LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

Freistaat
SACHSEN

Agri-PV – Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik

Schriftenreihe, Heft 1/2022





Agri-PV - Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik

Dr. Christoph Gerhards, Fraunhofer IMW; Lisa Schubert, Fraunhofer IMW
Christoph Lenz, GICON GmbH; Falk Wittmann, GICON GmbH; Dirk Richter, GICON GmbH
Benjamin Volz, Next2Sun GmbH

unter Mitarbeit von
René Pommer, Dr. Kerstin Jäkel, Max Meltzer, LfULG

im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung ... 8
2 Einleitung ... 10
3 Aktueller Erkenntnisstand Agri-Photovoltaik (Agri-PV) ... 10
3.1 Darstellung der verschiedenen Umsetzungsvarianten ... 10
3.1.1 Kategorie 1: Bewirtschaftung unter der Agri-PV-Anlage ... 13
3.1.2 Kategorie 2: Bodennahe Anlagen ... 14
3.2 Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Agriphotovoltaik ... 14
3.2.1 Kostenstruktur von Agri-PV-Anlagen ... 14
3.2.2 Geschäftsmodelle ... 15
3.2.3 Diversifikation der Einnahmen landwirtschaftlicher Betriebe ... 16
3.2.4 Mehrfache Landnutzung ... 18
3.3 Vor- und Nachteile hinsichtlich Energieumwandlung, landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Nutzung ... 22
3.3.1 Energieumwandlung ... 22
3.3.2 Landwirtschaftliche Nutzung ... 22
3.4 Natur- und umweltschutzfachliche Aspekte von Agriphotovoltaik ... 23
3.4.1 Verdichtungen ... 23
3.4.2 Wasserhaushalt ... 25
3.4.3 Temperatur ... 26
3.4.4 Erosion ... 26
3.4.5 Humusbildung ... 27
3.4.6 Insekten und Bodenorganismen ... 27
3.4.7 Blendwirkung ... 27
3.5 Auswirkungen der aktuellen förderrechtlichen Regelungen der EU-Agrarförderung und des EEG auf Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche ... 28
3.5.1 EU-Agrarförderung ... 28
3.5.2 Einspeisevergütung nach dem EEG ... 28
3.6 Möglichkeiten zur Eigennutzung und Vermarktung des erzeugten Stroms ... 30
3.7 Offene Fragestellung bei der Agri-PV ... 33
4 Planungs- und Genehmigungsrecht Allgemein ... 35
4.1 Einführung ... 35
4.2 Bauleitplanverfahren ... 38
4.2.1 Antragstellung ... 38
4.2.2 Grundlagenermittlung ... 38
4.2.3 Aufstellungsbeschluss ... 40
4.2.4 Erstellung des Vorentwurfs und frühzeitige Beteiligung ... 40
4.2.5 Scoping ... 40
4.2.6 Auswertung der gegebenen Anregungen und Hinweise ... 41
4.2.7 Erstellung des Entwurfs und förmliche Beteiligung ... 41
4.2.8 Abwägung und Satzungsbeschluss ... 42
4.2.9 Genehmigung und Rechtskraft ... 43
4.2.10 Einschätzung der Anwendbarkeit städtebaulicher Instrumente auf Agri-PV ... 43
4.3 Baugenehmigung ... 43

4.4 Brandschutz 44
4.5 Arbeitsschutz 45
4.6 Versicherungen 45
4.7 Förderfähigkeit im Rahmen der Innovationsförderung 46
Literaturverzeichnis 49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Kategorien von Agri-PV Anlagen nach DIN SPEC 91434 (a) Hochaufgestellte Anlage nach Kategorie 1 (b) und (c) bodennahe nach Kategorie 2. 11
Abbildung 2: Anlage Kategorie 1 in Heggelbach. 13
Abbildung 4: Anlage Kategorie 2 in Donaueschingen 14
Abbildung 5: Solarzaun als Spezialfall einer bodennahen Anlage. 14
Abbildung 6: Mögliche Spanne der Pachteinnahmen in Abhängigkeit vom Reihenabstand für Anlagen mit senkrechter fixer Aufständerung unter der Annahme der heutigen EEG-Einspeisevergütung. Ein Reihenabstand von ca. 30 m ist ökonomisch nicht umsetzbar. . 17
Abbildung 7: Im BiWiBi-Projekt erarbeitete Flächennutzungsvariante, die auch die Bearbeitung mit sehr breiten Maschinen für die Landwirtschaft zulässt und gleichzeitig Raum für die Energieerzeugung und Biodiversitätsförderung gibt. 18
Abbildung 8: Die Minimumtonne als Illustration des Minimum Gesetzes 21
Abbildung 9: Möglichkeiten zur Förderung von PV-Anlagen im Rahmen des EEG 30
Abbildung 10: Lastgang Wochenstreudiagramm der Tierhaltung in Köllitsch 2020 31
Abbildung 11: Lastgang Tagesstreudiagramm der Tierhaltung in Köllitsch 2020 32
Abbildung 12: Ablauf Bauleitplan und Genehmigungsverfahren, detailliert Abbildung 13 36
Abbildung 13: Detaillierter Ablauf Bauleitplan und Genehmigungsverfahren. 37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorien der Agri-PV Anlagen nach DIN 91434 11
Tabelle 2: Beispiele für bauliche Parameter von Agri-PV Anlagen verschiedener Kategorien 12
Tabelle 3: Investitionskosten von Agri-PV-Anlagen (netto). Die Kosten variieren stark mit der Größe der Anlage, der Entfernung zum Netzanschlusspunkt und den Marktpreisen von Stahlkomponenten und PV-Modulen, deshalb sind hier Bereiche angegeben. 15
Tabelle 4: Berechnung des LER bei verschiedenen relativen Erträgen der Landwirtschaft und PV ohne Betrachtung von Biodiversitätseffekten. Annahme: 10 Prozent Flächenverlust durch die Aufständerung 20

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
Abs.	Absatz
Agri-PV	Agri-Photovoltaik
Agri-PVA	Agri-Photovoltaik-Anlage
BauGB	Baugesetzbuch
BMU	Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
CO_2	Kohlenstoffdioxid
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
EC	Europäische Kommission
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EU	Europäische Union
EU GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäische Union
FF-PVA	Freiflächen-Photovoltaik-Anlage
INEA	Innovation and Networks Executive Agency
IT	Informationstechnik
kWp	Kilo Watt peak, Angabe der Spitzenleistung eines PV Moduls / Anlage unter Standard Bedingungen
LER	Land Equivalent Ratio
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LWS	Landwirtschaft
MWh	Mega Watt Stunde
Nr.	Nummer
PPA	Power Purchase Agreement
PV	Photovoltaik
PVA	Photovoltaik-Anlage
SächsBO	Sächsische Bauordnung
SIB	Sächsisches Immobilien- und Baumanagement
TM-Ertrag	Trockenmasse Ertrag
ZÜRS	Zonierungssystem für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen

1 Zusammenfassung

Agriphotovoltaik (Agri-PV) bezeichnet die gleichzeitige Nutzung einer Fläche für die Landwirtschaft und die Stromerzeugung durch Photovoltaik (PV). Ziel ist es, insgesamt höhere Flächenerträge zu erzielen als bei der getrennten Flächennutzung und damit die Flächenkonkurrenz zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und Energieproduktion zu verringern.

Grundsätzlich lassen sich Agri-PV-Anlagen (Agri-PVA) in zwei Kategorien unterteilen:

- Kategorie 1: die landwirtschaftliche Bewirtschaftung erfolgt unter den Solarmodulen (hochaufgeständerte Anlagen),
- Kategorie 2: die Bewirtschaftung erfolgt zwischen den Modulreihen (bodennahe Anlagen). Die Module können senkrecht aufgestellt sein.

Bei beiden Anlagenkategorien können die Module mittels eines Tracking-Systems am Sonnenstand ausgerichtet werden. Dadurch kann der Solarertrag maximiert oder die Lichtverfügbarkeit für die Pflanzen gezielt gesteuert werden. Für beide Kategorien gibt es bereits Demonstrationsanlagen in Deutschland. Weltweit existieren Agri-PVA mit einer Gesamtleistung von ca. 2,7 GWp, was einer Fläche von ungefähr 4.000 Hektar entspricht.

PV-Module benötigen Fläche für die Aufständerung, verschatten den Boden und verändern die Windgeschwindigkeit. Das hat Auswirkungen auf das Mikroklima und den Naturhaushalt im Einflussbereich derartiger Anlagen. Allerdings wurden die genauen Wirkmechanismen bisher nur unzureichend erforscht. Daher können die Auswirkungen zum derzeitigen Zeitpunkt nur abgeschätzt werden. Unter den heutigen klimatischen Verhältnissen in Deutschland ist in der Regel nicht mit einer Steigerung des landwirtschaftlichen Ertrages zu rechnen. Diese wäre nur zu erwarten, wenn das Pflanzenwachstum nicht durch Licht, sondern durch die Wasserverfügbarkeit limitiert ist. Ausnahmen bilden unter Umständen der Beerenanbau unter hochaufgeständerten Systemen sowie die Grünlandnutzung zwischen senkrecht aufgeständerten Agri-PVA. In der Regel liegt der landwirtschaftliche Ertrag einer Agri-PV-Fläche unter dem einer Referenzfläche mit rein landwirtschaftlicher Nutzung.

Der zu erwartende Stromertrag einer Agri-PVA hängt entscheidend davon ab, wieviel Leistung auf der Fläche installiert werden kann. Bei hoch aufgeständerten Anlagen ist diese zu beeinflussen durch den Überdeckungsgrad, bei vertikal aufgeständerten Anlagen vom Reihenabstand. Im Regelfall liegt die installierte Leistung je Flächeneinheit deutlich unter dem einer Freiflächenanlage.

Für den Betrieb eine Agri-PVA ist im Wesentlichen zwischen zwei Betreibermodellen zu unterscheiden:

- Eine Betreibergesellschaft betreibt die PV-Anlage und zahlt eine Pacht an den Landwirtschaftsbetrieb, der den landwirtschaftlichen Anteil der Fläche weiterhin nutzt.
- Der Landwirtschaftsbetrieb betreibt die PV-Anlage und profitiert direkt von den Solarenergieerträgen. Bei kleinen Freiflächen-PV-Anlagen kann der Betrieb zusätzlich günstigere Stromentstehungskosten durch Eigenverbrauch erzielen, sofern das Potenzial nicht bereits durch belegte Dachflächen ausgeschöpft wurde.

Genehmigungsrechtlich werden AGRI-PVA im Wesentlichen wie Freiflächen-PV-Anlagen behandelt. Das heißt, dass in der Regel ein Bebauungsplan vorliegen und eine Baugenehmigung eingeholt werden muss. Für das Vorhaben ist eine naturschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Ist für den Bau einer Agri-PVA ein naturschutzrechtlicher Ausgleich nötig, kann sich die Flächennutzungsbilanz verschlechtern. Nach EU-Recht können EU-Agrarbeihilfen gezahlt werden. Dies ist jedoch (noch) durch die derzeit gültige Umsetzung in der Direktzahlungen-Durchführungsverordnung in Deutschland ausgeschlossen.

Grundsätzlich ist bei der Beurteilung der Agri-PV zu beachten, ob auf die Maximierung der Finanzerträge oder die Optimierung der Flächennutzung fokussiert wird. Deshalb müssen Finanzerträge und Menge der erzeugten Agrarprodukte (z. B. Weizen, Kartoffeln etc.) bzw. Energiemenge (Strom) separat betrachtet werden.

Die „Landnutzungsrate“ oder „-intensität“ stellt die Summe der relativen Erträge aller Nutzungen in Prozent dar. Sie liegt im Normalfall über 100. Sie betrachtet aber ausschließlich den Ertrag und nicht den Aufwand. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Agri-PVA ist sie daher nicht geeignet!

Im Ergebnis einer rein wirtschaftlichen Betrachtung unter den aktuellen Rahmenbedingungen in Deutschland lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Bei einer Kombination von Landwirtschaft und Photovoltaik kann die Summe der Finanzerträge höher sein als bei rein landwirtschaftlicher Nutzung. Allerdings steigen auch die Kosten. Ob durch die Kombination ein höherer Gewinn im Vergleich zur getrennten Nutzung entsteht, hängt von zahlreichen Faktoren ab.
- Die relative Ertragserwartung von PV und Landwirtschaft ist bei kombinierter Flächennutzung jeweils geringer als bei getrennter Nutzung. Die Reduzierung der spezifischen Flächenkosten durch die kombinierte Nutzung wiegt diese Mindererträge in der Regel nicht auf. Speziell im konventionellen Ackerbau mit üblichen Arbeitsbreiten von 27 m und mehr lässt sich Agri-PV nicht wirtschaftlich darstellen.

Offene Fragestellungen zur Agri-PV sind u.a.:

- Auswirkungen der Beschattung auf Bodenfeuchte und Ertrag, Schattentoleranz verschiedener Fruchtarten und Anbaueignung in Agri-PVA, relative Vorzüglichkeit spezieller Fruchtfolgen,
- Auswirkungen von Grünstreifen auf Biodiversität (Insekten, Bodenbrüter, Schädlinge), Krankheits- und Schädlingsdruck,
- tatsächliche Unterhaltungsaufwendungen von Agri-PVA im Praxiseinsatz, Auswirkungen der Verfahrensgestaltung im Feldbau auf den PV-Ertrag (Steinschlag, Staub)
- Ökonomische Gesamtbetrachtung

2 Einleitung

Die moderne Landwirtschaft erzielt durch das heute verfügbare umfassende Fachwissen, das den Einsatz von mineralischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln einschließt, sichere und hohe Erträge mit guten Qualitäten. Allerdings steht die Landwirtschaft in den kommenden Jahrzehnten vor einer großen Herausforderung. Immer mehr Menschen weltweit müssen mit möglichst günstigen Nahrungsmitteln versorgt werden. Erschwert wird diese Herausforderung zusätzlich durch die vorherrschende Nutzungskonkurrenz um die landwirtschaftlichen Flächen. Sie werden für den Anbau pflanzlicher und tierischer Nahrungsmittel, für die Energiebereitstellung durch Biomasse sowie Wind- und Solaranlagen und für den Naturschutz benötigt. (WBGU 2020) Darüber hinaus werden weitere landwirtschaftliche Flächen für die Rohstoffgewinnung, die Forstwirtschaft, für Siedlungen, Gewerbe und den Verkehr beansprucht.

Die Agri-Photovoltaik (Agri-PV) macht es möglich, den landwirtschaftlichen Betrieb mit der Bereitstellung von erneuerbarem Strom zu verbinden und somit einen Beitrag zur Entspannung des globalen Flächenkonflikts zu leisten. Durch die Kombination mit der Landwirtschaft könnte Agri-PV auf Flächen möglich sein, auf denen normale Freiflächen-Photovoltaikanlagen (FF-PVA) nicht genehmigungsfähig sind. So könnte die Agri-PV stärker als die Freiflächen-PV und die bereits weit verbreitete Dachflächen-PV zur Diversifizierung der Einnahmen von Landwirtschaftsbetrieben und zu einer schnelleren Energiewende beitragen.

3 Aktueller Erkenntnisstand Agri-Photovoltaik (Agri-PV)

Die Zusammenstellung der folgenden Kapitel in Verbindung mit dem Literaturverzeichnis bilden den aktuellen wissenschaftlichen und technischen Kenntnisstand ab. Insbesondere in Deutschland sind viele Erfahrungen mit der Agri-PV erst in den letzten Jahren gemacht wurden. Deshalb wurde als Quelle zum Kenntnisstand zu einem großen Teil auf mündliche, noch nicht in Fachzeitschriften veröffentlichte Ergebnisse zurückgegriffen.

3.1 Darstellung der verschiedenen Umsetzungsvarianten

Es gibt vielfältige technische Möglichkeiten für die kombinierte Nutzung von Flächen für die Landwirtschaft und die Photovoltaik. In diesem Kapitel werden verschiedene Umsetzungsvarianten dargestellt und kategorisiert.

Welche Technologie konkret verwendet werden kann, hängt insbesondere von den Charakteristika der bereits vorhandenen oder geplanten landwirtschaftlichen Nutzung des betreffenden Schlages ab. So soll die zu konzipierende Agri-PVA die erwartenden Agrarerträge möglichst wenig einschränken. Als wichtige Parameter für die Auswahl einer geeigneten Agri-PV-Konstruktion sind insbesondere die Anbaukultur, die Intensität des Geräteeinsatzes, klimatische Gegebenheiten (Sonneneinstrahlung, Niederschlag, Windstärken) und die Größe des Flurstückes von Relevanz. Des Weiteren sind die unterschiedlichen Kostenstrukturen der Agri-PVA zu beachten.

Auch wenn die verbaute Technologie der Solarmodule in allen Varianten ähnlich ist, unterscheiden sich die konkreten Umsetzungsvarianten erheblich. (Badelt et al. 2020) Die bisher entwickelten

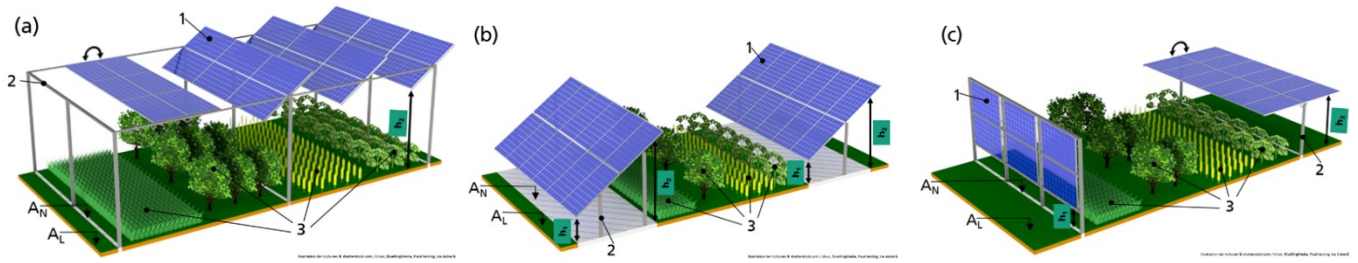
Agri-PVA lassen sich grundsätzlich entsprechend der DIN SPEC 91434:2021-05 in zwei Kategorien mit verschiedener Nutzung unterscheiden. (DIN SPEC 91434) Dies ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Kategorien der Agri-PV Anlagen nach DIN 91434

Agri-PV-Systeme	Nutzung	Beispiele
Kategorie I: Aufständerung mit lichter Höhe Bewirtschaftung unter der Agri-PV-Anlage	1A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	1B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	1C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	1D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)
Kategorie II: Bodennahe Aufständerung Bewirtschaftung zwischen den Agri-PV-Anlagenreihen	2A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	2B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	2C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	2D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

Quelle: DIN 91434

Jede Kategorie kann wiederum in unterschiedlichen Varianten z. B. mit und ohne Mechanik zur Ausrichtung der Module (auch Nachführung bzw. Tracking genannt) umgesetzt werden. Diese werden nachfolgend erläutert und Umsetzungsbeispiele aufgezeigt.



Quelle: (Fraunhofer ISE 2021b)(Fraunhofer ISE 2021b)

Abbildung 1: Darstellung der Kategorien von Agri-PV Anlagen nach DIN SPEC 91434
(a) Hochaufgestellte Anlage nach Kategorie 1
(b) und (c) bodennahe nach Kategorie 2.
A_L bezeichnet die landwirtschaftlich nutzbare Fläche, A_N die landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche. Mit „1“ ist die Modulfläche gekennzeichnet, mit „2“ die Aufständerung und mit „3“ Beispiele für Landwirtschaftliche Kulturen.

In der DIN-SPEC sind verschiedene weitere Aspekte zur Definition einer Agri-PV-Anlage aufgeführt. In einem landwirtschaftlichen Nutzungskonzept muss die landwirtschaftliche Tätigkeit beschrieben werden. Wichtig sind insbesondere die folgenden Punkte (Fraunhofer ISE 2021b) (DIN SPEC 91434):

- Der Flächenverlust A_N durch die Aufständerung der Anlage darf bei Kategorie 1 maximal zehn Prozent der Gesamtprojektfläche und bei Kategorie 2 maximal fünfzehn Prozent der Gesamtprojektfläche betragen.
- Die Lichtverfügbarkeit und -homogenität und die Wasserverfügbarkeit sind zu prüfen und an die Bedürfnisse der landwirtschaftlichen Erzeugnisse anzupassen.
- Bodenerosion und -schäden durch den Aufbau der Anlage, durch die Verankerung im Boden oder durch abfließendes Wasser von den Modulen ist zu vermieden.

Der landwirtschaftliche Ertrag nach dem Bau der Agri-PVA muss mindestens 66 Prozent des Referenzertrags betragen. Als Referenzertrag dient ein dreijähriger Durchschnittswert derselben landwirtschaftlichen Fläche oder vergleichbarer Daten aus Veröffentlichungen.

