



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 102 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Agronomische und ökologische Potenziale von Photovoltaikanlagen auf Grünland

Dina Hamidi, Karen Baumann, Manfred Kayser, Harald von Witzke und Johannes Isselstein

- 1 Einleitung
- 2 Photovoltaik (PV) -Anlagen
 - 2.1 PV-Anlagen-Typen und Nutzungskonzepte
 - 2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zu Errichtung und Betrieb von PV-Anlagen in Deutschland
 - 2.2.1 Bauplanungsrecht
 - 2.2.2 Steuerrecht
- 3 PV und landwirtschaftliche Bodennutzung
 - 3.1 Derzeitiger Stand der Einordnung der landwirtschaftlichen Flächennutzung in PV-Anlagen
 - 3.2 Vorschlag zur Neuordnung der Kategorisierung für die landwirtschaftliche Flächennutzung in PV-Anlagen
- 4 Grünland-PV
 - 4.1 Ökologische Nutzung von Grünland-PV
 - 4.2 Agronomische Nutzung von Grünland-PV
 - 4.2.1 Schnittnutzung
 - 4.2.2 Beweidung
- 5 Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen in PV-Anlagen (AUKM-PV)
 - 5.1 Ziele und Maßnahmen von AUKM

- 5.2 Ökosystemleistungen
- 5.3 Blühstreifen
- 5.4 Moornutzung. Vernässung

- 6 Diskussion
 - 6.1 Kategorisierung
 - 6.2 Doppelnutzung
 - 6.3 Ökologische Vielfalt
 - 6.4 Technische Ausgestaltung
 - 6.5 Erhalt des landwirtschaftlichen Flächenstatus
 - 6.6 Integration in Förderrichtlinien

- 7 Fazit

- 8 Literaturverzeichnis

- 9 Anhang

1 Einleitung

Für Deutschland wird die Ausweitung der Energieerzeugung mittels Photovoltaik (PV) als Voraussetzung dafür angesehen, dass die gesetzten Klimaziele erreicht werden können (VON SEHT 2023). Seit den 1990er Jahren wurde PV zunächst fast ausschließlich auf Gebäuden installiert (Gebäude-abhängige PV-Anlagen) (HOFFMANN 2008), ab 2004 nahm die Bedeutung von Gebäude-unabhängigen PV-Anlagen zu (BFN 2009). Gebäude-unabhängige PV-Anlagen sind in der Stromerzeugung effizienter bzw. die Stromgestehungskosten sind niedriger als bei Anlagen des 2. Segments (KOST et al., 2021), da sie hinsichtlich ihrer optimalen Ausrichtung zur Sonne, Flächengröße (WIRTH 2023), geringeren Kosten (FISCHEDICK et al. 2021) und einfacheren Wartung effektiver sind.

Neben der Nutzung von ehemaligen Militär-, Industrie- und Gewerbeflächen (Konversion) werden Gebäude-unabhängige PV-Anlagen auch auf vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen errichtet; diese Flächen machen ein Drittel der im Jahr 2021 mit PV überbauten Fläche (30.000 ha) aus (UBA 2022). Die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen für PV wird in Zukunft zunehmen: nach Abschätzungen von BÖHM UND TIETZ (2022) werden bis zum Jahr 2040 insgesamt 280.000 ha ehemals

landwirtschaftlich genutzter Fläche gebraucht, um das im Erneuerbare-Energien-Gesetz von 2023 (EEG(2023)) festgeschriebene Ziel von insgesamt 400 GWp PV-Leistung zu erreichen. Nach jetzigem Stand (UBA 2022) verlieren diese Flächen damit den landwirtschaftlichen Status und werden den Siedlungs- und Verkehrsflächen zugeordnet. Nach Überbauung mit PV-Modulen wird auf den Flächen üblicherweise Gras eingesät bzw. es entwickelt sich Grünland (BfN 2009). Grundsätzlich ist Grünland definiert als eine dauerhafte Pflanzengemeinschaft, die aus Gräsern und Kräutern besteht. Diese Grasnarbe kann durch Ansaat oder Selbstberasung entstanden sein. Eine regelmäßige Entblätterung (Schnitt- bzw. Weidenutzung) ist Voraussetzung für den Erhalt der Grasnarbe (PEETERS et al. 2014, BfN 2014). Als Dauergrünland werden Flächen (mit landwirtschaftlichem Status) bezeichnet, bei denen die Grasnarbe ein Alter von mindestens fünf Jahren hat (vgl. Verordnung zur Durchführung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP)-Direktzahlungen (GAPDZV) § 7). Mögliche ökologische und agronomische Leistungen des bestehenden oder entstehenden Grünlandes in Freiflächen Photovoltaik (FFPV)-Anlagen können zurzeit nicht gänzlich genutzt werden und werden entsprechend auch nicht vollumfänglich anerkannt (AGORA ENERGIEWENDE 2021). Dies beruht darauf, dass aktuell die Nutzung der Fläche unter FFPV-Anlagen an die Definition der FFPV gekoppelt ist, die FFPV allerdings nicht einheitlich über die Nutzung der Fläche definiert ist, auf der sie steht und somit unterschiedliche Rechtsgrundlagen gelten (Tabelle 1).

Zur Einordnung und Bewertung der von Grünland in FFPV-Anlagen erbrachten Leistungen kann das Konzept der Ökosystemleistungen (ÖSL) beitragen (BURKHARD et al. 2012; ISSELSTEIN UND KAYSER 2014; BENGSSON et al. 2019, SCHILS et al. 2022). ÖSL beschreiben den nachhaltigen Nutzen, den Ökosysteme und landwirtschaftlichen Nutzungssysteme, wie z.B. Grünland, für den Menschen haben. Neben der Biomasse-Produktion sind dies insbesondere Versorgungs-, Regulations- und soziokulturelle Leistungen. Gerade Dauergrünland erfüllt wichtige Funktionen im Klima-, Boden- und Gewässerschutz und hat das Potenzial für eine Förderung der Biodiversität (ISSELSTEIN UND KAYSER 2014; BENGSSON et al. 2019, SCHILS et al. 2022). Die agronomischen Leistungen von Grünland sind in der Regel über die Tierhaltung und -produktion marktfähig, die weiteren Leistungen wie Beiträge zum Klimaschutz und zur Erhöhung der Biodiversität sind bislang nicht marktfähig und ggf. über Agrarumweltprogramme honorierbar.

Weder die Nutzung durch Beweidung noch die erbrachten ÖSL der Grünlandflächen unter FFPV-Anlagen (die nicht als Agri-PV-Anlagen definiert sind; Tab. 1) werden bisher der landwirtschaftlichen Nutzung zugeordnet (UBA 2022). Jedoch gibt es aktuell Gerichtsurteile, die eine überwiegend landwirtschaftliche Nutzung unter FFPV-Anlagen insbesondere im Hinblick auf die Schafbeweidung feststellen und eine GAP-Förderfähigkeit anerkennen (BAYERISCHE STAATSKANZLEI 2021).

Es bedarf daher eines Rahmenkonzeptes für die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für PV, das einerseits marginale bzw. für die Produktion minderwertige Flächen mit PV aufwertet, in dem Energieerzeugung, landwirtschaftliche Nutzung, Förderung der Biodiversität, Bodenschutz und Kohlenstoffspeicherung kombiniert werden und das andererseits wertvolle Flächen für die Lebensmittelerzeugung vor einer Überbauung mit PV schützt.

Die Definition und die Ausgestaltung eines solchen Rahmens sind zudem wichtig, da es FFPV-Anlagen gibt, die nicht nach dem EEG (2023) gefördert werden. Diese Anlagen müssen keine bestimmten Vorgaben hinsichtlich der zu überbauenden Flächen erfüllen ("Standortfläche" benachteiligte Gebiete, Tabelle 1), sondern werden über frei zu verhandelnde Stromabnahmeverträge (Power Purchase Agreements, PPAs) finanziert. Sie können auf jeder freien Fläche errichtet werden, auf der dies nach staatlichem Baurecht möglich ist.

