

Photovoltaik und Photosynthese – doppelte Sonnenernte

Erste Erfahrungen mit Agri-Photovoltaik und Auswertung eines Pilotprojekts am Bodensee

von Axel Weselek

Unter Agri-Photovoltaik versteht man die gleichzeitige Produktion von Nahrungsmitteln und Strom auf ein und derselben Ackerfläche – unter Ausnutzung der dritten Dimension. Um die Flächenkonkurrenz zu minimieren werden die Solarmodule in einer Höhe montiert, dass darunter die Flächen weitgehend ungehindert bewirtschaftet werden können: Am Boden wachsen die Kulturpflanzen, darüber erzeugen Solarmodule erneuerbaren Strom. Dadurch könnte die Konkurrenz um landwirtschaftliche Flächen gemindert, die Effizienz der Landnutzung gesteigert und der Schutz vor Wetterextreme erhöht werden. Der folgende Beitrag basiert auf Erfahrungen mit einem Pilotprojekt im Süden Deutschlands, bei dem unter anderem die Auswirkungen der Agri-Photovoltaikanlage auf die landwirtschaftlichen Erträge ermittelt wurden. Der Artikel mündet in konkreten Vorschlägen, wie durch einen veränderten ordnungspolitischen Rahmen die Potenziale der Agri-Photovoltaik besser erschlossen und zugleich mögliche Landnutzungskonflikte vermieden werden können.

Der Verlust landwirtschaftlicher Flächen ist seit vielen Jahren ein Thema, das zuletzt Anfang der 2000er-Jahre mit dem massiven Ausbau der Anbauflächen für Energiepflanzen ein erhöhtes Interesse erfahren hat und in Anbetracht einer stetigen Zunahme der Flächenversiegelung für Siedlungs- und Verkehrsflächen bis heute anhält. So werden auch heute noch auf rund 16 Prozent der landwirtschaftlichen Flächen Energie- und Industriepflanzen angebaut,¹ während zugleich allein in Deutschland täglich nach wie vor rund 52 Hektar Fläche für die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen verloren geht. Ein Trend, der seit Anfang der 2000er-Jahre rückläufig ist und sukzessive bis zum Ziel einer Flächenkreislaufwirtschaft im Jahr 2050 reduziert werden soll.² Ein Ziel, das in Anbetracht der Ausbauziele bei den erneuerbaren Energien ambitioniert erscheint, wie aktuelle Schätzungen zeigen. Demnach bedürfte die 100-prozentige Energieversorgung aus erneuerbaren Energien in Europa auch in optimistischen Entwicklungsszenarien, z. B. unter Nutzung des Dachflächenpotenzials sowie dem Ausbau von Offshore-Windanlagen, rund ein Prozent der europäischen Landfläche.³

Bereits in der Vergangenheit hat der zunehmende Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik auf Ackerflächen dazu geführt, dass 2010 deren Förderung in

Deutschland zunächst eingestellt wurde (Ausnahme: Bereich von bis zu 110 Meter neben Transportwegen). Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2017 erlaubt es die Länderöffnungsklausel wieder erstmalig, dass die Bundesländer eigenmächtig Acker- und Grünlandflächen in sog. benachteiligten Gebieten für die Bebauung mit Photovoltaikanlagen freigeben. Eine Möglichkeit, von der bereits mehrere Bundesländer Gebrauch gemacht haben.

Erste Versuche zur Agri-Photovoltaik

Ein Ansatz, dem Verlust landwirtschaftlicher Flächen für den Ausbau der erneuerbaren Energien und dem daraus resultierenden Interessenkonflikt zwischen Energie- und Nahrungsmittelproduktion zu entgegen, bietet die sog. Agri-Photovoltaik (kurz Agri-PV oder APV; veraltet auch Agrophotovoltaik). Diese beschreibt die doppelte Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Erzeugung von Strom und landwirtschaftlichen Erzeugnissen. Erstmals bereits im Jahr 1981 beschrieben,⁴ wurde in Deutschland im Jahr 2016 eine erste APV-Forschungsanlage eingeweiht. Im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts APV-Resola wurde dabei in verschiedenen Arbeitspaketen untersucht, inwiefern die APV als ein Baustein zum Erreichen

der Ausbauziele der erneuerbaren Energien beitragen kann. Dabei wurden verschiedene Aspekte wie die technische und wirtschaftliche Machbarkeit der APV als auch deren gesellschaftliche Akzeptanz beleuchtet.