Die folgende Tabelle 2 enthält Beispiele für bauliche Parameter von Agri-PVA:

Tabelle 2: Beispiele für bauliche Parameter von Agri-PV Anlagen verschiedener Kategorien

Anlage	Anlage 1 a »Heggelbach«	Anlage 1 b »Weihenstephan«	Anlage 1 c » Gewächshaus«	Anlage 2 a » senkrecht«	Anlage 2 b » ein-Achsiger Tracker«
Abstand zwischen den Modulreihen in Metern	~10	~7	~0,8	~10	~ 15
Modul-Feldbreite in Metern	~25	~9	3-5	2	~15
Modul-Feldlänge in Metern	3,5	3	~3		~4
Aufstellhöhe in Metern	5	3,6	2-3	0,6	0,4
Aufstellwinkel	20°	Nachgeführt	10°	90°	Nachgeführt
Datenquelle	(Fraunhofer ISE 2016)	(Badelt et al. 2020)	(MKG)	(Next2Sun)	(Deger Energie)

Der Vorteil der Anlagen aus Kategorie 1 gegenüber Anlagen aus Kategorie 2 ist der höhere mögliche Energieertrag je Fläche, der Nachteil sind die höheren Kosten.

3.1.1 Kategorie 1: Bewirtschaftung unter der Agri-PV-Anlage

Die erste Kategorie bilden die hochaufgeständerten Agri-PVA. Dabei werden die Solarmodule je nach Anbaukultur in drei bis fünf Metern Höhe über dem Feld installiert. Dadurch ist die landwirtschaftliche Nutzung unter den Modulen weiterhin möglich. Bei speziellen Kulturen, wie beispielsweise Hopfen, kann der Abstand zwischen Boden und Modulen auf sieben Meter oder mehr erhöht werden. In Deutschland befindet sich eine Anlage dieser Kategorie in Heggelbach am Bodensee (vgl. Abbildung 2) (Fraunhofer ISE 2016). Ein Projektkonsortium unter der Leitung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesystem ISE hat dort in den Jahren 2017 und 2018 auf einer 0,3 Hektar großen Ackerfläche in 6 Metern Höhe Solarmodule mit einer Leistung von 194 Kilowatt installiert.



Quelle: Albert Schlaak, Fraunhofer ISE

Abbildung 2: Anlage Kategorie 1 in Heggelbach.

Die Module können sowohl starr fixiert als auch mit einer Nachführungseinrichtung (Tracking) montiert werden. Nachführsysteme wurden entwickelt, um insbesondere in sonnenreichen Gegenden einen möglichst hohen Ertrag pro installiertem Modul zu erzielen Es gibt einachsige Systeme, bei denen die Module von Osten (morgens) nach Westen (abends) ausgerichtet werden und zweiachsige, bei denen die Module immer senkrecht zu Einstrahlungsrichtung gedreht werden können.

Speziell für die Agri-PV werden auch Betriebsweisen erprobt, bei denen die Module nicht auf maximalen Stromertrag ausgerichtet werden, sondern das Gesamtsystem Modul und Anbau betrachtet wird. Dabei können bei Bedarf die Module so ausgerichtet werden, dass ein höherer Anteil Licht auf Pflanzen fällt als es für den Stromertrag optimal wäre.

Außerdem ist es im Bereich der hochaufgeständerten Anlagen möglich, PV-Module mit Gewächshausstrukturen zu kombinieren (vgl. Abbildung 3). So ist die Anlage formal auf einem Gebäude errichtet und es besteht somit die Möglichkeit einer EEG-Vergütung (Details siehe 3.5.2).



Quelle: MKG Göbel

Abbildung 3: Offenes Gewächshaus in Büren als Agri PV für Beerenanbau.

3.1.2 Kategorie 2: Bodennahe Anlagen

Die zweite Kategorie der Agri-PVA bilden die bodennah aufgeständerten Anlagen. Hier ist die landwirtschaftliche Nutzung zwischen den Modulreihen möglich. Beispielhaft für diese Variante ist die von der Firma Solverde e G. betriebene Anlage in Donaueschingen in Baden-Württemberg zu nennen (vgl. Abbildung 4). Dort werden auf einer Fläche von 14 Hektar Silage und Heu sowie 4.850 MWh Strom pro Jahr produziert. Weiterhin können auch bei den bodennahen Anlagen einachsige und zweiachsige Trackingsysteme genutzt werden, um die verfügbare Sonneinstrahlung optimal auszunutzen. Dies ermöglicht bei bodennahen Systemen einen höheren Stromertrag je Hektar. Um Platz für die Bewirtschaftung zu schaffen können die Module in die steilste Position gestellt werden. Der Solarzaun bildet einen Spezialfall der bodennahen Anlagenkategorie (vgl. Abbildung 5).



Quelle: Next2Sun GmbH

Abbildung 4: Anlage Kategorie 2 in Donaueschingen



Quelle: Next2Sun GmbH

Abbildung 5: Solarzaun als Spezialfall einer bodennahen Anlage.

3.2 Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Agriphotovoltaik

3.2.1 Kostenstruktur von Agri-PV-Anlagen

Die zu erwartenden Kosten einer Agri-PVA variieren stark. Wichtige Einflussfaktoren sind die zu installierende Leistung, die Art der Anlage (Aufstellung / Modultechnologie etc.), die sich unter anderem aus der geplanten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ergibt und die Lage der Anlage.

Die Kosten der Agri-PVA steigen mit der zu installierenden Leistung aufgrund des zunehmenden Material- und Arbeitsaufwands. Allerdings steigen die Kosten leicht unterproportional mit der Größe der Anlage, da bei großen Anlagen Skaleneffekte auftreten. Das bedeutet, dass die spezifischen Investitionskosten günstiger werden, je höher die Gesamtleistung ist.

Da bei Agri-PVA die installierbare Leistung je Hektar geringer ist (unter anderem aufgrund der höheren Reihenabstände) als bei den Freiflächenlagen-Photovoltaikanlangen (FF-PVA), können die Investitionskosten je Hektar niedriger sein. Werden jedoch die Kosten je installierter Leistung (in kWp) betrachtet, fallen diese bei Agri-PVA höher aus als bei der FF-PVA. Grund hierfür ist die aufwendigere Unterkonstruktion. Weiterhin ist zu beachten, dass die Investitionskosten für die Unterkonstruktion hochaufgeständerter Anlagen (Kategorie 1) über jenen der bodennahen Anlagen (Kategorie 2) liegen. Diese Kostenunterschiede ergeben sich aufgrund der höheren Komplexität und Materialaufwand hochaufgeständerter Konstruktionen. Ist eine große Höhe oder Breite erforderlich, so sind höhere spezifische Investitions-

kosten die Folge. Synergien können sich ergeben, wenn Teile der Konstruktion auch als Rankhilfe (z. B. im Beerenanbau) oder für die Bewässerung genutzt werden können. Flächen mit schwierigen geographischen und geologischen Voraussetzungen verursachen ebenfalls höhere Kosten. Dabei sind insbesondere die Entfernung zum Netzanschluss, die Beschaffenheit des Bodenuntergrunds und eine eventuelle Hanglange zu berücksichtigen. In Tabelle 3 ist die Kostenstrukturen der Investitionskosten von Agri-PVA gelistet (Datenquelle: Badelt et al. 2020; Naujoks und Siemer sowie eigene Erfahrungen des Autorenteams)

Tabelle 3: Investitionskosten von Agri-PV-Anlagen (netto). Die Kosten variieren stark mit der Größe der Anlage, der Entfernung zum Netzanschlusspunkt und den Marktpreisen von Stahlkomponenten und PV-Modulen, deshalb sind hier Bereiche angegeben.

Alle Kostensätze in €/ kWp	PV vertikal zwei-Reihig	Tracker ein-Achsig	Hochaufgeständert
1. Solarmodule, inkl. Nebenkosten	300 - 350	250 - 350	250 - 350
2. Wechselrichter	50 - 100	50 - 100	50 - 100
3. Gestell und Montage	200 - 300	350 - 450	650 - 800
4.Sonstiges (Erschließung, Kabel, Netzanschluss etc.)	150 - 300	150 - 300	150 - 300
Summe	700 - 1050	900 - 1200	1100 - 1550

Quelle: Badelt et al. 2020; Naujoks und Siemer sowie eigene Erfahrungen des Autorenteams

Zu den Investitionskosten kommen die Betriebskosten. In der Regel sind diese bei PV-Anlagen sehr gering, da die Komponenten nur einem geringen Verschleiß bzw. Belastung bei Betrieb unterliegen. Die Grünpflege unter oder neben der Aufständerung und die Reinigung sind bei der Agri-PV vermutlich aufwendiger als bei einer Standard Freiflächen-PV-Anlage. Schwer zu beziffern sind auch die Kosten für den Rückbau der Anlage, da diese Kosten erst bei Betreibsende in 20 bis 30 Jahren anfallen. Wesentliche Faktoren für die Wirtschaftlichkeit sind Investitionskosten, Unterhaltskosten und Erlöse aus dem Stromverkauf (evtl. variable über den Tag). Der Standort und die Nutzung am Standort beeinflussen alle drei Faktoren. In den meisten Fällen kann unter heutigen Bedingungen bei einer separaten Nutzung mehr Gewinn erwirtschaftet werden als bei einer getrennten Nutzung.

3.2.2 Geschäftsmodelle

Durch die Einbeziehung der landwirtschaftlichen Ebene geht die Komplexität eines Agri-PV-Geschäftsmodells oftmals über die einer Freiflächen-PV-Anlage hinaus. Je nach Konstellation der Projektpartner sind bei der Umsetzung verschiedene Parteien mit unterschiedlichen Funktionen involviert.

Dabei lassen sich mindestens vier Funktionen unterscheiden:

- Bereitstellung der Fläche (Eigentümerschaft)
- Landwirtschaftliche Bewirtschaftung der Fläche
- Bereitstellung des PV-Systems (Eigentümerschaft / Investment)
- Betrieb des PV-Systems

Ein landwirtschaftlicher Betrieb vereint im einfachsten Fall alle vier Funktionen. Dieses Modell bietet sich vor allem bei kleineren Agri-PV-Anlagen an. Allerdings steigen mit der Größe der Agri-PVA auch deren Kosten, sodass gegebenenfalls externe Investoren notwendig sein könnten. Zudem kann die Bereitstellung der PV-

Anlage und deren Betrieb von unterschiedlichen Akteuren ausgeführt werden (Trommsdorff et al. 2020; Fraunhofer IMW 2021). Ist der Eigentümer der Fläche nicht der Landwirt selbst, verkompliziert sich im Regelfall die Akteurskonstellation.

Wie der erzeugte Strom zur Eigennutzung oder für die Vermarkung genutzt werden kann, wird in Kapitel 3.6 des vorliegenden Berichts diskutiert.

Für die Akzeptanz von Agri-PV in der Bevölkerung ist es hilfreich, wenn Anwohnende die Möglichkeit haben, sich an der Anlage zu beteiligen. Dies kann beispielsweise über eine Energiegenossenschaft erfolgen. In diesem Modell pachtet eine Betreibergesellschaft die Fläche, wobei die Fläche weiterhin für die landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht. Bei sehr großen Projekten kann eine gemeinsame Projektgesellschaft beispielsweise aus den örtlichen Stadtwerken, Landwirtschaftsbetrieben und Flächeneigentümern, einer Energiegenossenschaft und einem Projektierer hilfreich sein, um alle Interessen zu vertreten.

3.2.3 Diversifikation der Einnahmen landwirtschaftlicher Betriebe

Die im Kontext des Klimawandels zunehmenden Extremwetterereignisse hatten in den vergangenen Jahren große Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Deutschland. Außergewöhnliche Wetterbedingungen wie Dürre oder Starkregen haben häufig negative Folgen für den landwirtschaftlichen Ertrag und verschlechtern damit die wirtschaftliche Situation der Betriebe. Einnahmen aus Agri-PVA sind weitestgehend unabhängig vom Agrarertrag und bieten eine zusätzliche Einnahmequelle für Landwirte. Weiterhin erhöht sich die Planungssicherheit, da Solarerträge weniger volatil sind als Erträge aus dem landwirtschaftlichen Anbau. Folglich können PV-Anlagen eine interessante Möglichkeit zur Diversifikation der Einnahmen darstellen, die vor dem Hintergrund zunehmender Klimaveränderung an Bedeutung gewinnt.

Einnahmendiversifikation durch Betrieb einer Solaranlage

Ob und in welchem Ausmaß eine Einnahmendiversifikation in Folge von Agri-PV zu erwarten ist, hängt insbesondere von dem gewählten Geschäftsmodell und der damit einhergehenden Akteurskonstellation ab. Ist der Landwirtschaftsbetrieb Besitzer des Lands sowie Investor und Betreiber der Solaranlage, kann der produzierte Strom für den Eigenverbrauch genutzt werden oder unter bestimmten Voraussetzungen in das Netz eingespeist werden (siehe 3.6). Im Falle des Eigenverbrauchs erzielt der Landwirtschaftsbetrieb keine zusätzlichen Einnahmen, sondern erfährt eine Reduktion seiner Ausgaben für den Strombezug. Entscheidet er sich dazu, einen Teil oder den gesamten Strom zu verkaufen und ins Netz einzuspeisen, erhält er eine Vergütung, die sich nach der Menge des verkauften Stroms richtet.

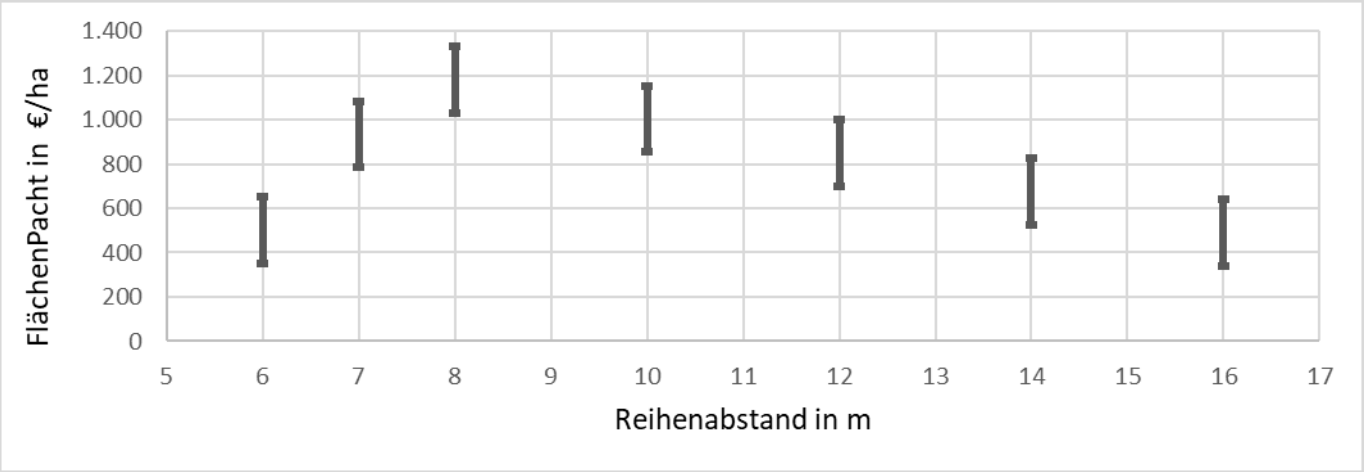
Einnahmendiversifikation bei Verpachtung an Solarparkbetreiber

Es ist nicht zwingend notwendig, dass der Landwirtschaftsbetrieb der Investor und Betreiber der Solaranlage ist. Stattdessen ist es in der Umsetzung möglich, dass der Solarparkbetreiber dem Landwirt eine Pacht zahlt.

Untersuchungen im Projekt »Nachhaltige Kombination von bifacialen Solarmodulen, Windenergie und Biomasse bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Flächennutzung und Steigerung der Artenvielfalt« unter Leitung des Fraunhofer IMW in Leipzig (Fraunhofer IMW 2021) haben ergeben, dass die Höhe der zu erwartenden Pacht bei EEG-förderfähigen Anlagen insbesondere von den Reihenabständen zwischen den Solarmodulreihen abhängt. Die Höhe der in etwa zu erwartenden Pachtzahlungen in Abhängigkeit von den Reihenabständen vertikal aufgeständerter Anlagen ist in Quelle: (Fraunhofer IMW 2021)

Abbildung 6 dargestellt. Die höchste Pachtzahlung lassen sich bei einem Reihenabstand von etwa 8 Meter erwarten. Dieser Abstand ist jedoch für den landwirtschaftlichen Betrieb aufgrund der häufig verwendeten Arbeitsbreiten in der Regel nicht optimal. Realisierte Projekte haben einen Reihenabstand von 10 m. Damit ist die Bearbeitung sowohl mit 9 Meter, 2 x 4,5 Meter und 3 x 3 Meter möglich. Für größere Reihenabstände sinkt der Energieertrag je Hektar und somit auch die Einnahmen. Zusätzlich steigen die Kosten durch Kabel und Umzäunung. Demzufolge ist bei heute üblicher EEG-Vergütung ein Pachtmodell für z. B. 30 Meter Reihenabstand ökonomisch nicht umsetzbar.

Bei den hochaufgeständerten Anlagen muss der Stützenabstand entsprechend der Arbeitsbreite angepasst werden. Für diese Anlagenkategorie liegen die Stromgestehungskosten derzeit in der Regel noch deutlich über der heutigen EEG-Einspeisevergütung, sodass ein Pachtmodell zurzeit nicht angeboten werden kann. Eine Ausnahme bildet der Beerenanbau, Pachtzahlung in diesem Sektor sind dem Autorenteam jedoch nicht bekannt.



Quelle: (Fraunhofer IMW 2021)

Abbildung 6: Mögliche Spanne der Pachteinnahmen in Abhängigkeit vom Reihenabstand für Anlagen mit senkrechter fixer Aufständerung unter der Annahme der heutigen EEG-Einspeisevergütung. Ein Reihenabstand von ca. 30 m ist ökonomisch nicht umsetzbar.

Bei getrennter Landnutzung übersteigt die Pachtzahlung je Hektar mit derzeit bis zu 3000 €/Jahr deutlichen den durchschnittlichen Gewinn aus landwirtschaftlichem Betrieb (Workshops mit Landwirtschaftsbetrieben sowie PV Projektieren 2021). Dies führt teilweise auch zu hohen Pachterwartungen der Landbesitzenden auch im Rahmen der landwirtschaftlichen Nutzung und sollte als Aspekt bei der Formulierung von politischen Rahmenbedingungen zur Genehmigung von PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt werden.

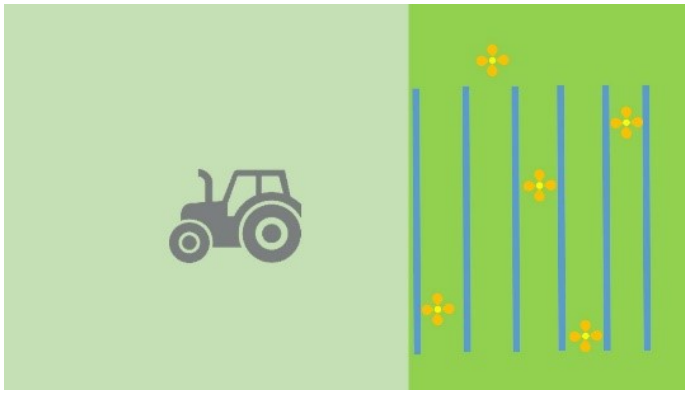


Abbildung 7: Im BiWiBi-Projekt erarbeitete Flächennutzungsvariante, die auch die Bearbeitung mit sehr breiten Maschinen für die Landwirtschaft zulässt und gleichzeitig Raum für die Energieerzeugung und Biodiversitätsförderung gibt.
Quelle: (Fraunhofer IMW 2021)

Zielkonflikt zwischen Reihenabstand und Erträgen aus Solarbetrieb

Für die Beibehaltung der gewohnten landwirtschaftlichen Arbeitsabläufe, insbesondere der Verwendung breiter Landmaschinen z. B. für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, ist ein möglichst großer Reihenabstand oder ein Stützenabstand von bis zu 40 Metern notwendig. Das ist wirtschaftlich unter heutigen Rahmenbedingungen nicht attraktiv. Eine Anwendungsvariante für eine Agri-PVA in einem konventionellen Betrieb ist in Abbildung 7 dargestellt. Bei diesem Konzept wird berücksichtigt, dass für die Biodiversitätsförderung 10 Prozent bis 20 Prozent der heute genutzten Ackerfläche bereitgestellt werden sollte (Hötger et al. 2018).

Weltweit wird eine Ausweitung der Schutzgebietsflächen auf 30 % der Erdoberfläche gefordert (CBD 2020). Eine anteilige Flächenverwendung könnte zukünftig im Rahmen der EU-Förderung an Bedeutung gewinnen. Hierbei würde eine Blühfläche mit der PV-Anlage kombiniert werden. Trotz der Aufwendungen für die Anlage und Pflege der Blühfläche kann hier langfristig ein positiver Finanzertrag erwirtschaftet werden. Eine solche Anlage wäre im Sinne der DIN SPEC 91434 nur dann eine Agri-PVA, wenn beispielsweise Blühflächen als "landwirtschaftliche Nutzung" eingestuft wird und ein entsprechender Flächenanteil zur Verfügung steht. Dies wäre z. B. mit der senkrechten Aufständerung oder mit Trackern gegeben. Eine Förderung von Blühflächen z. B. im Rahmen der EU-GAP Förderung über die gesamte Nutzungsdauer der PV-Anlage wäre vorteilhaft, momentan erfolgt die EU-Förderung allerdings nur über 5 Jahre, eine Weiterführung der Förderung darüber hinaus ist nicht automatisch gesichert.

