • Anwendung im Neubau und Retrofitting (insbesondere bei einer angestrebten Renovierungsrate von 3% und Jahr und den energetischen Richtlinien für Gebäude) • Integration ins Energiesystem/Netz und verschiedene Speicher • Verschieben von produktionsbedingten Lastspitzen • Sektorkopplung und Digitalisierung (z.B. auch Sensorik in der Landwirtschaft) • Lösung für energiereduzierte Landwirtschaft • Synergieeffekte spezifischer Pflanzen und PV auf Agrarflächen • Photovoltaik und Bewässerung oder Windschutz

4.6 Chancen für die österreichische Technologie- und Innovationslandschaft

Photovoltaik und Landwirtschaft sind seit dem Beginn der Photovoltaik durch Nutzung von Grünflächen oder Nutzung von Dächern eng verbunden. Trends zeigen neue Entwicklungen, die es ermöglichen, Flächen doppelt zu nutzen, Landwirtschaft zu dekarbonisieren oder sogar wesentlich im Ener-

giesektor gewinnbringend zu agieren. Hinsichtlich dieser Entwicklungen müssen noch Standards entwickelt werden. Dennoch treffen viele Entwicklungen den Bedarf Österreichs als landwirtschaftlich orientiertes Land, aber auch Kernkompetenzen österreichischer Forschung.





Photovoltaik in
Gebäuden und Städten

Photovoltaik in Gebäuden und Städten

5.1 Trends von Photovoltaik in Gebäuden und Städten

Nach wie vor befindet sich die Integration der Photovoltaik in Gebäude in einer ambivalenten Situation: Gebäude stellen mit 87,5% heute bereits das am häufigste genutzte Flächenpotenzial für PV-Installationen dar [Biermayr et al. 2014], aber nur 2,4% aller PV-Installationen sind jedoch bauwerkintegriert. Der Rest aller PV-Anlagen ist als Aufdachmontage ausgeführt. Dies war ein Enabler für die frühe, flächendeckende Einführung der Technologie. Es ist aber als flächendeckende Technologie, die wesentlich zum Energieaufkommen beiträgt, beispielsweise in Städten, weder ästhetisch noch ökologisch überzeugend. Zugleich werden die Solarpotenziale an Gebäuden benötigt, um ohne durch solare Stromerzeugung induzierte zusätzliche Flächenversiegelung 100% erneuerbaren Energien in Österreich erzeugen zu können. Innovative Solargebäude zeigen auf, dass hohe Effizienz und Ausschöpfung der Solarpotenziale zu – in der Jahresbilanz – voll versorgten Solargebäuden führen können. Die Ausschöpfung der Potenziale der

bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV) bleibt aber heute noch aus nachfolgenden Gründen weit unter ihren technischen und energetischen Möglichkeiten:

- Mangel an ökonomisch attraktiven BIPV-Produkten
- Große Preisspanne zwischen Standardsolarmodulen und BIPV-Systemen
- ungenügende Anerkennung des erzeugten Solarstroms auf die Gebäudeenergiebilanz gemäß OIB/EU-Gebäuderichtlinie
- Bisher mangelnde Möglichkeiten der Verrechnung des Solarstroms an Mieter und weitere Nutzer, welche mit der kleinen Ökostromnovelle im Jahr 2017 angegangen wurde
- Geringes Volumen an Einspeisevergütung im Falle des Solarstromüberschusses

Die Roadmap widmet sich explizit den technischen Forschungs- und Entwicklungsthemen, deren Lösung zu einer Ausschöpfung der Potenziale der BIPV führen kann.



Abb. 26: Gebäude von Viriden-Architekten in Zürich: Photovoltaik goes Mimikri: Graue Solarmodule made in Austria sind nicht mehr von herkömmlichen Fassadenelementen zu unterscheiden. BIPV-Fassaden ermöglichen den Plusenergie-Standard.

5.2 Energieaufkommen in Gebäuden und Städten

5.2.1 Städte als Energieverbraucher

Die Städte und ihr Energieverbrauch rücken zunehmend in den Fokus der internationalen Klimaschutzdebatte. Nicht nur, dass heute bereits mehr als 60% des Weltenergieverbrauchs in Städten erfolgt, gibt es drei weitere Trends:

- zunehmende Urbanisierung weltweit – insbesondere in wachsenden Ökonomien
- u.a. damit einhergehende höhere Lebensqualität und steigender Energieverbrauch
- Bevölkerungswachstum in den Städten

Bis zum Ende des Jahrhunderts werden 75% der Menschheit in Städten leben. Unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums sind dies rund 7 Milliarden Menschen Stadtbevölkerung im Jahr 2100. Daher ist die klare Analyse der Klimawissenschaft, dass es ohne eine Dekarbonisierung der Städte keine Chance für den Klimaschutz gibt. Daher müssten die Städte in den Fokus der Anstrengungen rücken. Die Zahlen der Internationalen Energieagentur IEA unterstützen diese Analyse:

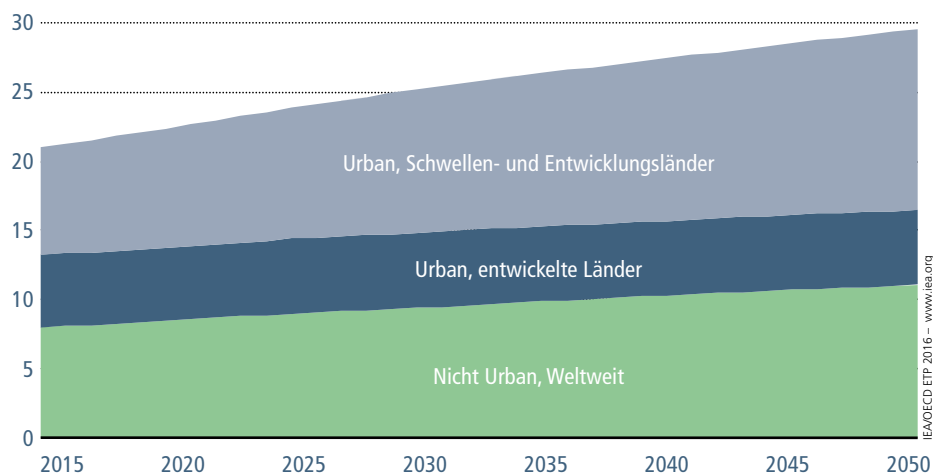
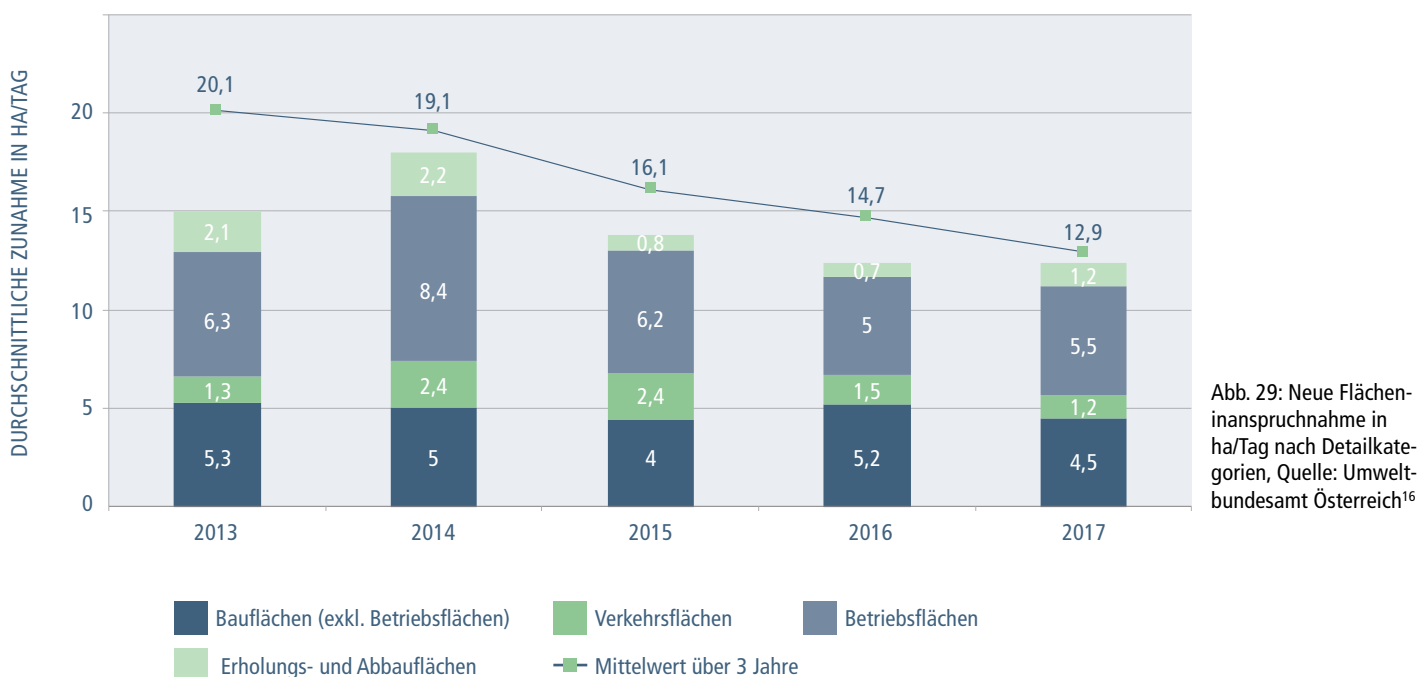
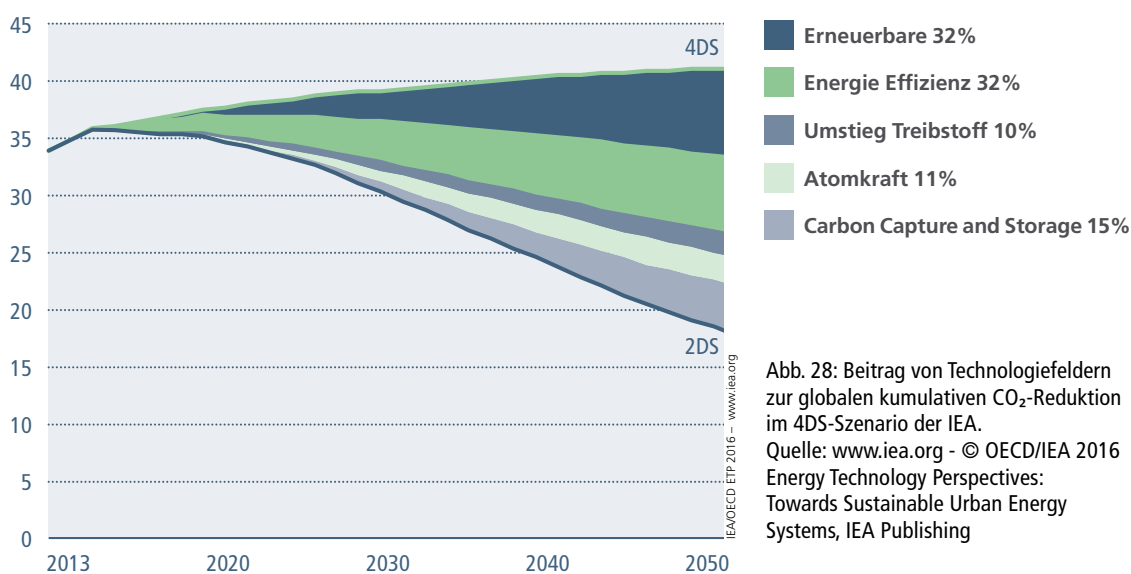


