

BEGLEITFORSCHUNG IM FORSCHUNGSNETZWERK ERNEUERBARE ENERGIEN – PHOTOVOLTAIK

Themensteckbrief der Arbeitsgruppe Agri-Photovoltaik

Autorinnen und Autoren:

Max Trommsdorff, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Matthew Berwind, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Josephine Schwenke, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Claudia Kammann, Hochschule Geisenheim University
Manfred Stoll, Hochschule Geisenheim University
Theresa Kärtner, Deutscher Bauernverband
Veronika Hannus, Hans Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften der Technischen Universität München
Klaus Müller, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
Uli Schurr, Forschungszentrum Jülich
Matthias Meier, Forschungszentrum Jülich
Lisa Pataczek, Universität Hohenheim
Andreas Schweiger, Universität Hohenheim
Kerstin Wydra, Fachhochschule Erfurt
Gawan Heintze, Technologie- und Förderzentrum Straubing
Daniel Eisel, Technologie- und Förderzentrum Straubing
Ulrike Feistel, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Karl Wild, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Jonas Böhm, Thünen-Institut für Betriebswirtschaft
Christoph Gerhards, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW
Jens Schneider, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Jens Vollprecht, Becker Büttner Held
Benjamin Volz, Next2Sun GmbH
Bernhard Bauer, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Dezember 2021

offen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

INHALT

1. Vorwort
2. Zusammenfassung
3. Motivation und Stand der Entwicklung
4. Aktueller Erforschungs- und Entwicklungstand
 - 4.1. Technologie
 - 4.2. Ökonomie
 - 4.3. Regulatorischer Rahmen
 - 4.4. Gesellschaft und Umwelt
5. Empfehlungen politischer Maßnahmen

1. VORWORT

Im November 2020 wurde seitens des BMWi ein Konsultationsprozess im Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien – Photovoltaik initiiert. Im Verlauf des Prozesses wurden neben „technischen“ Aufgabenstellungen auch Querschnittsthemen sowie interdisziplinäre Forschungsfragen mit Beteiligung von Expert:innen außerhalb der klassischen Photovoltaikforschung identifiziert. Um diesen überwiegend nichttechnischen Aspekten der zukünftigen PV-Entwicklung Rechnung zu tragen, wurden im Frühjahr 2021 drei Arbeitsgruppen ins Leben gerufen. Während die ersten beiden Arbeitsgruppen den Themenpool „Absicherung der Stromversorgung aus PV und Geschäftsmodelle“ sowie „sozioökonomische Betrachtungen und Analysen, Partizipation und Akzeptanz“ behandeln, widmet sich die dritte Arbeitsgruppe dem neuen Anwendungsfeld der Agri-Photovoltaik (Agri-PV).

In diesem Themensteckbrief wird die Arbeit zum Thema Agri-PV zusammengefasst. Eine erfolgreiche Integration der PV in landwirtschaftliche Nutzflächen ist auf einen funktionierenden Dialog zwischen dem PV- und dem Landwirtschaftssektor angewiesen. Deshalb stand bei der Zusammensetzung der Arbeitsgruppe Agri-PV die Einbindung von Vertreter:innen aus dem Landwirtschaftssektor im Vordergrund. Der Themensteckbrief soll in erster Linie die Anforderungen und Bedürfnisse aus Sicht der Landwirtschaft aufzeigen und einen Überblick über die Technologie bieten. Die Vielfalt verschiedener Agri-PV-Anwendungen stellt dabei technisch sicherlich eine Chance, wegen der dynamischen Ausbaupfade von erneuerbaren Energien jedoch auch eine besondere Herausforderung dar. Die sich daraus ergebenden rechtlichen, gesellschaftlichen und umweltrelevanten Implikationen werden in dem Themensteckbrief genauso adressiert wie Fragen eines wirtschaftlichen Betriebes von Agri-PV-Anlagen.

2. ZUSAMMENFASSUNG

Damit die sozial-ökologische Transformation hin zu einer klimaneutralen Welt gelingt, bedarf es eines drastischen Ausbaus erneuerbarer Energien. Agri-PV ermöglicht durch eine doppelte Nutzung von Flächen für die Landwirtschaft und die Solarstromerzeugung den Ausbau von PV bei weitestgehendem Erhalt landwirtschaftlicher Böden. Darüber hinaus kann Agri-PV zur Steigerung der Resilienz der Landwirtschaft gegenüber Extremwetterereignissen wie z. B. längere Trockenphasen und Starkregen beitragen.

In diesem Themensteckbrief werden gesellschaftliche und umweltrelevante Implikationen sowie die Wirtschaftlichkeit der Agri-PV adressiert und deren Forschungsbedarfe genannt. Darüber hinaus werden politische Maßnahmen zur Förderung der Agri-PV sowie ein beispielhaftes Modellvorhaben skizziert. In Kapitel 3 wird die Motivation und der Stand der Entwicklungen zum Ausbau der Agri-PV kurz zusammengefasst.

Kapitel 4.1 bietet einen technischen Überblick über verschiedene Agri-PV-Ansätze und identifiziert Forschungsbedarfe hinsichtlich der Energie- und Landwirtschaftstechnik. Bei hoch aufgeständerten Agri-PV-Systemen wird durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe und alternativer Baustoffe ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Energie- und Emissionsbilanz erwartet. Bei hoch aufgestän-

dernten Systeme bestehen derzeit noch offene Fragen hinsichtlich der optimalen Aufhängungs-/Unterkonstruktion und der einzusetzenden Module und Konzepte – auch in Abhängigkeit der jeweiligen Anlagengröße.

Hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzung bedarf es weiterer Untersuchungen, welche Pflanzen sich in unterschiedlichen Agri-PV-Systemen am besten eignen und wie Kulturbedingungen zur Optimierung von Erträgen und Qualitäten gestaltet werden müssen. Ein Überblick über Schattentoleranzen verschiedener Kulturen würde es Landwirtschaftsbetrieben und PV-Projektierern erleichtern, um unter Berücksichtigung des Standorts und der Anwendung einen angemessenen PV-Bedeckungsgrad zu wählen. Ebenso sind Auswirkungen der PV-Module auf die Temperatur und den Wasserhaushalt sowie deren Auswirkungen auf Nutzpflanzen, Bodenfruchtbarkeit und Ökosystemfunktionen bislang noch weitgehend unbekannt.

Anwendungen welche zur Humusbildung sowie Kohlenstoffspeicherung beitragen (z. B. der Anbau von Paludikulturen bei Wiedervernässung von Moorstandorten) scheinen aufgrund ihrer hohen Klimaschutzwirkung besonders vielversprechend. Weitreichende interessante Fragestellungen ergeben sich auch hinsichtlich der technischen und landwirtschaftlichen Optimierung von Agri-PV-Systemen, um Synergien z. B. hinsichtlich Schutzmaßnahmen im Pflanzenanbau, Smart Farming-Ansätzen und die Integration intelligenter Bewässerungssysteme zielgerichteter zu nutzen.

Um Risiken bezüglich zukünftiger Stromertragseinbußen in Agri-PV-Systemen verlässlich abzuschätzen, erscheinen Untersuchungen zu Rückwirkungen der pflanzenbaulichen Maßnahmen wie z. B. aufgewirbeltes Erdreich oder Pflanzenschutzmittelabdrift auf die PV-Komponenten notwendig.

Organische PV bietet die Möglichkeit spektralselektiver Ansätze für eine effizientere Nutzung des Sonnenlichts auf der elektrischen und biologischen Ebene. Gleichzeitig erlauben OPV-Folien eine flexiblere Integration in bestehende landwirtschaftliche Folienschutzsysteme. Zur Erhöhung der Transparenzgrade, der Effizienz und der Haltbarkeit von OPV-Folien besteht vor einer erfolgreichen Markteinführung noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Im Kapitel 4.2 werden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Forschungsbedarfe aufgezeigt. Die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV variiert generell je nach Anwendung, Projektgröße und Standort. Insgesamt hat die Agri-PV das Potenzial die ökonomische Resilienz der Landwirtschaft durch eine Einkommensdiversifizierung und dem Schutz der Kulturen vor Klimawandelfolgen zu erhöhen. Forschungslücken bestehen bei der simultanen technisch-biologischen Kostenoptimierung, sowie der Auswirkung von Agri-PV auf Pachtpreise und Landwirtschaftsstrukturen. Dabei sind unterschiedliche Eigentumsverhältnisse der Fläche und der Anlage sowie Wirtschaftlichkeitsmodelle wie zum Beispiel durch Stromabnahmeverträge außerhalb des EEGs mit zu beachten.