3.2.4 Mehrfache Landnutzung

Die Investition in Agri-PV lässt sich insbesondere dann rechtfertigen, wenn der Flächenertrag in der kombinierten Nutzung höher ist als die Bewirtschaftung zweier getrennter Flächen für Landwirtschaft und Stromproduktion und der Mehraufwand in einem vertretbaren Rahmen bleibt. Somit muss die zentrale Frage geklärt werden, wie sich der landwirtschaftliche Ertrag bei einer kombinierten Nutzung ändert und wie hoch der Finanzertrag beim Betrieb einer Agri-PVA im Vergleich zu einer FF-PVA ist. Ob die Agri-PV ein wirtschaftlich sinnvolles Konzept ist hängt ferner von folgenden Randbedingungen ab: Der Flächenverfügbarkeit, der Menge an landwirtschaftlichen Produkten und Vorgaben zur Produktionsweise sowie der Menge und Art der Energie, die auf diesen Flächen bereitgestellt werden sollen. In der Praxis ist ebenfalls die Frage der Akzeptanz einer Agri-PVA im Vergleich zu einer FF-PVA und die Genehmigungsfähigkeit auf den Betriebseigenen Flächen relevant.

Ob die Landnutzungsintensität in der kombinierten Nutzung höher ist als bei einer separaten Bewirtschaftung, lässt sich über das „Land Equivalent Ratio“(LER) beschreiben. Das Konzept wurde eingeführt, um den gemeinsamen Anbau verschiedener Kulturen auf einem Stück Land zu beschreiben (Mead und Willey 1980), später dann auch auf die gemeinsame Landnutzung zum Anbau von Pflanzen, Energiebereitstellung und Biodiversitätsförderung übertragen (Schneider 2020) (Trommsdorff et al. 2020). Im Folgenden wird die Me-

thode beschrieben und die Aussage des Wertes diskutiert. Dabei wird das Verhältnis von dem Ertrag (Geld, Energie oder z. B. Gewicht von Biomasse) mit kombinierter Nutzung (mit Agri-PV, Y) und dem Ertrag separater Nutzung (ohne Agri-PV, S) gebildet. Die Verhältnisse werden für die jeweiligen Nutzungsarten summiert. Die Qualität der Agrarerzeugnisse wird bei dieser Betrachtung nicht zwingend berücksichtigt, was im Einzelfall zu einer Fehlaussage führen kann. Wenn ein wesentlicher Teil der Ernte die nötigen Qualitätsanforderungen nicht erfüllt, so kann z. B. statt dem Gewicht der finanzielle Ernteertrag in separater oder kombinierter Nutzung betrachtet werden. Außerdem kann der Biodiversitätsgewinn (beispielsweise durch Blühstreifen an der Unterkonstruktion oder auf einzelnen Streifen) mit einkalkuliert werden. Der so entstehende Mehrwert ist finanziell schwierig zu bewerten, sofern keine Fördermittel in Anspruch genommen werden können. Der durch die Aufständerung und sonstige Infrastruktur unbenutzbar gewordene Flächenanteil ist berücksichtig, wenn Agrar- und Energieerträge und die Wirkung der Biodiversitätsförderung in Relation gesetzt werden,

$$LER = \frac{Y_{PV}}{S_{PV}} + \frac{Y_{Agrar}}{S_{Agrar}} + \frac{Y_{Biodiv.}}{S_{Biodiv.}}$$

LER Land Equivalent Ratio (Landnutzungsintensität)
Y Ertrag in kombinierter Nutzung
S Ertrag in separater Nutzung

Wenn das errechnete LER größer als eins ist, impliziert dies, dass die Nutzungsintensität einer integrativen Bewirtschaftung mit Agri-PV höher ist als bei einer separaten Flächennutzung durch z. B. Landwirtschaft und Solarenergiebereitstellung. Die Wirkung der Biodiversitätsförderung lässt sich nicht genau vorhersagen und nur ungenau beziffern. Dennoch ist eine Bewertung insbesondere für die Kombination von Biodiversitätsförderung und PV relevant. Die Kombination von PV-Kraftwerken und Biodiversitätsförderung war Gegenstand mehrerer Studien und Konzeptentwicklungen (z. B. Fraunhofer IMW 2021; Peschel et al. 2019; DBU 2021; Neumann 2020). Dieser Aspekt ist im Kontext einer gemeinsamen Nutzung von Land im Spannungsfeld Landwirtschaft, Naturschutz und Energiebereitstellung relevant. Da auch Agri-PVA einen Eingriff im Sinne des Naturschutzrechtes darstellen, können entsprechende Ausgleichsmaßnahmen gefordert werden. Wenn im Falle einer Agri-PVA, also der gemeinsamen Nutzung für PV und Landwirtschaft auf gesonderter Fläche eine Naturschutzrechtliche Ausgleichsmaßnahme gefordert wird und dadurch evtl. an anderer Stelle Fläche nicht für Landwirtschaft genutzt werden kann, verschlechtert es die Bilanz der gemeinsamen Flächennutzung. Insbesondere wird diskutiert, wie PV Kraftwerke gestaltet werden können, ohne dass ein naturschutzrechtlicher Ausgleich auf einer anderen Fläche geschaffen werden muss. Dies könnte auch für die Genehmigungszeit von Bedeutung sein, da eine Notwendigkeit von Ausgleichsmaßnahmen nicht mehr extra geprüft werden müsste, sondern auf der Fläche des PV-Kraftwerkes realisiert würde. Somit könnte der Ausbau erneuerbarer Energieerzeugung schneller erfolgen.

Tabelle 4: Berechnung des LER bei verschiedenen relativen Erträgen der Landwirtschaft und PV ohne Betrachtung von Biodiversitätseffekten. Annahme: 10 Prozent Flächenverlust durch die Aufständerung

PV (rel. Ertrag)	Landwirtschaft (rel. Ertrag)								
	Excl. A_N	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %	110 %	120 %	130 %
	Incl. A_N	54 %	63 %	72 %	81 %	90 %	99 %	108 %	117 %
Senkrecht 29 %		83 %	92 %	101 %	110 %	119 %	128 %	137 %	146 %
Hochauf-geständert 60 %		114 %	123 %	132 %	141 %	150 %	159 %	168 %	177 %

Der rel. PV Ertrag bezieht sich auf eine Fläche der Größe, auf der die Agri-PVA steht, inklusive der Fläche A_N, die wegen des Aufständerungssystems nicht landwirtschaftlich genutzt werden kann.

Der rel. landwirtschaftliche Ertrag bezieht sich auf eine Fläche der Größe, die zur landwirtschaftlichen Bearbeitung unter bzw. zwischen den Solarmodulen zur Verfügung steht, in Zeile 1 exklusive, in Zeile 2 inklusive der Fläche A_N, die wegen des Aufständerungssystems nicht landwirtschaftlich genutzt werden kann.

Grundlagen / Annahmen der Berechnung sind folgen Energieerträge pro Hektar und Jahr sowie Flächenaufteilung:

- 1,55 MWh PV flächenoptimiert
- 0,45 MWh senkrecht
- 0,92 MWh hochaufgeständert
- 10 Prozent Flächenverlust für PV Aufständerung, demnach 90 Prozent landwirtschaftlich genutzte Fläche.

So ergibt sich als Beitrag für den relativen Ertrag der separaten zur gemeinschaftlichen Nutzung für die senkrechte PV ca. 29 Prozent (0,45 / 1,55) und für die hochaufgeständerte PV ca. 60 Prozent (0,92 / 1,55). Bei 80 Prozent spezifischem landwirtschaftlichen Ertrag auf 90 Prozent der Fläche ergibt sich ein Beitrag für den Landwirtschaftsertrag von 90 Prozent * 80 Prozent = 72 Prozent, mit 29 Prozent Solarertrag durch eine senkrechte Agri-PVA ergibt sich der LER= 72 Prozent +29 Prozent = 101 Prozent (siehe auch Tabelle 4 Spalte 80 % und Zeile senkrecht 29 %).

Zu beachten ist, dass das LER eine dimensionslose Größe ist. Diese ist nicht als Kenngröße zur Bestimmung eines finanziellen Gewinns geeignet.

Beispielsweise wurde bei der Versuchsanlage in Heggelbach im Jahr 2018, bei geringem Niederschlag, eine Steigerung der Landnutzung von 86 Prozent im Vergleich zur separaten ackerbaulichen Bewirtschaftung bestimmt. (Fraunhofer ISE 12.04.2019) Dieser Angabe liegt zu Grund, dass der spezifische landwirtschaftliche Ertrag in etwa gleich hoch wie bei der Referenzfläche ist (z. B. Kartoffeln 103 Prozent in 2018) und für die PV 83 Prozent des Ertrages einer Referenzfläche angesetzt wird. Im Beispiel in Tabelle 4 wird hingegen nur 60 Prozent für ein hochaufgeständertes System und 29 Prozent für ein senkrechtes System angesetzt. Weiterhin ist das Jahr 2018 eine Momentaufnahme und der relative landwirtschaftliche Ertrag war im Jahr 2017 mit 82 Prozent der Kartoffelernte im Vergleich zu Referenzfläche deutlich geringer, so dass für Heggelbach 2017 eine Steigerung der Landnutzung von 60 Prozent angegeben wurde. (Fraunhofer ISE 21.11.2017) Zur Einordnung solcher Zahlen ist es hilfreich auch die absoluten Werte und Randbedingungen zur Messung zu kennen. Im Beispiel der Anlage Hegelbach sind die Absolutwerte der PV öffentlich zugänglich. (Fraunhofer ISE 2021a) Details zum landwirtschaftlichen Anbau jedoch nicht.

In einer Metastudie der Universität Hohenheim wurde die Änderungen im Ertrag in Bezug auf Agri-PVA untersucht. (Pataczek et al. 2021) Ein klares Bild ergibt sich nur im Beerenanbau, dort wurde im Mittel bei leichter Verschattung (20 Prozent) ein Trend zur Ertragssteigerung beobachtet. Bei Leguminosen, Mais, Kartoffeln, Getreide und Blattgemüse wurde auch bei leichter Verschattung häufiger ein Ertragsrückgang beobachte. Bei Fruchtgemüse und Obst gibt es einen Trend von Ertragssteigerung bei leichter Verschattung zu Ertragsrückgang bei höherer Verschattung (60 Prozent). Die Streuung bei den Studien ist sehr hoch, teilweise ist das genaue Versuchsdesign nicht bekannt, insbesondere ist auch nicht immer klar, inwiefern Randeffekte berücksichtigt wurden. Somit ist die statistische Signifikanz nicht einschätzbar. Bei der Angabe der Verschattung ist nicht immer nachvollziehbar, wie diese berechnet oder gemessen wurde und wie sie sich evtl. über die Jahreszeit unterscheidet. Wird ein Vergleichswert zwischen dem Ertrag mit und ohne PV angegeben ist nicht immer ersichtlich, wie der absolute Ertrag im Vergleich zum langjährigen Mittel war und wenn es deutliche Abweichungen gab, worauf diese zurückzuführen sind.

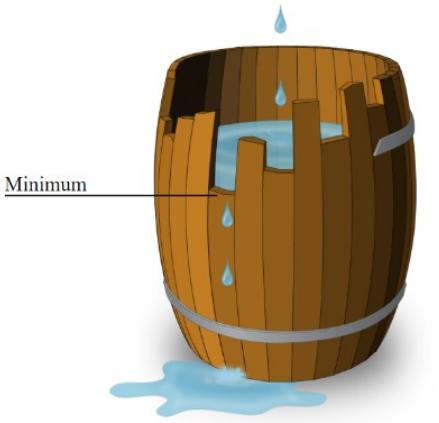


Abbildung 8: Die Minimumtonne als Illustration des Minimum Gesetzes. Ein Mehrertrag in der Landwirtschaft ist nur dann zu erwarten, wenn der Faktor durch die Agri-PV positiv beeinflusst wird, der das Wachstum der Pflanze limitiert. Das kann z. B. Temperatur oder Bodenfeuchte sein. Wird das Wachstum durch Licht limitiert, ist kein Mehrertrag unter einer Agri-PV-Anlage zu erwarten

Quelle: DooFi, Public domain, via Wikimedia Commons

Eine Agri-PV-Anlage wirkt hauptsächlich über die Verschattung und Änderung der Windverhältnisse auf den darunter bzw. dazwischenliegenden Bereich. Eine Verschattung bewirkt weniger Verdunstung über Boden und Pflanzen. Nach dem Minimumgesetz gibt es immer einen Faktor, der das Wachstum einer Pflanze limitiert, das kann z. B. die Verfügbarkeit von Licht, Wasser oder Nährstoffe sein. Der Photosynthese Prozess wird neben der Licht- und CO_2-Verfügbarekeit insbesondere auch durch die Temperatur beeinflusst. Wird ein optimaler Temperaturbereich überschritten oder ist die Wasserverfügbarkeit limitierend, so kann es sein, dass der landwirtschaftliche Ertrag aufgrund der Verschattung einer Agri-PVA (und damit höhere Wasserverfügbarkeit und geringere Temperatur) höher ist als im unverschatteten Bereich (Barron-Gafford et al. 2019; Wydra 2021). Dies kann insbesondere auf südlich gelegene Länder zutreffen. In Deutschland ist aufgrund des anthropogenen Klimawandels mit häufigeren Hitzewellen, höherer Durchschnittstemperatur sowie stärkerer Dürre zu rechnen. (LFULG 2021) Deshalb könnte es auch in Deutschland zukünftig mehr Konstellationen geben, bei denen eine Agri-PVA zu einem landwirtschaftlichen Mehrertrag führt bzw. die Reduktion im Ertrag geringer ist als heute.

Ob eine Agri-PVA einen negativen oder positiven Einfluss auf Quantität und/oder Qualität des Ertrags hat hängt somit von den individuellen Bedingungen und Anforderungen für die entsprechende Anbaukultur ab. Dem entsprechend bedarf es einer genauen Abwägung, welches Anbaukulturen für die Agri-PV unter welchen Klimabedingungen geeignet sind und ein sinnvolles Verhältnis von Aufwand zu Ertrag liefern.

3.3 Vor- und Nachteile hinsichtlich Energieumwandlung, landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Nutzung

3.3.1 Energieumwandlung

Beim Pflanzenwachstum wird Solarenergie chemisch gespeichert, bei der Photovoltaik wird Solarenergie in elektrischen Strom umgewandelt. Bei diesen Prozessen gibt es jeweils Umwandlungsverluste. Der Wirkungsgrad der Photosynthese ist mit 1 bis 4 Prozent deutlich geringer als jener von PV-Modulen, der 15 bis 23 Prozent beträgt. Dadurch ist die Energieintensität, der auf einer Fläche gewachsenen Pflanzen geringer als die elektrische Energie der Stromproduktion mit Solarmodulen auf einer gleich großen Fläche (Blankenship et al. 2011). Allerdings muss bei einer Gesamtbetrachtung die Wertschöpfungskette einbezogen werden und berücksichtigt werden, dass Pflanzen flexibler als elektrischer Strom genutzt werden können.

Hinsichtlich der zu präferierenden Solarmodultechnologie lässt sich festhalten, dass Module auf Basis von kristallinem Silizium den Markt dominieren. Standard ist derzeit noch ein Modulaufbau mit einer Rückseitenfolie, so dass nur die Vorderseite optisch aktiv ist (monofaziale). Solarmodule mit transparenter Modulrückseite (Glas-Glas Module) und bifaciale Zellen sind besser für die Agri-PV geeignet, da mehr Licht durch das Modul auf die Anbaufläche fällt und insbesondere bei hoher Aufständerung oder senkrechter Ausrichtung ein höherer Stromertrag erreicht werden kann. Durch die Verwendung der Glas-Glas-Modultechnologie wird auch die Haltbarkeit der Module im Vergleich zur Glas-Folie erhöht. Fortschritte in der Zell- und Modulfertigung haben dazu geführt, dass heute wesentlich mehr Hersteller bifaciale Module anbieten als vor 10 Jahren. Bei Dünnschichtmodulen z. B. auf Basis von amorphem Silizium, Cadmium-Tellurid, Kupfer-Indium-Diselenid oder auch organischen Materialien kann die Lichtdurchlässigkeit homogener sein, allerdings gibt es weniger Hersteller für diese Modultechnologie und die mittleren Preise sind höher. Kategorie-1-Anlagen und Kategorie-2-Anlagen haben jeweils ihre individuellen Vor- und Nachteile, die stark von dem Anwendungskontext beeinflusst werden. Grundsätzlich kann man sagen, dass bei Kategorie 1 höhere Kosten und ein höherer Flächenertrag erreicht werden kann als bei Kategorie 2. Beide Kategorien können um ein Tracking-System ergänzt werden, welches ein Nachführen der Module mit dem Sonnenstand oder nach Lichtbedarf für die Pflanzen ermöglicht. (siehe Kap. 3.1.1 und 0) Der Vorteil hierbei ist eine optimale Ausnutzung der Strahlungsenergie. Nachteile solcher Tracking-Systeme sind der höhere Wartungsaufwand und die höheren Investitionskosten.

3.3.2 Landwirtschaftliche Nutzung

Kategorie 1: Hochaufgeständerte Systeme

Die Kombination von Solarmodulen und Anbaukulturen muss sorgfältig aufeinander abgestimmt werden, um bestmögliche Synergieeffekte zu erzielen. Im hochaufgeständerten System sind die zentralen Parameter die Schattentoleranz und Wuchshöhe der Anbaukulturen sowie die Durchfahrtsbreite und -höhe der Landmaschinen. Da die Betriebsabläufe der Ackerbaubetriebe in der Regel auf ein gleichmäßiges Pflanzenwachstum ausgerichtet sind, sollte eine homogene Verteilung der Verschattung von Anbaupflanzen angestrebt werden. Im Rahmen der hochaufgeständerten Anlagen kann dies durch eine Vergrößerung der Reihenabstände und eine West- oder Ost-Ausrichtung der Module erreicht werden.

In der Versuchsanlage des Fraunhofer ISE in Heggelbach wurden unter hochaufgeständerten, schräg ausgerichteten Modulen Winterweizen, Sellerie, Kartoffeln und Kleegras angebaut. Ebenfalls in einer hochaufgeständerten Versuchsanlage mit einem 1-Achsiges-Nachführungssystem wurden Chinakohl, Lollo Rosso und Kartoffeln in Weihenstephan angebaut.

Weiterhin beginnen erste Betriebe Agri-PVA im Bereich der Sonderkulturen, u.a. im Beeren- und Obstanbau, zu nutzen. So verfolgt die BayWa r.e. mit weiteren Partnern das Konzept der Agri-PV in Kombination mit Himbeeren, Johannisbeeren, Heidelbeeren, Brombeeren, Erdbeeren und plant zukünftige Pilotprojekte gemeinsam mit Apfel- und Birnenerzeugern. Beim Obstanbau ersetzt die Agri-PVA teilweise ein Hagelschutznetz, wodurch auf der Betriebsseite Kosten gespart werden können. Eine Internationale Übersicht ist in (Weselek et al. 2019) veröffentlicht.

Kategorie 2: Bodennahe Systeme

Darüber hinaus können Agri-PVA auch großflächig auf Grünland, Ackerland und Weideflächen genutzt werden. Diese Anwendung wurde beispielweise schon mit dem senkrecht aufgeständerten bifazialen Agri-PV-System in Donaueschingen und Dirmingen zur Produktion von Heu und Silage erprobt. Erste ackerbauliche Erfahrungen zwischen Reihen von vertikaler Agri-PV konnten im Jahr 2020 auf einer kleinen Testanlage der Firma Wien Energie in Österreich (betreut durch BOKU Wien, Prof. Wagentristl) gesammelt werden. Für den Anbau von Sommergerste wurde eine Ertragssteigerung im Vergleich zur Kontrolle von drei Prozent berichtet, (Höckner 2020) allerdings sind die Schwankungen und Randeffekte so hoch, dass dies kein statistisch signifikantes Ergebnis ist**.** Im Jahr 2021 soll im Saarland Baubeginn für die erste kommerziell betriebene vertikale Agri-PVA mit ackerbaulicher Nutzung auf ca. 14 Hektar sein (Next2Sun). Auch auf Gut Krauscha bei Görlitz ist ein Projekt auf 48 Hektar angekündigt (Sächsische Zeitung 2021). Im Projekt Biodiv-Solar der Hochschule Anhalt soll die ackerbauliche Nutzung in Kombination mit dem vertikalen Agri-PV-System erprobt werden und z. B. Soja, Winterdurum und Körnerhirse getestet werden (Dullau 2021).

Ein anderes System stellen bodennahe Agri-PV-Systeme mit einachsigen Trackern dar, welche immer nach der Sonne ausgerichtet werden. In einer solchen Anlage in Althegnenberg wurden erste Erfahrung mit Mais gesammelt. (Christoph Feyer 2021; Öko Haus 2020) Hafer, Ackerbohnen und Erbsen sowie Dinkel sind nach Einschätzung des Landwirts möglich, während er Sojabohnen nicht anbauen möchte.