Abb. 27: Endenergiebedarf im 4-Grad-Klimaszenario: Zwei Drittel des Zuwachses am globalen Energiebedarf kommen bis zum Jahr 2050 aus Städten in Schwellen- und Entwicklungsländern. Bereits heute verbrauchen sie laut IEA rund 60% der Energie.
Quelle: www.iea.org - © OECD/IEA 2016 Energy Technology Perspectives: Towards Sustainable Urban Energy Systems, IEA Publishing

5.2.2 Solarstromgewinnung in Städten

Die nachfolgende Grafik zeigt deutlich, dass die Technologiefelder Erneuerbare Energie und Effizienz zu über 60% zum globalen Klimaschutz beitragen können und müssen. In beiden Bereichen spielen Städte eine große Rolle. Das, weil hier auch in Zukunft der größte Teil der Bevölkerung leben wird, aber auch ein großer Teil der Wertschöpfung und rund zwei Drittel

des Energieverbrauchs passiert. Das zunehmende Wachsen von Städten und Siedlungsgebieten auch in Österreich führt zu zunehmender Bodenversiegelung. Im Jahr 2017 wurden in Österreich laut Bundesumweltamt täglich 12,9 Hektar Land pro Tag neu in Anspruch genommen.



¹⁶ http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/rp_flaecheninanspruchnahme/

5.3 Ausgangslage der Photovoltaik in Gebäuden und Städten

5.3.1 Ausgangslage der BIPV-Installationen

Photovoltaik wird heute in Österreich zwar vorwiegend auf Gebäuden, dort aber zum größten Teil als Aufdachanlagen installiert.

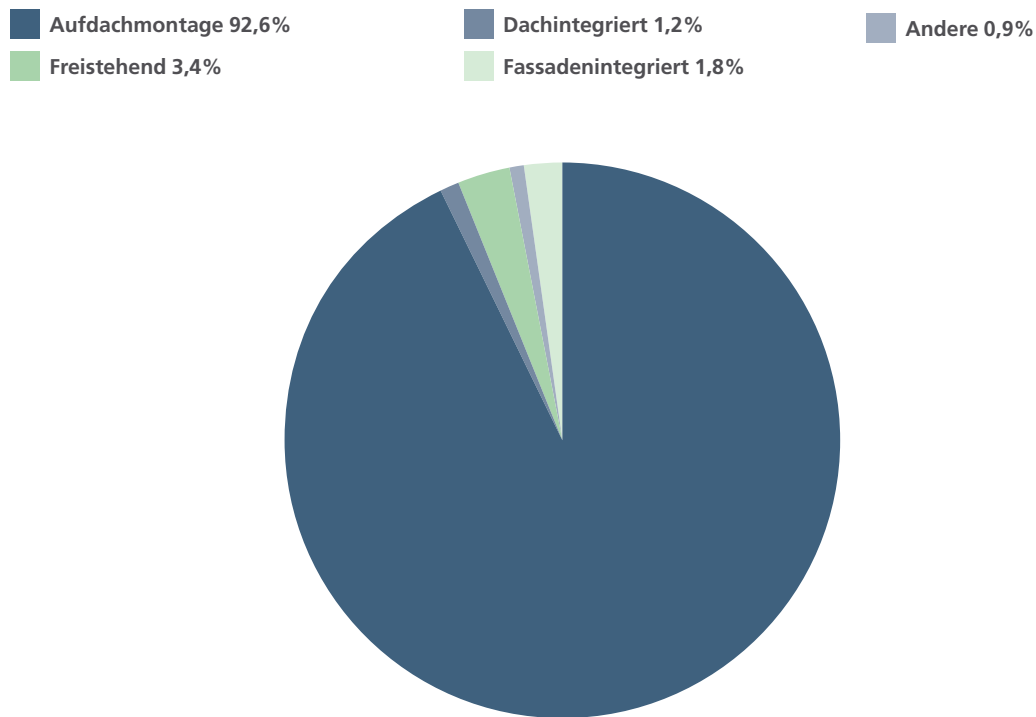


Abb. 30: Installationsarten von Photovoltaik in Österreich 2017¹⁷.

Während nur ein kleinerer Anteil an Photovoltaik Anlagen „Green Field“ also in Freiflächenparks installiert wird, werden rund 96% der PV-Anlagen in Österreich an oder auf Gebäuden installiert. Davon allerdings nur ein verschwindend geringer Teil von 3% integriert in Dach- und Fassadenflächen. Der internationale Vergleich zeigt, dass gezielte Politiken und Vergütungssysteme die Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle stärken können.

Im Vergleich zur Schweiz und zu Frankreich (mit 9 Watt BIPV) weist Österreich mit weniger als einem halben Watt pro Person einen deutlich geringeren Anteil an bauwerkintegrierter Photovoltaik auf. Da auch Fassaden bedeutende Potenzialflächen sind, bedeutet dies, dass nicht nur in Bezug auf die gesamte PV-Installationsleistung, aber auch für BIPV massive Steigerungen anzustreben sind, um die Klimaziele erreichen zu können.

¹⁷ Graphik: AIT Austrian Institute of Technology; Datenquelle: Peter Biermayr, Manuela Eberl, Monika Enigl, Hubert Fechner, Kurt Leonhartsberger (et al.), Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung, BMVIT 2018 (editions 2010 – 2018)

5.3.2 Bisherige Anwendung von PV am Gebäude

Detaillierte valide Statistiken zur Anwendung von Photovoltaikmodulen am Gebäude sind weder in Österreich noch in anderen Ländern verfügbar. Dies

mag auch daran liegen, dass der Markt bisher sehr klein ist. Die bisherigen Installationsarten gliedern sich grob in diese Kategorien:

PV am Gebäude aktuell	
Flachdächer	• Aufdachanlagen mit gerahmten Standardmodulen in Süd- oder Ost-West-Ausrichtung • Foliendächer mit integrierten flexiblen Solarmodulen aus flexiblen Solarzellen (bisher Dünnschicht, heute auch kristalline dünne Zellen)
Schrägdächer	• Über Dachziegeln oder anderen wie zum Beispiel Metaldächern parallel installierte gerahmte Standardmodule (meist mit kristallinen Solarzellen) • Integrierte Lösungen mit rahmenlosen Standardmodulen, integriert in spezielle Profilsysteme zur Darstellung einer mit Ziegeldächern vergleichbaren Dachdichtigkeit
BIPV als „Fassadenplatte“ für Kaltfassadensysteme, als Verschattungssysteme oder als Überdachung	• Spezialgefertigte Glas-Glas-Solarmodule mit integrierten kristallinen Solarzellen • auch mit emaillierten farbigen (oder schwarzen) Rückseiten, abgedeckten Bändchen, siebbedruckten Zellzwischenräumen • mit Bedruckungen zur Farbmodifikation • als Kaltfassadenelemente • als Verschattungselemente (Lamellen) • als Vordächer (Eingangsbereiche, Terrassen, Wintergärten)
BIPV integriert in Warmfassaden	• Spezialgefertigte Glas-Glas-Solarmodule integriert in Isolierverglasungen mit • kristallinen Solarzellen • organischen Solarzellen/Farbstoffsolarzellen
Systemtechnik	• Nahezu alle PV-Systeme werden heute als netzgekoppelte Systeme mit Wechselrichtern zur Wechselstromerzeugung und zur Einspeisung von Überschüssen ausgelegt. • Es werden immer mehr PV-Systeme mit Batterien als Tagesspeicher ausgestattet sowie mit Wärmespeichern und Wärmepumpen gekoppelt, um einen möglichst hohen Eigenstromverbrauchsanteil sicherzustellen.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass die Nutzung der Photovoltaik an Gebäuden bislang weit hinter ihrem technischen Potenzial zurückbleibt. Zudem ist der Markt bisher geteilt in einen Massenmarkt mit dem Einsatz von Photovoltaik-Standard-

modulen in Aufdachmontage auf Flach- oder Schrägdächern und einen kleinen Markt für hochwertige individuell gefertigte Integrationsprodukte für BIPV.



5.4 Potenziale der Photovoltaik in Gebäuden und Städten

In Österreich mit seinen landschaftlich, touristisch und ökologisch wertvollen Naturräumen sowie der bereits intensiven Flächennutzung sollte es Zielsetzung sein, die versiegelten oder neu zu versiegelten Flächen – insbesondere die Gebäude – als besonders geeignete Potenzialflächen für die PV zu betrachten.