Angelegt auf einem ökologisch-wirtschaftenden landwirtschaftlichen Praxisbetrieb (Hofgemeinschaft Heggelbach am Bodensee) stellte die ackerbauliche Eignung der APV-Anlage einen zentralen Schwerpunkt der Untersuchungen dar. Verschiedene technische Anpassungen der APV-Anlage, wie z. B. lichtdurchlässige PV-Module mit erhöhten Modulreihenabständen und einer veränderten Ausrichtung, sollten dabei eine ausreichende Sonneneinstrahlung mit gleichmäßiger Lichtverteilung unter der Anlage gewährleisten und so die Grundvoraussetzung für ein Pflanzenwachstum bieten. Um die Bewirtschaftung mit herkömmlicher Landtechnik zu ermöglichen, wurden die PV-Module auf Querträgern mit einer Durchfahrthöhe von rund fünf Metern montiert.

In ersten Messungen bestätigte sich, dass so unter der Anlage rund 70 Prozent der Sonneneinstrahlung den Pflanzen zur Verfügung stehen. Zugleich veränderten sich auch die mikroklimatischen Bedingungen, sodass es z. B. in den Sommermonaten zu einer Erniedrigung von Boden- und Lufttemperatur unter der Anlage kam.⁵ Als optimierungsbedürftig erwies sich hingegen die ungleichmäßige Regenverteilung, welche durch eine Bündelung im direkten Ablauf der Paneele insbesondere auf unbedeckten Böden und in Reihenkulturen das Auftreten von Wassererosionsereignissen begünstigen kann, wohingegen in anderen Bereichen geringere Niederschlagsmengen ankommen. Bei den angebauten Kulturarten (Kleegras, Knollensellerie, Kartoffeln und Winterweizen) zeigte

sich im dreijährigen Durchschnitt eine Ertragsreduktion von rund 13 Prozent im Vergleich zur nicht überbauten Vergleichsfläche (Abb. 1).

Sowohl zwischen den verschiedenen Kulturen als auch den Jahren zeigten sich dabei deutliche Unterschiede: Im ersten Versuchsjahr 2017 kam es bei allen Kulturen zu Ertragseinbußen von bis zu 19 Prozent.⁷ Ein Trend, der sich im Jahr 2019 mit bis zu 33 Prozent verringerten Erträgen nochmals deutlich verstärkte, was nicht zuletzt an den im Vergleich zu den anderen Versuchsjahren günstigeren Anbaubedingungen mit ausreichenden Niederschlägen lag. Zu den infolge der veränderten Anbaubedingungen bedingten Ertragseinbußen gilt ein Flächenverlust infolge der Aufständigung der APV-Anlage zu berücksichtigen, welcher stark von der technischen Ausführung der Anlage abhängt und im Falle der APV-Anlage auf dem Betrieb am Bodensee auf rund 8,3 Prozent beziffert wurde.⁸ Entsprechend höher sind auch die tatsächlichen auf die Gesamtfläche bezogenen Ertragsverluste einzustufen.

Potenzial in trockenen Klimaten

Anders als in den Jahren 2017 und 2019 war das Jahr 2018 geprägt von einem sehr trockenen und heißen Sommer, wodurch es insbesondere auf der unüberdachten Vergleichsfläche zu deutlichen Ertragsverlusten kam. Anders unter der APV-Anlage, wo die Erträge im Vergleich zum Vorjahr weitgehend stabil blieben und die der Vergleichsfläche zum Teil übertrafen: Bei den Kartoffeln waren die Erträge mit rund plus elf Prozent signifikant erhöht. Eine Tendenz, die sich auch bei Winterweizen und Knollensellerie zeigte, bei welchen die Erträge rund drei bzw. zwölf Prozent im Vergleich zur Referenzfläche erhöht waren.⁹

Bereits in einer 2018 erschienenen Modellierungsstudie aus Italien, zeigten die Autor:innen anhand langjähriger Klimadaten sowie einer APV-Forschungsanlage, dass die APV im langjährigen Schnitt zu einer Ertragsstabilisierung führen kann: Während in Jahren mit optimalen klimatischen Bedingungen deutlich niedrigere Erträge erzielt wurden, fielen die Ertragsverluste in schlechteren Jahren deutlich geringer aus, sodass die Schwankungsbreite im Vergleich zum ungeschützten Anbau (in nichtbewässerten Systemen) insgesamt geringer ausfallen kann.¹⁰ Bereits im Jahr 2013 zeigten Studien im südfranzösischen Montpellier, dass bei unter Agri-PV angebauten Kopfsalaten teils vergleichbare Erträge erzielt werden konnten, was die Autor:innen auf eine sortenabhängige Anpassung und infolgedessen verminderte Evapotranspiration im Schatten der PV-Paneele zurückführten.¹¹ Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere in heißen und trockenen klimatischen Bedingungen der Anbau unter einer APV-Anlage durchaus Vorteile in der Kul-