Rechtsfragen werden im Kapitel 4.3 adressiert. Regulatorische Hürden, welche einer doppelten Landnutzung entgegenstehen, stellen in Deutschland aktuell die größte Herausforderung dar, damit Agri-PV großflächig umgesetzt werden kann. Daraus ergeben sich u. a. energie- und verwaltungsrechtliche Forschungsbedarfe, damit administrative Hürden abgebaut und durch klare, einheitliche und gesetzesübergreifende Regelungen ersetzt werden können.

Kapitel 4.4 thematisiert Fragen der gesellschaftlichen Akzeptanz, auch unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte. Der Ausbau der Agri-PV verändert die gewohnte Kulturlandschaft. Ein nationaler Markthochlauf ist deshalb auf eine ausreichende Berücksichtigung der Bedürfnisse lokaler Akteure und einen funktionierenden Informationsaustausch mit der Bevölkerung vor Ort angewiesen. Um

Präferenzen und Vorbehalte in der Bevölkerung gegenüber Agri-PV, auch hinsichtlich Region und unterschiedlicher Systeme und Anwendungen, rechtzeitig zu identifizieren erscheint eine proaktive Begleitforschung notwendig. Dafür wäre der Aufbau eines Netzwerks von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie Bottom-up-Prozesse für sozialwissenschaftliche Begleitung des gesellschaftlichen Diskurses hilfreich. Mit den Living Labs als Modell- und Demonstrationsvorhaben wird eine Möglichkeit zur umfassenden und vergleichbaren Begleitforschung skizziert.

In Kapitel 5 zeigt abschließend ein Steckbrief politischer Empfehlungen auf, welche Bau- sowie förderrechtlichen Hürden abgebaut und Anreize durch zum Beispiel einem eigenen Fördersegment oder dem erlaubten Eigenverbrauch des erzeugten Stroms geschaffen werden können.

3. MOTIVATION UND STAND DER ENTWICKLUNGEN

Ausbaubedarf erneuerbarer Energien

Um die Klimaziele Deutschlands zu erreichen, ist ein zügiger und massiver Ausbau erneuerbarer Energien erforderlich. Im Falle der Photovoltaik (PV) wird von einem notwendigen Zubau auf das Sechs- bis Achtfache der heute installierten Leistung ausgegangen, auf dann 400 – 500 GW. Weil ein bedeutender Teil dieses Zubaus von 12 bis 20 GW pro Jahr in der Freifläche erwartet wird, zeichnet sich eine Konkurrenz mit anderen Formen der Landnutzung ab. Dies erfordert nicht nur neue Technologien, sondern auch einen gesellschaftlichen Diskurs (1) zur zukünftigen Bedeutung landwirtschaftlicher Nutzflächen als Standort für neue Technologien zur Energieproduktion, (2) wie im Falle von Zielkonflikten entschieden werden soll und (3) wie neue unternehmerische Perspektiven für landwirtschaftliche Unternehmen dabei entwickelt werden können.

Klimawandel und Landwirtschaft

Die Wetterextreme der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass die zunehmende Klimaerwärmung nicht nur eine abstrakte Gefahr darstellt, sondern bereits heute große Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Deutschland hat. Insbesondere die für Pflanzenwachstum und -ertrag unerlässliche Wasserverfügbarkeit ist durch rückgängige Niederschläge während der Vegetationsperiode sowie durch eine Umverteilung der Niederschlagshäufigkeit und -intensität in Frage gestellt. Zusätzlich gefährden Wetterextreme wie beispielsweise Starkregen und in der Folge Erosion, Hagel, aber auch Hitzeperioden und veränderte biotische Schadfaktoren die landwirtschaftliche Produktion. Diese verschärften Klimarisiken stellen landwirtschaftliche Betriebe zunehmend vor wirtschaftliche Herausforderungen.

Adaptation

Um den Herausforderungen des Klimawandels, des Gewässerschutzes und dem Wunsch nach Ertrags- und Qualitätssicherung zu begegnen, steigt der Bedarf an Bewässerung und Schutz vor Wind- und Wassererosion. Im Anbau von Sonder- und Dauerkulturen werden immer häufiger Schutzmaßnahmen eingeführt. Auch die Ackerland- und Forstwirtschaft sucht zunehmend nach alternativen Anbauformen, um den Klimarisiken zu begegnen. Der Einsatz von technischen und mechanischen Kulturschutzmaßnahmen, sowie die Robotisierung und Digitalisierung werden in den kommenden Jahren im Zuge der Klimawandelanpassung und Nachhaltigkeits-Transformation noch stark an Bedeutung gewinnen.

Lösungsansatz Agri-PV

Agri-PV bezeichnet Lösungsansätze zur gleichzeitigen Nutzung von Flächen für die Landwirtschaft und die Stromerzeugung mit Photovoltaik. Eine genauere Definition liefert die DIN SPEC 91434¹ (s. Kap. 4.3). Durch die doppelte Landnutzung bieten Agri-PV-Systeme die Chance, die Flächeneffizienz und die Resilienz der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen und neue Flächenkulissen für den Ausbau der Photovoltaik zu erschließen. Klimapositive, integrierte Lösungsansätze wie die Agri-PV können sowohl den wirtschaftlichen Erfolg des (Export-)Technologiestandorts Deutschland als auch die klimapolitische Notwendigkeit unterstützen, weltweit nachhaltige Systeme zu etablieren.

Doppelte Flächennutzen

Rein rechnerisch würden rund vier Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflächen Deutschlands ausreichen, um den gesamten, aktuellen Strombedarf (Endenergie) in Deutschland mit Agri-PV zu decken (für hochaufgeständerte Systeme, s. Kategorie I DIN SPEC). In einer ersten Abschätzung des Fraunhofer ISE zum technischen Potenzial für die Agri-PV beträgt dieses allein in Deutschland rund 1.700 GW. Würden zehn Prozent dieses technischen Potenzials genutzt werden, entspräche dies bereits mehr als einer Verdreifachung der aktuellen PV-Kapazität in Deutschland.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Neben technologischen Fragen besteht eine besondere Herausforderung beim Ausbau der Agri-PV darin, von Beginn an für landwirtschaftliche Betriebe, Energieunternehmen und Gesellschaft Mehrwerte zu schaffen, die über die Stromerzeugung hinausgehen. Der dezentrale Ansatz der Agri-PV bietet dabei Chancen, kommunale Akteure und regionale Bürgerenergiegenossenschaften sowie Bürger:innen einzubeziehen und die regionale Wertschöpfung zu steigern.

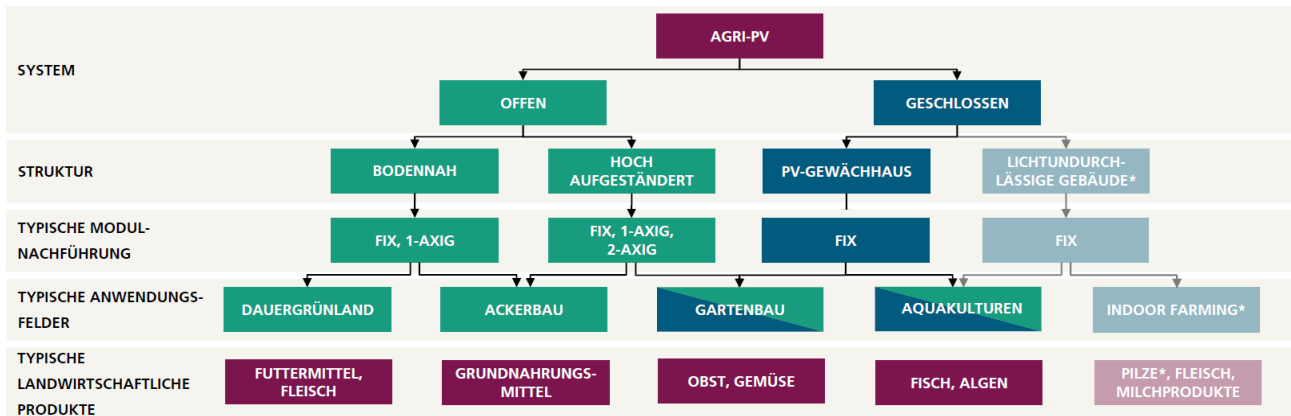
Internationaler Vergleich

Von der derzeit geschätzten weltweit installierten Agri-PV-Kapazität von über 14 GW hält China mit mindestens 12 GW den weitaus größten Anteil (Stand 2021). Auch andere asiatische Länder wie Japan und Südkorea haben Förderprogramme installiert. So plant die südkoreanische Regierung den Bau von 100.000 Agri-PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben, um den Landwirt:innen eine Altersvorsorge zu ermöglichen und das Hofsterben einzudämmen. Die Vorreiterrolle in Europa hält Frankreich inne, wo seit 2017 spezifische Ausschreibungen für Agri-PV-Systeme durchgeführt werden.