Bei bodennahen Anlagen ist der Bereich in unmittelbarer Nähe zu den Modulreihen immer mit einer höheren Verschattung verbunden als der Bereich in der Mitte zwischen den Modulreihen. Wie sehr dies das Pflanzenwachstum beeinflusst, lässt sich nicht pauschal sagen, sondern ist individuell von Art zu Art unterschiedlich.

3.4 Natur- und umweltschutzfachliche Aspekte von Agriphotovoltaik

Agri-PV-Anlagen haben, wie andere PV-Freiflächen-Anlagen auch, gewisse Auswirkungen auf den Boden, den Naturhaushalt und das Mikroklima. Die Wirkmechanismen der verschiedenen Kategorien von Agri-PV wurden bisher nicht systematisch untersucht oder untereinander verglichen. Daher können die natur- und umweltschutzfachlichen Auswirkungen zum derzeitigen Zeitpunkt nur abgeschätzt werden. Dies geschieht basierend auf den vorliegenden Erfahrungswerten der letzten Jahre seit Errichtung der ersten Pilotanlagen.

3.4.1 Verdichtungen

Errichtung und Rückbau der Agri-PV-Anlage

Bei der Errichtung von Agri-PVA kommt es durch notwendige Baufahrzeuge zu einer Verdichtung des Bodens. Maßgeblich hierfür verantwortlich sind Kettenfahrzeuge, die zum Rammen der Pfähle in den Untergrund verwendet werden. Der verwendete Kettenantrieb ist dabei grundsätzlich als relativ bodenschonend einzuschätzen. Weitere Verdichtungen werden durch die Fahrzeuge auf der Fläche bewirkt, deren Aufgabe der Transport der Gestell-Stangen und PV-Module an die vorgesehenen Positionen auf der Fläche ist. Bei diesem Arbeitsschritt, welcher per LKW oder Traktor erfolgt, könnte die Verdichtung mit reduziertem Reifendruck oder kleineren Fahrzeugen reduziert werden. Die bisherigen vertikalen Agri-PV-Systeme von Next2Sun wurden auf Dau-

ergrünland errichtet, das durch die stabile Grasnarbe sehr widerstandfähig gegen Verdichtungen ist. Dadurch traten in diesen Fällen keine sichtbaren Verdichtungen (z. B. tiefe Reifenspuren) auf. Ob es dennoch zu gewissen Verdichtungen im Boden kam, wurde über die Sichtprüfung hinaus nicht näher untersucht. Bei der Errichtung von Agri-PVA auf Ackerflächen sollten besondere Vorkehrungen gegen Verdichtungen und Spurrillen vorgenommen werden. Möglich sind beispielsweise Gummimatten (als Form einer Baustraße), die auf den (häufigen) Fahrwegen verlegt werden. Dies wurde bei der Errichtung der Agri-PVA in Heggelbach (Fraunhofer ISE) umgesetzt. In Althegenberg wurde kein besonderer Schutz vor Verdichtung vorgenommen, Probleme deswegen sind nicht bekannt. (Steber 2021) Bei einer Anlage der KU Leuven wurde jedoch von Problemen aufgrund von Verdichtung berichtet, in diesem Fall wurde bei regnerischem Wetter gebaut und keine Schutzmaßnahmen getroffen. (Reher 2021)

Grundsätzlich sollten für die Errichtung von Agri-PVA nach Möglichkeit trockene und stabile Bodenverhältnisse genutzt werden. Deshalb soll möglichst keine Befahrung der Fläche mit Baumaschinen nach Regenfällen erfolgen. Diese Anforderung kann jedoch in der Praxis schwierig umzusetzen sein, da Installationsbetriebe in der Regel an feste Terminpläne für die Errichtung gebunden sind. Dennoch hat eine Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen hohe Priorität. Beim Bau sollen daher unbedingt alle vorsorglichen Maßnahmen zur Reduzierung der Bodenverdichtung ergriffen werden. Sollte dies bei schlechter Witterung nicht ausreichen, muss im Zweifelsfall ein temporärer Baustopp erfolgen. Nicht vermeidbare leichtere Verdichtungen können in den Folgejahren gezielt mechanisch oder mit pflanzenbaulichen Mitteln (mehrjähriges Kleegras, tiefwurzelnde Pflanzen wie Luzerne) beseitigt werden.

Bei der Errichtung der Anlage kommt es im Laufe des Baus zu mehreren direkten Eingriffen in den Boden: Hierbei handelt es sich neben dem Rammen der Stützen um Baggerarbeiten zum tiefen Verlegen der Kabel von einer Reihe zur Nächsten (nur ein bis wenige Male je nach Reihenlänge nötig). Ebenso muss (bei größeren Anlagen z. B. > 500 kWp) von der zu errichtenden Trafostation (etwa in der Mitte der Anlage, wenige Quadratmeter Fläche mit Betonfundament) das Netzanschlusskabel in einem Graben bis zum Netzverknüpfungspunkt (i.d.R. weit außerhalb der Fläche) verlegt werden. An allen Stellen der Baggerarbeiten wird die Bodenstruktur auf Schaufelbreite stark beeinträchtigt (weil durchmischt in bis zu einem Meter Tiefe).

Beim späteren Rückbau der Anlage nach zwanzig bis dreißig oder mehr Jahren müssen prinzipiell fast alle Arbeiten in umgekehrter Reihenfolge erneut ausgeführt werden. Daher kommt es voraussichtlich hierbei erneut zu den oben beschriebenen Beeinträchtigungen.

Die wesentlichen bisherigen Erfahrungen für senkrecht aufgeständerte Agri-PVA beziehen sich auf Anlagen im Grünland. Erst im Laufe des Sommers 2021 wird im Saarland die erste größere senkrecht aufgeständerte Agri-PVA auf einem Ackerstandort realisiert. Die dort gemachten Erfahrungen können für Folgeprojekte genutzt werden.

Bewirtschaftung der Agri-PV-Anlage

Im Rahmen der Bewirtschaftung sind möglicherweise partiell erhöhte Verdichtungen zu erwarten, da sich die Fahrten der Traktoren und Erntemaschinen auf gewisse Spuren konzentrieren werden. Die dadurch auftretenden lokal begrenzten Verdichtungen sind mit Maßnahmen des »Controlled Traffic« (permanente Fahrspuren, Regelfahrspuren) zu vergleichen und somit in der Landwirtschaft nicht gänzlich unüblich. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2014) Neben den Spuren mit etwas stärkerer Verdichtung durch die häufigere Befahrung gibt es im Gegenzug auch weite Bereiche mit deutlich reduzierter Befahrung. Durch »Controlled Traffic« kann sich die Infiltrationsleistung, Wasserverfügbarkeit und Durchwurzelbarkeit der Böden verbessern, weil sich die Bodenverdichtungen auf die Fahrspuren beschränken. (Latsch und Anken 2020)

3.4.2 Wasserhaushalt

Je nach Kategorie der Agri-PV-Anlage entsteht eine unterschiedlich starke zusätzliche Beschattung der Fläche. Dies hat den grundsätzlichen Effekt zufolge, dass die Verdunstung von Wasser in Boden und Pflanzen (Evapotranspiration) abnimmt. Im Detail gibt es hier je nach Anlagentyp deutliche Unterschiede bei der Ausprägung der Beschattung. Weiterhin ist die Ausprägung der Evapotranspiration auch von der Tageszeit abhängig. Bei den vertikalen Agri-PVA mit in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Reihen zeigt sich beispielsweise eine starke Beschattung der landwirtschaftlich genutzten Bereiche in den Morgen- und Abendstunden. Zur Mittagszeit trifft die Sonneneinstrahlung jedoch fast ungehindert auf die gesamte Fläche. Erfolgt die Aufstellung in Ost-West Reihen gibt es stets mehr Schatten auf der Nordseite der Modulreihe.

Eine verringerte Verdunstung aus dem Boden führt zu einem feuchteren Boden und somit folglich zu einer höheren Wasserverfügbarkeit für die Kulturpflanzen. Hierzu existieren leider kaum Forschungen, weil die Forschungsfrage eines Vorteils durch Beschattung von landwirtschaftlichen Kulturen bisher keine Praxisrelevanz hatte. Es wurde auch noch nicht untersucht, bis in welche Bodentiefen dies zu höherer Bodenfeuchtigkeit führt. Hierzu laufen allerdings derzeit Messungen im vertikalen Agri-PV-Solarpark in Donaueschingen. Vergleichbare wissenschaftliche Untersuchungen - allerdings nicht bei Agri-PV, sondern normalen Freiflächen-PV-Anlagen - werden aktuell von der HTW Dresden durchgeführt. Die bisherigen Zwischenergebnisse zeigen, dass eine Beschattung durch PV-Module in der Vegetationsperiode zu einer höheren Bodenfeuchtigkeit führt (in 10cm Tiefe, Messdaten bisher nur bis Mitte April 2021 veröffentlicht). (Feistel et al. 2021) Erste Praxiserfahrungen und Erhebungen im Grünland (vertikale Agri-PV) zeigten im Jahr 2020 einen höheren TM-Ertrag zwischen den Modulreihen als auf der Referenzfläche (Ergebnisse wurden nicht wissenschaftlich veröffentlicht). (Hildebrand 22.07.20) Auch für die hochaufgeständerte Agri-PVA in Heggelbach wurde im trockenem Sommer 2018 ein höherer Ertrag bei der Kartoffelernte im Vergleich zu den Vorjahren berichtet. (Fraunhofer ISE 21.11.2017, 12.04.2019) In beiden Fällen wird die höhere Bodenfeuchtigkeit insbesondere in heißen und trockenen Jahren als entscheidender Vorteil für das Pflanzenwachstum vermutet. Der ergänzende, potenziell für einige Kulturen positive Einfluss durch die Reduzierung der direkten Sonneneinstrahlung (also beispielsweise Sonnenbrand auf den Blättern) konnte bisher nicht isoliert betrachtet werden. Weitere Untersuchungen sind nötig und teilweise auch schon angelaufen.

Je nach Anlagentyp einer PV-Freiflächen-Anlage wird die Verteilung des Niederschlages auf der Fläche beeinflusst. Dabei entstehen Bereiche mit reduziertem Niederschlag unter den Modulen sowie Bereiche mit erhöhten/konzentrierten Niederschlagsmengen, den sogenannten Tropfkanten, unterhalb des niedrigen Endes von schräg aufgeständerten Modulen. Dies gilt u.a. für hochaufgeständerte Agri-PVA wie in Heggelbach, da dort ebenfalls PV-Module schräg montiert wurden. Es kann vermieden werden, wenn Wasser gezielt aufgefangen und abgeleitet wird. Auch ist denkbar, dass die Aufständerung genutzt werden kann, um Strukturelemente eines Bewässerungssystems aufzunehmen. Bei dem vertikalen Agri-PV-System ist dieser Effekt zu vernachlässigen, da nur eine marginale Tropfkante direkt unterhalb der senkrechten Module entsteht, welche kaum erhöhte Mengen Niederschlag einbringt. Noch dazu liegt diese Kante außerhalb des landwirtschaftlich bewirtschafteten Bereiches. Bei den vertikalen Anlagen kommt der Niederschlag folglich nahezu unbeeinflusst auf der Fläche an, da die Überbauung weniger als 1 Prozent der Fläche beträgt.

3.4.3 Temperatur

Im Allgemeinen geht man davon aus, dass die Lufttemperatur knapp oberhalb der landwirtschaftlichen Fläche als auch die Bodentemperatur durch eine Agri-PVA beeinflusst werden. Weiterhin wird angenommen, dass durch die Beschattung eine höhere Bodenfeuchtigkeit erhalten bleibt und die Luftbewegungen durch die Anlagen reduziert werden. Allerdings existieren dazu bisher kaum Forschungsergebnisse, die eine Bestätigung oder gar Quantifizierung dieser Annahmen zulassen. Ein Team der HTW Dresden (Feistel et al. 2021) untersucht aktuell die Auswirkungen der Beschattung von schräg aufgeständerten PV-Modulen. Hier wurde in der Vegetationsperiode eine niedrigere Bodentemperatur gemessen (in 10cm Tiefe, Messdaten bisher nur bis Mitte April 2021 veröffentlicht).

Eigene Untersuchungen des Frauhofer imw auf dem vertikalen Agri-PV-Park in Donaueschingen laufen gerade an. Die bisherigen Annahmen gehen von einer gewissen ausgleichenden Wirkung bei der Temperaturentwicklung aus. Dies könnte zu einem leichten Kühleffekt im Sommerhalbjahr führen. Sollte sich dies bestätigen, könnte das durchaus zu Veränderungen beim Pflanzenwachstum führen.

Ein denkbarer Einfluss der veränderten Temperatur auf die Nährstoff-Dynamik im Boden sollte in zukünftige Untersuchungen aufgenommen werden.

3.4.4 Erosion

Bodenerosionen werden primär durch starke Winde und Regenfälle hervorgerufen. Sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Niederschlagsverteilung können von Agri-PVA beeinflusst werden. Dementsprechend gibt es begründete Erwartungen, dass auch die Erosionswirkung von den Solarmodulen beeinflusst wird. So kann es durch die bereits erörterten Tropfkanten zu einer stärkeren Boden-Erosion bei Regenfällen kommen (siehe 3.4.2). Da bei den vertikalen Anlagen keine Tropfkanten entstehen, ist entsprechend nicht von einer verstärkten Erosionswirkung auszugehen. Stattdessen können die bei den vertikalen Anlagen üblicherweise entstehenden ca. ein Meter breiten Pflegestreifen unterhalb der Module (durch den ganzjährigen Gras- und Kräuterbewuchs) sogar zu einer aktiven Reduktion von Boden-Erosion beitragen. Eine beginnende Erosion auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche könnte durch diese streifenförmigen, regelmäßig in der Fläche auftretenden Grünstreifen gebremst werden. Hierbei wäre eine hangparallele Anordnung der Agri-PV-Reihen im Sinne der Erosions-Ausbremsung optimal. Dies ist aus Agro-Forst-Systemen bekannt, welche die Niederschlags- und Winderosion deutlich verringern können. Durch vertikale Agri-PVA wird – nach bisheriger Erfahrung – der Wind teilweise deutlich abgeschwächt. Durch die reduzierte Luftbewegung wird eine geringere Verdunstung vermutet, wenngleich dieser Effekt bisher noch nicht isoliert untersucht wurde. Eventuell lassen sich Erkenntnisse aus Agro-Forst-Systemen übertragen. Wasser- und Winderosion werden vermutlich aufgrund häufiger werdender Extremwetterlagen an Bedeutung gewinnen. (Steininger und Wurbs 2016) Auch bei hochaufgeständerten Anlagen (Kategorie 2) ist eine Beeinflussung des Windes gegeben. Untersuchungen zu den Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum liegen noch nicht vor. Zu bedenken ist auch, dass reduzierte Windgeschwindigkeiten nicht zwangsläufig positive Auswirkungen auf den Anbau haben. So kann die Schädlingsvermeidung bei bestimmten Kulturen (beispielsweise Möhren und Zwiebeln) durchaus von viel Wind profitieren.

3.4.5 Humusbildung

Die für die Aufständerung und Infrastruktur der Agri-PVlage genutzte Teilflächen können nicht aktiv ackerbaulich bewirtschaftet werden. Diese Bereiche werden vermutlich hinsichtlich der Humusbildung profitieren. Wie stark die Erhöhung des Humusgehaltes bei Grünland ausfallen könnte, wurde noch nicht untersucht. Bei ackerbaulicher Nutzung der Reihenzwischenräume (bei vertikalen Anlagen) gibt es Vermutungen, dass sich der Humusgehalt besonders unterhalb der dauerhaften Pflegestreifen (insgesamt also etwa auf 10 Prozent der Gesamtfläche) auf das Niveau von Dauergrünland erhöhen könnte.

3.4.6 Insekten und Bodenorganismen

In Abhängigkeit vom Reihenabstand bleiben speziell bei vertikal aufgeständerten Anlagen durchgehend etwa 10 Prozent der Fläche als Pflegestreifen von einer ertragsorientierten Bewirtschaftung ausgenommen. Diese Flächen sind homogen über das Flurstück verteilt. Anhand von allgemeinen Untersuchungen zu Altgrasstreifen wird angenommen, dass sich die Pflegestreifen sowohl im Ackerbau als auch auf Dauergrünland positiv auf die florale und faunistische Biodiversität – insbesondere von Insekten und Bodenorganismen – auswirken. Es wird eine Wirkung ähnlich zu jener von mehrjährigen Blühstreifen erwartet, sofern die Streifen hinreichend groß sind. (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2020) Allerdings sind die Pflegestreifen bei einer vertikalen Agri-PV-Anlage in der Regel nur 1,0 bis 2,0m breit. Im Projekt BiWiBi wurde eine Verbreiterung dieser Blühstreifen auf 3m auf beiden Seiten der Modulreihen empfohlen, da der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln einen Einfluss auf die Biodiversitätsentwicklung hat (Fraunhofer IMW 2021). Wie groß der Einfluss auf die Biodiversität im Grasstreifen ist, kann pauschal nicht gesagt werden. Er hängt einerseits von Häufigkeit und Art der eingesetzten Mittel, andererseits von Art und Umfang der im Grasstreifen angesiedelten Insekten und Bodenorganismen ab. Zur Frage, ob sich durch die Streifen unterhalb einer Agri-PVA tatsächlich vergleichbare Effekte wie bei mehrjährigen Blühstreifen einstellen, besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Bisher liegen ebenfalls keine Untersuchungen eines möglichen Effektes von Agri-PVA auf Mikroorganismen im Boden vor. Denkbar ist jedoch, dass bei vertikalen Agri-PVA auch positive Auswirkungen auf Bodenorganismen erzielt werden könnten, insbesondere durch die oben angesprochene höhere Bodenfeuchtigkeit und die reduzierte Bodenverdichtung unter den Pflegestreifen (vgl. Ausführungen zu »Controlled Traffic« in Kapitel 1.4.1).

3.4.7 Blendwirkung

Die mögliche Blendwirkung von PV-Anlagen muss grundsätzlich untersucht werden, wenn sie in der Nähe von Verkehrswegen errichtet werden. Aus physikalischen Gründen ist in der Regel zumindest bei vertikal errichteten Agri-PVA keine Blendwirkung für Verkehrsteilnehmer oder sonstige Personen durch die Sonneneinstrahlung zu erwarten, da der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen dem Ausfallswinkel nach Auftreffen auf den Modulen entspricht. Mehrere kleinere vertikale Anlagen wurden bereits als Umzäunung von Hühner-, Rinder- oder Pferde-Ausläufen in Österreich realisiert. Hier konnten keine Blendwirkungen auf Tiere festgestellt werden. Ganz im Gegenteil: Die Tiere genossen die Beschattung, welche je nach Tageszeit durch die Module erzeugt wurde.

3.5 Auswirkungen der aktuellen förderrechtlichen Regelungen der EU-Agrarförderung und des EEG auf Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlicher Nutzfläche

3.5.1 EU-Agrarförderung

Die gemeinsame Agrarpolitik (GAP) ist eine der wichtigsten und ausgabenstärksten Politikbereiche der Euro¬päischen Union (EU). Für die Landwirtschaft sind die Zahlungen aus der GAP eine wichtige Einnahmequelle. Daher wird im Rahmen der Agri-PV in der Regel angestrebt, dass durch die doppelte Nutzung der landwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Fläche die Förderfähigkeit für Direkt- und Ausgleichszahlungen nicht verloren geht. Nach gegenwärtigem Rechtstand (gültig bis Ende 2022) sind Flächen, auf denen sich Anlagen zur Nutzung von solarer Strahlungsenergie befinden jedoch generell nicht förderfähig (§ 12 Abs. 3 Nr. 6 der DirektZahlDurchV).

Dies wird sich ab 2023 voraussichtlich dahingehend ändern, dass landwirtschaftliche Betriebsinhaber dann grundsätzlich die Möglichkeit erhalten, für die landwirtschaftlich nutzbaren Flächenanteile einer Agri-Photovoltaikanlage Agrarförderung zu beantragen (§ 12 der geplanten GAP-Direktzahlungen-Verordnung (GAPDZV).

Eine Agri-Photovoltaik-Anlage im Sinne der GAPDZV ist demnach eine auf einer landwirtschaftlichen Fläche errichtete Anlage zur Nutzung von solarer Strahlungsenergie, die eine Bearbeitung der Fläche unter Einsatz üblicher landwirtschaftlicher Methoden, Maschinen und Geräte nicht ausschließt und die landwirtschaftlich nutzbare Fläche um höchstens 15 Prozent verringert. Förderfähig sind dann 85 Prozent der Fläche (GAPDZV Entwurfsstand vom 26.11.2021).

3.5.2 Einspeisevergütung nach dem EEG

Agri-PVA können über das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) förderfähig sein. Das Gesetz wurde in seiner Grundfassung im Jahre 2000 verabschiedet und verfolgt das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung, sprich fossile Energieträger zu schonen und erneuerbare Energieträger zu stärken (§1 Abs. 1 EEG). Dafür sieht es zwei Kerninstrumente vor: Zum einen müssen Netzbetreiber Strom aus Erneuerbaren Energien bevorzugt abnehmen. Weiterhin erhält der Anlagenbetreiber eine garantierte Vergütung.