Versuchsfläche Hofgemeinschaft Heggelbach⁶

Die Versuchsfläche umfasst eine Grundfläche von 2,5 Hektar. Davon sind jedoch nur 2.500 Quadratmeter mit der APV-Forschungsanlage überbaut, während die restliche Fläche als Referenzfläche zum Vergleich der Ackererträge im Versuchszeitraum dient. Die Solarmodule der APV-Anlage sind etwa sechs Meter über der Ackerfläche aufgestellt. Somit ergibt sich eine Durchfahrthöhe von fünf Metern. Die installierte Leistung von 194,4 Kilowattpeak (kWp) kann jährlich 62 Haushalte (vier Personen, circa 4.000 Kilowattstunden Stromverbrauch) versorgen. Große Abstände zwischen den Modulreihen ermöglichen, dass die Nutzpflanzen darunter rund 70 Prozent der photosynthetisch aktiven Strahlung erhalten. Außerdem wurden bifaziale PV-Module verbaut, die Licht sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite aufnehmen.

turführung mit sich bringen kann – sei es durch eine direkte Abschwächung der Sonneneinstrahlung und/oder durch mikroklimatische Veränderungen wie erniedrigte Luft- oder Bodentemperaturen sowie ein veränderter Wasserhaushalt. Obwohl die Ergebnisse nicht oder nur eingeschränkt auf die Anbaubedingungen in gemäßigten Klimaten übertragbar sind, könnten diese im Hinblick auf den Klimawandel und damit einhergehende Wetterextreme zukünftig noch an Bedeutung gewinnen.

Anwendung im Obstbau und offene Forschungsfragen

Diese Fragestellung wird auch im Anbau von Sonderkulturen zunehmend verfolgt, wo unter anderem über Apfelbäumen¹² und verschiedenen Beerenobstsorten¹³ jüngst verschiedene APV-Forschungsanlagen realisiert wurden. Dabei ist die Hoffnung, dass die PV-Überdachung das Obst vor negativen Umwelteinflüssen wie einer hohen Sonneneinstrahlung, Starkregen oder Hagel schützen und zugleich bereits gängige Schutzeinrichtungen wie Hagelnetze oder Folientunnel ersetzen kann. Zugleich könnte der dabei erzeugte Strom bis zu einem gewissen Anteil für den Eigenstromverbrauch im Betriebskreislauf genutzt werden und damit auch zu einer Senkung der landwirtschaftlichen CO₂-Emissionen beitragen.¹⁴ Bisweilen liegen hierzu noch keine wissenschaftlichen Versuchsergebnisse vor, sodass insbesondere in Hinblick auf die landwirtschaftliche bzw. obstbauliche Eignung noch keine abschließenden Aussagen möglich sind.

Ähnliches gilt auch für den ackerbaulichen Anwendungsbereich, wo nach ersten Versuchsergebnissen noch weitere Versuchsjahre und -kulturen notwendig sind. Dabei sind verschiedene Forschungsfragen noch offen, z. B. wie sich der Anbau unter APV auf die Produktqualität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse auswirkt und wie der Befall mit (pilzlichen) Schaderregern durch das veränderte Mikroklima begünstigt werden könnte. Eine weitere Herausforderung stellt die Übertragung der Versuchsergebnisse auf andere Standorte und technische APV-Ausführungen dar, wofür bereits erste Modellierungsansätze entwickelt werden. Auch aus technischer Sicht bieten sich noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten an, wie z. B. eine verbesserte Wasserverteilung sowie die Verwendung mobiler, nachgeführter PV-Module, welche mittels intelligenter Steuerung unter

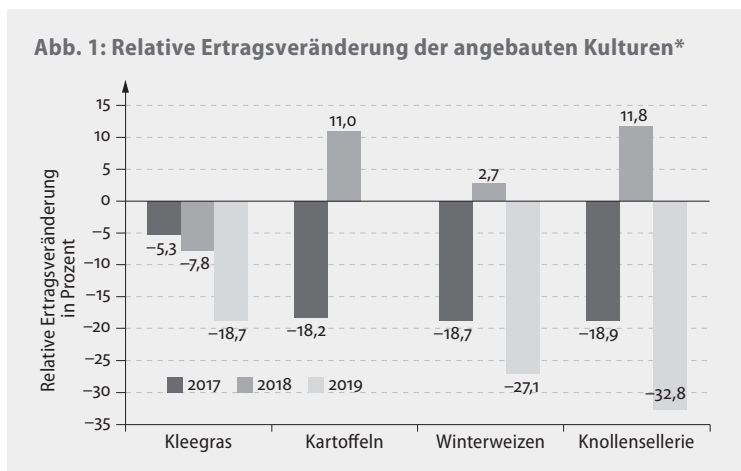
anderem dazu genutzt werden könnten, durch eine optimierte Lichtverteilung die energetischen und/oder landwirtschaftlichen Erträge weiter zu optimieren.¹⁵