¹ DIN SPEC 91434:2021-05, Agri-Photovoltaik-Anlagen_-Anforderungen an die land-wirtschaftliche Hauptnutzung. Berlin. Beuth Verlag GmbH. <https://www.beuth.de/en/technical-rule/din-spec-91434/337886742>

4. AKTUELLER FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSBEDARF

4.1 TECHNOLOGIE



* Keine Agri-PV-Anwendungen im engeren Sinne

Abbildung 1: Klassifizierung von Agri-PV-Systemen. Quelle: Fraunhofer ISE

Im Vergleich zu PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA) ist bei Agri-PV-Anlagen eine größere Diversität von Systemen zu beobachten, wobei in offene und geschlossene Systeme unterschieden werden kann (Abb.1). Geschlossene Systeme umfassen im wesentlichen PV-Gewächshäuser. Offene Systeme lassen sich in bodennahe und hoch aufgeständerte Anlagen untergliedern. Bei hoch aufgeständerten Anlagen befinden sich die PV-Module in einer Höhe von mindestens 2,1 m über dem Boden (s. DIN SPEC Kap. 4.3). Die landwirtschaftliche Nutzung findet in diesem Fall unter den PV-Modulen statt, während in bodennahen Anlagen typischerweise nur die Flächen zwischen den PV-Modulen bewirtschaftet werden.

Die Vorteile bodennaher Anlagen liegen vor allem in deren niedrigeren Kosten und einer geringen Beeinträchtigung des Landschaftsbilds. Hoch aufgeständerte Anlagen nutzen die Landfläche hingegen effizienter und können umfassendere Schutzfunktionen für die agrarische Nutzung erfüllen.

Unterschiede ergeben sich durch die Orientierung der PV-Module auch in Bezug auf die Spitzenzeiten des PV-Potenzials. Während vertikal angeordnete Module in bodennahen Systemen das Maximum der Stromproduktion typischerweise in den Morgen- und Abendstunden erreichen, haben horizontale Anlagen mit Südausrichtung das Maximum der Produktion in den Mittagstunden. Nachgeführte Anlagen ermöglichen eine optimale Anpassung der Modulausrichtung an den Sonnenstand.

Modul- und Zelltechnologien

Obwohl (teil-)transparente PV-Module und spektralselektive PV-Zellen vielversprechende Ansätze zur Steigerung der Effizienz von Agri-PV-Systemen darstellen, werden bislang in den meisten Fällen Standard-Module mit Silizium-Zellen verwendet. Ähnlich wie bei bodennahen vertikalen Anlagen bietet sich bei hoch aufgeständerten Anlagen der Einsatz bifazialer PV-Module an, da durch den größeren Abstand zum Boden und der tendenziell geringeren Modulbelegung im Vergleich zu PV-FFA mehr Sonnenlicht an die Rückseiten der PV-Module reflektiert wird.

Vielversprechende Forschungsfelder sind organische PV-Module, zylindrische Röhrenmodule, die chemische Stabilität von Perovskit und deren Tandemzellen als Voraussetzung für den Einsatz im Lebensmittelbereich sowie Modultechnologien zur Integration von Wassermanagement (u. a. Vermeidung einer Abtropfkante und Möglichkeit der Regenwassersammlung).

Modulnachführung

Obwohl die Modulnachführung (Tracking) bei PV-FFA primär der Optimierung des Stromertrags dient, erlauben Tracking-Systeme bei Agri-PV zusätzliche Funktionen des Lichtmanagements und des Schutzes der Pflanzen vor Extremwetterereignissen. So kann mit Tracking ein zeitweise erhöhter Lichtbedarf der Kulturen beispielsweise gezielt zur Steuerung der Farbbildung der Früchte im Apfelbau genutzt werden.

Forschungsbedarf besteht allerdings noch bei der Steuerung und Optimierung von Trackingsystemen. Beispielsweise können Wettermodelle herangezogen werden, um bei der Optimierung der Lichtverfügbarkeit zukünftige Wetterereignisse zu berücksichtigen.

Unterkonstruktionen & Fundamentierung

Grundsätzlich stellt die Aufständigung der Modulreihen ein Hindernis für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung dar. Bei der Konzeptionierung der Agri-PV-Anlage muss deshalb die Mechanisierung der landwirtschaftlichen Nutzung berücksichtigt und die Dimensionen der Aufständigung an die Arbeitshöhen und -Breiten angepasst werden. Moderne Navigationssysteme mit GPS-Steuerung erleichtern den Maschineneinsatz zwischen den Modulreihen oder Ständern.

Vielversprechende Forschungsansätze bei hoch aufgeständerten Agri-PV-Systemen zielen auf einen möglichst effizienten Materialverbrauch oder den Einsatz alternativer, CO₂-neutraler oder CO₂-positiver Materialien für die Unterkonstruktionen und Fundamentierung ab. Mögliche Beispiele sind Seilaufhängungen oder Holzkonstruktionen. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu autonomen Fahrzeugen/Systemen und Digitalisierung ermöglichen eine effizientere Bewirtschaftung der Flächen. Elektrisch betriebene Systeme können die erzeugte Energie direkt verwenden und durch intelligentes Lademanagement in das Lastspitzen-Management der Stromeinspeisung ins Netz einbezogen werden.

Anbaukulturen, Fruchtfolgen, Anbautechnik

Grundsätzlich sind nahezu alle landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen für den Anbau in Agri-PV-Anlagen geeignet. Je nach Lichtbedürftigkeit kann es bei manchen Kulturen durch teilweise Beschattung zu Ertragsrückgängen kommen. Bei anderen Kulturen hingegen kann auch mit Ertragssteigerungen, vor allem in trockenen und heißen Jahren, gerechnet werden. Zu letzteren zählen insbesondere Blattgemüse, Nachtschattengewächse (Kartoffeln), Leguminosen, sowie Ackerfutter wie Gräser, Klee, Luzerne. In Agri-PV-Systemen sind die Auswirkungen auf alle Kulturen und die Eignung der jeweils zu verwendenden Arbeits- und Erntegeräte einzubeziehen. Ein Wechsel hin zu schattentoleranteren Arten oder solchen, für die durch die Schutzfunktion ein höherer Ertrag unter APV zu erwarten ist, sollte in die Optimierung der Fruchtfolge einbezogen werden. Landwirte sollten ihre etablierte Anbautechnik zunächst weiterführen können und möglichst viele vorhandene Arbeitsgeräte verwenden können. Allerdings erlaubt die Agri-PV auch den Wechsel zu profitableren Sonderkulturen, die ohne den Schutz durch Agri-PV-Anlagen nicht in Betracht gezogen würden. Somit kann Agri-PV nicht nur durch die Stromerzeugung zu einer Diversifizierung der Landwirtschaft beitragen.

Agri-PV bietet Chancen die Kulturbedingungen von Nutzpflanzen im Klimawandel zu verbessern. Die verringerte Evapotranspiration unter, aber auch zwischen den Modulreihen, kann Bodenaustrocknung verringern und damit den Bewässerungsbedarf vermindern. Wenn das Ablaufwasser von den PV-Modulen gesammelt wird, kann gezielt bewässert werden und die Wasserretention v.a. an Hängen verbessert werden. Agri-PV könnte so der Anbau trockenempfindlicher Kulturen auch bei fortschreitender, sommerlicher Trockenheit ermöglichen.

Durch niedrigere Temperaturen unter den Modulen können auch bei extremer Hitze temperatursensitive Prozesse wie die Photosynthese oder die Frucht-/ Kornfüllung länger aufrechterhalten werden und damit hitzebedingter Ertragsverlust vermindert werden. Insbesondere bei Sonderkulturen, beispielsweise im Obst- und Weinanbau, können die Kulturen vor Extremereignissen wie Hagel und Starkregen, vor Spätfrösten, verminderter Fruchtbarkeit von Pollen unter hohen Temperaturen oder vor Sonnenbrand geschützt werden. Die Aufständigung ermöglicht die Installation spezieller Kulturschutzvorrichtungen, z. B. von Kulturschutznetze gegen den Befall der Kirschessigfliege. Dies ist ein Beispiel wie Agri-PV auch gegen Pflanzenschädlinge wirksam eingesetzt werden kann und so ggf. der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel reduziert werden könnte.