Für Planer und Projektierer von Agri-PVA impliziert dies, dass Anlagen konzipiert werden, um eine EEG-Einspeisevergütung erzielen zu können. Der Grund hierfür ist, dass die Einspeisevergütung über dem regulär zu erzielenden Börsenstrompreis liegt und folglich die monetären Erträge der Anlage höher sind als ohne Einspeisevergütung. Dabei werden Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien immer für 20 Jahre gefördert, was den Stromproduzenten Planungssicherheit hinsichtlich des erzielbaren Strompreises gibt.

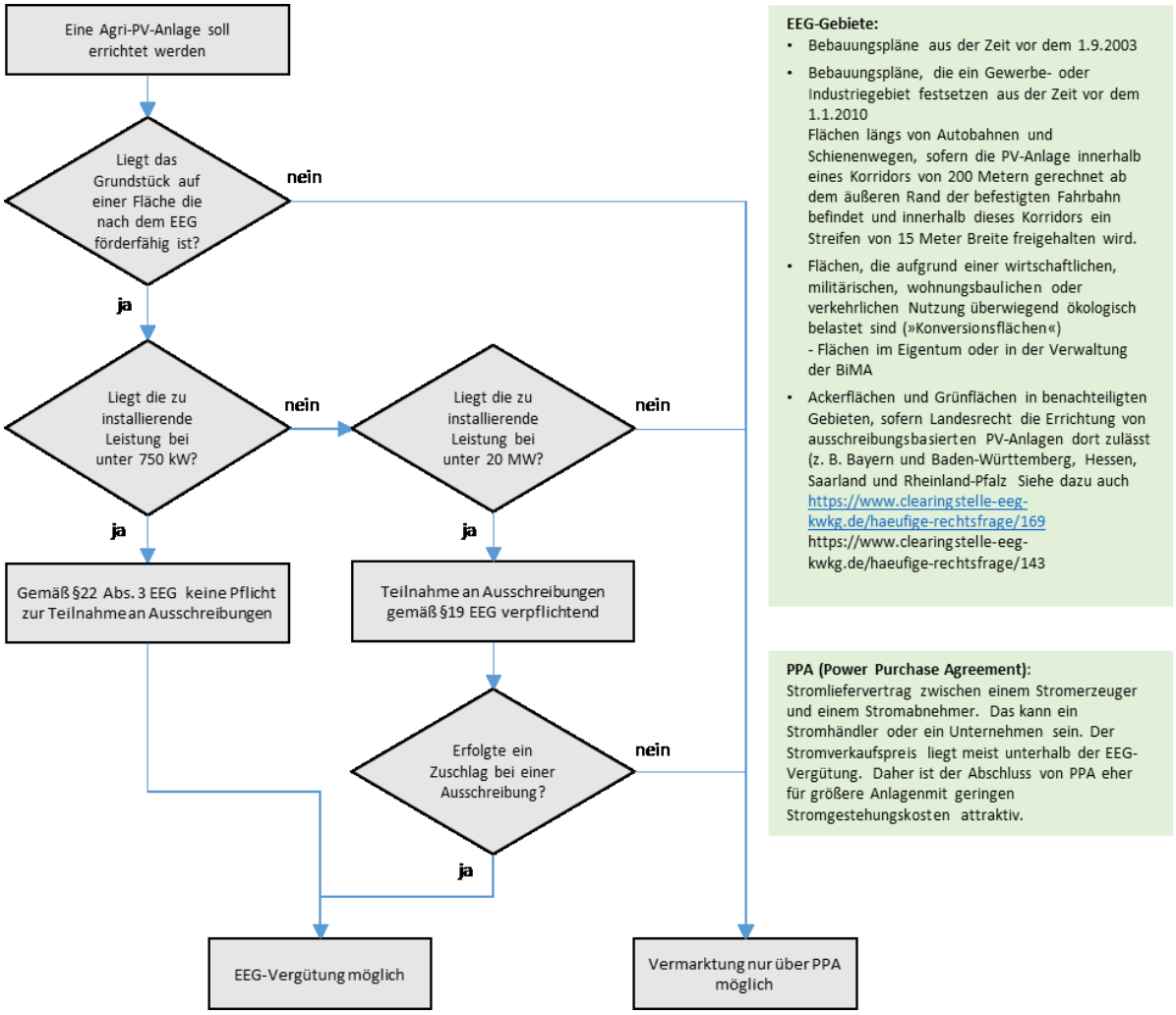
So ist im ersten Schritt zu beachten, ob das Flurstück, auf dem die Agri-PVA errichtet werden soll, in einem förderfähigen Gebiet liegt. Nach §48 EEG 2021 sind dies z. B. Randstreifen an Autobahnen oder Schienen-

wegen. Bundesländer können auch »benachteiligte Gebiete«[1] als förderfähig freigeben. Dies sind z. B. schwach ertragsfähige landwirtschaftliche Flächen oder Gebiete mit geringer Bevölkerungsdichte, wobei die Bevölkerung überwiegend auf die Landwirtschaft angewiesen ist. Im zweiten Schritt muss die zu installierende Leistung der Anlage berücksichtigt werden. So lassen sich für Anlagen mit einer geplanten Leistung von weniger als 750 kWp einfacher Einspeisevergütungen erzielen als für größere Anlagen. Der Grund hierfür ist, dass Betreiber von PV-Anlagen unter dem Schwellenwert von 750 kWp nicht an den Ausschreibungen teilnehmen müssen (§22 Abs. 3 EEG). Ein Sonderfall sind PV-Anlagen auf einem landwirtschaftlichen Gebäude (z. B. Gewächshaus) oder z. B. auf einem Zaun. Sofern der primäre Zweck nicht der Stromerzeugung dient, kann auch hierfür eine Vergütung erzielt werden. Für geplante PV-Anlagen mit einer Leistung zwischen 751 kWp und 20 MWp müssen Betreiber an Ausschreibungen teilnehmen. Die Teilnahmepflicht bedeutet, dass Betreiber nicht automatisch die Einspeisevergütung für ihren Strom bekommen, sondern um die Vergütung mit anderen Produzenten konkurrieren. Dabei ist die Gesamtmenge des zu fördernden Zubaus vorab festgelegt und Produzenten bieten in den Ausschreibungen mit dem Erzeugungspreis, den sie mit ihrer geplanten Anlage leisten können. Je niedriger der Preis, desto höher die Zuschlagswahrscheinlichkeit. Dabei werden die Gebote der Produzenten in aufsteigender Reihenfolge sortiert, beginnend mit dem niedrigsten Preis je kWh. Es erhalten beginnend mit dem günstigsten Angebot alle Ausschreibungsteilnehmer einen Zuschlag, bis das ausgeschriebene Volumen vergeben ist. Alle Produzenten, die keinen Zuschlag bekommen haben, erhalten keine Einspeisevergütung. Dennoch haben sie einen Anspruch gegenüber dem Netzbetreiber den von ihnen produzierten Strom priorisiert ins Netz einzuspeisen. Dabei ist zu erwähnen, dass Stromproduzenten grundsätzlich nicht gezwungen sind, den produzierten Strom zur Netzeinspeisung bereitzustellen. Eine Pflicht hierzu ergibt sich erst nach einer erfolgreichen Teilnahme an einem Ausschreibungsverfahren. Hat der Produzent nicht an einer Ausschreibung teilgenommen oder keinen Zuschlag erhalten, ergeben sich zwei weitere Alternativen zur Nutzung des produzierten Stroms. So besteht die Möglichkeit, auf einen Verkauf zu verzichten und den Strom selbst zu nutzen; das heißt der Produzent tritt gleichzeitig als Konsument auf. Bei großen Freiflächenanlagen ist das eher selten der Fall, da im Vergleich zu den meisten Dachanlagen deutlich mehr Strom erzeugt wird, als ein Konsument abnimmt. Außerdem kann der Anlagenbetreiber eine Vereinbarung mit Dritten treffen und den Strom direkt an diese verkaufen, ohne ihn vorher ins Netz einzuspeisen. Diese Möglichkeit wird als Power-Purchase-Agreement (PPA) bezeichnet.

Wie bereits angeführt, besteht die Pflicht zur Teilnahme an Ausschreibungsverfahren bei Freiflächenanlagen nur für Anlagen mit einer Kapazität zwischen 751 kWp und 20 MWp. Anlagen mit einer Produktionskapazität über 20 MWp können daran nicht mehr teilnehmen. Der Grund hierfür ist, dass solche Großanlangen grundsätzlich keine EEG-Privilegien mehr bekommen, da der Gesetzgeber davon ausgeht, dass ein wirtschaftlicher Betrieb auch ohne Privilegierung möglich ist. Das bedeutet, dass für sehr große Anlagen sowohl die priorisierte Netzeinspeisung als auch die Zahlung einer Einspeisevergütung wegfallen. Sollte eine solche Anlage trotz dieser Nachteile realisiert werden, ist der Verkauf im Rahmen eines PPAs die bevorzugte Variante.

Die nachfolgende Abbildung 9 verdeutlicht, unter welchen Umständen eine Agri-PVA voraussichtlich eine Einspeisevergütung erzielen wird.

[1] Dies sind Gebiete nach der Richtlinie 86/465/EWG des Rates vom 14. Juli 1986 betreffend das Gemeinschaftsverzeichnis der benachteiligten landwirtschaftlichen Gebiete i.S.d. Richtlinie 75/268/EWG (ABl. (EG) Nr. L 273, S. 1) in der Fassung der Entscheidung der EU-Kommission 97/172/EG vom 10. Februar 1997 (ABl. (EG) Nr. L 72, S. 1). Details siehe www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/haeufige-rechtsfrage/143



Quelle: Dr. Christoph Gerhards und Lisa Schubert (Fraunhofer IMW) basierend auf Angaben aus dem EEG 2021

Abbildung 9: Möglichkeiten zur Förderung von PV-Anlagen im Rahmen des EEG

3.6 Möglichkeiten zur Eigennutzung und Vermarktung des erzeugten Stroms

Wie schon im vorhergehenden Kapitel angedeutet, kann der erzeugte Strom alternativ zur Einspeisevergütung dafür genutzt werden, den Eigenbedarf zu decken. Dabei ersetzt die regenerativ erzeugte Energie in Teilen den bisherigen Netzbezug. Die Eigennutzung bzw. Eigenbedarfsdeckung führt zu einem größtmöglichen, wirtschaftlichen Vorteil, da der Strompreis für den Letztverbraucher i.d.R. größer ist als eine über das EEG erzielbare Einspeisevergütung (in Abhängigkeit vom Strompreis ca. Faktor 3-4) oder als der Strombörsenpreis (Faktor 3-8). Auf den eigenverbrauchten Strom entfällt bis 30 MWh pro Kalenderjahr keine EEG-Umlage für PV-Anlagen bis 30 kWp installierter Leistung (siehe §61b Absatz 2 Punkt 1, EEG 2021). Für PV-Anlagen mit mehr als 30 kWp installierter Leistung ist eine auf 40 Prozent verringerte EEG-Umlage (siehe §61b Absatz 1, EEG 2021) zu entrichten. Das EEG 2021 gewährleistet Anlagenbetreibern nach §21a Sonstige Direktvermarktung weiterhin die Möglichkeit, den erzeugten Strom auch ohne Inanspruchnahme des Zahlungsanspruchs nach § 19 EEG 2021 direkt zu vermarkten.

Daraus ergeben sich drei wesentliche Varianten, den von der PV-Anlage (PVA) erzeugten Strom zu nutzen und zu vermarkten:

1. Netzparallele PVA zur Eigenbedarfsdeckung ohne Einspeisung – Maximierung des Autarkiegrades oder des Eigenverbrauchsanteils

Die Auslegung einer PVA mit dem Ziel der Eigennutzung des erzeugten Stroms kann auf die Erhöhung des Autarkiegrads oder eine möglichst hohe Eigenvebrauchsquote ausgerichtet werden. Der Autarkiegrad (Unabhängigkeit vom Bezug über externe Quellen) steigt mit zunehmender Anlagengröße, ist aber begrenzt durch den Lastgang am jeweiligen Standort sowie das Erzeugungsprofil der PVA. Durch den Einsatz von Stromspeichern kann der Autarkiegrad zusätzlich gesteigert werden.

Soll der überschüssige Strom nicht eingespeist werden, muss die Anlage entsprechend regelbar sein. Außerdem ist der Netzbetreiber nicht verpflichtet, den erzeugten Strom abzunehmen, sodass eine Abregelung der Wechselrichter der PVA über ein Einspeisemanagement (§14 EEG 2021) ermöglicht werden muss, um das Netz nicht zu überlasten. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die PVA nicht immer den maximal möglichen Stromertrag liefern kann.

Eine Eigenverbrauchsquote von annähernd 100 Prozent wird erreicht, indem eine PVA kleiner als die am Standort vorhandene elektrische Grundlast ausgelegt wird. Auf diese Weise wird der erzeugte Strom ausschließlich für die Deckung des Eigenbedarfs genutzt und eine Einspeisung des überschüssigen Stroms vermieden.

Am Beispiel des Wochenlastgangs des Tierhaltungsbereichs am Standort Köllitsch ist zu erkennen, dass ein nahezu gleichmäßiger Strombezug über alle Wochentage vorliegt und somit als periodisch kontinuierlich bezeichnet werden kann (siehe Abbildung 10). Daraus lässt sich die Grundlast und eine Anlagengröße für einen hohen Eigenverbrauchsanteil ableiten. Eine differenzierte Auslegung einer PVA ist damit jedoch nur bedingt möglich, weshalb ebenfalls ein repräsentativer Tageslastgang betrachtet werden muss (siehe Abbildung 11).

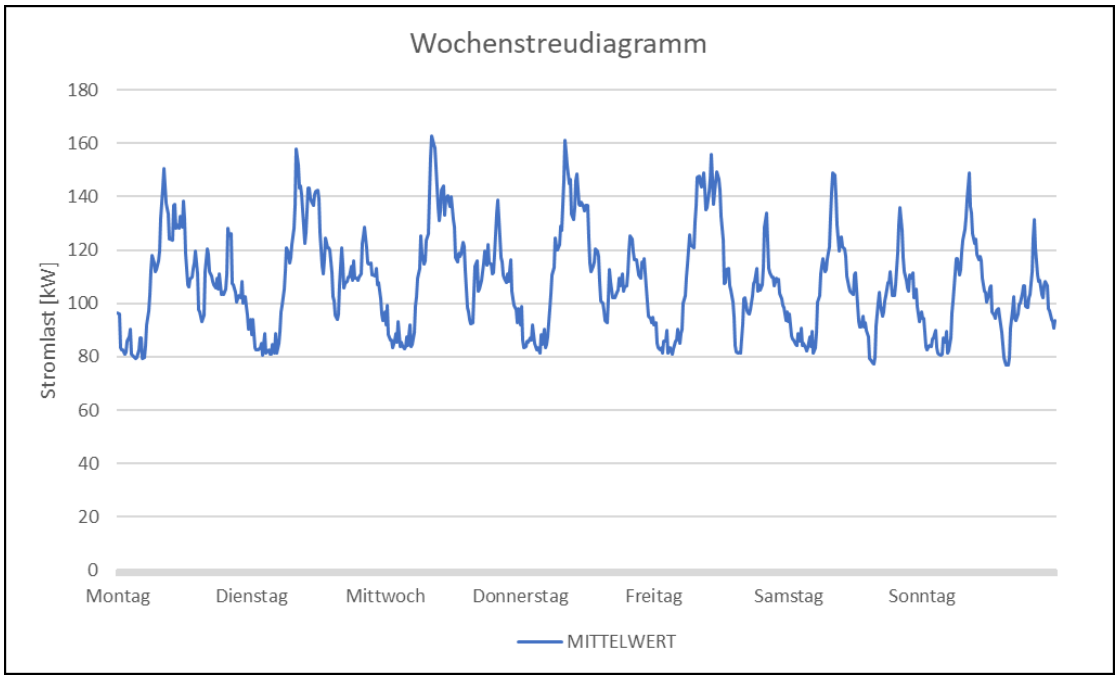


Abbildung 10: Lastgang Wochenstreudiagramm der Tierhaltung in Köllitsch 2020[2]

[2] Basierend auf Datensätzen des LfULG

PV-Anlagen mit einer Süd-Ausrichtung weisen ihr Maximum der Stromerzeugung zur Mittagszeit auf, wohingegen senkrecht aufgeständerte PV-Anlagen mit Ost-West-Ausrichtung ihre Spitzen am Morgen und Nachmittag aufweisen. Daraus können sich abhängig vom jeweiligen Lastgang eines Standortes, der sich selbst mit Strom versorgen will, verschiedene Ausrichtungen der PVA als attraktiv erweisen. Im gezeigten Beispiel für die Tierhaltung in Köllitsch ist deutlich zu sehen, dass die Lastspitzen in den Morgenstunden und am späten Nachmittag auftreten, sodass hierfür eine senkrecht aufgeständerte Ost-West-Ausrichtung vielversprechend erscheint.

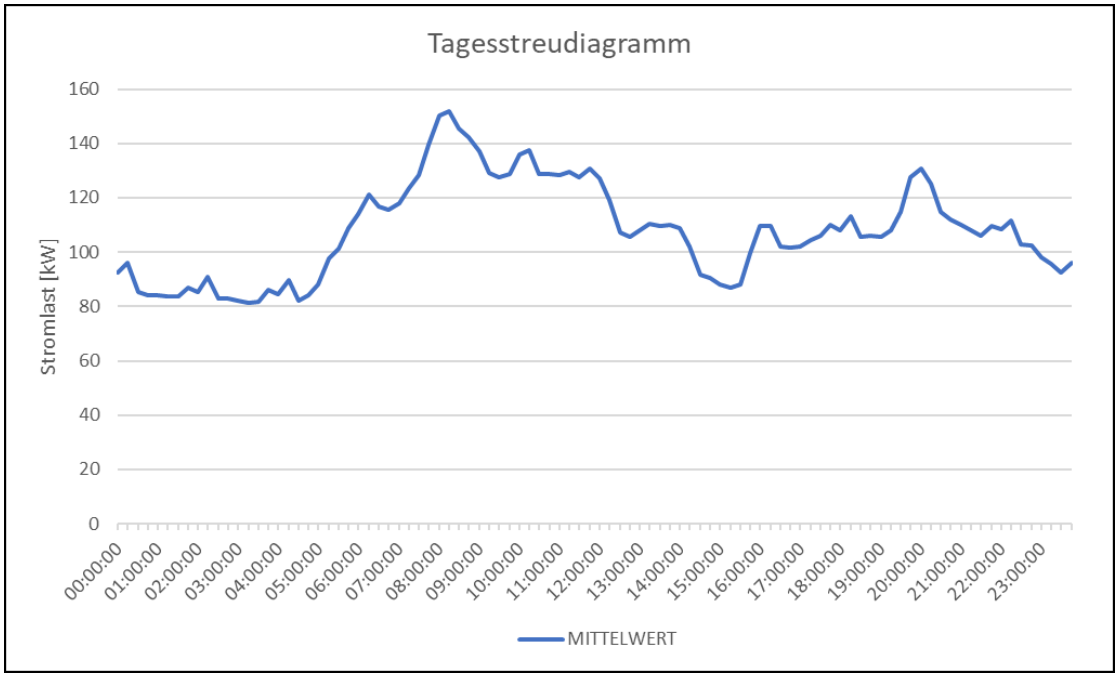


Abbildung 11: Lastgang Tagesstreudiagramm der Tierhaltung in Köllitsch 2020[3]

2. Netzparallele PVA zur Eigenbedarfsdeckung mit Einspeisung überschüssiger Strom-Maximierung der Erzeugerleistung

Wenn sowohl die Eigenbedarfsdeckung als auch die Einspeisung möglich sind, ist die Anlage so auszulegen, dass die vorhandene Fläche bestmöglich ausgenutzt wird, um einen hohen Stromertrag zu erzielen. Der nicht für den Eigenbedarf benötigte Strom kann in das öffentliche Netz eingespeist und gegebenenfalls vergütet werden, z. B. wenn die relevanten Flächen ein Kriterium nach §48 EEG 2021 erfüllen. Im konkreten Fall der Agri-Photovoltaik ist ein Kriterium z. B., dass sich die Flächen in einer Entfernung von bis zu 200 Meter entlang von Schienenwegen oder Autobahnen befinden und ein Bebauungsplan nach dem 1. September 2003 zumindest auch mit dem Zweck der Errichtung einer Solaranlage aufgestellt oder geändert worden ist (siehe §48 Absatz 1 Punk 3 EEG 2021). Analog zu 1) muss die PVA über ein Einspeisemanagement verfügen, um Netzengpässe zu vermeiden. Die Überschusseinspeisung ist jedoch im Rahmen des EEGs nur für Anlagen kleiner 750 kWp möglich, bei Anlagen, die aufgrund einer gewonnenen Ausschreibung einspeisen, muss die gesamte Strommenge eingespeist werden.

[3] Basierend auf Datensätzen des LfULG

3. Netzparallele PVA zur sonstigen Direktvermarktung nach §21b EEG 2021 – Maximierung der Erzeugerleistung

Die sonstige Direktvermarktung wird über ein Power Purchase Agreement (PPA) realisiert, bei dem ein langfristiger Stromliefervertrag zwischen einem Verkäufer (Anlagenbetreiber) und einem Käufer (Stromabnehmer) geschlossen wird. Hierbei wird unterschieden, ob es sich bei dem Stromabnehmer um ein Unternehmen ("Corporate PPA") oder einen Stromhändler ("Merchant PPA") handelt. Letzterer kann den zu produzierenden Strom an einen definierten Stromverbraucher liefern (Überführung des Vertrags zu "Corporate PPA“) oder ihn an der Strombörse vermarkten.