Stromerzeugung und Flächennutzung

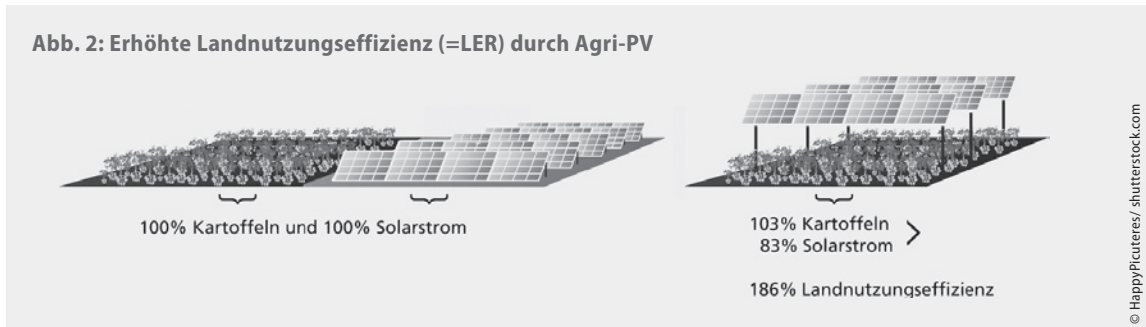
Jenseits ihrer landwirtschaftlichen Eignung erfordert eine ganzheitliche Bewertung der Agri-PV die Berücksichtigung weiterer Aspekte: Zurückkommend auf den Versuch am Bodensee wurden allein im ersten Versuchsjahr auf derselben Fläche rund 246 Megawattstunden (MWh) Strom erzeugt, was rund 83 Prozent dessen entspricht, was eine flächenmäßig identische, für die Stromerzeugung optimierte PV-Anlage erzeugt hätte.¹⁶ Doch welchen Mehrwert bringt die kombinierte Nutzung zur Erzeugung von Strom und landwirtschaftlichen Produkten?

Zur Bewertung von Mischkultursystemen wurde bereits vor einigen Jahrzehnten die sog. *land equivalent ratio* (kurz LER, dt. Landnutzungseffizienz) eingeführt, welche heutzutage z. B. auch in der Bewertung von Agroforstsystemen Einsatz findet und ebenso auf die Agri-PV angewendet werden kann. Dabei werden die Erträge der jeweiligen Kultur im Anbau als Monokultur ins Verhältnis zu den Erträgen im Mischanbau gesetzt und miteinander addiert. Ergibt sich dabei in der Summe eine LER größer als Eins, ist der Mischanbau dem einzelnen Anbau überlegen und folglich wird die Flächenproduktivität insgesamt gesteigert.

Angewendet auf die Versuchsergebnisse des APV-Versuchs am Bodensee ergab sich in den Jahren 2017/2018 – in Abhängigkeit von der angebauten Kultur und damit einhergehend Ertragsveränderung – eine LER von 1,56 bis 1,87. Anders ausgedrückt konnte die Landnutzungseffizienz bzw. Flächenproduktivität



* unter der Agri-PV-Anlage im Vergleich zur nicht überbauten Referenzfläche in den Jahren 2017 bis 2019 (eigene Darstellung). Die Kartoffeln wurden 2019 nicht ausgewertet, da die Fläche aufgrund der ungünstigen versuchsbedingten Fruchtfolge (drei Sommerungen nacheinander) zu verunkrautet war.

Abb. 2: Erhöhte Landnutzungseffizienz (=LER) durch Agri-PV

* Hier anhand des Beispiels des Versuchs in Heggelbach im Jahr 2018, bei welchen der Kartoffelertrag unter der Anlage im Vergleich zur Referenzfläche um rund zwölf Prozent (abzüglich acht Prozent Flächenverlust) gesteigert werden konnte.¹⁷

also um 56 bis 87 Prozent gesteigert werden (Abb. 2).¹⁸ Obwohl die APV damit als vielversprechender Ansatz zur Verminderung von Flächenverlusten betrachtet werden kann, offenbart sich hierbei zugleich auch das eigentliche Dilemma der richtigen Bezugsgröße: Bis zu welchem Grad kann die Flächenproduktivität als vorrangigstes Ziel erachtet werden und bis zu welchem Maß werden landwirtschaftliche Ertragsverluste in Kauf genommen, die rein ökonomisch betrachtet immer den per se wertvolleren Stromerträgen gegenüberstehen?