Bislang weniger betrachtet und beachtet wurden Verkehrsflächen und Betriebsflächen sowie die Agrarflächen, wie aus den anderen Teilen dieser Roadmap hervorgeht, obwohl auch diese Nutzungsarten hohe Potenziale bereits in Anspruch genommener Flächen und teils versiegelter Flächen bereithalten. Hier sind

insbesondere Parkplätze zu nennen, welche ein interessantes Potenzial besitzen.

Insgesamt waren im Jahr 2016 laut Umweltbundesamt 230.000 ha Flächen in Österreich versiegelt. Dies entspricht 2300 Quadratkilometern. Auf Gebäude entfallen davon rund 75.000 ha, also 750 km².

5.4.1 Beitrag der BIPV zum übergeordneten Ziel 100% Erneuerbarer Energie

Aufgrund der großen Flächenpotenziale an Gebäuden bietet es sich an, dass BIPV eine bedeutende Rolle in der Stromerzeugung im Jahr 2050 zukommt.

Basis sind Studien zu einer 100% erneuerbaren Energiezukunft für Österreich im Jahr 2050 und die darin dargestellten Energiemengen, welche durch Photovoltaik bereitgestellt werden müssten. So wurde bereits im ersten Teil der „Photovoltaik Roadmap für Österreich“ [Fechner, Mayr, Schneider, Rennhofer, & Peharz, 2016] ermittelt, dass für 100% Energie aus Erneuerbaren in Österreich der Anteil der Photovoltaik von gegenwärtig etwa 1 TWh auf mindestens 29,9 TWh Jahresproduktion steigen muss (12,4% des gesamten Österreichischen Primärenergiebedarfes bzw. rund 27% des Stromaufkommens). Dem Potenzial an geeigneten Dach- und Fassadenflächen in Österreich von etwa 230 km² stehen 170 km² Flächenbedarf gegenüber.

Klar wird mit diesen Zahlen nicht nur das große Marktpotenzial der bauwerkintegrierten Photovoltaik, sondern auch die Größe der Herausforderung: Bei einem Flächenbedarf zur Solarstromproduktion von rund 170 km² bezogen auf eine durch Bauten versiegelte Fläche von rund 750 km² bedeutet dies, dass nahezu alle besonnten und baulich geeigneten Dach- und Fassadenflächen benötigt werden, um die gewünschten Solarstrommengen zu erzeugen. Die bauwerkintegrierte Photovoltaik würde so zu einem prägenden Merkmal unserer gebauten Umwelt.

Zugleich verdeutlichen diese Zahlen aber auch, dass es sinnvoll ist, auch andere Potenzialflächen, wie urbane Freiräume, Verkehrsflächen, Betriebsflächen von Industriebetrieben oder aber auch Agrarflächen für die solare Stromgewinnung in Anspruch zu nehmen, um das Potenzial der Gebäudeoberflächen nicht

zu überfordern. Denn zwischen theoretischen technischen wirtschaftlichen und sich dann mit hoher Akzeptanz verwirklichtbaren tatsächlichen Flächeninanspruchnahmen liegen in der Regel Dimensionsunterschiede.

BIPV muss als bedeutende Energiequelle für ein 100% erneuerbares Energiesystem entwickelt werden. Darüber hinaus bedarf es einer umfassenden Ausschöpfung der Solarpotenziale an Gebäuden sowie der anderwertig verbauten Umwelt.

Dennoch sollten gerade Neubauten und neue Stadt- und Industriequartiere so geplant werden, dass Photovoltaik zum selbstverständlichen und optimal integrierten Bestandteil wird. Alleine die täglich neu versiegelte Gebäudefläche von 5,2 Hektar macht im Jahr rund 19 Quadratkilometer neu versiegelte Fläche aus. Wenn man davon ausgehen kann, dass pro Flächeneinheit versiegelter Boden auch rund dieselbe Fläche an Dach- und Fassadenflächen zur Verfügung steht, so würde, wenn nur diese optimal ausgenutzt würden, der Zubau von 10 Jahren bereits ausreichen, um die für eine 100% erneuerbare Energieversorgung notwendigen Flächen bereitzustellen.

Andere Nutzungsanforderungen, Verschattungen und andere Ausrichtungen werden auch hier keine vollständige Nutzung mit PV zulassen, dennoch verdeutlichen diese Zahlen die grundsätzliche Dimension der Aufgabe.

5.5 Herausforderungen für die Anwendung von Photovoltaik in Gebäuden und Städten

- **hoch effizient zur optimalen Ausschöpfung der knappen Ressource Fläche**
- **sehr attraktiv: bezogen auf Ästhetik, Brauchbarkeit und Wirtschaftlichkeit**
- **umweltfreundlich: wegen der großen Verbreitung als massenhaft eingesetzter Baustoff**
- **akzeptiert: als neuer Baustoff und elektrische Energiequelle**
- **Wirtschaftlichkeit durch Einbinden in Energieversorgung, aber auch Dezentralisierung**

5.5.1 Allgemeine Herausforderungen bei der BIPV

Ziel dieser Roadmap ist es, Wege aufzuzeigen, wie Photovoltaik in Cities und Gebäuden zu einer maßgeblichen Energieinfrastruktur und Teil der Baukultur werden kann.

Photovoltaik sollte zunehmend in die verschiedenen baulichen Strukturen einer Stadt integriert werden; sowohl in die Gebäude als auch in die Verkehrsinfrastruktur, aber auch in städtische Freiräume.

Um eine starke Verbreitung zu finden, muss BIPV folgende Eigenschaften aufweisen:

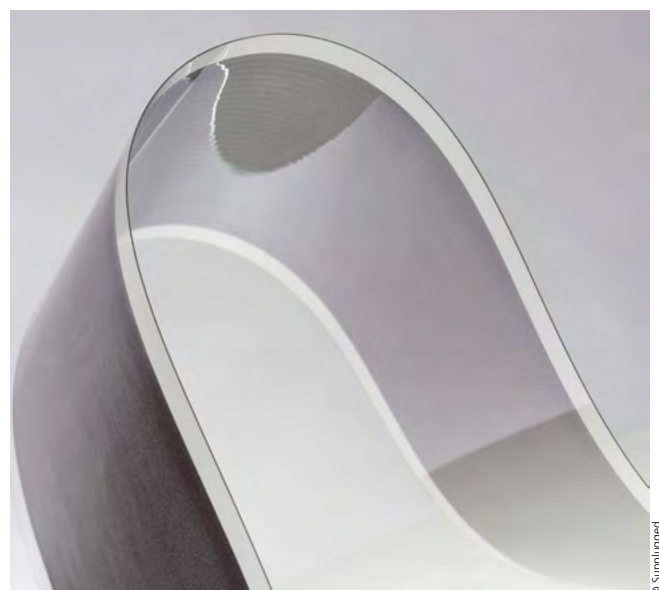
- Neue Gebäude sind „Solare Aktivgebäude“ und werden mit BIPV als Baustandard umgesetzt.
- Photovoltaik wird als Überdachung für Parkplätze, Tankstellen und Vorplätze eingesetzt.
- Photovoltaik als Oberflächenmaterial wird zentrales Gestaltungselement in der Architektur und für Infrastrukturen.
- Breite Palette an BIPV-Standardprodukten und maßgefertigten Lösungen müssen zur Auswahl stehen.
- Fix und fertige Systemtechnik zur einfachen Systemintegration der BIPV muss entwickelt werden.
- BIPV muss noch besser in Normen und Gesetzen (bzw. Richtlinien) verankert werden
- BIPV-Wissen muss in breiter Basis auf allen Ebenen der Bildung etabliert werden



© alwira / DAS Energy



© Crystalid



© Sunplugged

Abb. 31–33: Biegbare hochleistungsfähige Solarmodule entwickelt in Österreich erlauben zukünftig auch gekrümmte Gebäudeoberflächen mit PV auszurüsten.

5.5.2 Technologische Herausforderung BIPV

Die technologischen Herausforderungen der bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV) sind wegen der Kombination zweier Technologiefelder in einem Produkt/Projekt noch immer sehr anspruchsvoll: Einerseits wegen der Eigenschaften des BIPV-Produktes als „Consumer Electronic“ aus dem Reich der Elektroindustrie und Elektrotechnik mit den der IEC-Welt zugehörigen Normen für Solarzellen, Solarmodule und elektrische Anlagen. Andererseits wegen der Eigenschaft als Baumaterial aus dem Bereich der Bauindustrie, der Bautechnologie und den der ISO-Welt zugehörigen Baunormen. Eine Herausforderung der BIPV als Konstruktionsmaterial betrifft die damit verbundenen Spannungsfelder. Die sich dabei widersprechenden Eigenschaften sind z.B.:

- zwischen hart und zerbrechlich
- Indoor und Outdoor
- schützenswert und konstruktiv
- High-tech und Low-tech
- unbrennbar und entzündlich
- formbare Materialien und Fertigprodukt

Doch nicht nur die Technologiefelder, sondern auch die Grundeigenschaften von Baumaterialien und dem High-Tech-Elektronikgut Photovoltaik sind sehr unterschiedlich, fast schon gegensätzlich. Solarzellen und Module sind näher an die Eigenschaften konventioneller Baumaterialien heranzuführen. Wesentliche Entwicklungsziele sind daher, sie Outdoor-fähig, als konstruktives Material einsetzbar, etwas mehr Low-tech, weniger brennbar (oder sogar unbrennbar) sowie formbar zu machen.



Abb. 34: Technologische Herausforderung der BIPV: Kombination Konstruktionsmaterial und High-Tech-Elektronikprodukt, Quelle: AIT Austrian Institute of Technology



Abb. 35: Maßgeschneiderte Photovoltaik-Fassadenelemente farblich angepasst an die Architektur ermöglichen – hier backsteinrot – gestalterische Highlights. BIPV-Fassaden tragen zum Plusenergiestandard bei. Quelle: Ertex Solar

5.6 Innovations- und Forschungsbedarf für Photovoltaik in Gebäuden und Städten

Um die Ziele bis zum Jahr 2050 zu erreichen, wird vorgeschlagen, die Technologie der gebäude- und konstruktionsintegrierten Photovoltaik in einem mehrteiligen Ansatz in permanenten Innovationszyklen in vier Hauptsträngen voranzutreiben, wie in der folgenden Grafik veranschaulicht.