Im Hinblick auf den weiteren Ausbau und die mögliche Förderung von FFPV-Anlagen bedarf es daher vor allem mehr Klarheit bei den Begrifflichkeiten, der Schaffung einer übersichtlichen Gesetzeslage, sowie einer Identifizierung und Anerkennung des landwirtschaftlichen und ökologischen Mehrwertes, der insbesondere durch extensiv genutztes Grünland unter FFPV entstehen kann. Auch die Begrenztheit der landwirtschaftlichen Fläche und die Notwendigkeit einer verbindlichen Flächenkulisse muss dabei berücksichtigt werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist es (i) eine Übersicht über die Kategorisierung von PV-Anlagen in Deutschland zu geben, (ii) Möglichkeiten der Kombination von Energieerzeugung, ökologischen und agronomischen Leistungen bei FFPV-Anlagen aufzuzeigen und (iii) Vorschläge für eine systematische Kategorisierung für FFPV-Anlagen zu machen, die die Integrationsmöglichkeiten in bestehende agrarische Systeme berücksichtigt und somit einheitliche Planungsvoraussetzungen schafft.

- **Flächenbedarf für FFPV-Anlagen steigt.**
- **Begrifflichkeiten und Gesetzeslage sind unübersichtlich.**
- **Agronomische und ökologische Potenziale der Flächen unter FFPV-Anlagen sind zurzeit nicht vollumfänglich berücksichtigt.**
- **Verbindliche Flächenkulisse ist notwendig um Gunststandorte der Lebensmittelproduktion zu schützen.**

2 Photovoltaik (PV)-Anlagen

2.1 PV-Anlagen-Typen und Nutzungskonzepte

Grundsätzlich funktionieren PV-Module nach einem elektrochemischen Prinzip, bei dem die Sonnenenergie eine Elektronenwanderung mit Bor und Phosphor in p-n-dotiertem Silizium erzeugt, wobei nutzbare Energie in Form von Strom entsteht (WÜRFEL 2000).

Neben den nur an einer Oberflächenseite aktiven unifazialen PV-Modulen gibt es bifaziale Module die Sonnenenergie auf ihrer Vorder- und Rückseite in Strom umwandeln (KOPECEK und LIBAL 2021) – diese Module sind lichtundurchlässig. Semitransparente Module dagegen lassen einen Anteil des Lichtes durch; im Zusammenspiel mit Sonnenschutz, Windschutz und Licht kann sich dies für das Pflanzenwachstum positiv auswirken.

In Deutschland werden eine Reihe von PV-Anlagen-Typen und Nutzungskonzepte unterschieden. Die aktuell verwendeten Begrifflichkeiten sind dabei unübersichtlich. Im Folgenden wird die derzeitige Situation dargestellt.

Bei PV-Anlagen, die nach den Richtlinien des EEG (2023) gebaut und gefördert werden (sollen), wird zwischen **Gebäude-unabhängigen** (1. Segment) und **Gebäude-abhängigen** PV-Anlagen unterschieden (2. Segment; Tabelle 1). Segment 1 umfasst auch PV-Anlagen, die auf sonstigen baulichen Anlagen, die kein Gebäude und keine Lärmschutzwand sind, errichtet werden. Im EEG (2023) wird unter § 3 Absatz 22 "jede Solaranlage, die nicht auf, an oder in einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage angebracht ist, die vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie errichtet worden ist" als **FFPV** definiert.

Tabelle 1:

Surzeit gültige Systematik von PV-Anlagen in Deutschland definiert nach dem EEG 2023

PV-Typ	Standortfläche ¹⁾	PV-Subtyp	PV-Subtyp	Boden	Nutzung vor PV	Nutzung mit PV	Besonderes Nutzungskonzept	Technische Umsetzung	
Gebäudeabhängig (EEG § 3, 41b: zweites Segment)	auf, an oder in einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand	PV-Anlage	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.b.	auf Dächern und Lärmschutzwänden	
Gebäudeunabhängig (EEG § 3, 41a: erstes Segment)	auf, an oder in einer baulichen Anlage, die weder Gebäude noch Lärmschutzwand ist (z.B. Deponie)	PV-Anlage	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.b.	n.b.	
	bis 500 m vom äußeren Fahrbandrand entfernt entlang von Schienenwegen und Autobahnen (EEG § 37,2c)	Freiflächen-PV-Anlage (FFPV)	n.d.	kein Moorboden	landwirtschaftliche Nutzung	Gewerbefläche	Solarpark	meist feste Gestelle auf dem Boden	
	auf benachteiligter Ackerfläche (EEG § 37, 2h)			benachteiligte landwirtschaftliche Gebiete im Sinne der Richtlinie 75/268/EWG (EEG § 3, 7a)					
	auf benachteiligter Grünlandfläche (EEG § 37, 2h)								
	weitere s. EEG § 37, 2a,b,d,g			n.a.	n.b.	n.b.			
	künstliches oder erheblich verändertes Gewässer (Wasserhaushaltsgesetz § 3, 4 und 5 (EEG § 37, 2))			n.a.	n.b.	n.b.	schwimmender Solarpark	schwimmende Gestelle (Floating PV)	
	die den Anforderungen der Bundesnetzagentur § 85c entsprechen (EEG § 37, 3)	besondere PV-Anlage	kein Moorboden	Acker	Acker (nach DIN SPEC 91434:2021-05 Vorgaben)	Acker (nach DIN SPEC 91434:2021-05 Vorgaben)	Agri-PV-Anlage (DIN SPEC 91434:2021-05)	Kategorie 1: mind. 2,10 m lichte Höhe (DIN SPEC 91434:2021-05) landwirtschaftliche Nutzung unterhalb	hoch/niedrig aufgeständert, gewinkelt bifazial, evtl. semitransparent 90° bifazial nachführbare Anlagen (Mover/Tracker)
	Dauerkultur			Dauerkultur (nach DIN SPEC 91434:2021-05)				Kategorie 2: unter 2,10 m lichte Höhe (DIN SPEC 91434:2021-05) landwirtschaftliche Nutzung zwischen den Reihen	
	Dauergrünland			Grünland (nach DIN SPEC 91434:2021-05 Vorgaben)					
	auf Parkplatzflächen			Parkplatz	Parkplatz	n.b.	n.b.		
	Moorboden	landwirtschaftliche Nutzung	dauerhafte Wiedervernässung	dauerhafte Wiedervernässung	besondere Anforderungen an Gründung				

1) Die Standortflächen sind nur stichpunktartig umschrieben und geben möglicherweise nicht sämtliche Fördervoraussetzungen vollständig wieder.

n.a. = nicht anwendbar

n.b. = nicht betrachtet

n.d. = nicht weiter definiert

Fläche mit landwirtschaftlicher Nutzung vor und/oder nach PV-Installation

Die Aufständerung von PV-Modulen in FFPV-Anlagen kann in unterschiedlicher Höhe (hoch, bodennah) und in unterschiedlichem Winkel zur Sonne erfolgen (z.B. 30–40°, aber auch 90°). Neben fester Aufständerung gibt es bewegliche Gestelle, die dem Sonnenstand nachgeführt werden, sogenannte

Mover-, Tracking, oder Nachführgestelle. In Reihen aufgebaute und mit einem Schutzzaun umgebene FFPV-Anlagen bilden einen sogenannten Solarpark.