Klassifizierung von APV-Anlagen

Der Klassifizierung von APV-Anlagen widmet sich auch die jüngst erschienene DIN SPEC 91434, welche als eine Art Vornorm den Grundstein für die einheitliche Klassifizierung von APV-Anlagen und deren Anwendungsbereich zu legen versucht.¹⁹ In dieser wird die APV als »kombinierte Nutzung ein und derselben Landfläche für landwirtschaftliche Produktion als Hauptnutzung und für Stromproduktion mittels einer PV-Anlage als Sekundärnutzung« beschrieben. Dabei werden APV-Anlagen in die Kategorien I (aufgeständerte Anlagen mit lichter Höhe) und II (bodennah aufgeständerte Anlagen) eingeteilt. Erstere müssen dabei gemäß der DIN SPEC eine lichte Höhe von mindestens 2,10 Meter aufweisen und maximal zehn Prozent der Fläche beanspruchen. Letztere sind vergleichbar mit herkömmlichen Freiflächen-Photovoltaikanlagen, wobei maximal 15 Prozent der Fläche für die PV-Konstruktion beansprucht werden dürfen und vice versa mindestens 85 Prozent der Fläche zur landwirtschaftlichen Nutzung zur Verfügung stehen müssen.²⁰

Neben Anforderungen an die technische Beschaffenheit von APV-Anlagen, werden zugleich Voraussetzungen an die landwirtschaftliche Nutzbarkeit gestellt. Grundlage soll hierbei ein umfassendes landwirtschaftliches Nutzungskonzept bilden, das vor der Genehmigung einer Anlage vorgelegt werden muss und verschiedene Grundanforderungen wie z. B. die Rückbaubarkeit der Anlage sowie der Ergreifung von

Maßnahmen zur Verminderung von Bodenerosion stellt. Als landwirtschaftlicher Mindestertrag wird dabei das Erreichen von 66 Prozent eines definierten Referenzertrags festgelegt.

Obwohl die DIN SPEC einen ersten wichtigen Grundstein für eine einheitliche Definition der APV legt, bedarf diese in Teilen noch einer weiteren Nachschärfung und einer deutlicheren Abgrenzung von herkömmlichen Freiflächen-PV-Anlagen, was insbesondere bei Anlagen der Kategorie II und hier vor allem auf Grünlandstandorten als fragwürdig erscheint. Eine solche Abgrenzung ist zwingend erforderlich, um einen möglichen Missbrauch mit einem vorgeschobenen landwirtschaftlichen Nutzen vorzubeugen. Dies gilt umso mehr für den Fall, dass APV-Anlagen zukünftig zusätzlich gefördert und zugleich die gesetzlichen Hürden für deren Installation auf landwirtschaftlichen Flächen abgebaut werden sollten.

Die richtigen Rahmenbedingungen schaffen

Nach aktuellem Stand bekommen Anlagen wie die APV-Pilotanlage in Heggelbach keine Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), da sie nur unter bestimmten Bedingungen auf Ackerflächen realisiert werden können und auch hochskaliert den deutlich günstigeren Freiflächen-PV-Anlagen im Ausschreibungsmechanismus unterlegen wären. Folglich ist der Betrieb einer entsprechenden Anlage nur bei einem entsprechenden Eigenverbrauchsanteil wirtschaftlich umzusetzen. Zugleich wird die Installation einer APV-Anlage bisweilen als Baumaßnahme gewertet, sodass die projektierte Ackerfläche zunächst als Sondergebiet ausgewiesen werden muss. Abgesehen von den rechtlichen Hürden und entstehenden Auflagen beim Bauen im Außenbereich hat dies zur Folge, dass trotz einer Weiterführung der landwirtschaftlichen Tätigkeit der Ackerstatus und folglich auch die Beihilfefähigkeit für EU-Agrarsubventionen verloren geht.

Als erster Schritt zur Förderung der APV ist mit der Novellierung des EEG im Jahr 2021 durch eine An-

Abb. 3: Mögliche Geschäftsmodelle und Konstellationen für Installation und Betrieb einer APV-Anlage.²¹

Geschäftsmodell	Funktion			
	Bereitstellung Fläche	Landwirtschaftliche Bewirtschaftung	Bereitstellung PV-System	Betrieb PV-System
1. Basisfall	Landwirtschaftsbetrieb			
2. Externes Landeigentum	Landesigentümer:innen	Landwirtschaftsbetrieb		
3. Externes PV-Investment	Landwirtschaftsbetrieb		PV-Investor:in	Landwirtschaftsbetrieb
4. Nur Bewirtschaftung und Betrieb	Landesigentümer:innen	Landwirtschaftsbetrieb	PV-Investor:in	Landwirtschaftsbetrieb
5. Nur Bewirtschaftung	Landesigentümer:innen	Landwirtschaftsbetrieb	PV-Investor:in	PV-Betreiber:in

passung der Innovationsausschreibungsverordnung (InnAusV) mit einem Gesamtvolumen von 150 Megawattpeak (MWp) erstmalig eine gemeinsame Sonderausschreibung für PV-Überdachungen auf Parkplätzen, schwimmende PV-Anlagen und APV-Anlagen vorgesehen.²² Am 1. Oktober 2021 hat die Bundesnetzagentur die Anforderungen an im Rahmen der InnAusV geförderte APV-Anlagen festgelegt.²³ Demnach sind diese auf Acker- und Dauerkulturf Flächen förderfähig, wohingegen Dauergrünland und Dauerweideflächen ausgenommen sind. In der Spezifizierung der Anforderungen an die APV richtet sich die Bundesnetzagentur nach den Ausführungen der DIN SPEC 91434, wobei eine Weiterführung der landwirtschaftlichen Tätigkeit durch externe Sachverständige nachgewiesen werden soll.