Im Vertrag werden Regelungen über die zu liefernde Strommenge zu einem bestimmten Preis oder alternativ gleichwertigen, finanziellen Ausgleich festgehalten. Dieser Strompreis liegt in der Regel im Bereich des Börsenpreises, abhängig von den zu erzielenden Erlösen und nötigen Sicherheiten. Der Strom wird an der Börse mit Werten gehandelt werden, die sich mitunter auf Viertelstundenwerte beziehen können. Darum unterliegt der Strompreis deutlichen Schwankungen. In Deutschland bewegte er sich beim kontinuierlichen Intra-Day-Handel von 2017 bis 2019 in einem Bereich von ca. 2,9 ct/kWh bis 5,2 ct/kWh (Kern und Roon) (Burger 2021).

Bei PPAs handelt es sich um komplexe Verträge, die viel Zeit und Absprachen benötigen, um tatsächlich geschlossen werden zu können. Sie zeichnen sich durch langfristige Laufzeiten (z. B. 10 Jahre) aus, was zu Nachteilen für eine Partei führen kann, wenn sich die Preise in eine für sie negative Richtung entwickeln. Des Weiteren ist die solare Stromproduktion fluktuierend, wodurch das Risiko besteht, dass lange im Voraus vereinbarte Strommengen zu einem Lieferzeitpunkt eventuell nicht zur Verfügung stehen und vom Anlagenbetreiber in geeigneter Form ausgeglichen werden müssen.

Die Erfüllung der vertraglich vereinbarten Strommengenlieferung hat bei PPAs Vorrang, sodass eine Deckung des Eigenbedarfs in den wenigsten Fällen realisierbar ist.

3.7 Offene Fragestellung bei der Agri-PV

Die technischen Varianten der Agri-PV sind gut bekannt und wurden in Demonstrationsvorhaben erprobt. Außerdem wurden im deutschsprachigen Raum einige Studien zur Agri-PV Thematik durchgeführt (Johannes Scharf, Michael Grieb, Maendy Fritz 2021; Trommsdorff et al. 2020; Badelt et al. 2020; Fraunhofer IMW 2021). Dennoch ist es noch nicht zu einer Implementation der Agri-PV in die landwirtschaftliche Praxis gekommen.

Neben teilweise noch unsicheren rechtlichen Rahmenbedingungen und der unklaren Entwicklung der im Rahmen des EEG geförderten Flächen sind hohe Investkosten primärer Grund einer ausbleibenden Umsetzung. Unklar ist weiterhin, welche Flächen in welchem Umfang für den Bau von Agri-PVA zur Verfügung stehen, insbesondere ob unter Fortführung der landwirtschaftlichen Nutzung Flachen zukünftig zur Verfügung stehen, die für den Bau von konventionellen Freiflachen PV-Anlagen nicht zur Verfügung stehen.

Weiterhin fehlen gute Erkenntnisse und nachvollziehbar dokumentierte, veröffentlichte wissenschaftliche Arbeiten darüber, welche Konstellationen aus Standort, Anlagendesign und Anbaukulturen zu welche landwirtschaftlichen Ertragsänderungen führen. So gibt es für Deutschland nur wenige Berichte z. B. über die landwirtschaftlichen Erträge im hochaufgeständerten System der Anlage in Heggelbach. Für die bodennah aufgeständerten Module gibt es in Deutschland bisher noch keine wissenschaftliche Studie hinsichtlich der Agrarerträge, jedoch erste Erfahrungen zu der Heuernte in der Anlage Dirmingen.

Zwar wird in der Projektberichten argumentiert, dass sich mittels Agri-PV für einige Kombinationen aus Ackerfrucht, Standort und Anlagendesign eine Steigerung der Landnutzungsintensität erzielen lässt (Fraunhofer ISE 2020, S. 13; Johannes Scharf, Michael Grieb, Maendy Fritz 2021, S. 70). (Trommsdorff et al. 2020) Dennoch muss auch ein potenziell höherer Aufwand für den Landwirt beachtet werden. Der Mehraufwand ist vorrangig ein Ergebnis der Anpassung der Arbeitsabläufen in Folge von veränderten Arbeitsbreiten. Dem entsprechend bedarf es einer genauen Abwägung mit welchen Anbaukulturen, an welchem Standort unter Nutzung welches Analgendesigns und welchen Randbedingungen zum Strommarkt ein finanzieller Mehrwert zu erzielen ist.

Auch der Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf den Solarertrag und die gesamten Betriebskosten der Agri-PVA ist unzureichend erforscht. Dies betrifft insbesondere eine Quantifizierung der Folgen von Verschmutzung durch aufgewirbeltes natürliches Material (Boden, Pflanzenreste) oder eingebrachtes Material (Dünger, Pflanzenschutzmittel etc.). Auch gibt es wenig Daten für die Kombination mit Tierhaltung.

Zwar können auch Landwirte selbst die Testung von Agri-PV übernehmen, allerdings ist das Konzept unter den heutigen Randbedingungen häufig unattraktiv für die Betriebe. Weiterhin ist auch die Durchführung von wissenschaftlichen Versuchen für die Betriebe häufig zu aufwendig. Folglich bedarf es idealerweise eine Kooperation von landwirtschaftlichen Betrieben und Forschungsreinrichtung (Johannes Scharf, Michael Grieb, Maendy Fritz 2021, S. 69).

Ziel zukünftiger Forschungsanstrengungen sollte es sein, mit empirischen Methoden herauszufinden, wie sich die Erträge von in Deutschland gängigen Anbaukulturen unter Agri-PV verändern. Für das LfULG könnte dies bedeuten in wissenschaftlichen Versuchen jene Kulturen zu identifizieren, die in Deutschland mittels kombinierter Agrar-Solar-Nutzung zu hohem oder geringem Ernteverlust bzw. evtl. zu Mehrertrag führen können. Dabei sollte die zu erwartenden klimatischen Änderungen berücksichtigt werden.

Ein weiteres wichtiges Forschungsgebiet ist die Kombination der Agri-PV mit der Automatisierung und Digitalisierung in der Landwirtschaft. (Trommsdorff et al. 2020) Die Agri-PV bietet den Vorteil eines Stromanschlusses auf dem Feld und ermöglicht so das Aufladen oder auch Wechseln eines Akkus ohne lange Wege. Die Fragestellung hier ist, ob die Agri-PV die Entwicklung der Automatisierung / Digitalisierung beschleunigen kann.

Schließlich sind Akzeptanzfragen von hoher Bedeutung für die Energiewende. Umfragen z. B. im Rahmen des BiWiBi-Projektes (Fraunhofer IMW 2021) zeigen, dass eine Mehrfachnutzung von Flächen grundsätzlich akzeptanzfördernd ist.

4 Planungs- und Genehmigungsrecht Allgemein

4.1 Einführung

Grundsätzlich kann der Genehmigungsprozess im Bereich von Agri-PV-Anlagen (Agri-PVA) mit dem von konventionellen Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen (FF-PVA) verglichen werden, sodass fortfolgend der Bezug zu den weitreichend verbreiteten FF-PVA hergestellt werden soll. Die Errichtung konventioneller FF-PVA sowie von Agri-PVA im landwirtschaftlichen und/oder gewerblichen Sektor bedingt zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Baugenehmigung nach dem jeweiligen Landesbaurecht. In Sachsen gelten die Bestimmungen der Sächsischen Bauordnung (SächsBO). Die SächsBO regelt in Teil 5, Abschnitt 2, §§ 59 – 62 die bauordnungsrechtliche Genehmigungspflicht bzw. die Genehmigungsfreistellung. Unter § 61 (1) Nr. 3b werden als verfahrensfrei:

„gebäudeunabhängige Solaranlagen mit einer Höhe bis zu 3 Meter und einer Gesamtlänge bis zu 9 m“

angeführt. Allerdings werden im Allgemeinen mehrere solcher Anlagen auf einem Grundstück zusammengezählt und somit in Summe baugenehmigungspflichtig.

Im Rahmen eines Baugenehmigungsverfahren wird auch die Zulässigkeit des Vorhabens geprüft. Hierbei werden die Bestimmungen des Baugesetzbuchs (BauGB) herangezogen. Dabei wird wie folgt unterschieden:

- Zulässigkeit von Vorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplans (§ 30)
- Zulässigkeit von Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile (§ 34)
- Bauen im Außenbereich (§ 35)

Aufgrund der Flächengröße konventioneller Solarparks werden diese eher außerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteilen geplant. Seltener finden sich ausreichend große Flächen im Innenbereich, zumal hier die Nutzungskonkurrenz solche Anlagen wesentlich benachteiligen.

Dem Grundsatz des BauGB nach ist der Außenbereich von Bebauung freizuhalten, daher sind im Außenbereich ausschließlich die in § 35 (1) BauGB benannten Vorhaben privilegiert. FF-PVA zählen im Allgemeinen nicht darunter, da Ihnen aufgrund ihrer Größe schwer eine untergeordnete Bedeutung zugeschrieben werden kann. In Einzelfällen kann auch der § 35 (2) BauGB „Sonstige Vorhaben“ Anwendung finden. Dies bedingt aber eine Einzelfallentscheidung, an die erhöhte Prüfanforderungen angesetzt wird. Hierbei ist nachzuweisen, dass öffentliche Belange dem Vorhaben nicht entgegenstehen. Es wird schwer für Agrarlandschaften, den Einfluss auf subjektive Kriterien, wie die „natürliche Eigenart der Landschaft und ihren Erholungswert“, als nicht beeinträchtigt darzustellen, wenn eine flächenhafte Überprägung eines Teils der offenen Landschaft geplant ist.

Demnach wäre zunächst zu prüfen, ob eine Privilegierung nach § 35 Abs. 1 Satz 1 möglich ist, welche unter Umständen (z. B. auf Basis eines hohen Eigenverbrauchsanteils) erfolgen kann. Wenn diese nicht anerkannt wird, ist die Durchführung eines Bauleitplanverfahrens notwendig. Das heißt, dass für die Schaffung einer Genehmigungsgrundlage im Außenbereich Bebauungspläne aufgestellt werden und somit die Einstufung als Außenbereich aufgehoben wird. Im Falle von FF-PVA bietet sich die Aufstellung eines sog. Vorhaben- und Erschließungsplans (§ 12 BauGB) an. Hier wird ein allein auf das Vorhaben bezogener Bebauungsplan aufgestellt. Die einzelnen Planungsschritte werden im Folgenden kurz erläutert. Allerdings bietet das sächsische Baurecht mit dem § 62 SächsBO die Besonderheit, dass mit Eintritt der Rechtskraft

anstatt eines Bauantrags lediglich die Genehmigungsfreistellung (siehe Punkt 4.3: Baugenehmigung) zu stellen ist. Hierbei wird dann nur geprüft, ob das Vorhaben den Festsetzungen im vorhabenbezogenen Bebauungsplan entspricht.

Der allgemeine Ablauf des Bauleitplan- und Genehmigungsverfahrens ist in Form eines Flussdiagramms in Abbildung 12 und detailliert in Abbildung 13 dargestellt.

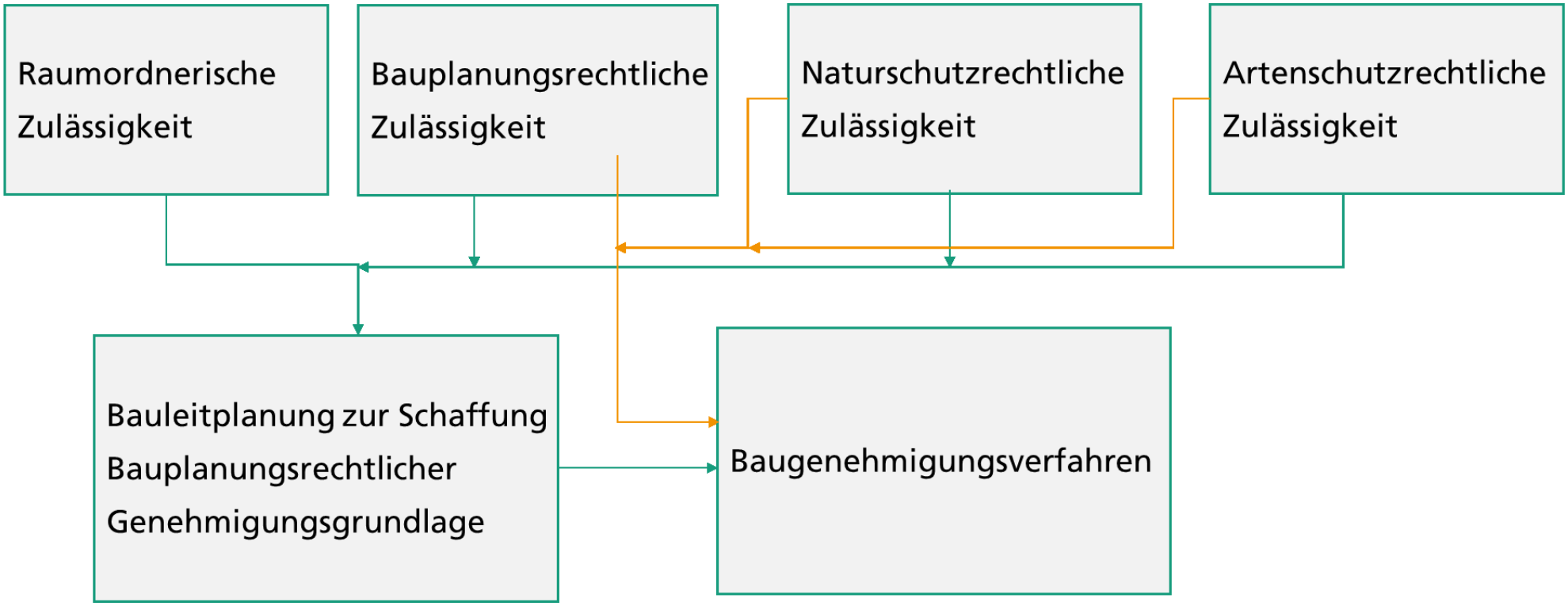


Abbildung 12: Ablauf Bauleitplan und Genehmigungsverfahren, detailliert Abbildung 13

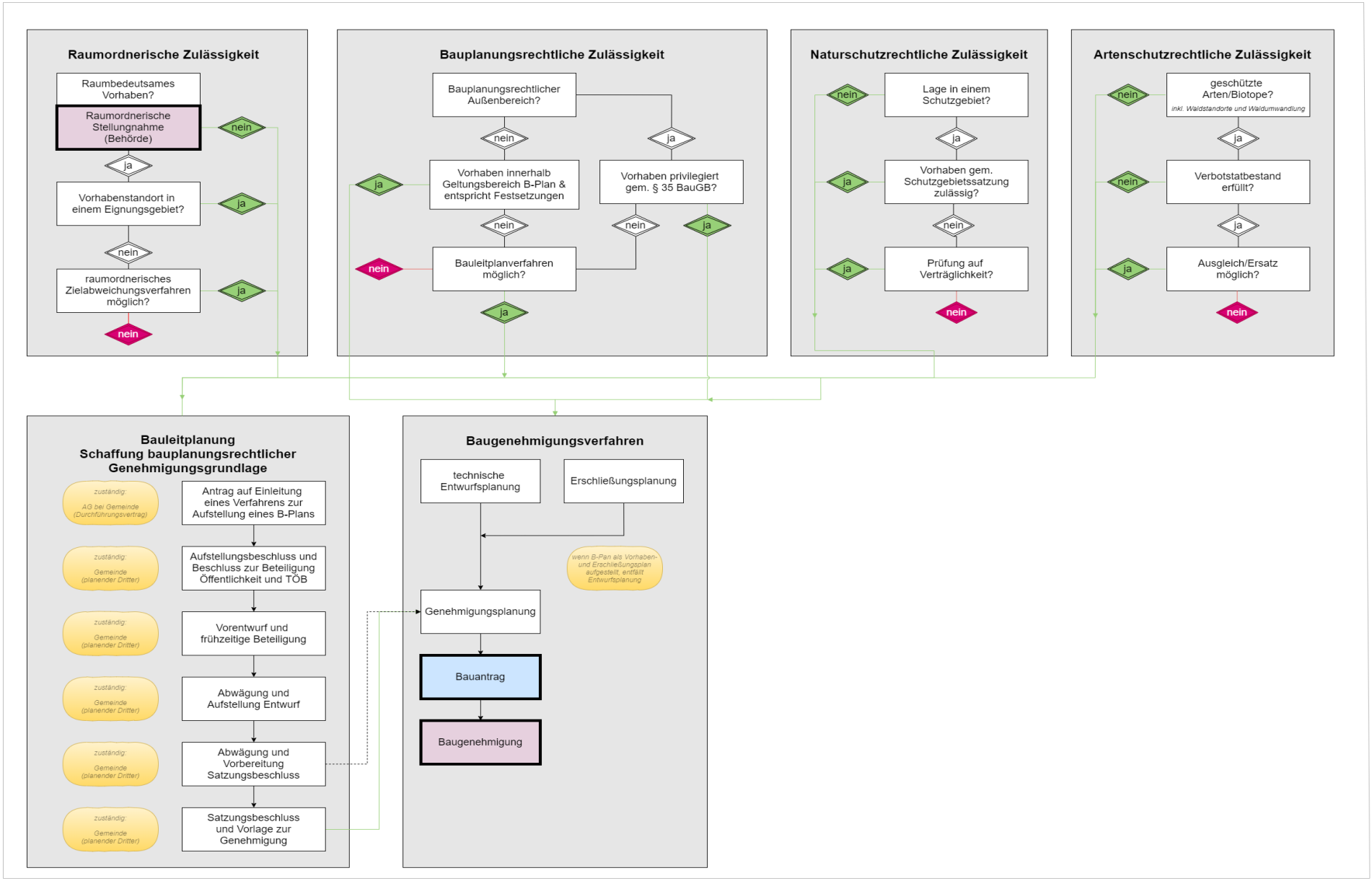


Abbildung 13: Detaillierter Ablauf Bauleitplan und Genehmigungsverfahren.

4.2 Bauleitplanverfahren

Das Bauleitplanverfahren ist eine hoheitliche Aufgabe der jeweils zuständigen Gebietskörperschaft. Darunter wird die zuständige Gemeinde, Verbandsgemeinde oder der ggf. zuständige Zweckverband verstanden. Im Weiteren wird hierbei von der „Gemeinde“ gesprochen, was eigenständige Orte jeglicher Größe, also vom Dorf bis zur Landeshauptstadt einschließt.

Die Gemeinden mit ihrer kommunalen Bauleitplanung bilden im Sinne der Raumordnung und Landesplanung die unterste Planungsebene und sind Bindeglied zum einzelnen Einwohner, der das unmittelbare Beteiligungsrecht bei der Planaufstellung besitzt. Allerdings ist hierbei auch zu erwähnen, dass kein Rechtsanspruch auf Aufstellung eines Bebauungsplans für juristische und natürliche Personen besteht, selbst wenn es sich um den Grundstückseigentümer handelt. Die Flächennutzungsplanung (vorbereitende Bauleitplanung) und die Aufstellung von Bebauungsplänen (verbindliche Bauleitplanung) obliegen einzig der Gemeinde.

Das gesamte Verfahren durchläuft grundsätzlich die folgenden Phasen:

1. Antragstellung
2. Grundlagenermittlung
3. Aufstellungsbeschluss
4. Erstellung des Vorentwurfs und frühzeitige Beteilung
5. Scoping
6. Auswertung der gegebenen Anregungen und Hinweise
7. Erstellung des Entwurfs und förmliche Beteiligung
8. Abwägung und Satzungsbeschluss
9. Genehmigung und Rechtskraft

Im Bauleitplanverfahren werden die städtebaulichen, die umwelt- und naturschutzrechtlichen sowie die sonstigen Belange geregelt. Deshalb besteht ein Bebauungsplan (Angebotsbebauungsplan oder vorhabenbezogener Bebauungsplan) grundsätzlich aus den später unter Erstellung des Entwurfs erläuterten Bestandteilen.

4.2.1 Antragstellung

Die Aufstellung eines Bebauungsplans oder wie im Falle von FF-PVA eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans startet mit einem formlosen Antrag auf Einleitung des Verfahrens mit Kostenübernahmeerklärung durch den Vorhabenträger. Zum Antrag mit Kostenübernahmeerklärung wird eine kurze Projektbeschreibung und Begründung des Erfordernisses beigefügt, damit sich die Gemeinde ein Bild machen kann.

4.2.2 Grundlagenermittlung

Am Anfang der Planung sollten die standörtlichen Gegebenheiten abgeklärt werden. Handelt es sich um eine Fläche, die innerhalb eines rechtskräftigen oder einstweiligen Schutzgebiets nach Naturschutz- oder Wasserrecht handelt und stehen die Schutzgebietssatzungen dem Vorhaben entgegen, sollte von einer Planung Abstand genommen werden. Das gleiche gilt für Flächen, die etwa in einem ausgewiesenen Überschwemmungsbereich liegen. Zudem können in Regionalplänen enthaltene Vorrang- und Vorbehaltsgebiete als sog. Tabukriterien für FF-PVA eingestuft werden (z. B. landwirtschaftliche Vorranggebiete, auch wenn diese Einstufung eher einer flächenhaften Anlage entgegenwirken soll).