Eine Untergruppe von **FFPV** sind die „**Besonderen PV-Anlagen**“ (Tabelle 1). Die Anforderungen, die an diese Anlagen gestellt werden, hat die Bundesnetzagentur festgelegt (vgl. § 85 c BUNDESNETZAGENTUR 2023). Demzufolge sind **Agri-PV-Anlagen**, die landwirtschaftliche Nutzung und Stromerzeugung kombinieren und nach **DIN SPEC 91434:2021-05** definiert sind, ein Nutzungskonzept der Besonderen Solaranlagen auf Nicht-Moorböden (Tabelle 1). Diese Anlagen sind dabei so auf dem Feld installiert, dass sie weiterhin eine maschinelle Bewirtschaftung der Fläche zulassen. Agri-PV-Anlagen werden in zwei Kategorien unterteilt, es werden hoch-aufgeständerte (mind. 2,10 m lichte Höhe; Kategorie I) von bodennahen PV-Anlagen (unter 2,10 m; Kategorie II) unterschieden (Tabelle 1). Die hoch aufgeständerten Module ermöglichen eine Nutzung der Fläche unterhalb der Module, während bei den Anlagen der Kategorie II die Bewirtschaftung zwischen den Modulreihen möglich sein muss. Wichtig ist für beide Kategorien, dass zusätzlich weitere in der DIN SPEC 91434:2021-05 definierte Bedingungen eingehalten werden müssen. Bei Kategorie I und II dürfen lediglich 10 bzw. 15 % der Gesamtprojektfläche konstruktionsbedingt als landwirtschaftlich nutzbare Teilflächen wegfallen. Es muss auf der gesamten Fläche weiterhin ein Kulturpflanzen-Ertrag von mindestens 66 % eines über die letzten 3 Jahre gemittelten Referenzertrags erwirtschaftet werden.

Eine weitere Kategorie der 2023 definierten Besonderen Solaranlagen sind **FFPV-Anlagen, die auf Dauergrünland** (mindestens 5 Jahre nicht umgebrochen) **oder Moorböden** errichtet und betrieben werden (vgl. §37, Absatz 1, Satz 3, Buchstaben c und e EEG 2023). Es muss dabei eine Bewirtschaftung des Dauergrünlandes bzw. Wiedervernässung von Moorböden stattfinden. Für die Grünlandnutzung wird dazu auf die DIN SPEC 91434:2021-05 verwiesen, in der die Anforderungen an das landwirtschaftliche Nutzungskonzept, die maximalen Ertrags- und Flächenverluste, technische Anforderungen, etc. definiert sind (BUNDESNETZAGENTUR 2023). Die Regelungen zur dauerhaften Wiedervernässung von Moorstandorten umfassen beispielsweise Zielwasserstände als Kontrollparameter für die erfolgreiche Wiedervernässung.

Auch **FFPV-Anlagen auf Parkplätzen** fallen unter die Kategorie Besondere Solaranlagen (Tabelle 1). Dieses verdeutlicht eine fehlende Trennung anhand von Flächenkategorien (landwirtschaftlich nutzbare Fläche vs. landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche), um den potenziellen Mehrwert einer landwirtschaftlichen Fläche bzw. die möglicherweise durch eine extensive Nutzung darauf erbrachten ÖSL zu honorieren. Ziel sollte es sein, für die landwirtschaftliche Landnutzung unter PV eine systematische Kategorisierung festzulegen, die die Grundlage für die Entwicklung von passgenau entwickelten Fördermaßnahmen bilden kann. Dieser Punkt gewinnt an weiterer Bedeutung durch die Tatsache, dass für das Jahr 2024 weitere PV-Anlagen-Definitionen unter anderem durch die im Juni

2024 veröffentlichte DIN SPEC 91492, "Agri-PV-Systeme-tierhaltungsspezifische Anforderungen", vorgenommen wurden.

- **Unterteilung in Gebäude-abhängige PV und Gebäude-unabhängige PV (FFPV) Anlagen.**
- **Fläche unter FFPV kann Konversionsfläche, aber auch Grünland, Parkplatz, etc. sein.**
- **"Besondere PV-Anlagen" (Subtyp von FFPV) beinhalten Agri-PV auf z.B. Acker und Dauergrünland, aber auch FFPV auf Moor- und Parkplatz.**
- **Flächenkategorien (landwirtschaftlich nutzbare Fläche vs. landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche) werden bei bisheriger PV-Kategorisierung u. a. im Rahmen des EEG nicht berücksichtigt.**

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zu Errichtung und Betrieb von PV-Anlagen in Deutschland

2.2.1 Bauplanungsrecht

Aktuell existieren zwei unterschiedliche Ansätze, den mit PV-Anlagen produzierten Strom in Deutschland in ein öffentliches Stromnetz einzuspeisen und dafür eine Vergütung zu erhalten: (1) der Ansatz über das EEG, bei dem vorgegeben wird, welche Flächen mit welcher Art von PV-Anlagen bebaut werden können (Tab. 1) und wie die Vergütung geregelt ist; und (2) der Ansatz über (mehrjährige) Stromlieferverträge, die sogenannten Power Purchase Agreements (PPA), die zwischen einem Anlagenbetreiber (Verkäufer) und einem Stromabnehmer (Käufer) abgeschlossen werden. Die PPA-Anlagen können außerhalb der Flächenvorgaben des EEG geplant werden und unterliegen nur dem öffentlichen Baurecht.

Vor jeder Errichtung einer PV-Anlage findet eine bauplanungsrechtliche Prüfung seitens der Gemeinde statt. Dazu wird betrachtet, in welchem der folgenden drei Bereiche laut Baugesetzbuch (BauGB) sich das Grundstück befindet, auf dem die PV-Anlage geplant ist: a) Bereich mit Bebauungsplan (B-Plan), b) sog. Innenbereich (§ 34 BauGB), c) Außenbereich (§ 35 BauGB). In den Bereichen a) und b) ist eine Installation auf Dächern grundsätzlich möglich oder wird auf Neubauten, wie beispielsweise in Niedersachsen, in Zukunft sogar verpflichtend. Liegt das Grundstück innerhalb eines a) Bebauungsplanes, überprüft die Gemeinde das Bauvorhaben auf Vereinbarkeit mit den Festsetzungen des Bebauungsplans und gibt den Bauantrag üblicherweise mit einer positiven Stellungnahme weiter an die Baugenehmigungsbehörde. Bei Grundstücken im b) Innenbereich wird die Einfügbarkeit des Bauvorhabens nach Art und Maß der baulichen Nutzung in die umgebende Bebauung geprüft

(insbesondere Form und Ausmaße des Bauvorhabens, Ausnutzung der Fläche). Das Bauen im c) Außenbereich ist grundsätzlich nur für sogenannte privilegierte Vorhaben zulässig, muss also z.B. einem landwirtschaftlichen Betrieb dienen. Weitere Zulässigkeiten sind in § 35 Absatz 1 Ziffern 3, 8 oder 9 BauGB geregelt. Hiernach ist beispielsweise die Genehmigung von PV-Anlagen in einem Abstand von bis zu 200 m entlang von Autobahnen oder zweigleisigen Bahnfernstrecken erlaubt (§ 35 Absatz 1, Ziffer 8 BauGB). Wenn die geplante FFPV im Außenbereich nicht nach den Kriterien des § 35 Absatz 1, Ziffern 3, 8 oder 9 genehmigt werden kann, muss i.d.R. ein B-Plan aufgestellt werden, um die baurechtlichen Voraussetzungen für die FFPV zu schaffen. Im Rahmen der Prüfung des Bauantrages wird auch betrachtet, ob öffentliche Belange dem Bauvorhaben entgegenstehen und ob eine ausreichende Erschließung gesichert ist (z.B. heranführende Straße für Baufahrzeuge oder Feuerwehr). Vor dem Bau einer PV-Anlage sind daher Sondierungsgespräche sowohl mit der beauftragten PV-Baufirma als auch dem örtlichen Netzbetreiber (Abklärung des Anschlusspunktes, ausreichende Kapazität des Netzes) und der Gemeinde notwendig.