Wie bereits obenstehend ausgeführt, bleibt dabei fraglich, inwiefern diese Kriterien für eine eindeutige Abgrenzung von modifizierten Freiflächenanlagen ausreichend sein werden. Zugleich konkurrieren sie im Rahmen der Ausschreibungen der InnAusV mit poten-

ziell günstigeren und einfacher zu realisierenden Anlagentypen. Während die EEG-Ausschreibungen vor allem auf wettbewerbsfähige, hochskalierte Investorenprojekte abzielen werden, ermöglicht die im Jahr 2020 veröffentlichte Richtlinie zur Förderung der Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau auch die Förderung kleinerer hofeigener Photovoltaikanlagen. Berücksichtigt ist dabei auch die »Agrophotovoltaik, die zu keinem Verlust oder einer wesentlichen Einschränkung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung« führt.²⁴ Weiterhin unberührt von diesen Fördermaßnahmen bleibt der Verlust der Beihilfefähigkeit für EU-Agrarsubventionen von mit APV überbauten landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Ausblick

In Anbetracht der Zielsetzung zum Ausbau der erneuerbaren Energien kann die APV durch eine Verminderung der Flächenverluste bei gleichzeitiger Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion insbesondere

Folgerungen & Forderungen

- Beim Ausbau der erneuerbaren Energien sollte der Fokus zunächst auf der Nutzung vorhandener Potenziale (z. B. Parkplätze, Dachflächen etc.) liegen, bevor zusätzliche landwirtschaftliche Nutzflächen für diese erschlossen werden.
- Da eine solche Erschließung zum Erreichen der Ziele unausweichlich erscheint, sollten hierbei Agri-PV-Anlagen bevorzugt werden, welche einen Erhalt der landwirtschaftlichen Produktion ermöglichen und zu einer effektiveren Landnutzung beitragen können.
- Auf benachteiligten Standorten (z. B. mit schlechten Bodengüten) können herkömmliche Freiflächenanlagen unter Umständen eine sinnvolle Alternative darstellen.
- Erforderlich ist eine klare Abgrenzung der Agri-PV zu herkömmlichen Freiflächen-PV-Anlagen mit entsprechend klaren und strikten Kriterien im Hinblick auf den Erhalt der landwirtschaftlichen Tätigkeit.
- Die faire Beteiligung der landwirtschaftlichen Betriebe, z. B. durch eine entsprechende Entlohnung oder Gewinnbeteiligung oder auch durch gezielte Förderung hofeigener Kleinanlagen, ist zwingend erforderlich, um möglichen Interessenkonflikten und potenziell steigenden Pachtpreisen entgegenzuwirken.
- APV-Anlagen sollten für die landwirtschaftliche Nutzung technisch weiter optimiert werden unter Berücksichtigung kulturspezifischer Anforderungen mit angepassten Beschattungszyklen und der Kopplung mit intelligenten Bewässerungssystemen, insbesondere im Dauerkulturbereich.

auf landwirtschaftlichen Flächen eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Freiflächen-Photovoltaikanlagen darstellen und damit als Teil einer Gesamtlösung zum Erreichen der Ziele beitragen. Das größte Potenzial der APV ist nach aktuellem Kenntnisstand vor allem in trockenen und heißen Regionen zu erwarten, wo auch im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung mögliche Synergieeffekte denkbar sind. Inwiefern die APV im Hinblick auf den Klimawandel auch in gemäßigeren Klimaten zu einer Abmilderung von Wetterextremen beitragen kann und dadurch insbesondere im Sonderkulturbereich an Bedeutung gewinnen wird, bleibt dabei fraglich und weitere Versuchsergebnisse sind abzuwarten.