Forschungsbedarf besteht insbesondere zur Frage, welche Pflanzen sich in unterschiedlichen Agri-PV-Systemen am besten eignen, wie Kulturbedingungen zur Optimierung von Erträgen und Ertragsqualitäten gestaltet werden müssen und wie ggf. die Mechanisierung der Kultivierung und der Ernte erfolgen kann. Der Effekt der PV-Module auf die Temperatur und den Wasserhaushalt sowie deren Folgen für Nutzpflanzen, Bodenfruchtbarkeit und Ökosystemfunktionen bedarf noch intensiver Forschung. Vielfältige Fragen sind im Kontext des Pflanzenbaus in Agri-PV-Systemen noch offen. Hier gilt es, Fragen der Kulturführung (inkl. Bewässerung) nachzugehen, sowie Chancen und Risiken der Maßnahmen zur Pflanzengesundheit verschiedenster Acker- und Sonderkulturen zu identifizieren.

Forschungsbedarf besteht auch in Bezug auf die Möglichkeit, den ökologischen Fußabdruck von Agri-PV-Systemen zu erhöhen. Hierzu gehören die Entwicklung von Konzepten, um Erosion zu minimieren, den Bodenaufbau zu verbessern, Kohlenstoffspeicherung in Böden mittel- und langfristig stabil zu ermöglichen oder auch Spezialkultursysteme in nassen oder wiedervernässten Moorböden zu erschließen.

Darüber hinaus besteht noch Forschungsbedarf zur Optimierung und Ausschöpfung des synergistischen Potenzials, z. B. eine Nutzung des produzierten Stroms der Agri-PV-Anlage zum Betrieb von Smart Farming-Ansätzen. Dadurch könnte die Agri-PV als Enabler für geplante Digitalisierungsprozesse in der Landwirtschaft fungieren.

Neben den unmittelbaren Wirkungen der PV-Systeme auf die Pflanzenentwicklung sind auch Rückwirkungen der pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die PV-Module zu berücksichtigen, die z. B. durch Aufwirbelung von Staub oder der Abdrift von Pflanzenschutzmitteln führen einen Effekt auf die Verschmutzung der PV-Module und damit auf die Stromerzeugung haben können.

Systemoptimierung

Die Optimierung des integrierten Systems Agri-PV-Kulturpflanze kann mit sehr unterschiedlichen Schwerpunkten erfolgen. So unterscheidet sich das energiewirtschaftliche Optimum vom pflanzenbaulichen Optimum. Bei einer konkreten Umsetzung ist es daher zielführend, einen minimalen landwirtschaftlichen Ertragsrückgang festzulegen, an dem sich die Systemoptimierung orientieren kann, sowie mit ertragssteigernden und -sichernden Schutz-Optimierungsalgorithmen z. B. für sonnenreiche, heiße Jahre zu operieren. Hier besteht insgesamt Forschungsbedarf zur Optimierung der Anlagen- und Modultechnik in Bezug auf die landwirtschaftliche Kultur, Boden- und Wassermanagement und die Biodiversität im Agrarökosystem. Mit Simulationssoftware und Messtechnik können Lichtverhältnisse (Photonenflussdichte) bei unterschiedlichen Anlagen- und Aufständigungstechniken bestimmt und Anlage und Kultur optimal aufeinander abgestimmt werden.

4.2 ÜBERBLICK ÜBER DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT

Die Integration einer Agri-PV-Anlage in einen landwirtschaftlichen Betrieb kann maßgeblich zu einer höheren flächenbezogenen Rentabilität führen. Die Wirtschaftlichkeit der Agri-PV-Anlagen variiert dabei je nach Konzept, Projektgröße und Standort. Dabei rückt der ökonomische Wert des Nutzpflanzenanbaus je nach Marktwert der Ernteprodukte, mehr oder weniger in den Hintergrund. Um eine gleichzeitige landwirtschaftliche Bewirtschaftung zu erhalten, ist es daher notwendig, eine landwirtschaftliche Mindestnutzung zu gewährleisten und Anreiz- bzw. Genehmigungssysteme entsprechend zu gestalten. Eine zusätzliche Einkommenssicherung trägt zur ökonomischen Resilienz landwirtschaftlicher Betriebe bei und kann helfen, negative Folgen des Klimawandels auf die landwirtschaftliche Produktion abzufedern. Zudem könnte das Errichten solcher Anlagen an biodiversitätsfördernde Maßnahmen geknüpft werden (z. B. Wallhecken, Schließen von Lücken in Verbundsystemen, Anlegen von Blühstreifen oder sonstige kleinräumige Landschaftsstrukturen).

Dass die Etablierung einer Agri-PV-Anlage einen deutlichen Einfluss auf die landwirtschaftlichen Betriebe haben kann, zeigen Beispiele aus Japan und Südkorea. Hier werden die Agri-PV-Anlagen gezielt dazu verwendet, Einkommen für Landwirtschaftsbetriebe zu generieren und damit eine Altersvorsorge für die Landwirtschaft zu schaffen.

Forschungsbedarf besteht auch zum Einfluss von Agri-PV-Anlagen auf landwirtschaftliche Strukturen und den Bodenmarkt. Zudem ist noch offen, wie groß die Fläche bzw. der Flächenanteil mit Agri-PV-Anlagen auf deutschen landwirtschaftlichen Betrieben sein muss, um einen signifikanten Effekt auf das landwirtschaftliche Einkommen zu erhalten. Des Weiteren ist zu untersuchen, welche Auswirkungen sich auf Pachtpreise ergeben und wie Konflikte zwischen Eigentümer:innen und auf Pachtflächen arbeitenden Landwirt:innen aufgelöst werden können.

Kosten und Einnahmen

Im Bereich der Photovoltaik können die Kosten für eine Agri-PV-Anlage analog zu den Kosten von PV-Freiflächenanlagen gesehen werden. Für horizontale Konzepte sind in Abhängigkeit von der Aufständertechnik höhere Kosten für die Aufständertechnik zu berücksichtigen als für vertikale. Bei Seilaufhängung ist mit deutlich geringeren Kosten im Vergleich zur Stahlaufständertechnik zu rechnen. Aufgrund der geringeren Aufstellungsdichte sind im Vergleich zu PV-Freiflächenanlagen der Stromertrag und damit Einnahme je Anlagenfläche geringer. Durch ein angepasstes Schattenmanagement für die Kulturpflanzen kann es zudem zu Einbußen beim Stromertrag kommen.

Andererseits kann der Schutz der Kulturen durch eine Agri-PV-Anlage zu Kosteneinsparungen führen. Gerade bei hochpreisigen Sonderkulturen reicht das Spektrum der Maßnahmen gegen Frost- und Hagelschäden von kostspieligen Heizdrähten und Frostschutzkerzen über stationäre Gas- oder Ölbrenner bis hin zu Hubschraubern oder Hagelfliegern, welche teilweise oder ganz durch eine Agri-PV-Anlage ersetzt werden können. Weitere Einsparungen sind im Bereich des Bewässerungsbedarfes zu erwarten, einerseits in Form einer geringeren Evapotranspiration durch die Verschattung, andererseits durch die Möglichkeit des Auffangens und Verwendens des Regenwassers.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht somit in Bezug auf kostenoptimierte technische Systeme, aber auch in Bezug auf die Erfassung von Eckdaten für eine optimierende Modellierung. Aufgrund des erhöhten Kulturaufwands durch geringere Arbeitsgeschwindigkeit und eine angepasste Mechanisierung muss zudem mit leicht erhöhten Produktionskosten je ha in Vergleich zu analogen

Flächen ohne Agri-PV kalkuliert werden. Hierzu sind wissenschaftlich Pilot- und Demoanlagen an Standorten mit unterschiedlichen Klima- und landwirtschaftlichen Kulturbedingungen dringend erforderlich. Diese Daten liefern die Basis, um langfristig politische Leitplanken an die neuen Erkenntnisse anzupassen. Da es sich bei Agri-PV-Anlagen um langfristige und lange nutzbare Investitionen und Kulturentscheidungen handelt, müssen auch mittelfristige Szenarien im Rahmen des Klimawandels über die Nutzungszeit der Agri-PV-Anlage erforscht werden.