Alle vier Bereiche sollten mit Forschungs- und Förderprojekten gezielt und gemeinsam entwickelt werden. Die Grafik in nachfolgender Abbildung zeigt die „BIPV-Forschungsrichtung“, d.h. auf welche Weise die vier genannten Handlungsfelder bearbeitet werden müssen, um die übergeordneten Ziele zu erreichen.

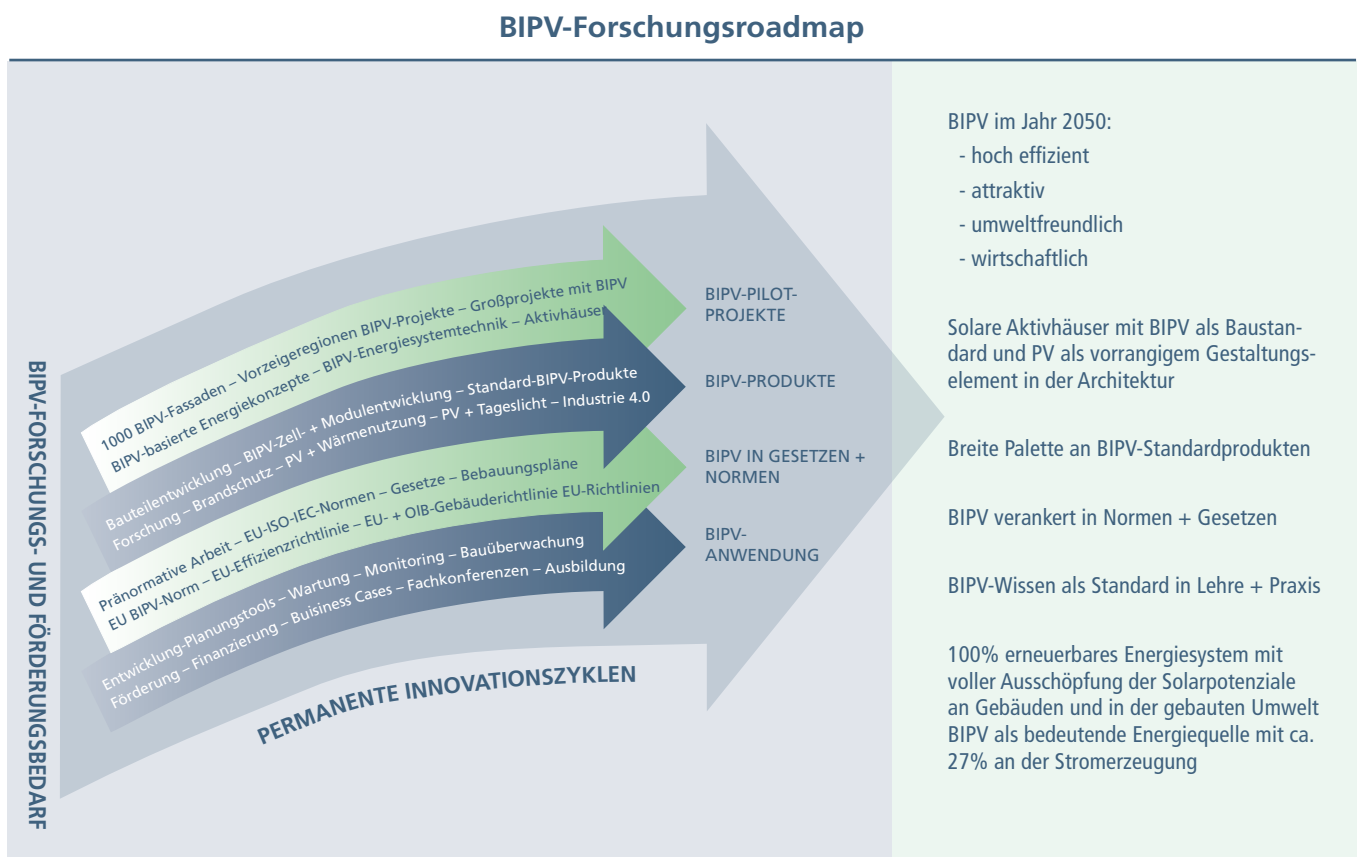


Abb. 36: Für die Entwicklung der BIPV ist es entscheidend, neben der reinen Technologieentwicklung einzelner Produkte auch die Anwendung mit Planungstools, Ausbildung und Business Cases zu unterstützen; einen normativen Rahmen zu schaffen und schlussendlich mit Pilot- und Demonstrationsprojekten die Technologie in der komplexen Einbettung in Projekten von Zero Energy Buildings und solaren Aktivhäusern zu testen und zu erforschen.

Quelle: SHAPE-PV-Projekt, AIT Austrian Institute of Technology

Es stehen die Projekte im Fokus, die technische, ökonomische und gestalterische Fragen vereinen. Der umfangreiche Einsatz der BIPV an der Gebäudehülle wird diese zu einem vorrangigen Gestaltungselement in der Architektur machen. Die Kombination aus Standard und Flexibilität steht bei den Produkten im Vordergrund. Eine konsequente Verankerung in Normen und Gesetzen erleichtert bzw. ermöglicht

den Einsatz. Von BIPV-erfahrenen Praktikern aus Architektur und Elektrotechnik wird betont, dass Innovationen in der Planung und Anwendung ebenso als Forschungsthema betrachtet und permanent mit vorangetrieben werden sollten, um eine optimale Implementierung zu erreichen. Daher wurden diese vier Hauptkategorien als prioritäre Handlungsfelder gebildet.

Forschungsbedarf für die Anwendung von Photovoltaik in Gebäuden und Städten	
BIPV-Projekte	• Solare Aktivhäuser mit BIPV als Baustandard und PV als vorrangigem Gestaltungselement in der Architektur (in Neubau und Renovierung) • Integration von BIPV in städtische Infrastrukturen
BIPV-Produkte	• Breite Palette an BIPV-Standardprodukten mit flexibler Gestaltungsmöglichkeit
BIPV-Gesetze und Normen	• BIPV verankert in gemeinsamen verständlichen Normen und Gesetzen
BIPV-Anwendung	• BIPV-Wissen als Standard in Lehre und Praxis • Platzierung von Gebäuden als Akteuren am Energiemarkt (Smartness-Faktor)

Technologieentwicklung für eine volle Ausschöpfung des BIPV-Potenzials

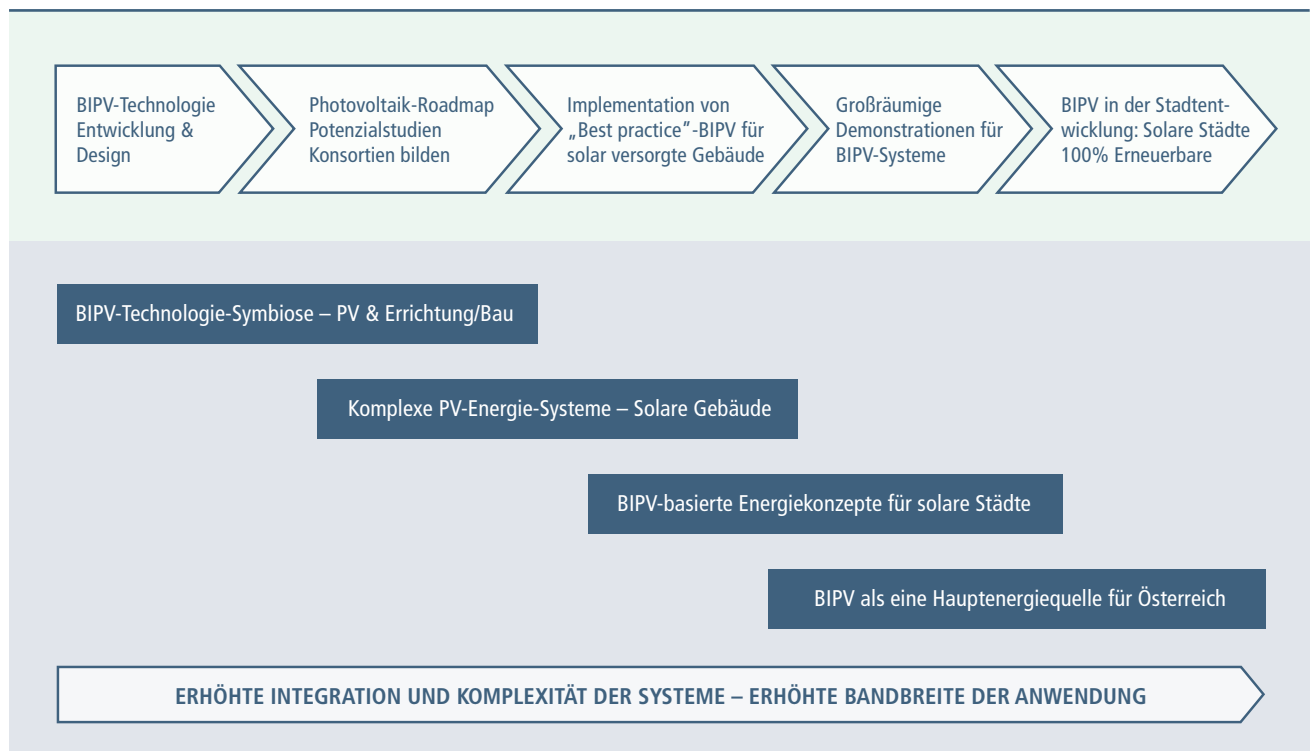


Abb. 37: Technologieentwicklung BIPV, Quelle: SHAPE-PV-Projekt, AIT Austrian Institute of Technology