Sollte das nicht der Fall sein, wird an dieser Stelle geprüft, ob das Vorhaben den Darstellungen im Flächennutzungsplan entspricht und somit der vorhabenbezogene Bebauungsplan aus dem Flächennutzungsplan entwickelt werden kann. In den überwiegenden Fällen liegt entweder kein rechtsgültiger Flächennutzungsplan vor oder die Darstellungen entsprechen nicht dem Vorhaben.

Im ersten Fall ist es erforderlich, den am Ende zur Satzung beschlossenen vorhabenbezogenen Bebauungsplan bei der höheren Verwaltungsbehörde zur Genehmigung vorzulegen, um Rechtskraft zu erlangen. Sollte ein Flächennutzungsplan vorliegen, der jedoch eine andere Bodennutzung darstellt, kann dieser in einem Parallelverfahren angepasst werden.

Nach Prüfung aller Voraussetzungen für die Einleitung eines Bauleitplanverfahrens werden zuerst die Stellungnahmen hinsichtlich der Vereinbarkeit des Vorhabens mit den Grundsätzen und Zielen der Raumordnung eingeholt. Hierbei wird geklärt, ob aus den übergeordneten Planungsebenen Bedenken gegen das Vorhaben erhoben werden. Bei der Feststellung der Unüberwindbarkeit der Bedenken wird die Gemeinde das Bauleitplanverfahren nicht in Gang setzen.

Raumordnerisch und regionalplanerisch werden zunehmend auch FF-PVA hinsichtlich der Vereinbarkeit mit Grundsätzen und Zielen der Raumordnung bewertet. Vornehmlich steht der grundsätzliche Schutz des Außenbereichs vor einer Bebauung im Vordergrund. Hierzu stellen die regionalen Planungsverbände ihre Regionalpläne zur Steuerung und Koordinierung der regionalen Entwicklung auf, in denen Belange in Form von Tabukriterien aufgestellt werden, die einzelnen Vorhaben entgegenstehen. Der Planungsverband Westsachsen hat im Regionalplan von 2008 in der Begründung zu den Zielen 11.2.3 und 11.2.4 angeführt, dass landwirtschaftliche Nutzflächen mit einer Ackerzahl von >70 mit FF-PVA unvereinbar sind und begründet:

„Eine hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit ermöglicht eine Landbewirtschaftung mit geringen Betriebsmitteln, welche wiederum zur nachhaltigen Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts beiträgt. Derartige Böden sollen daher einer landwirtschaftlichen Nutzung vorbehalten bleiben. Zumal die Landwirtschaft in Westsachsen ein wesentlicher Wirtschaftsfaktor ist. Insbesondere die Flächen für die Landwirtschaft mit sehr hoher Bodengüte (i. d. R. Ackerzahl > 70) gewährleisten eine hohe Ertragsfähigkeit. In diesen Gebieten kann am ehesten davon ausgegangen werden, dass langfristig eine auch ökonomisch tragfähige Landwirtschaft betrieben werden kann.“

Agri-PVA sollen gerade das Bodenbewirtschaften und die Energiegewinnung vereinen. Entgegen konventionellen FF-PVA beträgt der Bodenbedeckungsgrad bei Agri-PVA nur einen Bruchteil der sonst üblichen Werte. Zugleich können die auf eine konventionelle Flächenbearbeitung abgestimmten Modulreihen zusätzlich Lebensbereiche für einheimische Tier- und Pflanzenarten und Erosionsschutz bieten. Folgen die Behörden dieser Argumentation, ist Agri-PV mit dem Regionalplan des Planungsverbands Westsachsen vereinbar und ein Zielabweichungsverfahren (Dauer ca. 1 Jahr) sollte nicht notwendig werden.

4.2.3 Aufstellungsbeschluss

Sollten im Vorfeld der Prüfung keine unüberwindbaren Hindernisse festgestellt werden und die Gemeinde willens sein, das Bauleitplanverfahren durchzuführen, wird eine Beschlussvorlage für die gewählten Gemeindevertreter ausgearbeitet, der sog. Aufstellungsbeschluss.

In der anschließenden öffentlichen Sitzung wird die Beschlussvorlage zur Abstimmung gegeben und die gewählten Gemeindevertreter befinden über die Einleitung des Bauleitplanverfahrens.

4.2.4 Erstellung des Vorentwurfs und frühzeitige Beteiligung

Die Gemeinde ist zwar die Trägerin der Bauleitplanung, bedient sich jedoch in den allermeisten Fällen eines sog. planenden Dritten, der Teile des Bebauungsplans oder diesen vollständig in Abstimmung mit dem Vorhabenträger und der Gemeinde erarbeitet sowie Teile des Verfahrens durchführt. Für alle anderen Leistungen, die durch die Gemeinde zu erbringen sind, ist ein städtebaulicher Vertrag zur Kostenübernahme des Verfahrens zwischen Vorhabenträger und Gemeinde zu schließen.

Nach Klärung der Kosten und mit Aufstellungsbeschluss erarbeitet die Gemeinde oder der bestellte planende Dritte den Vorentwurf. In diesem werden die Planungsgrundzüge dargestellt, indem eine kartographische Unterlage den Geltungsbereich des nunmehr in Aufstellung befindlichen Bebauungsplans zeigt. Hierzu werden Erläuterungen zur Planungsabsicht, des Planungserfordernisses, des vorgesehenen Planungsablaufs sowie der im Planungsverfahren vorgesehenen beizubringenden Unterlagen (z. B. artenschutzrechtliche Untersuchungen, Umweltbericht, Ermittlung des Eingriffs und des sich daraus ergebenden Ausgleichsbedarfs, Maßnahmenkonzept für den Ausgleich, Gutachten zur Landschaftsbildbewertung etc.) benötigt.

Der Vorentwurf wird den zu beteiligenden Behörden und sonstigen Trägern öffentlicher Belange zur Beteiligung vorgelegt und möglichst parallel die Bevölkerung beteiligt. Zur Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgt die Bekanntgabe der Beschlüsse sowie die Möglichkeiten zur Einsichtnahme. Jedermann hat das Recht zur Einsichtnahme und zur Abgabe einer Stellungnahme.

Die Beteiligungsfrist setzt sich aus einem Monat Offenlage und einem anschließenden Monat zur Abgabe einer Stellungnahme zusammen.

4.2.5 Scoping

Im Rahmen oder zeitnah zur frühzeitigen Beteiligung der Behörden und sonstigen Trägern öffentlicher Belange erfolgt die Abstimmung zu den umweltplanerischen sowie natur- und artenschutzrechtlichen Belangen mit den zuständigen Stellen, z. B. in Form der unteren Bodenschutzbehörde, der unteren Naturschutzbehörde und etwaiger Außenstellen des LfLUGs. Hierin erfolgt die Unterrichtung des Vorhabenträgers und des Planungsträgers zur Art und zum Umfang der beizubringenden Unterlagen.

Es werden u.a. Hinweise zum Umfang des Umweltberichts sowie des naturschutzfachlichen Ausgleichs gegeben. Weiterhin darüber, welche natürlich vorkommenden Arten zu erfassen und welche Wirkungen auf diese zu erwarten sind.

Aufgrund der Ergebnisse des Scoping erfolgen die erforderlichen artenschutzrechtlichen Erfassungen, Be- und Auswertungen.

4.2.6 Auswertung der gegebenen Anregungen und Hinweise

Die beteiligten Behörden und sonstige Träger öffentlicher Belange geben in ihren Stellungnahmen Anregungen und Hinweise zu den von ihnen zu vertretenden Belangen ab. Diese werden hinsichtlich der planerischen Erfordernisse bewertet, ggf. in die Planung integriert oder aufgrund begründbarer Sachentscheidungen nicht berücksichtigt. Ähnlich wird mit den Anregungen und Hinweisen aus der Bevölkerung verfahren.

4.2.7 Erstellung des Entwurfs und förmliche Beteiligung

In die Entwurfserstellung fließen die Ergebnisse der im Scoping aufgestellten Anforderungen sowie die zu berücksichtigenden Anregungen und Hinweise aus der frühzeitigen Beteiligung ein.

Der Entwurf besteht am Ende aus dem städtebaulichen Teil

- Zeichnerische und textliche Festsetzungen (spätere Satzung),
- Begründung als Anlage,

sowie den grünordnerischen und umweltplanerischen Anlagen

- Umweltbericht (ggf. Teil der Begründung),
- Grünordnungsplan,
- Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag.

Ggf. Quellen, wie:

- Artenschutzrechtliche Erfassung
- Biotopkartierung
- Landschaftsbildbewertung
- FFH-/SPA-Vor- oder -verträglichkeitsprüfung

Eine Besonderheit bei vorhabenbezogenen Bebauungsplänen ist der sog. Vorhaben- und Erschließungsplan, der bereits über die Planzeichenverordnung hinaus konkret die Bebauung inkl. Gründung, die Infrastrukturplanung (Wege, Verkabelung) und/oder die Ausgleichsmaßnahmen festsetzt. Deshalb ist neben den städtebaulichen, grünordnerischen und umweltplanerischen Unterlagen auch eine technische Fachplanung durchzuführen, die möglichst dem Stadium einer ausführungsreifen Planung entspricht.

Die Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen richten sich nach der Schwere des Eingriffs (siehe nachstehende Hinweise) aus und sind in dieser Planungsphase dinglich durch den Vorhabenträger zu sichern, sollten diese nicht auf dem Grund und Boden des Vorhabenträgers durchgeführt werden. Maßnahmen, die auf Eigentumsflächen des Vorhabenträgers geplant sind, sind dinglich zu Gunsten des Vorhabens über eine Eintragung ins Grundbuch zu sichern. Damit verbunden ist die Verpflichtung zur Durchführung im Zuge der Umsetzung der Vorhabenplanung und der dauerhafte Erhalt.

Zeichnerische und textliche Festsetzungen inkl. Anlagen und Quellen werden im Entwurf durch den Gemeinderat zur Beteiligung der Öffentlichkeit sowie der Behörden und sonstigen Träger öffentlicher Belange bestimmt. Die Behörden und sonstigen Träger öffentlicher Belange werden schriftlich beteiligt. Zur Beteiligung der Öffentlichkeit werden die Entwurfsunterlagen über einen Monat offengelegt. Ort und Zeitraum werden ortsüblich bekanntgegeben. Innerhalb einer vorgegebenen Frist können Bürger sich am Aufstellungsverfahren beteiligen.

Hinweise zu Eingriff und Ausgleich:

Der erforderliche Ausgleich für den Eingriff in Natur und Landschaft erfolgt entsprechend der Eingriffsregelung gem. §§ 14 bis 16 BNatSchG. Grundlage hierfür bilden zuerst die Schwere des Eingriffs, indem festzustellen ist, wieviel Grund- und Boden in Anspruch genommen wird und die natürlichen Lebensfunktionen, die teilweise oder vollständig verloren gehen. Hierbei wird von der Wertigkeit des Lebensraums ausgegangen (Biotopwert).

Weiterhin wird die Umgebung des tatsächlichen Eingriffs nach verschiedenen Kriterien bewertet. Im nächsten Schritt spielt die Wirksamkeit des Vorhabens eine Rolle. Daraus leitet sich der Eingriff ab, der auszugleichen ist.

Der naturschutzfachliche Ausgleich wird i.d.R. durch Aufwertung von möglichst eingriffsnahen Landschaftsbestandteilen geschaffen, etwa durch Extensivierung, Anlegen von Blühstreifen, Schaffung von Gehölzinseln in strukturarmen, ausgeräumten Landschaften, Renaturierung etc. Eine generelle Aussage hierzu kann nicht gegeben werden, da die Schwere des Eingriffs und der daraus abzuleitende Ausgleichsbedarf jeweils individuell zu ermitteln sind. Hierzu existieren aber Bewertungshilfen und Arbeitsmaterialien.

Hinsichtlich der Wertigkeit soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass geschützte Landschaftsbestandteile (rechtskräftige oder einstweilig gesicherte Schutzgebiete nach Naturschutzrecht, geschützte Biotope, raumplanerisch festgelegte Grünzüge etc.) höher zu bewerten sind und einen entsprechend höheren Ausgleich erfordern als Agrarlandschaften.

4.2.8 Abwägung und Satzungsbeschluss

Alle Stellungnahmen aus der förmlichen Beteiligung werden gesammelt und die einzelnen Belange gerecht gegeneinander und untereinander abgewogen. Das Ergebnis der Abwägung wird in Form eines Abwägungsvorschlags zusammengestellt und dem Gemeinderat zum Beschluss vorgelegt.

Aufgrund der eingegangenen Anregungen und Hinweise wird der Entwurf an den erforderlichen Stellen überarbeitet. Soweit die Grundzüge der Planung von Änderungen betroffen sind (z. B. Flächenzuschnitt, zulässige Nutzung, Art und Maß der baulichen Nutzung), muss die Entwurfserstellung und Beteiligung der betroffenen Stellen sowie der Öffentlichkeit nochmals wiederholt werden.

Wenn Anregungen und Hinweise sowie Bedenken abwägbar und begründbar zu keiner Änderung der Grundzüge der Planung führen, werden die Entwurfsunterlagen zur Satzung fertiggestellt.

Abwägungsunterlagen und Satzungsvorlage (zeichnerische und textliche Festsetzungen) werden durch den Gemeinderat beschlossen sowie die dazugehörigen Anlagen gebilligt.

4.2.9 Genehmigung und Rechtskraft

Wurde der Bebauungsplan aus den Darstellungen des rechtsgültigen Flächennutzungsplans entwickelt, gilt mit Bekanntmachung der Satzungsbeschlüsse der Bebauungsplan als rechtskräftig.

Sollte das Erfordernis bestehen, den Flächennutzungsplan in einem Parallelverfahren zu ändern oder verfügt die Gemeinde über keinen Flächennutzungsplan, sind die Satzungsunterlagen sowie die Anlagen einschließlich der Verfahrensakte zur Prüfung der höheren Verwaltungsbehörde vorzulegen.

Mit Bekanntmachung der Genehmigung tritt die Rechtskraft des Bebauungsplans ein.

4.2.10 Einschätzung der Anwendbarkeit städtebaulicher Instrumente auf Agri-PV

Die voranstehenden Punkte dienen der städtebaulichen Lenkung von vornehmlich im Außenbereich befindlichen Vorhaben. Damit wird der zukünftigen Bedeutung von Agri-PV-Vorhaben, die insbesondere der Eigenenergieversorgung der landwirtschaftlichen Betriebe dienen soll, nicht gerecht. Bauleitplanverfahren einschließlich Umwelt- und Grünordnungsplanung mit den erforderlichen Gutachten sind zeitaufwändig und kostenintensiv. Im Bereich der konventionellen FF-PVA, die eine Bodennutzung ausschließlich zur Energiegewinnung vorsieht und dort eine flächenbezogen hohe Energiedichte erzielt, sind diese Lenkungsinstrumente durchaus berechtigt. Aber in einer landwirtschaftlichen Mehrfachnutzung einer Anbaufläche sollten andere Maßstäbe angesetzt werden, die insbesondere Planungszeit und damit verbundene Planungskosten einsparen helfen.

Deshalb ist es überlegenswert, Agri-PVA als landwirtschaftlich privilegierte Anlagen im Außenbereich nach § 35 (1) Nr. 1 BauGB zuzulassen[4] . Hier wäre eine Orientierung am innerbetrieblichen Jahresenergiebedarf dienlich. Ebenso könnten Obergrenzen für Leistung oder Fläche der Anlagen eingeführt werden. Durch die dann entfallende Bauleitplanung sind nur noch nach Landesbaurecht erstellte Antragsunterlagen einzureichen, wodurch sich die Kosten und der Zeitaufwand im Rahmen halten lassen.

Bei Agri-PV-Vorhaben, deren Ziel es ist, den erzeugten Strom z. B. im Rahmen eines PPA zu vermarkten, werden üblicherweise Flächen in einer Größenordnung überprägt, die für den Gesetzgeber als raumbedeutsam gelten. Ebenso wie bei den konventionellen FF-PVA stellen hierfür das Bauleitplanverfahren einschließlich Umwelt- und Grünordnungsplanung die berechtigten Lenkungsinstrumente dar.

4.3 Baugenehmigung

Wie bereits weiter oben unter Abschnitt 4.2.1 angeführt, bedingen bauliche Anlagen und Bauprodukte einer Baugenehmigung, es sei denn, es handelt sich um verfahrensfreie Vorhaben bzw. Vorhaben, die im Kenntnisgabeverfahren anzuzeigen sind.

In Sachsen besteht über den § 62 SächsBO die Möglichkeit, dass anstatt eines Bauantrags ein Antrag auf Verfahrensfreistellung gestellt werden kann, wenn die erforderlichen Voraussetzungen nach Absatz 2 erfüllt sind:

[4] § 35 BauGB – Bauen im Außenbereich: (1) Im Außenbereich ist ein Vorhaben nur zulässig, wenn öffentliche Belange nicht entgegenstehen, die ausreichende Erschließung gesichert ist und wenn es einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb dient und nur einen untergeordneten Teil der Betriebsfläche einnimmt

„Nach Absatz 1 ist ein Bauvorhaben genehmigungsfrei gestellt, wenn

- es im Geltungsbereich eines Bebauungsplans im Sinne von § 30 Absatz 1 oder §§ 12, 30 Absatz 2 des Baugesetzbuches liegt,
- es den Festsetzungen des Bebauungsplans nicht widerspricht,
- die Erschließung im Sinne des Baugesetzbuches gesichert ist und
- die Gemeinde nicht innerhalb der Frist nach Absatz 3 Satz 3 erklärt, dass das vereinfachte Baugenehmigungsverfahren durchgeführt werden soll oder eine vorläufige Untersagung nach § 15 Absatz 1 Satz 2 des Baugesetzbuches beantragt."

Dies setzt aber einen rechtskräftigen Bebauungsplan (siehe oben Punkt 4.2.9) voraus. Das Verfahren zur Entscheidung über einen Antrag auf Genehmigungsfreistellung ist nicht zeitlich befristet, aber i.d.R. wird innerhalb eines Monats darüber entschieden.

Sollte der aufzustellende Bebauungsplan noch nicht rechtskräftig, aber die Voraussetzungen nach § 33 BauGB (Zulässigkeit eines Vorhabens innerhalb des Geltungsbereichs eines in Aufstellung befindlichen Bebauungsplans) erfüllt sein, ist ein Bauantrag regulär nach § 68 SächsBO zu stellen und ein Verfahren nach § 64 SächsBO durchzuführen. Mit dem Bauantrag ist dann die Erklärung nach § 33 BauGB (Formular) beizufügen, in dem sich der Vorhabenträger mit den Festsetzungen des in Aufstellung befindlichen Bebauungsplans einverstanden erklärt.

Bauanträge bedürfen im Regelfall eines Zeitraums von etwa 3 Monaten.

4.4 Brandschutz

Sowohl im Bauleitplanverfahren als auch in einem Baugenehmigungsverfahren ist der Themenbereich des vorbeugenden und des abwehrenden Brandschutzes mit abzuarbeiten. Zur Behandlung des vorbeugenden Brandschutzes wird ein Brandschutzkonzept aufgestellt, worin die erforderlichen Angaben enthalten sein müssen. Die Erstellung des Brandschutzkonzepts obliegt Brandschutzfachplanern oder Fachplanern für vorbeugenden Brandschutz. Im Allgemeinen ist im Rahmen der förmlichen Beteiligung der Behörden und sonstigen Trägern öffentlicher Belange bzw. im Baugenehmigungsverfahren das Brandschutzkonzept behördlich zu prüfen oder einem PrüfIng. für vorbeugenden Brandschutz zur Bewertung vorzulegen. Näheres wird durch die jeweilige Landesbauordnung geregelt.

Es sei v.a. darauf hingewiesen, dass die Elektroanlagen allein schon eine Brandlast darstellen, die durch ausreichende, insb. abgestorbener und getrockneter, Biomasse unter oder neben den Modulen erhöht wird.

Für den abwehrenden Brandschutz sind entsprechende Konzepte zur Brandbekämpfung aufzustellen. Hierbei sind u.a. zu erstellen und regelmäßig fortzuschreiben:

- Feuerwehrplan nach DIN 14095
- Brandschutzordnung nach DIN 14096

4.5 Arbeitsschutz

Grundsätzlich werden FF-PVA automatisiert betrieben. Es sind keine ständigen Arbeitsplätze vorhanden. Allerdings sind die folgenden Phasen zu unterscheiden:

- Errichtung
- Pflege und Wartung im Betrieb
- Rückbau

Errichtung und Rückbau sind wohl die beiden arbeitsintensivsten Phasen, in denen die meisten Beschäftigten auf der Fläche tätig sind. Auch hier sind verschiedene Tätigkeiten zu unterscheiden:

- Erd- und Fundamentarbeiten für Trägersysteme und Infrastruktur
- Montage der Module
- Einbindung in das elektrische System

Diese Tätigkeiten unterliegen verschiedenen Arbeitsschutzvorschriften und dürfen nur von entsprechenden Fachfirmen nach entsprechenden Unterweisungen sowie unter fachmännischer Anleitung ausgeführt werden. Verschiedene Tätigkeiten und ein erhöhtes Aufkommen an Beschäftigten bedingen eine Koordination. Dies wird im Allgemeinen durch eine Fachkraft für Sicherheits- und Gesundheitskoordination (SiGeKo) bekleidet.