Der Bau einer FFPV-Anlage im Außenbereich nach § 35 BauGB bedeutet einen Eingriff in Natur und Landschaft, über dessen Ausgleich/Kompensation im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens entschieden wird. Gefordert werden hier i. d. R. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in unmittelbarer Nähe zum Bauvorhaben. Erfolgt der Bau einer FFPV-Anlage hingegen im Geltungsbereich eines B-Planes, so wird der Ausgleich von Eingriffen in Natur und Landschaft durch entsprechende Regelungen in diesem B-Plan bewirkt; eine unmittelbare Nähe der Ausgleichsmaßnahmen zum Ort des Eingriffs ist dort häufig nicht geregelt. Auch kann der Ausgleich durch Festsetzung einer Ausgleichszahlung erfolgen. Die wichtigsten Rechtsgrundlagen für den Ausgleich eines Eingriffs sind das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und das Baugesetzbuch (BauGB).

Grundsätzlich müssen die Gemeinden die Vorgaben der Regional- und Landesplanung zur räumlichen Standortsteuerung von FFPV-Anlagen umsetzen, die je nach Bundesland und Region sehr unterschiedlich ausfallen (UBA 2022). So wird für Niedersachsen in der INSIDE-Studie (BADELDT et al. 2020) empfohlen, eine „Co-Nutzung“ für die Agrar- und die Energieproduktion zu testen, während Schleswig-Holstein Pilotprojekte zu PV-Anlagen auf Autobahnen und Bundesstraßen verstärkt verfolgen will (UBA 2022). Sachsen-Anhalt will vorrangig Konversions- und Brachflächen nutzen oder nicht ausgelastete Gewerbeflächen in Anspruch nehmen, während Bayern vorrangig vorbelastete Standorte entlang von Verkehrsinfrastruktur oder Konversionsflächen für PV-Errichtungen ausweisen will (UBA 2022).

2.2.2 Steuerrecht

Steuerlich betrachtet sind mit FFPV genutzte Flächen als Gewerbeflächen definiert, sofern die FFPV Anlage keine Agri-PV Anlage nach DIN SPEC 91434:2021-05 darstellt. Durch das Aufstellen eines Bebauungsplans und die dann erfolgende Überbauung vormals landwirtschaftlich genutzter Flächen mit FFPV (außer Agri-PV) ergibt sich das Ausscheiden dieser Flächen aus dem land- und forstwirtschaftlichen Vermögen; dieses Ausscheiden bleibt dauerhaft bestehen (§§ 159 Absatz 3 bzw. 233 Absatz 3 Bewertungsgesetz (BewG)). Daraus ergeben sich eine Reihe von Nachteilen für einen landwirtschaftlichen Betrieb. Die anfallende Grundsteuer erhöht sich deutlich, aber auch die Steuerfreistellung (Gewerbesteuer), die in der Regel auf wirtschaftende landwirtschaftliche Betriebe angewandt wird, greift dann nicht mehr. Für die Berechnung der Erbschaftssteuer wird nun der Bedarfswert zur Bewertung der PV-Fläche (die nun Gewerbefläche ist) durch die Hälfte des Wertes des nächstgelegenen Gewerbegebietes definiert. Die oben genannten steuerlichen Regelungen ergeben sich aus den §§ 158 ff. und 218 ff. BewG.

Die derzeit verwendeten Begriffe „FFPV“ und „Agri-PV“ (DIN SPEC 91434:2021-05; Tabelle 1) erfassen die Breite an Bedingungen für PV-Anlagen auf (bisher) landwirtschaftlicher Fläche nur unzureichend bzw. sind nicht eindeutig. Im Folgenden wird daher auf diese Begriffe verzichtet. Stattdessen wird der Begriff „PV“ verwendet, womit alle Gebäude-unabhängigen PV-Anlagen gemeint sind.

- **Standort von PV-Anlagen soll durch EEG-Flächenkulisse gesteuert werden, diese muss jedoch beim Bau von PPA Anlagen nicht berücksichtigt werden.**
- **Steuerliche Nachteile für landwirtschaftliche Betriebe, die PV-Anlagen betreiben.**

3 PV und landwirtschaftliche Bodennutzung

3.1 Derzeitiger Stand der Einordnung der landwirtschaftlichen Flächennutzung in PV-Anlagen

Der Großteil der auf vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen errichteten PV-Anlagen hat Grünland als Bewuchs. Eine Pflege und entsprechende Nutzung der Flächen ist notwendig, um die PV-Module von Gehölzaufwuchs und Beschattung freizuhalten (LFL 2019). Die Pflege der Flächen kann über Mahd (mit Stachelwalzenmähtechnik etc.) oder über Tierhaltung, häufig mit Schafen, erfolgen. In Artikel 32 der Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates, der in Deutschland durch § 12 Absatz 3 Ziffer 6 der GAPDZV Umsetzung findet (UBA 2022) ist festgelegt, dass Flächen, die mit Anlagen zur Nutzung solarer Strahlungsenergie überbaut sind, als hauptsächlich nicht landwirtschaftlich genutzt eingestuft werden. Ebenso ist nach der Definition für Agri-PV (DIN SPEC

91434:2021-05) extensive Beweidung ohne eine Einhaltung der entsprechenden baulich- technischen Vorgaben (Tabelle 1) keine landwirtschaftliche Nutzung und eine GAP-Förderfähigkeit von mindestens 85 % der Fläche kann nicht stattfinden. Da der Verwaltungsgerichtshof (VGH) München jedoch urteilte, dass eine mit Schafen beweidete PV-Fläche auch ohne Erfüllung der Agri-PV Vorgaben (Tabelle 1) nach der GAP förderfähig bleibt (BAYERISCHE STAATSKANZLEI 2021), liegt hier momentan eine rechtliche Unsicherheit vor.

Die Anerkennung der landwirtschaftlichen Nutzung bei extensiver Grünlandbewirtschaftung könnte, auch wenn sie nicht den Agri-PV Vorgaben entspricht, an die konkrete Bereitstellung von ÖSL gebunden werden. Dazu würden konkrete Leistungen wie etwa der Erhalt und die Förderung von Biodiversität oder die Wasserrückhaltung zählen (Abbildung 1). Die Bereitstellung dieser ÖSL würde dann als Voraussetzung angesehen werden, um die durch Stromerzeugung erweiterte Wertschöpfung der Fläche erzielen zu können. Basis hierfür ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen der Intensität der landwirtschaftlichen Grünlandnutzung und der Bereitstellung von ÖSL. Abhängig von einer zu erstellenden systematischen Kategorisierung wäre dann die Einordnung als landwirtschaftliche Nutzung, die Förderung dieser landwirtschaftlichen Nutzung und ggf. die Honorierung von ÖSL sowie der Erhalt des landwirtschaftlichen Status der Fläche möglich. Dieses Vorgehen hätte das Potenzial, bei geeigneter Standortwahl (z.B. kohlenstoffreiche Böden und Böden mit niedriger Feuchtestufe; LWK NIEDERSACHSEN (2021)), den Zielkonflikt der größtmöglichen Energieerzeugung vs. landwirtschaftlicher Nutzung zu entschärfen, unter anderem durch die geringeren Kosten bei der Errichtung der PV-Anlagen (BÖHM J. 2022) und die nicht unbedingt notwendige Berücksichtigung der nötigen Abstände für eine konventionelle maschinelle Bewirtschaftung.



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kombination von Grünlandwirtschaft und PV-Anlagen: Standorteigenschaften, Produktionssysteme und Gestaltung, Interaktionen und Leistungen.