Ein weiterer Kostenfaktor ist die durch die Lage der Anlage bedingte Möglichkeit einer Netzeinspeisung und die sich daraus möglicherweise ergebende Notwendigkeit einer kostspieligen Kabelverlegung zum nächsten Einspeisepunkt. Hier spielt auch die Kapazität eines Einspeisepunktes eine Rolle – PV-FFA wurden bereits aufgrund von möglicher Überlastung bei der Netzeinspeisung abgelehnt; Energieversorger reagieren zögerlich oder gar nicht auf entsprechende Vorhaben und Anfragen. Hier sind gesetzliche Regelungen und Investitionsmodelle für Energieversorger für den Ausbau der Infrastruktur dringend erforderlich.

Kombinierte Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Eigentumsverhältnisse der genutzten Fläche sind für die finanzielle Beteiligung der Landwirtschaft von zentraler Bedeutung. So sind für PV-Freiflächenanlagen Pachtzahlungen von 2.500 €/ha/Jahr keine Seltenheit, was dem 4-6-fachen einer Pachtzahlung für den agrarischen Gebrauch entspricht. Für Agri-PV-Anlagen ist die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft vermutlich niedriger, sofern der Energieertrag durch die Doppelnutzung (ggf. niedrigere Moduldichte) beeinträchtigt wird oder durch die verwendete Technologie höhere Investitionskosten (z. B. höhere Aufständigung, bifaciale Module, Tracker) resultieren. Neben dem Aspekt, dass der bearbeitende landwirtschaftliche Betrieb als Flächeneigentümer oder Flächenpächter agieren kann, ist die Beteiligung von Landwirt:innen an der PV-Anlage von Bedeutung. In Bezug auf die PV-Anlage kann die Landwirtschaft sowohl als Inhaberin, Anteilseignerin oder Nutzerin des Stroms agieren. Der geringste ökonomische Gewinn ist bei der reinen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der Fläche als Flächenpächter zu erwarten. Der größte wirtschaftliche Gewinn ist zu erwarten, wenn die Landwirtschaft als alleiniger Investor auf einer Eigentumsfläche agiert und den Strom selbst nutzt. Durch Einsparungen bzw. die kombinierten Einnahmen durch Strom und landwirtschaftliche Produkte kann es zu einem Ausgleich von wetterbedingten Einkommensschwankungen kommen. Erhält die Landwirtschaft aber keine festen Pachtzahlungen, geht die mögliche höhere Rentabilität mit einer Steigerung des Risikos einher.

Effekte, die durch die Doppelnutzung entstehen, wie z. B. die Interaktion zwischen Bodenbearbeitung sowie Pflanzenschutz und Reinigungskosten der Module, gilt es bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu berücksichtigen. So sind bei kombinierten Effekten sowohl Unterschiede zwischen den verschiedenen Agri-PV-Konzepten, den verschiedenen Standorten als auch eine Jahresabhängigkeit festzustellen.

In aktuellen kombinierten Wirtschaftlichkeitsrechnungen völlig unbeachtet bleiben mögliche Schadensfälle. So ist meist ungeklärt, wer für einen Schadensfall an den Modulen durch Kollision mit der Aufständigung, den Modulen selbst oder bei Steinschlägen durch die Bearbeitung haftet.

Forschungsbedarf besteht bei praxisnahen Wirtschaftlichkeitsberechnungen und bei der Aufstellung möglichst adäquater Business-Modelle, die sowohl den Ausgleich zwischen den beteiligten Parteien und Nutzungsformen als auch die gesellschaftliche Perspektive berücksichtigen.

Innovationswettbewerb

Die Vermarktung des Stroms kann sehr unterschiedlich erfolgen. Eine Möglichkeit bietet die Vergütung nach EEG. Hierbei muss für große Anlagen an einer EU-weiten Ausschreibung teilgenommen werden. Im Jahr 2022 wird es zudem eine Sonderausschreibung, gezielt für "besondere" PV-Konzepte inkl. Agri-PV geben. Dabei werden hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlagen nach der derzeitigen Ausschreibungsbedingungen allerdings aufgrund höherer Investitionskosten kaum Chancen haben. Dies wird insbesondere auch die Forschung und Entwicklung von Pilotanlagen und -betrieben negativ treffen. Neben der Vermarktung des Stroms mithilfe des EEG besteht die Möglichkeit, Stromabnahmeverträge (Power Purchase Agreements – PPA) mit Stromabnehmer:innen abzuschließen. Die Vermarktung des Stroms unabhängig vom EEG ermöglicht eine deutliche freiere Flächenauswahl, da die EEG-Flächenkategorien nicht mehr bindend sind. Eine gezielte Vermarktung des Stroms mit dem Hinweis auf die parallele Lebensmittelerzeugung ist denkbar. Grundsätzlich ist eine differenzierte Vermarktung mithilfe des positiven Images der regenerativen Stromerzeugung, auch für die landwirtschaftlichen Produkte möglich. Zu empfehlen sind z. B. Beteiligungsmodelle für Bürger:innen vor Ort, der Einbezug von Bürgerenergiegenossenschaften oder die nach EU-Bestimmungen auch in Deutschland einzuführenden Energie-Gemeinschaften, die u. a. die Beteiligung verschiedenster Stakeholder wie Kommunen, Landwirt:innen, Bürger:innen und Energieunternehmen ermöglichen. In Bezug auf Akzeptanz im ländlichen Raum sind diese Beteiligungsformate hoch relevant.

Der größte monetäre Nutzen kann durch den Eigenstromverbrauch generiert werden. Je nach Betriebsstruktur kann der Strombedarf der Landwirtschaft sehr hoch ausfallen (Kühlhäuser etc.). Die Möglichkeit des Eigenstromverbrauchs ist je nach landwirtschaftlicher Betriebsstruktur sowie der Lage der Agri-PV-Anlage zum Verbrauchsort sehr unterschiedlich. Aktuell ist ein Eigenverbrauch bei größeren nach EEG geförderten Anlagen nicht möglich, ohne den Vergütungsanspruch zu verlieren.

4.3 REGULATORISCHER RAHMEN

Derzeit bestehen mehrere rechtliche Hürden zum Ausbau der Agri-PV. Diese können zum einen durch die Untersuchung und Prüfung der rechtlichen Bestimmungen, zum anderen durch die Änderung des Rechtsrahmens oder der planerischen Vorgaben beseitigt werden. Dabei muss sichergestellt werden, dass insbesondere mit Blick auf die Nachweisführung klare und einheitliche, gesetzesübergreifende Regelungen konzipiert werden. Der regulatorische Rahmen für die sich dynamisch entwickelnde Agri-PV sollte so gestaltet werden, dass ein Innovationswettbewerb um die besten technologischen und wirtschaftlichen Agri-PV-Konzepte befördert wird. Es gilt zu vermeiden, dass dies durch die Fokussierung auf einige oder wenige bereits bestehende Pilotprojekte behindert wird. Vor diesem Hintergrund besteht erheblicher Forschungsbedarf, wobei grundlegende Erleichterungen im Genehmigungsverfahren ad hoc machbar sind.

EEG 2021 und Innovationausschreibung am 01.04.2022

Nach aktueller Rechtslage ist es aufgrund der flächenbezogenen Anforderungen² im EEG 2021 häufig nicht möglich, für Strom aus Solaranlagen auf guten landwirtschaftlichen Böden eine finanzielle

² Vgl. § 37 Abs. 1 Nr. 2 EEG 2021; § 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 3 lit. c EEG 2021.

Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zu beanspruchen. Da eine Doppelnutzung der Fläche vorliegt und Nutzungskonflikte somit nicht auftreten bzw. sogar entschärft werden können³. Neben den flächenbezogenen Anforderungen ist für eine finanzielle Förderung zudem vielfach – unabhängig von den Anforderungen nach dem öffentlichen Recht – ein Bebauungsplan (B-Plan) erforderlich⁴. Auch dies stellt hinsichtlich der Dauer der Bewilligung von Anlagen ein Hemmnis dar. Derzeit liegen die Investitionskosten insbesondere für hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlagen weit höher als bei herkömmlichen Freiflächenanlagen, sodass die Vergütungssätze für Freiflächenanlagen nicht auskömmlich sind und derartige Agri-PV-Projekte kaum umgesetzt werden.