Für Beschäftigte auf Flächen mit FF-PVA sind Arbeits- und Betriebsanweisungen aufzustellen, die auf die einzelnen Gefahren (z. B. Beschädigung von Modulen, Lichtbögen und Gefahr durch elektrische Anlagen) hinweisen. In diesem Zusammenhang wird auf die Vorlagen der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) verwiesen, die für landschaftspflegende Tätigkeiten einschlägig heranzuziehen sind. Diese sind durch die spezifischen Gefährdungspotentiale von FF-PVA zu ergänzen.

4.6 Versicherungen

Die Photovoltaikversicherung (Allgefahrenversicherung nach Allgemeinen Bedingungen für die Elektronikversicherung), Betriebsunterbrechungsversicherung, Montageversicherung und die Betreiberhaftpflichtversicherung stellen die wichtigsten Versicherungen für Betreiber von PV-Anlagen dar.

Bei der Absicherung einer FF-PVA bzw. Agri-PVA wird die Risikolage individuell unterschiedlich anhand folgender Parameter beurteilt:

Anlagengröße und Investitionssumme

Auf der Grundlage statistischer Erhebungen ergibt sich in der Regel bei jedem Versicherer ein Promille Satz. Dieser orientiert sich an der Investitionssumme oder an der Anlagenleistung (kWp) Darauf aufbauend wird der genaue Betrag anhand unterschiedlicher Risikofaktoren und Sicherungsmaßnahmen bestimmt. (Versicherungsmakler Rosanowske GmbH & Co. KG)

Standort des Solarparks

Der Standort und in welcher ZÜRS Zone (Zonierungssystem für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen) liegt, spielt bei der Risikobeurteilung eine erhebliche Rolle.

Die ZÜRS Zone bestimmt die Hochwassergefährdungen sowie die Starkregen-, Blitzschlag-, Sturm- und Erdbebenrisiken. Durch ein Bodengutachten kann die Eignung für eine langjährige Nutzung festgestellt werden. Fehlt dieses Gutachten, lehnt der Versicherer in der Regel eine Deckung ab oder grenzt den Versicherungsschutz für bestimmte Risiken ein.

Andere gefahrerhöhende Umstände im Umfeld der PV-Anlage können Windräder oder bestimmte Gewerbebetriebe sein. Das standortabhängige Diebstahlrisiko soll und kann durch den Einsatz der unterschiedlichen Sicherungsmaßnahmen erheblich reduziert werden. Gleiches gilt für das ebenfalls erhöhte Vandalismusrisiko bei Freiflächenanlagen (Versicherungsmakler Rosanowske GmbH & Co. KG).

Objektschutzmaßnahmen (Mindestsicherung)

Als Mindestsicherung wird die Umzäunung des gesamten Geländes der PV-Anlage gefordert. Je nach Versicherer gibt es dabei unterschiedliche Anforderungen an den Zaun. Etabliert hat sich ein mindestens 2 Meter hoher Industriegitterzaun bzw. Gittermattenzaun mit Übersteigschutz. Des Weiteren ist die Einhaltung von DIN-Normen und Verwendung von zertifizierten Bauteilen und Komponenten gängig.

Zusätzliche, diebstahlhemmende Maßnahmen (Versicherungsmakler Rosanowske GmbH & Co. KG) z. B.:

- Spezialschrauben zur Montage
- Verkleben von Bauteilen
- Elektronische Überwachung

Brandschutzmaßnahmen

Etwaige Brandschutzmaßnahmen sind im Feuerwehrplan nach DIN 14095 und der Brandschutzordnung nach DIN 14096 festzulegen und regelmäßig fortzuschreiben:

Sicherung von Wechselrichtern

Die Sicherung von Wechselrichtern ist ein weiterer wichtiger Faktor im Bereich der Schutzmaßnahmen. Auch diese können mechanisch und/oder elektronisch gegen Diebstahl gesichert werden. Eine wettersichere und korrosionsgeschützte Unterbringung der Einheiten sollte Standard sein. Die Auswahl der Wechselrichter hat nach den jeweiligen Anforderungen am Einsatzort zu erfolgen. Um den Ertragsausfall bei einem versicherten Sachschaden möglichst gering zu halten, sollte jede PV-Anlage über ein regelmäßig geprüftes Ferndiagnosesystem verfügen. Je schneller ein Schaden an der Anlage erkannt wird, desto schneller ist auch eine Reparatur möglich und begrenzt den Ertragsausfall. (Versicherungsmakler Rosanowske GmbH & Co. KG)

4.7 Förderfähigkeit im Rahmen der Innovationsförderung

Die Fördermöglichkeiten für Agri-PV nach dem EEG wurden in Abschnitt 3.5.2 erläutert. Sofern für Agri-PVA eine Förderung über die EEG-Einspeisevergütung erzielt werden kann, ist eine doppelte Inanspruchnahme von Fördermitteln aus anderen staatlichen Förderprogrammen zur Finanzierung in der Regel ausgeschlossen.

Im Rahmen der Innovationsförderung wurden über die Förderdatenbank des Bundes (www.foerderdatenbank.de) für das Fördergebiet „Bund“ oder „Sachsen“ mit den Förderbereichen „Energieeffizienz & Erneuerbare Energien“ sowie „Landwirtschaft & Ländliche Entwicklung“ und dem LfULG als öffentliche Einrichtung drei relevante Förderprogramme gefunden.

Fazilität „Connecting Europe“ (CEF)

- Fördergeber Exekutivagentur Innovation und Netzwerke (INEA)
- Zutreffender Förderschwerpunkt
- Leistung eines Beitrags zur nachhaltigen Entwicklung und zum Umweltschutz, unter anderem durch die Integration von Energie aus erneuerbaren Quellen in die Übertragungsnetze und durch die Entwicklung von intelligenten Energie- und Kohlendioxidnetzen
- Zuschuss
- Förderhöhe/-quote offen und abhängig von beantragter Maßnahme

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) (2014-2020)

- Fördergeber Europäische Kommission (EC)
- Zutreffender Förderschwerpunkt
- Investitionen in materielle Vermögenswerte
- Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen
- Zuschuss
- Förderhöhe/-quote 20 – 85 Prozent der förderfähigen Kosten abhängig vom Entwicklungsstand der Region des Antragstellers insbesondere gem. Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 Artikel 17c und 28

Der Förderzeitraum des ELER ist bereits abgelaufen. Es empfiehlt sich auf die Neuauflage des Förderprogramms zu warten, da dort ähnliche, wenn nicht sogar günstigere Förderkonditionen zu erwarten sind.

BMU – Umweltinnovationsprogramm

- Fördergeber Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
- Zutreffender Förderschwerpunkt
- Klimaschutz (Energieeinsparung, Energieeffizienz, erneuerbare Energien, umweltfreundliche Energieversorgung und -verteilung)
- Zuschuss, Darlehen
- Bis zu 30 Prozent Investitionszuschuss
- Bis zu 70 Prozent Zinsverbilligung der förderfähigen Kosten gem. „Richtlinie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen“ nach Punkt 4.3.1

Außerhalb der Innovationsförderung wurde unter dem Suchbegriff „Energie“ nach Möglichkeiten für öffentliche Einrichtungen recherchiert, Fördermittel beziehen zu können im Rahmen der Realisierung eines Agri-PV-Projekts.

Umweltschutzförderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

- Fördergeber Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)
- Zutreffender Förderschwerpunkt
- Erneuerbare Energie, Energieeinsparung und -effizienz
- Zuschuss
- Förderhöhe/-quote offen und abhängig von beantragter Maßnahme

KfW-Programm Erneuerbare Energien – Standard

- Fördergeber KfW Bankengruppe
- Zutreffender Förderschwerpunkt
- Errichtung, Erweiterung und Erwerb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, einschließlich der erforderlichen Planungs-, Projektierungs- und Installationsmaßnahmen,
- Darlehen
- Förderhöhe/-quote bis zu 100 Prozent der förderfähigen Kosten abhängig von beantragter Maßnahme

Eine Detailprüfung der Förderbedingungen der Förderprogramme ist nicht Teil des vorliegenden Berichts.

Literaturverzeichnis

BADELT, OLE; NIEPELT, RAPHAEL; WIEHE, JULIA; MATTHIES, SARAH; GEWOHN, TIMO; STRATMANN, MANUEL et al. (2020): Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE). Leibniz Universität Hannover, Institut für Festkörperphysik (FKP), Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH). Online verfügbar unter https://www.umwelt. niedersachsen.de/startseite/aktuelles/publikationen/klimaschutz_amp_energie/publikationen-klimaschutz-und-energie-8854.html, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

BARRON-GAFFORD, GREG A.; PAVAO-ZUCKERMAN, MITCHELL A.; MINOR, REBECCA L.; SUTTER, LELAND F.; BARNETT-MORENO, ISAIAH; BLACKETT, DANIEL T. ET AL. (2019): Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. In: Nature Sustainability (2), S. 848–855.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2014): AgroKlima Bayern - Technik für Regelfahrspurverfahren (Controlled Traffic Farming - CTF). Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/ilt/pflanzenbau/marktfruchtanbau/025089/index.php, zuletzt geprüft am 23.04.2021.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: Verordnung zur Durchführung der Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (Direktzahlungen-Durchführungsverordnung - DirektZahlDurchfV). DirektZahlDurchfV, vom 03.11.2014, zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 22.09.2020 BAnz AT 24.09.2020 V1.

BUNDESVERWALTUNGSGERICHT, vom 04.07.2019, Aktenzeichen BVerwG 3 C 11.17.

BURGER, BRUNO (2021): Energy Charts. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Online verfügbar unter https://energy-charts.info/.

CBD (2020): Update of the Zero Draft of the Post-2020 Global Biodiversity Framework. Hg. v. CBD – Convention on Biological Diversity (CBD/POST2020/PREP/2/1). Online verfügbar unter https://www.cbd.int/doc/c/3064/749a/0f65ac7f9def86707f4eaefa/post2020-prep-02-01-en.pdf.

CHRISTOPH FEYER (2021): Schwerpunkt Solarenerige. In: Bauernzeitung (24/2021).

DBU (Hg.) (2021): Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende, am Beispiel von Solarfeldern. Online verfügbar unter https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-35210_01-Hauptbericht.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

DEGER ENERGIE: Datenblatt Trackingsystem DEGER S100-PF-DR. Online verfügbar unter https://www.degerenergie.de/de/deger-s100-pf-dr/.

DIN SPEC 91434: Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung.

DULLAU, SANDRA (2021): Agri-PV Anlagen: Fragen zur Naturverträglichkeit & Potenziale für die Biodiversität. KNE-Forum "Naturverträgliche Solarparks", 10.06.2021.

EUROPÄISCHE UNION (17.12.2013): Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 mit Vorschriften über Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 637/2008 des Rates und der Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates. Verordnung (EU) Nr. 1307/2013.

FEISTEL, ULRIKE; WERISCH, STEFAN; MARX, PHILIPP; KETTNER, SUSANNA; EBERMANN, JAKOB; WAGNER, LAURENCE (2021): Assessing the Impact of Shading by Solar Panels on Evapotranspiration and Plant Growth Using Lysimeters. Agrivoltaics Conference, 2021.

FRAUNHOFER IMW (Hg.) (2021): Landwirtschaft neu gedacht. Das Agri4Power-Konzept. Online verfügbar unter agri4power.com, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

FRAUNHOFER ISE (2016): Fact Sheet. Projekt »APV-Resola«: Pilotanlage Demeter-Hofgemeinschaft Heggelbach. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/presseinformationen/2016/ISE_FactSheet_d_AgroPV_Pilotanlage_final.pdf, zuletzt aktualisiert am 19.07.2021.

FRAUNHOFER ISE (21.11.2017): Sonne ernten auf zwei Etagen – Agrophotovoltaik steigert die Landnutzungseffizienz um über 60 Prozent. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2017/sonne-ernten-auf-zwei-etagen-agrophotovoltaik-steigert-landnutzungseffizienz-um-ueber-60-prozent.html, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

FRAUNHOFER ISE (12.04.2019): Agrophotovoltaik: hohe Ernteerträge im Hitzesommer. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2019/agrophotovoltaik-hohe-ernteertraege-im-hitzesommer.html, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

FRAUNHOFER ISE (HG.) (2020): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende.

FRAUNHOFER ISE (Hg.) (2021a): PV Ertragsdaten Anlage Heggelbach. Online verfügbar unter http://www.ise.solar-monitoring.de/day.php?system=apvh&untersystem=0&date=2017-05-07&lang=de, zuletzt aktualisiert am 19.07.2021.

FRAUNHOFER ISE (Hg.) (2021b): Zusammenfassung der DIN SPEC 91434. Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung.

GERHARDS, CHRISTOPH; REKER, SOPHIA; PASKERT, VERONIKA; SCHNEIDER, JENS; PANNICKE-PROCHNOW, NADINE; STRETZ, RAFFAEL ET AL. (2021): The Agri4Power Concept: A Win-Win Situation for Renewable Energy Generation and Sustainable Agriculture. Agrivoltaics Conference, 2021.

HILDEBRAND, HEIKO (22.07.20): Alles senkrecht ! Agriphotovoltaik mit vertikalen bifacialen Solarmodulen. Next2Sun GmbH. online, 22.07.22.

HÖCKNER, ERNST (2020): Stromernte am Acker. Wien Energie, 2020.

HÖTGER, HERMANN; BRÜHL, CARSTEN; BUHR, CONSTANZE; OPPERMANN, RAINER (2018): Biodiversitätsflächen zur Minderung der Umweltauswirkungen von Pflanzenschutzmitteln. Anforderungen an Kompensationsmaßnahmen im Risikomanagement. Hg. v. UBA (TEXTE, 53/2018). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biodiversitaetsflaechen-zur-minderung-der, zuletzt geprüft am 07.06.2021.

JOHANNES SCHARF, MICHAEL GRIEB, MAENDY FRITZ (2021): Agri-Photovoltaik: Stand und offene Fragen. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Straubing (Berichte aus dem TFZ, 73). Online verfügbar unter https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/rohstoffpflanzen/dateien/tfz_bericht_73_agri-pv.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

KERN, TIMO; ROON, SERAFIN VON: Die deutschen Strompreise an der Börse EPEX Spot in 2019 – Analyse des Preisniveaus und der Preisschwankungen (Preisspreads). Online verfügbar unter https://www.ffegmbh.de/kompetenzen/wissenschaftliche-analysen-system-und-energiemaerkte/strommarkt/932-die-deutschen-strompreise-an-der-boerse-epex-spot-in-2019-analyse-des-preisniveaus-und-der-preisschwankungen-preisspreads.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (Hg.) (2020): Blühstreifen. Online verfügbar unter https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/naturschutz/biodiversitaet/bluehstreifen/index.htm, zuletzt geprüft am 13.07.2021.

LATSCH, A. J.; ANKEN, T. (2020): Permanente Fahrspuren reduzieren Bodenverdichtung: Weiterentwicklung bodenschonender Anbausysteme durch Controlled Traffic Farming (CTF). Online verfügbar unter https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/44334, zuletzt geprüft am 04.08.2021.

LFULG (Hg.) (2021): Klimaentwicklung Langfristiges. Online verfügbar unter https://www.klima.sachsen.de/Klimaentwicklung-12373.html, zuletzt aktualisiert am 19.07.2021.

MEAD, R.; WILLEY, R. W. (1980): The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. In: Ex. Agric. 16 (3), S. 217–228. DOI: 10.1017/S0014479700010978.

MKG: GMS Double. Hg. v. Montagebau Karl Göbel e.K. (MKG). Online verfügbar unter https://www.mkg-goebel.de/de/montagesysteme/gms-double/.

NAUJOKS, IRENE; SIEMER, JOCHEN: Preisindizes. In: Photon (Juli 2021).

NEUMANN, HINRICH (2020): Photovoltaik, Artenschutz und Landwirtschaft auf einer Fläche. Bei dem System „Flower Power“ sollen streifenförmig angelegte Solaranlagen Erosionsschutz bieten, die Artenvielfalt erhöhen und gleichzeitig Strom liefern, 09.09.2020. Online verfügbar unter https://www.topagrar.com/energie/news/photovoltaik-artenschutz-und-landwirtschaft-auf-einer-flaeche-12343350.html, zuletzt geprüft am 21.07.2021.

NEXT2SUN. Hg. v. Next2Sun GmbH. Online verfügbar unter Netxt2sun.de.

PATACZEK, LISA; HÖGY, PETRA; LAUB, MORITZ; FEUERBACHER, ARNDT; ZIKELI, SABINE (2021): Meta-Analysis: Yield Responses Differ Between Crops and Shade Levels. Agrivoltaics Conference, 2021.

PESCHEL, ROLF; PESCHEL, TIM; MARCHAND, MARTINE; HAUKE, JÖRG (2019): Solarparks - Gewinne für die Biodiversität. Hg. v. BNE. Online verfügbar unter https://www.bne-online.de/de/news/detail/studie-photovoltaik-biodiversitaet/, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

SÄCHSISCHE ZEITUNG (2021): Sachsenweit einmaliges Solarprojekt bei Görlitz. In: Sächsische Zeitung, 05.07.2021. Online verfügbar unter https://www.saechsische.de/niesky/lokales/solaranlage-photo voltaik-landwirtschaft-gut-krauscha-5475899-plus.html.

SCHNEIDER, JENS (2020): Vertical bifacial solar module system on wild flower strips combining energy and cropsproduction with preservation of biodiversity. EU PVSEC 2020, 11.09.2020. Online verfügbar unter https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?char=V&paper=49229, zuletzt geprüft am 23.07.2021.

STEBER, FELIX (2021): Agri PV in Althegenberg, 19.07.2021. Telefonat an Christoph Gerhards.

STEININGER, MICHAEL; WURBS, DANIEL (2016): Bundesweite Gefährdung der Böden durch Winderosion und Bewertung der Veränderung infolge des Wandels klimatischer Steuergrößen als Grundlage zur Weiterentwicklung der Vorsorge und Gefahren-abwehr im Bodenschutzrecht. Hg. v. UBA (TEXTE 13/2017 Erkenntnisse aus Agroforst Systemen). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-30_texte_13-2017_winderosion-ackerflaechen.pdf.

TROMMSDORFF, MAXIMILIAN; GRUBER, SIMON; KEINATH, TOBIAS; HOPF, MICHAELA; HERMANN, CHARIS; SCHÖNBERGER, FREDERIK ET AL. (2020): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwitschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Online verfügbar unter https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/agri-photovoltaik-chance-fuer-landwirtschaft-und-energiewende.html, zuletzt geprüft am 02.02.2021.

VERSICHERUNGSMAKLER ROSANOWSKE GMBH & CO. KG: Solarparkversicherung. Online verfügbar unter https://www.rosa-photovoltaik.de/grossanlagen/, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

VERWALTUNGSGERICHT REGENSBURG, Beihilfefähigkeit eines Solarparks vom 15.11.2018, Aktenzeichen RO 5 K 17.1331.

WBGU (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration. Hg. v. WBGU. Online verfügbar unter https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/landwende#sektion-downloads, zuletzt geprüft am 19.07.2021.

WESELEK, AXEL; EHMANN, ANDREA; ZIKELI, SABINE; LEWANDOWSKI, IRIS; SCHINDELE, STEPHAN; HÖGY, PETRA (2019): Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review. In: Agronomy for Sustainable Development 39 (35).

WYDRA, KERSTIN (2021): Agriphotovoltaik - doppelte Landnutzung, dreifacher Effekt. VEE-Sachsen. Web-Konferenz, 24.02.2021. Online verfügbar unter https://www.vee-sachsen.de/artikel/videomitschnitt-agriphotovoltaik-doppelte-landnutzung-dreifacher-effekt-prof-dr-kerstin-wydra, zuletzt geprüft am 15.07.2021

Herausgeber:
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de

Autoren:
Dr. Christoph Gerhards, Lisa Schubert
Fraunhofer IMW, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie
Leipziger Straße 70, 06108 Halle (Saale)
Christoph Lenz, Falk Wittmann, Dirk Richter, GICON®- Großmann Ingenieur Consult GmbH
Tiergartenstraße 48, 01219 Dresden

Benjamin Volz
Next2Sun GmbH
c/o TechnologieZentrum Koblenz
Universitätsstraße 3, 56070 Koblenz

René Pommer
Abteilung 7 / Referat 74
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Am Park 3, 04886 Köllitsch
Telefon: +49 34222 46.2210
Telefax: +49 34222 46.2099
E-Mail: Rene.Pommer@smekul.sachsen.de

Redaktion:
René Pommer
siehe Autoren

Fotos:
Titelbild oberer Teil: Albert Schlaak, Fraunhofer ise
Titelbild unterer Teil: Next2Sun, Werksfoto

Redaktionsschluss:
11.01.2022

ISSN:
1867-2868

Hinweis:
Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter https://publikationen.sachsen.de heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis
Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Täglich für
ein gutes Leben.
www.lfulg.sachsen.de