Forschungsbedarf für BIPV-Projekte

Solare Aktivhäuser mit BIPV als Baustandard	- Planung, Bau und Betrieb von so genannten „Aktivhäusern“, bei welchen BIPV-Systeme zur Hauptenergiequelle werden inkl. Austausch mit dem Stromnetz - Platzierung von Bauprojekten als Forschungsprojekte, reale Architekturprojekte sollten als „Forschung“ angesehen und entsprechend gefördert werden (volle Förderung für Forschungseinrichtungen, genügend hohe Förderung für Industrie und Immobilienwirtschaft), von - Konzepterstellung und - Planung - über Realisierung, - Baubegleitung - hin zu Monitoring und - Effizienzanalysen und Betriebsdatenauswertung
Optimierung Gebäude als „Player am Energiemarkt“	Flexibilitätsmaximierung der Solarstromverwendung: direkte Nutzung für Strom, Elektromobilität, für thermische Zwecke (Kühlung/Heizung), inklusive thermischer Speicherung in „Speichern“, sowie in der Gebäudemasse sowie in geothermischen Systemen, elektrochemische Speicherung in Batterien, Erprobung dezentraler Gebäude- Wasserstoffsysteme, Brennstoffzellen, Entwicklung von individuellen und „Schwar“-Geschäftsmodellen zur Vermarktung von Stromerzeugungspotenzialen an Gebäuden, sowie von Stromspeicherpotenzial, und Stromverbrauchs- bzw. Netzstabilisierungspotenzial an den verschiedenen Strommärkten (Spot/Ausgleichsenergie etc.)
Dezentraler Wasserstoff/ Autarkie	Erprobung von PV-Aktivhäusern als energieautarke Gebäude mit Batterien, thermischen Speichern und Elektrolyse/saisonaler Wasserstoffspeicherung
Solaroptimierte Stadtplanung	- Entwicklung und Erprobung von Instrumenten der solaroptimierten Stadtplanung - Wissenschaftliche Beratung solaroptimierter Stadtplanungsverfahren / Bebauungspläne / Flächennutzungspläne - Realisierung von solaroptimierten Demo-Stadtquartieren
Integration von BIPV in städtische Infrastrukturen	- Forschungsprojekte zur Implementierung von BIPV in städtische Infrastrukturen wie Beleuchtung, Verkehrsanlagen, Kommunikationsanlagen - Entwicklung von Standardprodukten hoher Qualität und Dauerhaftigkeit für den Inselbetrieb - Erforschung von Hybridsystemen mit Kleinwindkraft

Forschungsbedarf für BIPV-Produkte

Gestaltungsmöglichkeit	- Farb- und Oberflächen-Varietät - Erforschung und Entwicklung verschiedener Technologien wie Beschichtungen, Bedruckungen, Variationen der FarbabSORPTIONSSCHICHT von Solarzellen, Folien etc. mit den Zielen: - Erzeugung verschiedener Farbeindrücke - verschiedene Rauigkeiten/haptische Oberflächenerscheinungen - einfache Produktion
Zelltypen	- Erforschung des BIPV-Einsatzes verschiedener innovativer Solarzell- und Modulproduktionsverfahren zur optimierten Erzielung von Formflexibilität, Biegsamkeit - vereinfachte Integration in Bauteile durch Erforschung von Dünnschichtsolarzellen in Druckverfahren mit flexibler designbasierter Modulgestaltung und Formgebung bzw. Dünnschichtsolarzellen in Roll-to-Roll-Produktion mit variierbaren Breiten und Längen, bifazialen Solarzellen bzw. kristallinen Solarzellen mit verschiedenen Formen
Verschiedene Zellarten/ Zelltechnologien/ Einsatzmöglichkeiten	Erforschung verschiedener Zell- und Modultechnologien zum möglichst variablen Einsatz: mit hoher Biegsamkeit, schneidbar, formbar, maßgerecht einpassbar, aufklebbar, einfügbar
Bauteilintegration	Entwicklung von PV-Halbzeugen zur Bauteilintegration beim Bauerzeugnishersteller: z.B. flexible Lamine zur Integration (z.B. in Dachfolien), maßgerechte Glasscheiben/ PV-Zwischenschichten für Fenster und Fassaden, Kombination mit verschiedenen Baumaterialien wie: Betonbauteile, Metallelemente, Dachelemente, Verschattungselemente, Dachfolien, Glaselemente
Fertigbauteile mit PV	Entwicklung von Produkten mit fertigungsseitig integrierten PV-Elementen für: Fassadenbauteile, Fenster, Fensterläden, Verschattungssysteme, Dachsysteme

Forschungsbedarf für BIPV-Produkte

Optimierung und Bestimmung von Baueigenschaften von BIPV-Produkten	BIPV-Produkte müssen auf Baueigenschaften getestet und geprüft und so entwickelt werden, dass sie die Anforderungen von Bauwerken optimal erfüllen. Optimierung und Bestimmung von: Brandschutzeigenschaften von Fassaden- und Dachbauteilen, Ziel „A“-rated-Fassadenbauteile für Eignung auch z.B. in Hochhausfassaden, Schneelast-Belastbarkeit, Wärme-Belastbarkeit/Toleranz, Schallschutzwände, Begehbarkeit/Belastbarkeit, Tauglichkeit als Straßenbelag
Abwärme-Nutzung	Erforschung Kraft-Wärmegekoppelte PV-Systeme mit „Abwärme-Nutzung“ als Vorlauf für Wärmepumpen
Dezentrale Einspeisung von Solarstrom am Gebäude	- Systematische Entwicklung von Plug-and-Play-Lösungen zur dezentralen Einspeisung von BIPV-Modulen im größeren Maßstab (vergleichbar Modell Simon) ins Wechselstromnetz von Gebäuden - Systemtechnik, Besicherung, Mini-Wechselrichter, direkte Nutzung zur Kühlung/Heizung, Lüftung, Vereinfachung PV-Planungsaufwand/Systemtechnik, Verschattungstoleranz
BIPV-Gleichstromsysteme	Ermittlung Potenzial, Entwicklung praxistauglicher zugelassener Systemtechnik: Plug-and-Play-Gleichstrom-Leitungsstandards und -systeme, Erforschung optimaler Spannungsniveaus, Sicherheitstechnik, Untersuchungen Effizienz, Gleichstrominverter mit hohem Wirkungsgrad, Kombination mit dezentralem Batterieeinsatz, Nutzungsoptimierungen, Standardisierungsarbeiten
Smart-Meter/Smart-Home-Systeme/E-Tankstellen	- Erforschung der Steuerungs- und Abrechnungssysteme für Solarstrom: Solar Home Manager, Smart Meter ausgebildet zur Ermöglichung der Strommarktteilnahme des ‚Verbrauchers / Erzeugers / Speichers / Flexibilisierers = Prosumers‘, Gebäudesysteme: Mieter- Nutzerstromabrechnungs-optimierung für Mehrparteiengebäude inklusive PV-Anlagen, thermischer Nutzung im Gebäudeheiz- und Kühlsystem, Betriebsstrom (Lüftung etc.), Batteriespeicherung und E-Tankstellen für Mieter / Nutzergemeinschaften. - Ziele: maximaler Komfort, maximale Datensicherheit, Kosteneffizienz, Ermöglichung der Strommarktteilnahme durch kurze Messzeiträume (nicht nur Viertelstundentakt, sondern Sekundenreserve)

Forschungsbedarf für BIPV-Anwendung

BIPV-Wissen als Standard in Lehre	Ausarbeitung und Implementierung von Curricula zu BIPV für: Universitäten, Fachhochschulen, HTLs, Handwerkerausbildung, Erwachsenenbildung, z.B. Handwerkskammern, WiFi, Volkshochschulen
BIPV-Wissen als Standard in der Praxis	Verankerung des Wissens zum Planen, Forschen, Realisieren, Bauen, Herstellen in der Praxis auch aller heute bereits arbeitenden Erwachsenen; Weiterbildungsinitiativen, Verankerung in öffentlichen/geförderten Kursen, Arbeitsamt-Maßnahmen, Curricula zur Erwachsenenbildung
Planungshilfen, Ausbildungsmaterialien	Förderung von Publikationen: technische Handbücher, Fachbücher, Planungshandbücher, Online-Datenbanken, Web-Angebote (Beispiel „Baubook“ mit BIPV)
Planungstools für die Simulation von BIPV	Erarbeitung verfeinerter/verbesserter/validierter Planungstools zur BIPV-Planung und Visualisierung, Simulationstools für BIPV mit: Einlesbarkeit komplexer 3-D-Modelle und städtischer Umgebungsmodelle und Verschattungssituationen in PV-Simulationssoftware und Verknüpfung mit Energieplanungssoftware, Simulationstools für „Custom Sized BIPV“ nicht nur für Standard-PV-Module, Simulationsmöglichkeit der visuellen Erscheinung von differenzierten BIPV-Gestaltungsoptionen, Erfassung Erwärmung mit und ohne Hinterlüftungen/bezogen auf Einbausituation, besserer Berücksichtigung von Albedo-Effekten
Datengrundlagen/digitale Modelle und Daten	Verfeinerung digitaler Stadtmodelle, kostenfreie zur Verfügungstellung von ZAMG-Daten zu Strahlungsmessungen für die Allgemeinheit
Digitalisierung des Bauwesens	Entwicklung von BIM-Modellen für BIPV: Erstellung von BIM-BIPV-Produktmodellen, Implementierung in Planungs- und Simulationssoftware, Nutzung zur BIM-basierten BIPV-Fertigung von PV-Modulen und BIPV-Bauteilen und -Komponenten, Cradle-to-Cradle digitaler Zwilling: Nutzung der BIM-Modelle für Architektur-Planung, elektrischer Simulation, Haustechnikplanung, Energieausweis, Gebäudeunterhalt und Betrieb, Recycling (Wiederbenutzung, sortenreine Trennung, Rohstoffrückgewinnung)

5.7 Chancen für die österreichische Technologie und Forschungslandschaft

Das Stakeholderfeld im Bereich der BIPV ist vielfältig. Um eine optimale Implementierung der innovativen bauerwerkintegrierten PV-Technologie zu erreichen, muss eine Vielzahl von AkteurInnen motiviert

und weitergebildet werden. Im Rahmen des Projektes „SHAPE-PV“ wurde eine AkteurInnenmatrix erarbeitet, welche die Vielfalt aufzeigt.