Für den Gebotstermin am 01.04.2022 ist bei den Innovationsausschreibungen nach § 17 Abs. 1 InnAusV ein Segment für besondere Solaranlagen mit einem Gesamtvolumen von 150 MW vorgesehen. Zu diesen besonderen Solaranlagen gehören neben Agri-PV auch schwimmende PV und PV-Parkplatzüberdachungen. In diesem Zusammenhang ergeben sich mehrere Hemmnisse: Da aktuell keine Mindestmengen für die jeweiligen Anlagentypen der besonderen Solaranlagen vorgegeben werden, besteht die Gefahr, dass sich Agri-PV-Projekte zumindest gegenüber den PV-Parkplatzüberdachungen nicht durchsetzen können. Zudem ist zu erwarten, dass bodennahe Systeme (Kategorie II, DIN SPEC⁵) durch ihre weniger aufwändige Unterkonstruktion innerhalb der Agri-PV einen klaren Wettbewerbsvorteil haben. Dieser wird sich vermutlich stark auf die Zusammensetzung der bezuschlagten Projekte auswirken und dazu führen, dass hoch aufgeständerte Systeme (Kategorie I, DIN SPEC) kaum zum Zuge kommen werden. Größere Systeme haben zudem aufgrund von Skaleneffekten in der Regel einen Wettbewerbsvorteil gegenüber kleineren Anlagen. Dies wird bei den Ausschreibungen voraussichtlich dazu führen, dass eher Gebote für größere Agri-PV-Anlagen einen Zuschlag erhalten. Da kleinere, dezentrale Anlagen in Hofnähe und im generell kleinflächigeren Sonderkulturanbau vermutlich einen größeren Rückhalt in der Gesellschaft fänden, könnte diese Tendenz der Akzeptanz für Agri-PV schaden. Auch mit Blick auf die Erforschung der Synergiepotenziale verschiedener Anwendungen der Agri-PV ist dies nachteilig zu beurteilen, denn F&E-Fortschritte erfordern gerade in den ersten Förderjahren eine große Bandbreite von Agri-PV-Konzepten.

Nachteilig zu beurteilen ist auch, dass nur Anlagenkombinationen nach § 2 InnAusV an den Innovationsausschreibungen teilnehmen dürfen. Neben der Agri-PV-Anlage muss also noch eine andere Erneuerbare-Energien-Anlage (EEA) oder ein Speicher errichtet werden⁶. Diese Pflicht stellt für die zu fördernden Agri-PV-Anlagen eine inhaltlich kaum begründbare Einschränkung dar. Denn der innovative Ansatz bei der Agri-PV ist in dem Nebeneinander von Energieerzeugung und landwirtschaftlicher Nutzung der Fläche zu sehen, sodass eine besondere Markt- oder Netzdienlichkeit der EEA im Rahmen der Innovationsausschreibung im April 2022 irrelevant sein sollte.

Gebote, die im Rahmen der Innovationsausschreibungen bezuschlagt werden, müssen § 27a EEG 2021 beachten. Danach darf der Strom grundsätzlich nicht eigenverbraucht werden. Im April 2022

³ Insoweit ist die Situation mit den Gegebenheiten bei Anlagen auf Gebäuden bzw. sonstigen baulichen Anlagen vergleichbar: Hier werden die Flächen ebenfalls doppelt genutzt und die Flächenkulisse spielt für die finanzielle Förderung deshalb keine Rolle, vgl. beispielsweise § 37 Abs. 1 Nr. 1 EEG 2021; 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 EEG 2021.

⁴ vgl. § 37 Abs. 1 Nr. 2 EEG 2021; § 48 Abs. 1 S. 1 Nr. 3 lit. c EEG 2021.

⁵ DIN SPEC 91434:2021-05; vgl. zur DIN SPEC auch unten.

⁶ Im ersten Fall muss die Anlagenkombination so beschaffen sein, dass sie für mindestens 25 Prozent ihrer installierten Leistung positive Sekundärregelleistung erbringen kann, im zweiten Fall muss u.a. die installierte Leistung des Speichers mindestens 25 Prozent der installierten Gesamtleistung der Anlagenkombination entsprechen (vgl. § 13 Abs. 2 InnAusV).

können auch kleinere Agri-PV-Anlagenkombinationen ab 100 kW gefördert werden⁷. Durch die Integration in den landwirtschaftlichen Betrieb ist Agri-PV grundsätzlich gut geeignet, den Strombedarf von Landwirtschaftsbetrieben zu decken. Dies ist unter den aktuellen rechtlichen Anforderungen ausgeschlossen, was die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV-Anlagen verringert.

Die einmalige Durchführung einer Innovationsausschreibung mit dem Segment „Besondere Solaranlagen“ im April 2022 bietet den Akteuren kaum verlässliche Perspektiven, um in die Entwicklung von Agri-PV-Systemen und entsprechende Produktstrategien zu investieren. Denn wenn ihre Gebote nicht bezuschlagt werden, besteht die Gefahr, später im Rahmen der „normalen“ Förderkulisse nach dem EEG bzw. den Innovationsausschreibungen keine finanzielle Förderung zu erhalten.

Öffentlich-Rechtliche Genehmigung

Agri-PV-Anlagen müssen – unabhängig davon, ob eine finanzielle Förderung nach dem EEG in Anspruch genommen werden soll oder nicht⁸ – insbesondere die bauplanungsrechtlichen Anforderungen erfüllen. Agri-PV-Systeme werden in der Regel im sog. unbepflanzten Außenbereich nach § 35 Baugesetzbuch (BauGB) errichtet. Nach § 35 Abs. 1 BauGB werden dort allerdings nur bestimmte Vorhaben, sog. privilegierte Vorhaben, unter „erleichterten“ Voraussetzungen zugelassen. Die Einstufung einer Agri-PV-Anlage als privilegiertes Vorhaben ist in der Praxis jedoch meist rechtlich unsicher, sodass die baurechtliche Zulässigkeit in Frage steht.

Soll die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit des Vorhabens im Wege eines Bebauungsplans ermöglicht werden⁹, stellt der sog. Typenzwang ein Hemmnis dar. Denn die Gemeinde ist an die Festsetzungen nach § 9 BauGB und die Baunutzungsverordnung (BauNVO) gebunden. Ob die derzeitige Festsetzungsmöglichkeit für Solarenergie der Besonderheit der dualen Nutzung gerecht wird, ist nicht rechtssicher geklärt. Denn möglicherweise erfasst die nahliegende Festsetzung „Sondergebiet Solar“ nicht zugleich die Zweckbestimmung der landwirtschaftlichen Nutzung.

Des Weiteren ist zu beachten, dass höherrangige Planungen vor dem Hintergrund des „Entwicklungsgrundsatzes“ und der Anpassungspflicht auf Ebene der Bauleitplanung eine erhebliche Bedeutung haben. Andererseits sind Belange nachgeordneter Planungen in höherrangige Planungen einzubeziehen („Gegenstromprinzip“). Wenn in der Landesplanung und insbesondere der Regionalplanung Vorgaben getroffen werden, die einer Errichtung von Agri-PV-Anlagen entgegenstehen, setzt sich dieses Hemmnis daher auf der Ebene der Gemeinde fort und verhindert eine Festsetzung von Flächen für Agri-PV-Anlagen. So können mögliche Auswirkungen von Faktoren wie zum einen der baulichen Ausführung der Anlage und zum anderen der Vornutzung wie auch dem ökologischen Ausgangszustand (evtl. regionale Grünzüge) der betreffenden Fläche abhängen.

In der Regel wird die Errichtung einer Agri-PV-Anlage als Eingriff i. S. d. Naturschutzrechts¹⁰ angesehen und es werden u. a. Ausgleichsmaßnahmen eingefordert. Auch dies stellt ein Hindernis dar; dabei könnten – bei besserer Kenntnis der ökologischen Vorteile für Betriebsinhaber:innen – durchaus Genehmigungskonzepte bzw. -auflagen erarbeitet werden, die Naturschutzbelange im Zuge der

⁷ Vgl. § 16 Abs. 1 InnAusV.

⁸ Sog. PPA-Anlagen.

⁹ Z. B. weil die Einstufung als privilegiertes Vorgaben nach § 35 Abs. 1 BauBG rechtlich zu unsicher ist.

¹⁰ Vgl. § 14 Abs. 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG).