Als weitere Voraussetzung für eine Einführung der APV bedarf es einer klaren Begriffsdefinition sowie einer Festlegung von Mindeststandards, die diese im Hinblick auf die landwirtschaftliche Produktion erfüllen muss. Nur so kann auch eine gesonderte Förderung der im Vergleich zur herkömmlichen PV teureren Technik ermöglicht werden, ohne zugleich Gefahr zu laufen, das Entstehen von Pseudo-APV-Anlagen zu fördern, welche primär auf eine maximierte Stromproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen abzielen. Zugleich bedarf es geeigneter Finanzierungsmodelle (Abb. 3), welche auch eine Beteiligung der landwirtschaftlichen Betriebe gewährleisten, sodass diese zu den APV-Profituren und nicht zu den Leidtragenden

weiter steigender Pachtpreise bei zugleich erschwerten Anbaubedingungen werden. Den Idealfall stellen hierbei kleinere, betriebsgeführte APV-Anlagen dar, welche vor allem für kleine und/oder wirtschaftlich gefährdete Betriebe zu einer Einkommensdiversifizierung und damit zu deren langfristigen Erhalt beitragen könnten, zugleich aber einer entsprechenden Förderung bedürfen: ein Ansatz, der aktuell z. B. in Südkorea verfolgt wird, wo APV-Kleinanlagen dazu beitragen sollen, eine betriebliche Altersvorsorge zu bieten und das Höfesterben zu vermindern.²⁵

Das wahrscheinlichere Szenario bleiben jedoch größere und wirtschaftlich wettbewerbsfähige APV-Anlagen, welche durch Investoren finanziert und externe Dienstleister betrieben werden und sich in Anbetracht der Flächenverfügbarkeit und -eignung vor allem auf den Nordosten der Bundesrepublik konzentrieren dürften. Hierbei würde der landwirtschaftliche Betrieb im Idealfall zum Verpächter und/oder schlimmstenfalls zum reinen Dienstleister für die Bewirtschaftung unter der Anlage.

Folglich wird es in den kommenden Jahren an der Politik sein, den Weg für eine Einführung der Agri-PV weiter zu ebnen und zugleich die Voraussetzungen zu schaffen, dass diese zum Erfolgsmodell für Energiewende und Strukturwandel werden kann und nicht zu einer weiteren Verschärfung des Landnutzungskonflikts beiträgt.

»Rentabel nur bei hohem Eigenstromverbrauch«

Fragen an Florian Reyer zu ersten Erfahrungen mit einer APV-Anlage auf der Hofgemeinschaft Heggelbach

Wie hat sich die APV-Technik aus Sicht Ihres Betriebes bewährt? Welche Einschränkungen haben sich bei der Bewirtschaftung ergeben und wie sehen Sie die landwirtschaftlichen Ertragseinbußen?

Grundsätzlich haben wir uns sehr schnell an die Anlage und die Arbeit darunter gewöhnt. Die Einschränkungen bei der Arbeit halten sich in Grenzen und könnten bei auf die Fläche optimierten Anlagen noch geringer sein. Grundsätzlich gilt, dass entlang der Anlage vorsichtiger und langsamer gefahren werden muss, wobei die Verwendung von GPS-Lenksystemen nur sehr eingeschränkt möglich ist, da der Empfang durch die Konstruktion gestört wird. Zudem müssen die Abstände der Pfosten zu allen Arbeitsbreiten der Bearbeitungsgeräte auf dem Hof passen, um die Fläche zwischen den Pfosten möglichst effizient zu nutzen und Flächenverluste zu minimieren. Als größten Nachteil unserer Anlage sehe ich die schlechte Was-

serverteilung. Die Ertragseinbußen sind nicht von der Hand zu weisen, wobei sich in unserem Fall der Vorteil ergibt, dass ein Großteil des erzeugten Stroms im Betrieb genutzt werden kann, was den Ertragsverlusten gegenübersteht.

Wie haben Sie die APV-Anlage in Ihren Betrieb integriert?

Wir versuchen unsere normale Fruchtfolge unter der Anlage anzubauen und die Fläche wie unsere anderen Flächen zu behandeln, was bisher gut gelingt. Durch die Lagerung, Aufbereitung und Verarbeitung von Gemüse haben wir einen hohen Energieverbrauch, sodass 60 Prozent des erzeugten Stroms im Betrieb direkt verbraucht werden. Über einen Batteriespeicher und ein sich ständig weiterentwickelndes Stromnutzungskonzept versuchen wir den Eigenstromverbrauch weiter zu erhöhen. Das ist vor allem deshalb notwendig, weil wir für den mit der APV-Anlage

erzeugten Strom keine Einspeisevergütung erhalten, wodurch die Stromerzeugung ohne entsprechenden Eigenstrombedarf nicht wirtschaftlich wäre.

Wie schätzen Sie den Nutzen für Betriebe ein, die eine deutlich niedrigere Eigenstromverbrauchsrate haben?

Deutlich schwieriger. Hier bräuhete es andere Konzepte der Stromvermarktung, Nutzung etc. Mit dem Börsenpreis kann eine solche Anlage nicht umgesetzt werden.

Wären die Investitionskosten für Ihren Betrieb zu stemmen gewesen?

Mit den Entwicklungskosten und den schwierigen Antragsverfahren sicherlich nicht. Sollten die Kosten für den Bau einer APV-Anlage zukünftig tatsächlich im Bereich kleinerer Dachanlagen liegen, wäre es sicher realistischer.