STAAT **INDIVIDUUM**

Abb. 38: Stakeholder-Beteiligung für eine erfolgreiche BIPV-Implementierung, Quelle: AIT Austrian Institute of Technology, SHAPE-PV-Projekt

Involvierung der Bau-, Immobilien- und Energiewirtschaft

Ein Schwerpunkt der Implementierung sollte auf dem Zusammenwachsen der Bau- und Solarwirtschaft und ihrer vielfältigen Stakeholder liegen. Hierin liegt zugleich auch die Chance für die Österreichische Innovationslandschaft: Wenn es gelingt, bei einer auf das Klimaziel ausgerichteten Energiepolitik einen signifikanten BIPV-Markt zu schaffen, wäre dies ein wichtiger Schritt, welcher neue Projekte, Produkte und somit auch Exportchancen kreieren kann. Dies wird langfristig die AkteurInnen aus Solarenergie, Bauwirtschaft und Energiewirtschaft zusammenbringen. Gleichzeitig bildet die Komplexität des BIPV-Marktes einen gewissen Schutz vor der preiswerten Konkurrenz aus China: komplexe Produkte in kleineren

Stückzahlen maßgeschneidert für spezifische Anwendungen und Anforderungen lassen sich weniger gut aus der Ferne als Massenexportgüter erzeugen. Stabile Absatzmärkte in Österreich stimulieren die einheimische Industrie, welche wiederum die österreichische Forschungslandschaft entsprechend befruchten wird.

Eine erfolgreiche Implementierung von ins Bauwesen integrierten Systemen und Produkten eröffnet dennoch Exportchancen – insbesondere für Know-how – in Länder, bei denen zum Beispiel ein starkes Bevölkerungs- und Stadtwachstum einhergeht mit einer Umstellung auf erneuerbare Energien.

Schlussfolgerung

Die photovoltaische Stromerzeugung wird die Energieversorgung von morgen in wesentlichen Teilen dominieren. In den hier diskutierten Sektoren Industrie, Mobilität, Landwirtschaft und Gebäude/Städte existieren bereits viele Lösungen, jedoch ist in nahezu allen Fällen entweder die Wirtschaftlichkeit, die Praxistauglichkeit, die Akzeptanz oder schlicht das Wissen über die Möglichkeiten und Potenziale nicht ausreichend gegeben. Viele weitere Anwendungen sind überhaupt erst in einem frühen Stadium bzw. in einem noch sehr geringen TRL-Level.

Es bedarf daher jedenfalls eines umfassenden Forschungsansatzes, möchte man viele dieser vielversprechenden Potenziale zur Umsetzung bringen. Der volkswirtschaftliche Nutzen würde jedenfalls dann ein hoher sein, wenn man frühzeitig diese Chancen auf Technologieführerschaft erkennt.

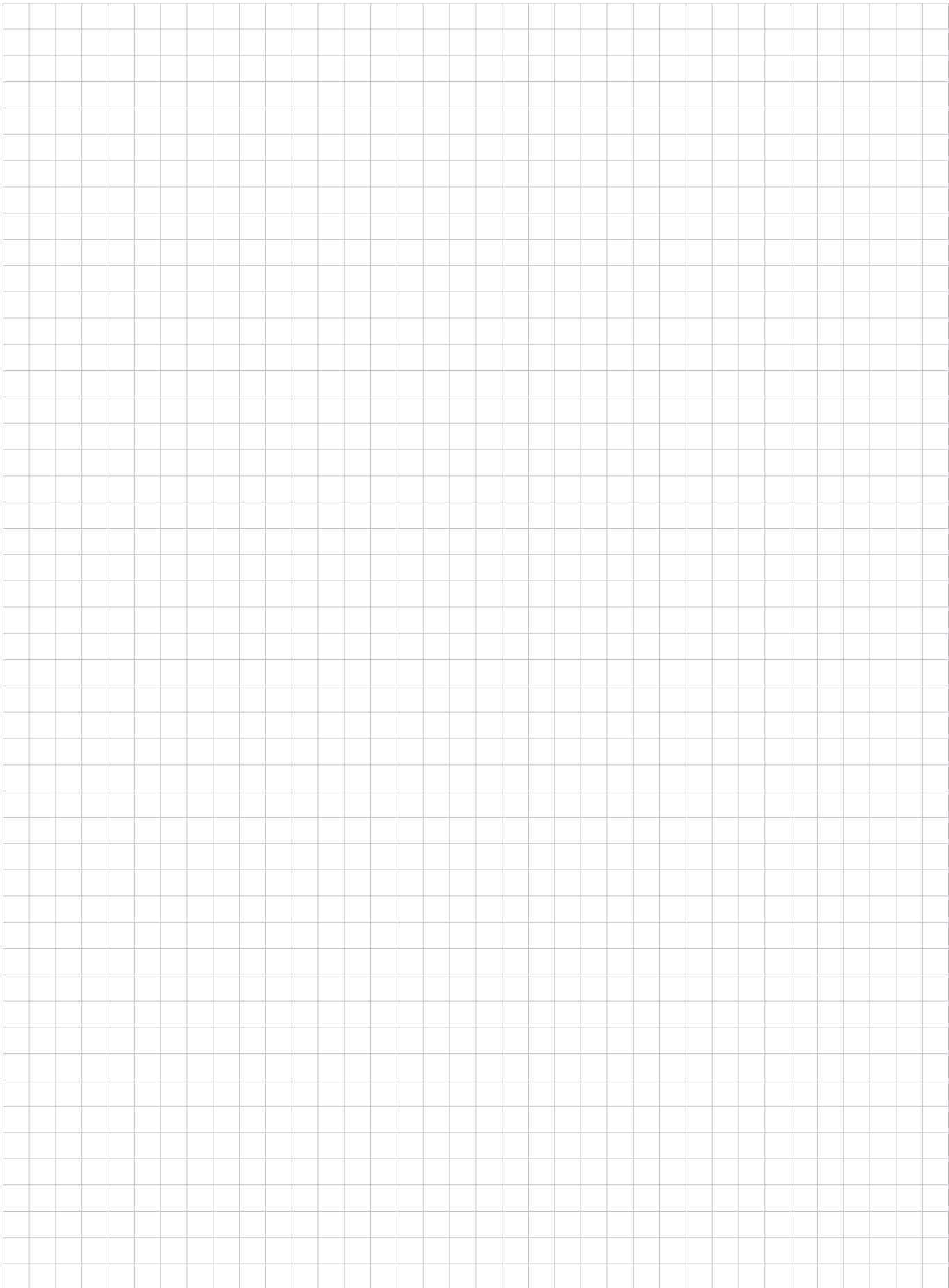
Die Forschung bzw. Technologieentwicklung sollte von Demonstratoren wie Breitentestprogrammen und dergleichen intensiv begleitet werden. Dies kann dazu dienen, um durch Vorzeigeprojekte das Vertrauen in diese Anwendungen bedeutend zu erhöhen. Begleitet von spezialisierter Ausbildung über die gesamte Wertschöpfungskette könnten die Potenziale in

all den diskutierten photovoltaischen Anwendungen mittelfristig gehoben werden.

Für die frühe Phase bzw. zum Ausgleich der externen Kosten, die durch nicht erneuerbare Energieerzeugung verursacht werden (Klimaschäden, andere Umweltkosten, Kosten, die das Sozialsystem trägt), sind Maßnahmen der öffentlichen finanziellen Unterstützung für viele der in diesem Bericht diskutierten photovoltaischen Lösungen durchaus angebracht, bzw. werden einen breiteren Einsatz dieser erst ermöglichen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass für eine Positionierung als Technologiestandort ein gut entwickelter Heimmarkt eine wesentliche Rolle spielt. Speziell in der Pilotphase sind Rückmeldungen aus dem lokalen Umfeld wesentlich, um daraus rasch weitere F&E bzw. kleinere Adaptionen an den Produkten und Systemen durchführen zu können.

Nur wenn Forschung und Entwicklung mit ambitionierten Markteinführungskonzepten Hand in Hand gehen, kann die Chance genutzt werden, Österreich als Modellregion innovativer Photovoltaikanwendungen zu positionieren.

Notizen



Literaturverzeichnis

a2-solar, 2016, Automotive PV. <http://www.a2-solar.com/>; 16.12.2016

Agora Energiewende 2015, current and future cost of Photovoltaics, Studie des Fraunhofer ISE im Auftrag von Agora Energiewende

Agora Energiewende 2015b: Current and Future Cost of Photovoltaics - Long-term scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems (2015)

Alt, F., 2016, Frankreich baut 1.000 Kilometer Solarstraßen. Sonnenseite, <http://www.sonnenseite.com/de/mobilitaet/frankreich-baut-1.000-kilometer-solarstrassen.html>; 17.12.2016.

Amditis, A., k.J., Feasibility analysis and development of on-road charging solutions for future electric vehicles. FABRIC consortium, Institute of Communication and Computer Systems (ICCS), <http://www.fabric-project.eu/>; 29.11.2016.