Errichtung einer APV-Anlage stärken (s. o.). Führt man sich vor Augen, dass die Agri-PV bei entsprechender Konzeption angesichts des Klimawandels integraler Bestandteil der Landwirtschaft ist und der Verlust der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche laut DIN SPEC 91434 bei Kategorie I <10 Prozent und bei Kategorie II <15 Prozent liegen muss, erscheint dies nicht sachgerecht und es schöpft die möglichen Synergiepotenziale auch im Hinblick auf den Naturschutz und die Stärkung von Biodiversitätsstrukturen in keiner Weise aus.

EU-Direktzahlungen

Für landwirtschaftliche Betriebe spielen die europäischen Direktzahlungen häufig eine große Rolle. Für den Ausbau der Agri-PV ist es daher von erheblicher Bedeutung, dass die Flächen durch die Umsetzung solcher Vorhaben nicht ihre Förderfähigkeit verlieren. Sowohl die zu Grunde liegende europäische Rechtslage als auch die aktuelle deutsche Rechtsprechung legen zwar nahe, dass solche Flächen nicht pauschal von den Beihilfen ausgeschlossen werden dürfen. Entscheidend ist – so die Überlegung – vielmehr, ob und inwieweit die landwirtschaftliche Tätigkeit durch die Solarnutzung tatsächlich eingeschränkt ist. Je nach Agri-PV-System können mindestens 85 Prozent einer Fläche weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden. Der derzeitige Wortlaut des § 12 Abs. 3 Nr. 6 der nationalen Direktzahlungsdurchführungsverordnung (DirektzahlDurchfV), die landwirtschaftlichen Flächen mit jeglicher Art von Solaranlagen pauschal von den Direktzahlungen ausschließt, führt jedoch zu einer erheblichen Rechtsunsicherheit für landwirtschaftliche Betriebe, was den Agri-PV-Ausbau hemmt. Da dies in anderen EU-Ländern wie z. B. Frankreich nicht der Fall ist, ergibt sich hier ein unmittelbarer Wettbewerbsnachteil für die deutsche Landwirtschaft, aber auch für die Ökonomie rund um die Planung, die Errichtung, Wartung und den Betrieb solcher Anlagen. Eine Berücksichtigung der Agri-PV im Rahmen der DirektzahlDurchfV befindet sich derzeit in Vorbereitung und wird voraussichtlich zum Januar 2023 in Kraft treten.

Förderrechtlinien Hagelschutz

In einigen Bundesländern Deutschlands ist es möglich, Subventionen für Hagelschutznetze zu beantragen. Die Höhe des Zuschusses unterscheidet sich jedoch von Bundesland zu Bundesland. Eine investive Förderung kann zum Beispiel durch die Entwicklungsprogramme für den ländlichen Raum (EPLR) erfolgen, die vom Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) bezuschusst werden. Eine Förderung kann jedoch auch durch operationelle Programme von Erzeugerorganisationen in den jeweiligen Bundesländern beantragt werden. Auch wenn Synergieeffekte bei aufgeständerten Agri-PV-Systemen (Kategorie I, DIN SPEC 91434) wissenschaftlich noch nicht abschließend untersucht worden sind, verspricht dieses Anlagendesign im Hinblick auf Hagel- und Starkregenvorkommen einen Schutz der Kulturen unter den Modulen. Auf dieser Basis sollten auch Agri-PV-Anlagen als Hagelschutzvorrichtung förderfähig bzw. bezuschusst werden können.

DIN SPEC 91434

In der im April 2021 veröffentlichten DIN SPEC 91434 werden Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung in Agri-PV-Anlagen beschrieben. Dabei wurden sowohl das Anlagendesign betreffende Kategorien als auch landwirtschaftliche Nutzungskategorien definiert. Die DIN SPEC stellte mit diesen Anforderungen somit eine erste Grundlage in Deutschland dar, um Prüfverfahren für Agri-PV-Anlagen vorzubereiten. Bei dieser ersten Fassung wurden jedoch nicht alle landwirtschaftlichen

Nutzungsformen, wie z. B. die Tierhaltung oder die Kombination von Solarmodulen und Gewächshäusern vollumfänglich berücksichtigt, was ein Hemmnis für den Ausbau von Agri-PV-Anlagen in der Fläche darstellen kann. Zudem ist die Aufteilung in bodennahe und hoch aufgeständerte Anlagen zu kurz gegriffen, da es fließende Übergänge, u. a. auch in Kombination mit tracking-Systemen, geben wird. Die Ergänzung der DIN SPEC um weitere Kategorien von Agri-PV-Systemen und Nutzungsformen könnte demnach nicht nur den Ausbau voranbringen, sondern auch die gesellschaftliche Akzeptanz durch eine genauere Abgrenzung von herkömmlichen PV-Systemen steigern. Mittelfristig sollte eine Überarbeitung der DIN SPEC auf Basis neuer Erkenntnisse aus bereits installierten Anlagen, insbesondere in Bezug auf Kennzahlen, erfolgen. Außerdem kann die DIN SPEC als Grundlage für die Formulierung einer (europäischen) Agri-PV-Norm herangezogen werden.

4.4 GESELLSCHAFT UND UMWELT

Eine erfolgreiche und umfangreiche Etablierung der Agri-PV bringt Auswirkungen auf Natur und Landschaftsbild mit sich. Vorrangiges Ziel muss es sein, negative Auswirkungen zu minimieren und positive Effekte von Agri-PV für Natur, Landwirtschaft und Gesellschaft zu nutzen und zu fördern. Um eine zügige Umsetzung zu ermöglichen und gesellschaftliche Debatten frühzeitig zu antizipieren, müssen Umwelteinflüsse und die gesellschaftliche Akzeptanz von Agri-PV von Anfang an mitbedacht und wissenschaftlich untersucht werden.

Die Etablierung von Agri-PV im ländlichen Raum kann langfristig die notwendigen Voraussetzungen schaffen (durch Steigerung der ökonomischen Resilienz landwirtschaftlicher Betriebe) durch kostengünstige und nachhaltige Energie vor Ort, einerseits die Digitalisierung und Automatisierung der Landwirtschaft (Precision Farming siehe Kapitel 4.1) voranzutreiben und andererseits eine nachhaltigere, biodiversitätsfördernde Landnutzung (Förderung kleinteiliger Heterogenität, Minimierung von Pestizideinsatz) zu erreichen. Hierbei können durch den Ausbau der Agri-PV auch Nachhaltigkeitsziele des Landwirtschaftssektors sowohl auf Bundesebene also auch im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU verfolgt werden.

Ökologische Auswirkungen und Chancen der Agri-PV

Solarmodule jeglicher technischer Ausführung führen durch die Bedeckung eines Teils der Bodenoberfläche zu einer Veränderung von Niederschlag, Strahlung und mikrometeorologischer Faktoren bezüglich Quantität und räumlicher Verteilung. Die Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere, und Boden sowie Mikro- und Mesoklima müssen an verschiedenen Standorten untersucht und verstanden werden. Hierzu sind empirische ökonomische und ökologische Untersuchungen an verschiedenen Anlagentypen in verschiedenen Landschaften und Klimaten nötig, um die als Grundlage für allgemeingültige Vorhersagen zu den Effekten von Agri-PV (u. a. durch die Entwicklung von Modellen) treffen zu können. Herausforderungen müssen frühzeitig erkannt und mögliche Chancen von Agri-PV-Anlagen zum Vorteil für die landwirtschaftliche Produktion und Ökosystemfunktionalität der genutzten Landschaften erarbeitet und genutzt werden, um einen nachhaltigen Umbau der Landwirtschaft und Landschaft von Morgen zu ermöglichen.

Um das Nachhaltigkeitspotenzial von Agri-PV zeitnah, thematisch umfassend und flächendeckend erschließen zu können, sind schnellstmöglich weitere Forschungsaktivitäten hinsichtlich der hier aufgeführten Aspekte einzuleiten.

Gesellschaftliche Perspektiven und Akzeptanz

PV-Freiflächenanlagen stellen einen bedeutenden lokalen Eingriff ins Landschaftsbild und damit ein Akzeptanzhemmnis für die Energiewende dar. Wenngleich Agri-PV-Anlagen ebenfalls ins Landschaftsbild eingreifen, ist zu erwarten, dass die Doppelnutzung von Flächen für Nahrungsmittel- und Energieerzeugung gesellschaftlich auf weniger Widerstand stößt und damit mehr Gestaltungsoptionen für eine gesellschaftlich mitgetragene oder zumindest besser tolerierte Veränderung der Agrarlandschaft bietet. Eine proaktive Begleitforschung zur (Steigerung der) gesellschaftlichen Akzeptanz von Agri-PV-Anlagen und verschiedener technischer Ausführungen ist zwingend erforderlich, um Konflikte vorzubauen und Widerstände erst gar nicht entstehen zu lassen. Die Berücksichtigung der Bedürfnisse der Landwirtschaft ist dabei eine zentrale Aufgabe.