Wo sehen Sie die APV in zehn Jahren? Wunsch und Realistisch.

Wunsch wären viele kleine, dezentrale an die jeweiligen Höfe angepasste Anlagen mit Schwerpunkt auf Zusatznutzen wie z. B. im Obstbau. Realistisch werden wir vermutlich sehr viele Großanlagen von Investoren auf bestem Ackerland sehen, die mehr Freiflächen- als Agri-PV sind. Mein Bild vor dem Hintergrund des Flächenverbrauchs und der Degradierung landwirtschaftlicher Flächen wäre der klare Fokus beim Ausbau auf bereits überbauter Fläche (Straßen, Parkplätze etc.)!

Die Fragen stellte Axel Weselek.



Florian Reyer

Seit 2008 Landwirt bei der Hofgemeinschaft Heggelbach und verantwortlich für die Bereiche Gemüseanbau, Fruchtfolge, Energieerzeugung, Agri-PV und Gemüseverarbeitung.

florian.reyer@heggelbachhof.de

Anmerkungen

- 1 Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe: Basisdaten nachwachsende Rohstoffe (<https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/landwirtschaft/flachennutzung-in-deutschland.html>).
- 2 Bundesumweltamt: Siedlungs- und Verkehrsfläche (www.umweltbundesamt.de).
- 3 T. Tröndle: Supply-side options to reduce land requirements of fully renewable electricity in Europe. In: *PLoS ONE* 15/8 (2020), e0236958. DOI: 10.1371/journal.pone.0236958.
- 4 A. Goetzberger und A. Zastrow: Kartoffeln unter dem Kollektor. In: *Sonnenenergie* 1981, S. 19-22.
- 5 A. Weselek et al.: Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. In: *Agronomy for Sustainable Development* 41/59 (2021). DOI: 10.1007/s13593-021-00714-y.
- 6 Die folgenden Informationen sind entnommen der Website der Hofgemeinschaft (<https://hofgemeinschaft-heggelbach.de/energie/>).
- 7 Ebd. und A. Weselek et al.: Effects on crop development, yields and chemical composition of celeriac (*Apium graveolens L. var. rapaceum*) cultivated underneath an agrivoltaic system. In: *Agronomy* 11/733 (2021). DOI: 10.3390/agronomy11040733.
- 8 Weselek et al. (siehe Anm. 6).
- 9 Weselek et al. (siehe Anm. 7).
- 10 S. Amaducci, X. Yin and M. Colauzzi: Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production. In: *Applied Energy* 220 (2018), pp. 545–561. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.03.081.
- 11 H. Marrou et al.: Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. In: *European Journal of Agronomy* 44 (2013), pp. 54–66. DOI: 10.1016/j.eja.2012.08.003. – H. Marrou, L. Dufour and J. Wery: How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil–crop system? In: *European Journal of Agronomy* 50 (2013), pp. 38–51. DOI: 10.1016/j.eja.2013.05.004.
- 12 »Fraunhofer ISE. Erste Agri-PV-Anlage für CO₂-neutralen Obstanbau im Test.« Pressemitteilung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) vom 14. September 2021.
- 13 Baywa r.e.: Solaranlagen tragen Früchte mit Agri-PV in den Niederlanden (www.baywa-re.com/de/cases/emea/solaranlagen-tragen-fruechte-mit-agri-pv-in-den-niederlanden).
- 14 ISE (siehe Anm. 12).
- 15 B. Valle et al.: Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. In: *Applied Energy* 206 (2017), pp. 1495–1507. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.09.113.
- 16 M. Trommsdorff et al.: Combining food and energy production: Design of an agrivoltaic system applied in arable and vegetable farming in Germany. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 140 (2021), 110694. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110694.
- 17 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE): Agri-Photovoltaik: Chance für die Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. Freiburg 2020, S. 14.
- 18 Ebd.
- 19 Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): Agri-Photovoltaik-Anlagen. Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung. DIN SPEC 91434:2021-05.
- 20 Ebd.
- 21 Ebd., S. 25.
- 22 S. Schindele: Feldfrüchte und Strom von Agrarflächen: Was ist Agri-Photovoltaik und was kann sie leisten? In: *GAIA* 30/2 (2021), pp. 87–95. DOI: 10.14512/gaia.30.2.6.
- 23 Bundesnetzagentur: Festlegung der Anforderungen besonderer Solaranlagen. 1. Oktober 2021.
- 24 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Richtlinie zur Förderung der Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau. Teil A – Landwirtschaftliche Erzeugung, Wissenstransfer vom 18. September 2020, S. 12.
- 25 ISE (siehe Anm. 17).



Axel Weselek

M. Sc. und Doktorand zum Thema Agri-Photovoltaik an der Universität Hohenheim und ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Projekt APV-Resola.

a.weselek@uni-hohenheim.de