Anumar GmbH, 2016, Lärmschutzwirkung von Photovoltaikmodulen. Studie der Technischen Hochschule Ingolstadt belegt Lärmschutzwirkung von PV-Modulen auf Schallschutzwänden. <http://www.anumar.de/Ueber-uns/Presse/Laermschutzwirkung-von-Photovoltaikmodule/>; 06.01.2017

APA, 2016, Österreich: Neuzulassungen für Elektroautos mehr als verdoppelt. trend.at, <https://www.trend.at/branchen/auto-mobilitaet/oesterreich-neuzulassungen-elektroautos-7029607>; 31.01.2017

aquawatt, k.J., aquawatt Solarmobilität. http://www.aquawatt.at/DE/solarmobilitaet_18_DE.html; 29.11.2016

Asfinag, 2016, <https://www.asfinag.at/verkehrssicherheit/bauen/laermschutz/> 10.11.2017

Asola, k.J., Automotive Solaranwendungen. <http://asola-tech.de/e-mobilitaet-pv/>; 16.01.2017

Astrid Schneider: "Pushing the Green innovation cycle - With Green Technology and Investment Centres in Austria, Germany and Switzerland", Astana, Kazakhstan – United Nations Ministerial Conference & Eights International Forum on Energy for Sustainable Development "MEETING the CHALLENGE OF SUSTAINABLE ENERGY"

austrian mobile power, 2017, Elektroauto – Ladedauer & Anschlusstypen. http://www.austrian-mobile-power.at/amp/AMP_Factsheets/Austrian_Mobile_Power_Factsheet_12_Uebersicht_Netzanschluss_und_Ladedauer_bei_Elektroautos.pdf; 02.10.2017

Autogazette 2018, <https://www.autogazette.de/lkw/elektro/mobilitaet/gruenes-licht-fuer-pilotprojekt-mit-oberleitungs-lkw-989386653.html> am 28.5.2018

Bart van Overbeeke photography, 2015, Stella Lux – The vehicle of the future? <https://www.alphabet.com/en-ww/article/stella-lux-emobility>; 16.01.2017

Beer, K., 2017, Elektromobilität: Praxistest von Oberleitungs-Lkw auf zwei Strecken ab Ende 2018. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektromobilitaet-Praxistest-von-Oberleitungs-Lkw-auf-zwei-Strecken-ab-Ende-2018-3605961.html>; 26.12.2017

Bergman, S., van Dieren, J., Wenneker, M., k.J., Solaroad. Hg. v. Solaroad. Online verfügbar unter <http://www.solaroad.nl/>, 03.11.2016.

Biermayer et al. 2017, Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2016, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 6/2017

BMVIT, 2012, Gesamtverkehrsplan für Österreich. Verkehrsleistung in Österreich: Zahlen und Fakten. https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/gvp/faktenblaetter/umwelt/fb_strasse_schiene_netz.pdf; 12.02.2017

BMFW 2016, Energiestatus 2016, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft – Abteilung III/2 – Energiebilanz und Energieeffizienz, 2016

BMFW 2017, Energie in Österreich 2017

BMFW 2015, Energiestatus 2015

Brien, J., 2016, Elektroauto mit Solarzellen für unter 16.000 Euro: Das steckt hinter Sion. t3n, <http://t3n.de/news/elektroauto-solarzellen-sion-730825/>; 29.01.2017

Cole, J., 2016, Toyota Prius Prime Options/Specs: Solar Panels, Fast Charging (regionally), Heat Pump And More. <http://insideevs.com/2017-toyota-prius-prime-option-review-solar-panels-and-fast-charging/>; 16.01.2017

crystalsol, k.J., crystalsol. <http://www.crystalsol.com/>; 16.01.2017

Dearborn, M., 2014, Let the Sun In: Ford C-MAX Solar Energi Concept Goes Off the Grid, Gives Glimpse of Clean Vehicle Future. Ford, <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/01/02/let-the-sun-in--ford-c-max-solar-energi-concept-goes-off-the-gri.pdf>; 01.11.2016

Deutsches Bundesministerium, 2018, <http://www.er-neuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Photovoltaik-Freiflaeche/photovoltaik-freiflaeche.html> am 1.2.2018

Dezernat für Presse und Kommunikation des RWTH Aachen, 2016, Straßen liefern Energie. Institut für Straßenwesen, Pressemitteilungen Mai 2016, <http://www.rwth-aachen.de/cms/root/Die-RWTH/Aktuell/Pressemitteilungen/Mai/~lfjo/Strassen-liefern-Energie/>; 03.11.2016

E-FORCE ONE AG, 2015, E-FORCE Factsheet. E-FORCE ONE AG, http://eforce.ch/wp/wp-content/uploads/2016/06/E_FORCE_Fact_Sheet_D_2015n.pdf; 31.10.2016

Elektromobilität in Zahlen & Daten 2017, BMVIT 2017

Elley, 2017, Samantha Elley, THE world first solar train will be officially launched at Byron Bay this Saturday, December 16, the Northern Star, 12.12.2017

en.people.cn 2017, <http://en.people.cn/n3/2017/1201/c90000-9299209.html>, 20. Juni 2018

Energiewende für Unternehmer, 2016, <http://www.energiewendefuerunternehmer.de/energieeffizienz-praxis/69-demand-side-management>, abgerufen am 14.1.2018

Enkhardt, S., 2015, DEGES startet Ausschreibung für solare Lärmschutzwände. pv magazine group GmbH & Co. KG., http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/degas-startet-ausschreibung-fr-solare-lrmschutzwnde_100018787/; 06.01.2017

ertex solartechnik GmbH, 2014, Photovoltaik-Lärmschutzwand in München. <http://www.ertex-solar.at/aktuelles/newsarchiv/252-photovoltaik-laermschutzwand-in-muenchen/>; 17.12.2016

ertex solartechnik GmbH, k.J., VSG-SoundPV. Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Amstetten

Evarts, E., 2014, Solar-powered Ford C-Max Energi chases the sun by itself. Would you buy a car that moves all by itself? <http://www.consumerreports.org/cro/news/2014/03/solar-powered-ford-c-max-energi-chases-the-sun-by-itself/index.htm>; 19.02.2017.

Everto Photovoltaik, k.J.: Solar Carport. <http://www.everto.at/produkte/solar-carport/>; 19.02.2017.

Fechner, H., Mayr, C., Schneider, A., Rennhofer, M., Peharz, G., 2016, Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien

Feistritzwerke-STEWEAG GmbH, 2001, Multifunktionale Lärmschutzwand A2 – größtes steirisches Strom-Sonnenkraftwerk in Betrieb. http://www.feistritzwerke.at/unternehmen/index_246_DEU_HTML.htm; 02.01.2017

Fink, G., 2014, Ford Is Making A Concept Car With Solar Panels For A Roof. http://www.huffingtonpost.com/2014/01/03/solar-power-ford_n_4533029.html; 16.01.2017

Fraunhofer ISE, 2017, Harry Wirth, Recent Facts about Photovoltaics in Germany, October 2017

Fraunhofer-Institut, 2016, Fraunhofer CSP entwickelt mit Continental flexible Photovoltaik-Module für Lkws – Fraunhofer IMWS. Fraunhofer-Institut, <http://www.imws.fraunhofer.de/de/kontakt/presse/pressemitteilungen/fraunhofer-csp-entwickelt-mit-continental-flexible-photovoltaik-.html>; 29.11.2016

Futurezone, 2015, Holländischer Solar-Radweg erzeugt mehr Strom als gedacht. <https://futurezone.at/science/hollaendischer-solar-radweg-erzeugt-mehr-strom-als-gedacht/130.068.959/>; 15.02.2017

Goetzberger, A., Nordmann, T., Kleiss, G., Castello, S., Hille, G., Reise, C. et al., 1999, Evaluation of the Potenzial of PV noise barrier technology for electricity production and market share Final report. Department of Science, Technology and Society NWS, Utrecht University. Utrecht, Netherlands (NWS--99091)

Goetzberger, 1982, A. Goetzberger, A. Zastrow: Co-existence of Solar Energy and Plants. Int. J. Solar Energy 1 (1982), pp. 55-69

Gündra, H., Barron, C., Henrichs, T., Jaeger, S., Marx, S., Peters, R. et al., 2015, Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potentielle Photovoltaik-Anwendungen. Bremen, Hannover: Fachverlag NW in der Carl Schünemann Verlag GmbH, Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, 252)

GWEC 2017, Windpower market forecast 2017-2021, Global Wind Energy Council, Sonomotors.com; Sion – unendliche Mobilität, Homepage der Sono Motors GmbH, 15.12.2017

Hall, L. E., 2016, New Toyota Prius Plug-in Hybrid Gets Solar Panel Roof; But Not in U.S — Yet. hybridcars, <http://www.hybridcars.com/new-toyota-prius-plug-in-hybrid-gets-solar-panel-roof-but-not-in-u-s-yet/>; 01.11.2016

Harder, S., 2013, Solar Road Panels Offer Asphalt Alternative. Electric Avenue. SPIEGEL ONLINE GmbH, <http://www.spiegel.de/international/world/solar-road-panels-offer-asphalt-alternative-a-901792.html>; 15.02.2017

Harder, S., 2015, Solarmobil Stella Lux: Schnell, bequem, 100 Prozent öko. Spiegel Online, <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/solarauto-stella-lux-erzeugt-mehr-strom-als-es-verbraucht-a-1044467.html>; 01.11.2016

Haund, N., 2016, Eco-Ship Drive Green Highway launched by K Line. International Institute of Marine Surveying, <https://www.iims.org.uk/eco-ship-drive-green-highway-launched-by-k-line/>; 31.10.2016

Heilmann, H., 2016, Münchener Startup entwickelt das Solarauto Sion. TechnikNeuheiten.com, <http://www.technikneuheiten.com/muenchener-startup-entwickelt-das-solarauto-sion/>; 03.11.2016

Hornbachner, D., 2007, Lärmschutzwand Wien. solarfassade.info – Portal für gebäudeintegrierte Photovoltaik, Wien, Österreich, http://www.solarfassade.info/de/projektbeispiele/at/laermschutzwand_wien.php; 02.01.2017

H2future 2018, Projekthomepage des EU-Projekts <https://www.h2future-project.eu/> am 10.6. 2018

IEA 2016, IEA-International Energy Agency 2016: Energy Technology Perspectives: Towards Sustainable Urban Energy Systems

IEA-PVPS Programm (Hg.), 2017. Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS). Annual Report 2016. Unter Mitarbeit von Stefan Nowak, Freiburg. Impri-merie St-Paul.

IEA-PVPS Snapshot Report, 2018, IEA PVPS Task 1 Publikation, 2018

IEA-PVPS Trends report 2017, IEA PVPS Task 1 Pu-blikation, 2017

IEA-PVPS Task 17, 2018 Photovoltaik and Transport, 2018 gestartetes Projekt im Rahmen von IEA-PVPS, www.iea-pvps.org

Imhof, T., 2016, So tanken Elektroautos Strom ohne Kabel. WeltN24 GmbH 2016, <https://www.welt.de/mo-tor/article156366653/So-tanken-Elektroautos-Strom-ohne-Kabel.html>; 29.11.2016

Jeß, Christian, 2014: Mit der Sonne nach Las Ve-gas. <http://www.autobild.de/artikel/ford-c-max-solar-energi-concept-4507851.html>; 19.02.2017.