Neben der Identifikation und Vermeidung möglicher negativer Effekte auf die Akzeptanz von Agri-PV-Anlagen kann eine wirtschaftliche Partizipation die Akzeptanz von Agri-PV sogar befördern. Eine regionale Möglichkeit der Steigerung gesellschaftlicher Akzeptanz ist beispielsweise auch die Einbindung von Rast- und Informations-Orten als Teil nachhaltiger Tourismuskonzepte in Kulturlandschaften. Die Chancen hierzu müssen erforscht werden, um den nachhaltigen Erfolg der Agri-PV zu ermöglichen.

Forschungsförderung

Die besondere Herausforderung von Agri-PV liegt in der bisher kaum empirisch untersuchten Interaktion zwischen der PV-Technik mit dem Agrar- und dem Umweltsystem. Hierbei sind agrarwissenschaftliche und pflanzenbauliche Fragen, wie beispielsweise zur optimale Kultur- und PV-Führung hinsichtlich des Lichtbedarfs oder geeigneter Fruchtfolgen weitgehend noch offen, wie auch die Anforderungen an den Pflanzenschutz in Agri-PV Beständen. Übertragbare Forschungsergebnisse zu abiotischen Wirkungen von Agri-PV-Anlagen liegen ebenso kaum vor. Des Weiteren fehlen wissenschaftliche Untersuchungen zur Einbindung von Agri-PV-Anlagen in das Landschaftsbild und ihre Auswirkungen auf Ökosysteme in der Agrarlandschaft.

Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der in den vorigen Kapiteln umfassen beschrieben wurde, zeigt die Notwendigkeit systematischer Ansätze, die Integration vieler Disziplinen und die Entwicklung und Zusammenarbeit eines Netzwerks von Pilot- und Demonstrationsanlagen auf denen integrative Forschung durchgeführt werden kann. Dieser integrative Ansatz bildet einen wichtigen Grundstein dafür, wie sich die weitere gesellschaftliche Diskussion und die Perspektive der LandwirtInnen auf diese Nutzungsmöglichkeit für ihre Böden entwickelt. So müssen für Technologieanbieter, Investor:innen, Bodeneigentümer:innen, Landwirt:innen und Kommunen (als Entscheidungsträger) zusätzlich Grundlagen zur Bewertung von Agri-PV-Projekten geschaffen werden. Exemplarische Bottom-up-Prozesse bieten sich besonders für die sozialwissenschaftliche Begleitung des gesellschaftlichen Diskurses zu Agri-PV an. Hierbei können kritische Hemmnisse in der Entwicklung von regionalen oder kommunalen Agri-PV Konzepten identifiziert werden. Erfahrungen mit Agri-PV-Leuchtturmprojekten und -konzepten müssen an die tangierten Stakeholdergruppen kommuniziert werden und können dann zur Entwicklung eines gesellschaftlichen Leitbildes für eine nachhaltig genutzte und die Energiewende unterstützende Agrarlandschaftsnutzung der Zukunft eingesetzt werden. Die formulierten Forschungsbedarfe könnten als Modell- und Demonstrationsvorhaben in sog. Living Labs wie nachstehend beschrieben gefördert werden.

Living Labs als Modell- und Demonstrationsvorhaben

Förderung eines Netzwerks von insgesamt 15 bis 20 **Living Agri-PV Labs** mit unterschiedlichen Agri-PV-Konzepten an verschiedenen Standorten in Deutschland als Modell- und Demonstrationsvorhaben. In jedem Projekt sollten dabei die folgenden Themengebiete adressiert, im Netzwerk systematisch zusammengetragen und integriert sein:

1) Untersuchung von innovativen technologischen Lösungsansätzen in Verbindung mit jeweils verschiedenen landwirtschaftlichen bzw. Landnutzungskonzepten auf wissenschaftlicher Basis mit konsequentem Versuchsdesign (speziell zur Untersuchung der Kulturführung, der Systemoptimierung in der Doppelnutzung sowie gleichzeitig zur Schutzfunktion, Anpassung an den Klimawandel, Ökosystemdienstleistungen, Extensivierung, Weidehaltung, Biodiversität, etc.).

2) Qualitätssicherung für die pflanzenbaulichen Ergebnisse durch Vergleich der Erträge mit analog bewirtschafteten Vergleichsflächen sowie gegenüber regionalen Durchschnittswerten.

Integriert in die Einzelprojekte jedoch mit übergreifender Koordination sollten sein:

- ökologische Begleitforschung mit standardisierter Erfassung ausgewählter Arten,
- Schaffung einer bundesweiten pflanzenbaulichen Ertragsdatenbank,
- Erfassung und online Bereitstellung von relevanter ökonomischer Kalkulationsdaten mit Modellanlagen Kalkulationen
- sozialwissenschaftliche Begleitforschung zur Akzeptanz bei versch. Interessengruppen
- Informations- und Kommunikationsmaßnahmen für Stakeholder (z. B. Fachexkursionen) und ggf. Moderation von kommunalen Entwicklungsprozessen
- Betriebswirtschaftliche und regulatorische Analyse und Integration

5. EMPFEHLUNGEN POLITISCHER MASSNAHMEN

Um die beschriebenen Potenziale der Agri-PV zeitnah zu realisieren, muss parallel zur Forschungsförderung der Ausbau schon heute beschleunigt werden. Dafür ist ein rascher Abbau bestehender regulatorischer und rechtlicher Hemmnisse essenziell. Diese betreffen sowohl Forschungs- als auch Praxisanlagen. Neben der o. a. Empfehlung der Förderung eines Forschungs-Netzwerks mit **Living Agri-PV Labs** erscheinen folgende weitere Möglichkeiten zur Förderung der Agri-PV als sinnvoll:

Regulatorische Rahmenbedingungen

- Vereinheitlichung des Begriffs Agri-PV in Normen, Gesetzen und Verordnungen
- klare gesetzesübergreifende Anforderungen an Nachweise kodifizieren

- Anpassung von Ausschreibungsbedingungen, um gleiche Voraussetzungen für die Innovationsumsetzung zu erzielen
- Beförderung des Innovationswettbewerbs durch Verzicht auf über die DIN SPEC 91434 hinausgehende konzeptionelle Vorgaben

Baurechtliche Empfehlungen

- Schnellere Genehmigungsverfahren
 - Agri-PV-Anlagen und Agri-PV-Forschung als eigenen Privilegierungstatbestand in § 35 Abs. 1 BauGB aufnehmen
 - Eigene Festsetzungsmöglichkeit "Sondergebiet Agri-PV" in BauNVO schaffen
 - Ausweisung von 5-10 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche als Agri-PV-Vorrangfläche
- Ausgleichsflächen nur für nicht mehr landwirtschaftlich nutzbare Flächen anwenden
- Möglichkeit der Agri-PV-Flächen als Ausgleichsmaßnahme
- Nutzung derselben Fläche für Landwirtschaft, Agri-PV und Windkraftanlagen (Netzanschluss vorhanden)
- Möglichkeiten zu kommunaler Beteiligung schaffen (durch Infoveranstaltungen und finanzielle Beteiligung)
- EEG-Länderöffnungsklauseln in allen Bundesländern für die "benachteiligten Gebiete" öffnen, aber wenn möglich ausschließlich für Agri-PV-Anlagen
- Netzeinspeisepunkte mit hoher Kapazität müssen ausgebaut werden

Förderrechtliche Empfehlungen

- DirektZahlDurchfV §12 anpassen, Agri-PV als landwirtschaftlich nutzbare Fläche anerkennen (Anm.: im Referentenentwurf des BMEL bereits aufgeführt)
- Eigenes Fördersegment für Agri-PV mit mittelfristig 400 MW pro Jahr (bei aktueller Sonderausschreibung konkurrieren drei Technologien gegeneinander)
- Einführung eines einmaligen 1.000-Felder-Programms mit fester und ausreichend hoher Vergütung für Anlagen bis zu 30 ha Größe
- Erfordernis "Anlagenkombination" für besondere Solaranlagen aus InnAusV streichen
- Eigenverbrauch Ausschreibungssegment EEG zulassen
- EEG-Umlage auf Eigenverbrauch streichen