- **Extensive Grünlandnutzung unter PV laut Gerichtsurteilen GAP-förderfähig.**
- **Kombination von PV und Grünlandwirtschaft mit dem Ziel des Erhaltes bzw. der Förderung von ÖSL**
- **Verbesserte Flächeneffizienz durch synergetische Nutzung ohne Berücksichtigung einer konventionellen maschinellen Bearbeitungsmöglichkeit.**

3.2 Vorschlag zur Neuordnung der Kategorisierung für die landwirtschaftliche Flächennutzung in PV-Anlagen

Bei der vorliegenden Kategorisierung von Gebäude-unabhängigen PV-Anlagen wird die Bodenart und Nutzungsform der Fläche nicht durchgehend berücksichtigt (Tabelle 1). Auch eine Unterteilung von auf landwirtschaftlich genutztem Boden errichteten PV-Anlagen in Agri- bzw. nicht Agri-PV (Tabelle 1) erscheint wenig zielführend hinsichtlich eines nachvollziehbaren Konzeptes. Vielmehr sollte bei der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für PV die weiterhin erfolgende landwirtschaftliche Nutzung Teil des Konzeptes sein und im Falle der Grünlandnutzung die Bereitstellung von ÖSL mit einbeziehen (vgl. Abb. 1). Die Kategorisierung der verschiedenen Konzepte könnte sich dann an die landwirtschaftlichen Definitionen von Flächennutzung anlehnen. Ein erster Vorschlag wäre die Unterteilung in Grünland-, Ackerland-, Dauerkultur-, und AUKM-PV (Agrarumwelt und

Klimamaßnahmen; Abb. 2). Die nötigen baulich-technischen Ausgestaltungen von landwirtschaftlich genutzten PV-Anlagen würden sich an dem speziellen Nutzungsfall orientieren. So benötigt beispielsweise eine Dauerkultur-PV mit Obstbäumen eine andere Ausgestaltung hinsichtlich der Reihenabstände der Module, Höhe der Module etc. als eine Grünland-PV. Neben Gebäude-unabhängigen PV-Anlagen mit landwirtschaftlicher Nutzung gäbe es die andere Möglichkeit einer rein gewerblichen Nutzung (Gewerbe-PV; Abb. 2). Diese Gewerbe-PV könnte auf jeglicher nicht landwirtschaftlich definierter Fläche errichtet werden (Deponie, Parkplatz etc.).

Die vorgeschlagene Form der Kategorisierung erlaubt dann die Einbeziehung bzw. Berücksichtigung von Fördermöglichkeiten für landwirtschaftliche Nutzung und die Honorierung ökologischer Leistungen sowie das Erstellen einer verbindlichen Flächenkulisse. In welchem rechtlichen Rahmen die vorgeschlagene Kategorisierung erfolgen sollte, muss juristisch geprüft werden.

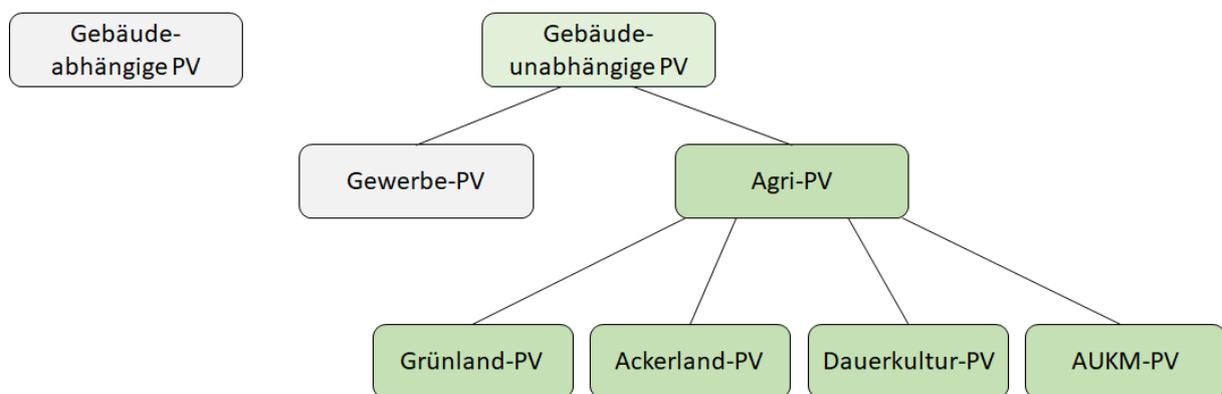


Abbildung 2: Definition von PV ausgehend von der darunterliegenden Fläche bzw. den möglichen Bewirtschaftungsoptionen in Anlehnung an die bisher üblichen Definitionen von agrarisch genutztem Boden.

4 Grünland-PV

4.1 Ökologische Nutzung von Grünland-PV

Grünland und Grünlanderhaltung sind in der Regel mit landwirtschaftlicher Nutzung und Verwertung der Biomasse in der Fleisch- und Milchproduktion verbunden (Abb. 1). Diese Erzeugung von Biomasse ist gleichzeitig eine wichtige direkte ÖSL (DAFA 2015). Zudem hat Grünland einen hohen Stellenwert für Biodiversität, da etwa ein Drittel der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (ISSELSTEIN UND KAYSER 2012) bzw. über die Hälfte der in Deutschland heimischen Farn- und Blütenpflanzen-Arten (GEROWITT et al. 2013) dem Grünland zugeordnet werden können. Rund 40 % der gefährdeten Blüh- und Farnpflanzen-Arten in Deutschland haben ihr Hauptvorkommen auf Grünland (BFN 2017). Allerdings hängt die pflanzliche Diversität des Grünlandes von der Art und Häufigkeit der Nutzung, der Versorgung mit Nährstoffen und den Wasserverhältnissen ab. Die Intensivierung der Grünlandwirtschaft seit Mitte des letzten

Jahrhunderts hat zu einer Vereinheitlichung der Standortbedingungen und Nutzungssysteme geführt, gleichzeitig ging die Pflanzenvielfalt um 30 bis 50 % auf Grünlandstandorten in Nord- und Mittel-Deutschland zurück (WESCHE et al., 2012). Eine extensive Bewirtschaftung (ein- bis zweimalige Schnittnutzung/geringer Viehbesatz bei Beweidung sowie moderate bzw. keine Düngung) wie sie unter PV stattfinden könnte, wird grundsätzlich als günstig für den Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt angesehen; gleichzeitig verhindert sie, dass sich durch natürliche Sukzession stärkeres Gehölzwachstum einstellt (QUEIROZ et al., 2014, BFN 2019). Die Implikationen einer Kombination von Grünlandwirtschaft und PV sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

4.2 Agronomische Nutzung von Grünland-PV

4.2.1 Schnittnutzung

Durch die verschiedenen technischen Umsetzungsmöglichkeiten von PV-Anlagen ergeben sich vielfältige landwirtschaftliche Nutzungskonzepte. Um den Grünlandaufwuchs einer PV-Anlage in Form von Heu oder Silage nutzen zu können, müssen die technischen Ausführungen der PV-Anlage mit dem Maschinenpark des Betriebes kompatibel sein. Dazu müssen eine besondere Aufständering (Höhe, Ausrichtung (z.B. bifaziale senkrecht aufgeständerte Module), Beweglichkeit) und/oder eine spezielle Mähtechnik vorhanden sein. Spezielle Mähtechnik wie beispielsweise handgeführte Stachelwalzenmähtechnik oder Schmalspurschlepper ermöglicht die Nutzung von Flächen in PV-Anlagen, die nicht den Agri-PV Vorgaben entsprechen bzw. mit konventioneller Maschinenteknik kompatibel sind. Stachelwalzenmähtechnik ist potenziell bodenschonend, da sie deutlich weniger Gewicht auf die Fläche bringt und auch auf Moorflächen bzw. unter sehr nassen Bedingungen einsetzbar ist (KLIMAFARM 2024).