Jung, S., Haude, R., 2016, Maritime Klimakiller – Auch der Schiffsverkehr muss „erneuerbar“ werden. Solarenergie Förderverein Deutschland, http://www.sfv.de/artikel/maritime_klimakiller.htm; 31.01.2017

Kieninger, E., k.J., Solarmobil Austria. <http://www.solarmobil.at/startosolar.html>; 30.10.2016

Klima- und Energiefonds, 2010, e-connected II. Ab-schlussbericht, Wien. Online verfügbar unter <http://www.e-connected.at/userfiles/Abschlussbericht%20e-connected%20II.pdf>, 04.10.2017.

Klima- und Energiefonds, 2014, 3,2 Mio. Euro Förderung für flexible Photovoltaik von bmvit und Klima- und Energiefonds. Klima- und Ener-giefonds, <https://www.klimafonds.gv.at/presse/presseinformationen/2014/3-2-mio-euro-foerderung-fuer-flexible-photovoltaik-von-bmvit-und-klima-und-energiefonds/>; 12.01.2017

Lang, J., 1999, Photovoltaik im Verkehr. Fachinfor-mationszentrum Karlsruhe, BINE Informationsdienst (1/99)

Lenardic, D., 2015, Photovoltaic Noise Barriers. pv-resources®, <http://www.pvresources.com/en/pvpow-erplants/noisebarriers.php>; 03.01.2017

Lombard, D., 2016, Wattway by Colas. Colas SA. www.wattwaybycolas.com; 16.12.2016

LuFang 2018, Länderpräsentation China anlässlich des IEA PVPS Task 1 Treffens in Malaysia

MA 29 – Wiener Brückenbau und Grundbau, k.J., Bau der Lärmschutzwand Theodor-Körner-Hof. wien.at: Magistrat der Stadt Wien, <https://www.wien.gv.at/verkehr/brueckenbau/baustellen/lswtheo.html>, 02.01.2017

Max, J., 2012, Solar powered buses make their way to China. hydrogen Fuel News, <http://www.hydrogenfu-elnews.com/solar-powered-buses-make-their-way-to-china/855022/>; 29.11.2016

Missouri Department of Transportation (MoDOT), 2016, RoadToTomorrow. <http://www.modot.org/road-2tomorrow/>; 13.12.2016

Neidlein, H.-C., 2009, Mehr Gehör für PV im Lärm-schutz. Solarer Schallschutz. In: photovoltaik, 2009 (03), S. 26–32

Nordmann, T., Vontobel, T., Lingel, R., 2012, Poten-zial von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen. Forschungsauftrag ASTRA 2010/009 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), TNC Consulting AG, Feldmeilen, Schweiz (1405)

ÖBB, 2016 – Geschäftsbericht „Immer in Bewegung“, ÖBB Holding AG 2016,

Österreichs Energie, k.J., Mehr Energieeffizienz durch E-Mobilität. Österreichs Energie, <http://oes-terreichsenergie.at/daten-fakten/die-welt-der-e-wirt-schaft/mehr-energieeffizienz-durch-e-mobilitaet.html>; 31.01.2017

Peschel, T., 2016, Flexible Solarzellen für Kühl-LKW. Next Energy, <http://www.sonnewindwaerme.de/photovoltaik/flexible-solarzellen-fuer-kuehl-lkw>; 31.01.2017

Peters, A., 2014, The World's First Solar Bike Path Keeps Bikers Safe, Powers Surrounding Neighbor-hoods. Fast Company & Inc., <https://www.fastcoexist.com/3038404/the-worlds-first-solar-bike-path-keeps-bikers-safe-powers-surrounding-neighborhoods>; 03.11.2016

PlanetSolar, 2016, The MS Türanor PlanetSolar. La Souris Verte, <http://www.planetsolar.ch/>; 29.01.2017

Post.at, 2013, Umwelt – Geschäftsbericht 2013, www.Post.at.

Qualcomm Technologies, 2016, Qualcomm Halo™. One powerful parking spot. Qualcomm Technologies, Inc. and/or its affiliated companies, <https://www.qual-comm.de/products/halo>; 29.11.2016

R. Kohlhauser GmbH, 2014, Photovoltaik-Lärmschutz-wand in München. <https://www.kohlhauser.com/blog/photovoltaik-laermschutzwand-in-muenchen-0>; 17.12.2016

REN21, 2016, Renewables 2016. Global Status Report, Paris, REN21 Secretariat

Rimpfl, M., 2015, Photovoltaik und Elektromobilität. Zwei starke Partner. Schletter, https://news.schletter.eu/wp-content/uploads/2015/01/Fachforum-Elektromobilit%C3%A4t_eltec_2015_final.pdf; 29.01.2017

Salak B. et al., 2017, Analyse des Photovoltaikpotenzials auf Großparkplätzen, Universität für Bodenkultur Wien, 2017

Solar-Fabrik AG, k.J., Referenzanlagen. Großanlagen, http://typo3.p266280.mittwald.info/index.php?id=453&tx_csgallery_pi1%5Bpic%5D=9&cHash=17a38e65687153893a7453924df79378; 17.02.2017

Solar Impulse, 2016, SOLARIMPULSE - Exploration to change the world. La Souris Verte, <http://www.solarimpulse.com/>; 29.01.2017

Solar Roadways®, 2016, Solar Roadways. Solar Roadways®, <http://www.solarroadways.com/>; 03.11.2016

Solar Team Eindhoven, k.J., STELLA LUX The energy positive family car. Solar Team Eindhoven, <https://solarteameindhoven.nl/stella-lux/>; 01.02.2017

SOLARWATT, k.J., Ladestation Elektroauto. SOLARWATT, <https://www.solarwatt.de/komponenten/ladestation-elektroauto>; 31.01.2017

Solmove GmbH, 2017a, Innovation aus Babelsberg. Der Strom liegt auf der Straße. <http://www.solmove.com/de/postdamer-neuste-nachrichten-berichten-ueber-solmove/>; 21.12.2017

Solmove GmbH, 2017b, Technologie. <http://www.solmove.com/de/technologie/>; 21.12.2017

Sono Motors, 2017, Sion. Ein Solarauto für alle. <https://sonomotors.com/de/>; 02.10.2017

Sorrel, C., 2015, This South Korean Bike Highway Has A 20-Mile Solar Roof. Fast Company & Inc., <https://www.fastcoexist.com/3048661/this-south-korean-bike-highway-has-a-20-mile-solar-roof>; 03.11.2016

Stanzer 2010, Regio Energie Projekt des Klima- und Energiefonds, Endbericht 2010, Gregori Stanzer, OIR

Statista 2017, Anzahl der Neuzulassungen von Elektroautos in Österreich von 2008 bis 2016. Statista, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/285808/umfrage/neuzulassungen-von-elektroautos-in-oesterreich/>; 31.01.2017

SunPower Corporation, 2016, 4.8-Megawatt SunPower® Helix™ Carport System Under Construction at Cal State Long Beach. <http://newsroom.sunpower.com/2016-08-31-4-8-Megawatt-SunPower-Helix-Carport-System-Under-Construction-at-Cal-State-Long-Beach>; 19.02.2017.

Süß, J., 2017a, Persönliche Mitteilung. Graz, 8. August 2017

Süß, J. 2017b, Automotive Solar Charger. PVCU – PhotoVoltaic Control Unit. Präsentation beim Workshop „Photovoltaic meets Automotive“, Graz, 8. August 2017

TNC Consulting AG, k.J., Bifacial Anlagen. <http://www.tnc.ch/bifacial-anlagen-%E2%80%93-zweiseitige-photovoltaik>; 03.01.2017

Umweltbundesamt 2015, Österr. Klimaschutzbericht 2015, Umweltbundesamt, 2015

VCÖ – Mobilität mit Zukunft, 2015, Verkehrsflächen nehmen in Österreich stark zu. Täglich wird Fläche im Ausmaß von 4 Fußballfeldern verbaut. Wien, <https://www.vcoe.at/news/details/vcoe-verkehrsflaechen-nehmen-in-oesterreich-stark-zu-taeglich-wird-flaeche-im-ausmass-von-4-fussballfeldern-verbaut>; 12.02.2017

Ver-Bruggen, S., 2012, Road test. in: pv magazine, 2012. 70-75

Vetter, P., 2016, E-Highway. So funktioniert die erste Elektro-Autobahn. <https://www.welt.de/wirtschaft/article156498135/So-funktioniert-die-erste-Elektro-Autobahn.html>; 26.12.2017

Walzl, A., 2001, Nicht nur eine einfache Lärmschutzwand! PV-Anlage an der A2. In: erneuerbare energie – Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft 2001 (02: Photovoltaik), http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=647&Itemid=113; 02.01.2017

Wattway by Colas, 2016a, The French Minister of the Environment, Energy and the Sea, Ms. Ségolène Royal, visits a 1-kilometer Wattway solar road pilot project. Press Release, Tourouvre, Brunella, Rachel, rachel.brunella@manifeste.fr, <http://www.wattway-bycolas.com/en/#rdv-content>; 16.12.2016

Wattway by Colas, 2016b, Wattway. Paving the way to tomorrow's energy. Press Kit, Brunella, Rachel, rachel.brunella@manifeste.fr, <http://www.wattway-bycolas.com/en/#rdv-content>; 16.12.2016

Wattway by Colas, 2016c, Wattway: first trial section in western France. Press Release, La Roche-sur-Yon, Brunella, Rachel, rachel.brunella@manifeste.fr, <http://www.wattwaybycolas.com/en/#rdv-content>; 17.12.2016

Zusammen 2017. Für unser Österreich. Regierungsprogramm 2017–2022, https://www.bundeskanzleramt.gv.at/documents/131008/569203/Regierungsprogramm_2017%E2%80%932022.pdf/b2fe3f65-5a04-47b6-913d-2fe512ff4ce6 am 15.2.2018

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr,
Innovation und Technologie