Wie sich PV-Module auf den Ertrag von Heu oder Silage auswirken, ist bislang nicht ausreichend untersucht. Es ist zu vermuten, dass der Ertrag durch die Beschattung negativ beeinflusst ist, während sich erhöhte Wassermengen in der Modul-Traufenregion und eine höhere Luftfeuchte bzw. Bodenfeuchte (HASSANPOUR ADEH et al. 2018) sowie etwas niedrigere Temperaturen unterhalb der Module (WIRTH 2023) eher positiv auswirken können. Letztlich könnte angenommen werden, dass die kleinräumige Heterogenität dieser Ausbildungen durch die allgemeinen klimatischen Verhältnisse am Standort überprägt werden. Angesichts der zu erwartenden klimatischen Veränderungen könnte eine durch die Beschattung der Module erreichte Stabilisierung von Erträgen wichtiger werden (WESELEK et al. 2019).

Zur agronomischen Verwertung des Aufwuchses liegen aktuell keine ausreichenden Daten vor. Wissenschaftliche Arbeiten, die sich mit dem Einfluss von Beschattung auf die Futterqualität und die Konservierungseigenschaften von Grasaufwüchsen befasst haben, lassen jedoch vermuten, dass durch

die Beschattung die Rohproteinkonzentration erhöht und die Zuckergehalte geringer sind (ISSELSTEIN 1993a, SUTTERLÜTTI et al. 2023). Erste Auswertungen einer einjährigen Datenaufnahme in PV-Anlagen bestätigen diese Vermutungen (ZINKEN et al. 2024; TEGTMEYER 2023). Höhere Proteinkonzentrationen können aus Sicht der Tierernährung erwünscht sein, in Kombination mit geringeren Zuckergehalten senken sie aber die N-Verwertung im Pansen (ISSELSTEIN UND KOMAINDA 2023). Zusätzlich ist die Silierbarkeit der Aufwüchse verschlechtert (ISSELSTEIN 1993b).

Aktuell ist davon auszugehen, dass die extensive Grünlandwirtschaft mit einmal jährlicher Schnittnutzung in vielen Fällen mit Grünlandextensivierungsmaßnahmen im Rahmen von AUKM kompatibel ist und ohne eine Anpassung der technischen Ausführung einer PV-Anlage an einen üblichen landwirtschaftlichen Maschinenpark auskommt.

4.2.2 Beweidung

Neben Schnitt und Stallhaltung ist die Beweidung mit Nutztieren eine direkte Form der Verwertung von Grünlandaufwüchsen bzw. der Grünlandpflege (NIEDERSÄCHSISCHE GRÜNLANDSTRATEGIE 2021). Es ist vielfach belegt, dass Rinder und Schafe auf der Weide aufgrund der in der Regel hohen Verdaulichkeit des angebotenen (und überwiegend jungen) Futters und der Möglichkeit der Futterselektion hohe Grundfutterleistungen erzielen können. Im Unterschied zur extensiven Schnittnutzung könnte die Weidewirtschaft auch für intensivere Produktionssysteme attraktiv sein. Gleichzeitig kann die Weidewirtschaft grundsätzlich die Pflanzenartenvielfalt des Grünlandes begünstigen (ISSELSTEIN UND KAYSER 2012). Die enge Verbindung von Artenvielfalt und Grünlandnutzung eröffnet Möglichkeiten der gezielten Förderung der Vielfalt durch landwirtschaftliche Nutzung (CRITCHLEY et al. 2007). Dieser Zusammenhang zwischen Phytodiversität und Grünlandbewirtschaftung impliziert, dass die Vielfalt durch die Wahl eines bestimmten Niveaus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung gezielt gefördert werden kann. Dabei sind die Art des Weidesystems (z.B. Standweide, Umtriebsweide) und der Viehbesatz (d.h. die Intensität der Beweidung) von Bedeutung. Eine Einteilung der PV-Fläche mittels virtueller Zäune wäre unter Umständen denkbar. Die Portionierung des Futterangebotes und auch die nötige Tierüberwachung wären dadurch deutlich vereinfacht (HAMIDI et al. 2023).

Als Mindesthöhe der Unterkante der PV-Module für die Beweidung mit Schafen wird häufig lediglich 80 cm angegeben (LFL 2019, SCHALOW 2013). Diese niedrige Aufständigung verursacht einen geringeren Materialverbrauch und damit geringere Kosten beim Bau der Anlage (BÖHM J. 2022). Die Beweidung mit Schafen ist die häufigste Form der Beweidung von niedrig aufgeständerten PV-Anlagen und wird von den Betreibern von Solarparks als ökologisch wertvolles, wirtschaftliches und einfaches Pflegeverfahren bewertet (SCHALOW, 2013). Darüber hinaus gibt es erste vielversprechende Versuche mit Rindern in niedrig aufgeständerten PV-Anlagen. Auch eine Nutzung mit Schweinen oder Hühnern

ist möglich (POTT 2023). Hühnern wird durch die Module Sichtschutz vor Greifvögeln geboten. Die zurzeit geltende Vermarktungsnorm für Eier (Verordnung (EG) 589/2008) stuft die Kombination von Auslaufflächen in der Freilandhaltung von Legehennen mit PV-Anlagen allerdings als unzulässig ein; diese Restriktionen sollen in Zukunft abgebaut werden (BMEL 2023).

Ökologische Studien haben gezeigt, dass auf moderat intensiv bewirtschaftetem Grünland die Artenvielfalt bei Beweidung größer ist als bei einer reinen Schnittnutzung. Vor allem seltenere Arten kommen offensichtlich mit einer größeren Wahrscheinlichkeit auf Weiden vor. Das gilt sowohl für den Vergleich einzelner Schläge als auch für die Summe der auf Weiden bzw. Wiesen in einer Region vorkommenden Arten (KLIMEK et al. 2007; KLIMEK et al. 2008). Durch selektive Beweidung, Tritt und lokal konzentrierte Nährstoffrückführung mit Kotablagerung tragen Weidetiere zur Entwicklung einer heterogeneren Grasnarbe mit unterschiedlichen Wachstumsbedingungen bei (WRAGE et al. 2011). Konkurrenzstarke Futtergrasarten werden durch den Verbiss der Weidetiere in ihrer Kampfkraft geschwächt, unterlegene und weniger präferierte Arten haben damit verbesserte Entwicklungsmöglichkeiten.

Durch die PV-Module entsteht eine neuartige Weide-Umwelt für die Tiere, die zusätzliche Heterogenität schafft (HAMIDI et al. 2024). Generell ist das Verhalten der Tiere in der Regel der speziellen Weide-Umwelt angepasst. PV-Module generieren Schatten und bieten Witterungsschutz (MAIA et al. 2020), der von den Tieren aktiv aufgesucht werden kann. Dieses könnte im Zuge des Klimawandels weiter an Bedeutung gewinnen (KAMPHERBEEK et al. 2023). In einer vergleichenden Untersuchung in einem Solarpark konnten GPS-überwachte Schafe wählen, ob sie sich unter den Modulen oder auf der Freifläche aufhalten; es zeigte sich, dass die Tiere signifikant mehr Liegezeit unter den Modulen verbrachten, dort mehr Kot absetzten und dass das Gras stärker unter den Modulen zertreten wurde (HAMIDI et al. 2024).

- **Extensive Bewirtschaftung des Grünlandes ist sowohl für den Erhalt wichtiger Ökosystemleistungen als auch für den optimalen Stromertrag von PV-Anlagen wichtig.**
- **Extensive Beweidung unter PV schafft zusätzliche Heterogenität und bildet eine neuartige Weideumwelt für die Tiere.**
- **Für eine extensive Grünlandbewirtschaftung ist ein konventioneller Maschineneinsatz nicht zwingend erforderlich.**
- **Angepasste Technik ist potenziell bodenschonend und auch bei schwierigeren Bodenverhältnissen einsetzbar.**

5 Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen in PV-Anlagen (AUKM-PV)

5.1 Ziele und Maßnahmen von AUKM

Agrarumwelt und Klimamaßnahmen (AUKM) werden als freiwilliger Beitrag zum Klimaschutz verstanden, sowie als Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel und an die Gewinnung nachhaltig erzeugter Energien gesehen (ML 2024). Sie sind in der Förderperiode 2023-2027 wesentliche Instrumente zur Erreichung von Umweltzielen in der GAP. Spezielle Ziele der EU für die AUKM Maßnahmen sind beispielsweise die Förderung der nachhaltigen und effizienten Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen, die Verbesserung der Bereitstellung von ÖSL und die Anpassung an den Klimawandel sowie nachhaltige Energiegewinnung (ML 2024). Der Maßnahmenkatalog umfasst derzeit Maßnahmen zur Beweidung, naturschutzgerechter Bewirtschaftung auf Dauergrünland (z.B. Ruhezeiträume), zum Erhalt von artenreichem Grünland aber auch zur Wiedervernässung von Mooren sowie die Anlage unterschiedlicher Arten von Blühstreifen (MERKBLÄTTER AUKM 2024). Aktuell sind diese Maßnahmen, obwohl sie zu einem großen Teil in PV-Anlagen umsetzbar sind, in PV-Anlagen nicht förderfähig, da die Flächen nicht landwirtschaftlich definiert sind.

Im Folgenden werden die zu erwartenden Einflüsse der PV-Module auf die ÖSL des Grünlandes sowie die Integrierbarkeit von Blühstreifen und Moorwiedervernässung in PV-Anlagen betrachtet, um die Potenziale der Umsetzbarkeit von AUKM Maßnahmen in Solarparks aufzuzeigen.

5.2 Ökosystemleistungen

Die Erzeugung von Biomasse zur Tierfütterung als direkte (bereitstellende) ÖSL des Grünlandes wurde bereits in Kapitel 4 ausgeführt. Regulierende ÖSL des Grünlandes wie Erosionsschutz, Wasserrückhalt und Filterung bzw. Gewässerqualität und Bindung von Kohlenstoff beruhen direkt und indirekt auf dem Erhalt der dauerhaften und ungestörten Narbe des Grünlandes. Gegenüber Ackerflächen stellt Grünland in der Regel eine Senke für Kohlenstoff dar, das heißt CO₂ aus der Atmosphäre wird über den Aufbau der organischen (Boden)-Substanz unter dauerhaften Grasbeständen gebunden. Eine Intensivierung der Nutzung, die mit dem Einsatz mineralischer Dünger, häufige Schnittnutzung und intensiver Beweidung einhergeht, lässt einen Rückgang der im extensiven Grünland vorhandenen biologischen Vielfalt erwarten (BFN 2014); dieses wird aus ökologischer Sicht kritisch gesehen. Sowohl durch eine Intensivierung der Nutzung als auch durch eine Aufgabe der Nutzung wird das extensive Grünland bzw. der Fortbestand des extensiven Grünlandes unter Druck gesetzt (PORSCHLOD & WALLIESDEVRIES, 2002; UEMATSU et al., 2010) bzw. beide Optionen verursachen einen Rückgang der biologischen Vielfalt. Daher gilt der Erhalt und die Anlage von (extensiv genutztem) Grünland als eine wichtige Klimaschutzstrategie (UBA 2023). Dieses kann in PV-Anlagen erfolgen, mit langfristigen Nutzungsfestlegungen nach EEG auf mindestens 20 Jahre.

Insbesondere im Hinblick auf die Biodiversität stellt die Kombination aus PV-Anlage und Grünland unter Umständen ein neuartiges anthropogen geschaffenes Biotop dar, dessen Ausprägung maßgeblich durch die Anordnung und Dichte der PV-Module je Flächeneinheit, die Breite des besonnten Streifens (BNE 2019) und die Höhe der PV-Module bestimmt wird. Dies wirkt sich in Wechselwirkung mit der Art und Intensität der Nutzung entsprechend auf die Leistung und Vielfalt der Vegetation aus. So zeigten ARMSTRONG et al. (2016), dass eine starke Verschattung unter den Modulen eine negative Auswirkung auf die Alphadiversität haben kann. GRAHAM et al. (2021) beobachteten, dass sich der Zeitpunkt der Blüte der Pflanzen in Schattenbereichen im Vergleich zu besonnten Bereichen zeitlich verzögerte. Dies hatte einen positiven Effekt auf das Nahrungsangebot für Insekten, da der Zeitraum, in dem Pflanzen an einem Ort blühten, insgesamt größer wurde.

Auf sandigen und trockenen Standorten kann eine eventuell erhöhte Bodenfeuchte unter den Modulen für eine Zunahme der Menge der Pflanzenarten ausschlaggebend sein (LIU et al., 2019).

Weil infolge der Modulüberbauung die trophischen und mikroklimatischen Bedingungen kleinräumig wechseln, ist zu erwarten, dass die Gammadiversität in dem anthropogen geprägten "PV-Ökosystem" erhöht ist. Eigene Erhebungen von Pflanzenarten aus unterschiedlichen Bereichen der Solarparks Lottorf (kohlenstoffreicher Boden) und Klein Rheide (geringe Feuchtestufe) unterstützen diese Vermutung, da Bereiche auf besonnter Freifläche bzw. Bereiche unter dem Einfluss beschattender PV-Module zusätzlich zu den 11 gemeinsamen Pflanzenarten jeweils acht spezifische Pflanzenarten (Abbildung 3a; Solarpark Lottorf) bzw. jeweils 9 (Freifläche) und 13 (Module) spezifische Pflanzenarten (Abbildung 3b; Solarpark Klein Rheide) beheimateten.

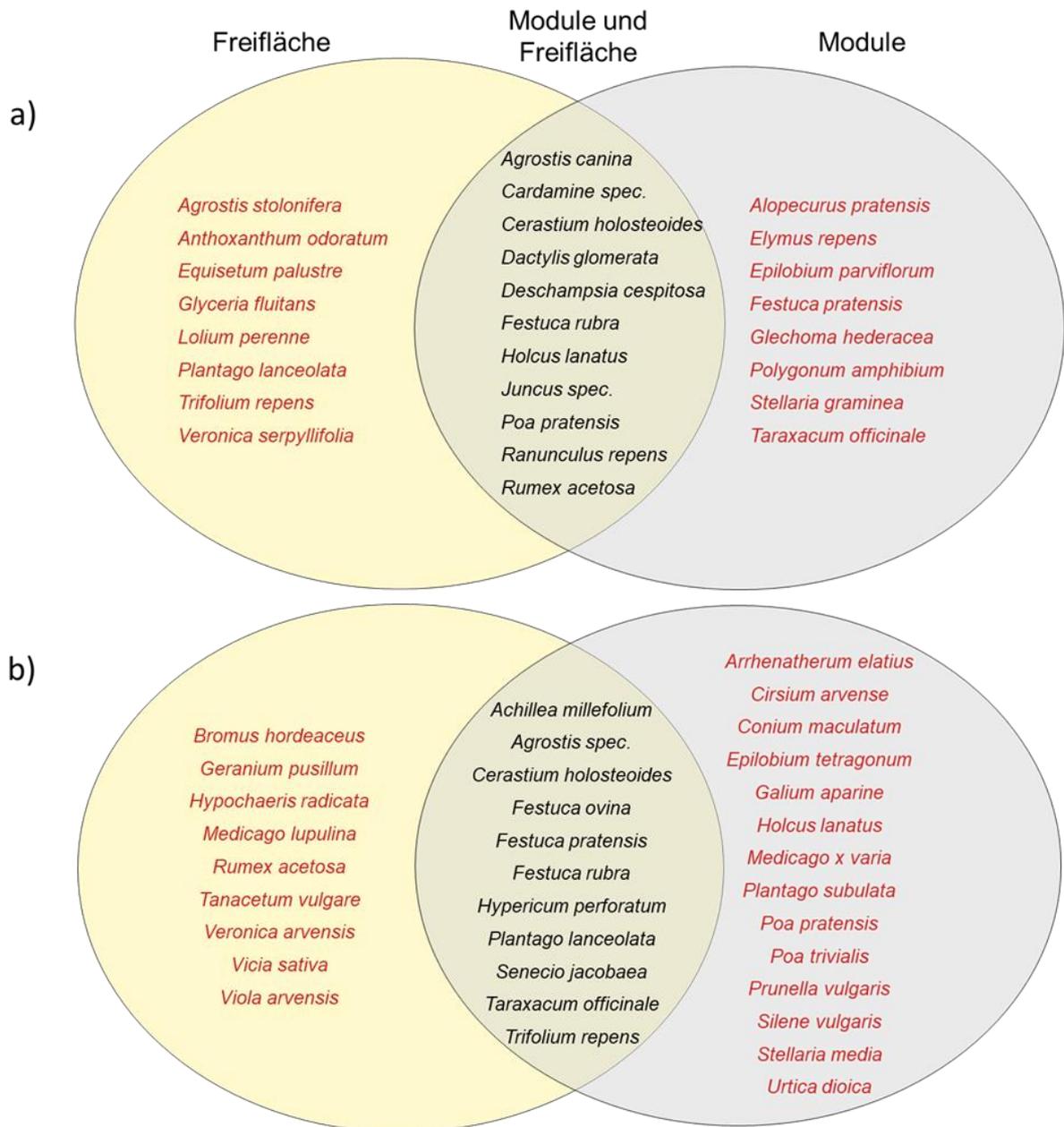


Abbildung 3: Vorkommen von Pflanzenarten differenziert nach Bereichen und dargestellt als Venn-Diagramm. Pflanzenarten in Bereichen besonnter „Freifläche“ bzw. Bereichen mit Einfluss beschattender „Module“ weisen zusätzlich zu gemeinsamen Pflanzenarten (schwarz, in Schnittmenge) jeweils spezifische Pflanzenarten (rot) auf. **a)** Solarpark Lottorf; n = zwei 4 m x 10 m Transekte je Behandlung; Vegetationsaufnahme im September 2023, Inbetriebnahme des Solarparks: 2021. **b)** Solarpark Klein Rheide; n = ein 4 m x 10 m Transekt je Behandlung; Vegetationsaufnahme im Mai 2024, Inbetriebnahme des Solarparks: 2018.

In Bezug auf die Landschaftsästhetik dagegen ist PV eindeutig negativ zu beurteilen (Abbildung 4). Jedoch sollte dieser negative Effekt durch die Anwesenheit von Weidetieren abgemildert werden

können, da Weidetiere generell als bereicherndes Element in der Landschaft angesehen werden (DAFA 2015). Die Energieproduktion hingegen kann ergänzend zur (extensiven) Biomasseproduktion als deutliche Steigerung der ÖSL 'Produktion' gesehen werden. Die zu erwartenden Verschiebungen der ÖSL bei einer extensiv bewirtschafteten Grünland-PV im Vergleich zu einem extensiv genutzten Grünland ohne PV-Anlage werden in Abbildung 4 gezeigt.

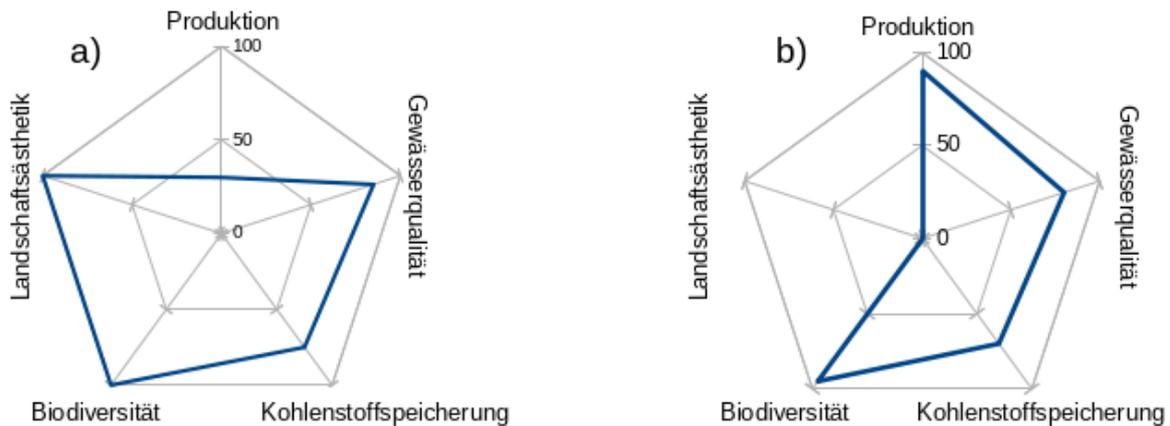


Abbildung 4: Qualitativer Vergleich der Ökosystemleistungen des a) extensiv bewirtschafteten Grünlands sowie b) der Kombination extensiv bewirtschaftetes Grünland und PV; Grünland-PV (Abbildung verändert nach 'Fachforum Grünland - Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen', Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz (2015)).

5.3 Blühstreifen

Blühstreifen sind eine streifenförmige Anlage einer vorgegebenen Saatgutmischung (bestehend aus regionalen Gräsern und Kräutern) auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche. Das Ziel der Förderung dieser AUKM-Maßnahme ist die Schaffung einer heterogenen Agrarlandschaft, um die Biodiversität zu erhöhen. Hier bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten: zum einen die Anlage von Blühstreifen in oder um eine PV-Anlage herum bzw. die Integration einer einzelnen PV Reihe in einem Blühstreifen mit permanenter (grünlandähnlicher) Vegetation auf Ackerland (Feldrain-PV). Die so entstehenden Korridore könnten potenziell verschiedene Habitate miteinander verbinden. Durch die PV-Stromerzeugung würde auf Blühstreifen neben der ökologischen auch eine ökonomische Aufwertung (Energieerzeugung) dieser Flächen erfolgen. Die Ansaat von Blühstreifen wurde bereits exemplarisch in PV-Anlagen mit Erfolg durchgeführt (z.B. SUNFARMING 2024). Konkrete Ergebnisse zu biologischer Vielfalt und Akzeptanz von PV-Anlagen auf Blühstreifen werden im Rahmen des niedersächsischen Forschungsverbundes ‚4N‘ erwartet. Dort wird die Biodiversität von Blühstreifen unter PV-Modulen untersucht und es werden Landwirt*innen sowie die Bevölkerung zu ihrer Meinung über diese Konstellation befragt (www.vier-n.de/project/teilverhaben-7).

5.4 Moornutzung, Vernässung

Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren sowie die Entwässerung von organischen Grünlandstandorten sind Hauptquellen landwirtschaftlich verursachter Treibhausgasemissionen in Deutschland (MOORATLAS 2023, GRETHE et al. 2021, WEGENER et al. 2006). Eine weitergehende trockene landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Moorflächen lässt sich daher nicht mit den angestrebten Klimaschutzzielen vereinbaren (BMEL 2016). Die Transformation zur klimaschonenden nassen Bewirtschaftung unter der Bedingung einer Einkommens- und Vermögenssicherung der Flächenbewirtschafteter*innen stellt sich jedoch als schwierig dar (JANSEN-MINßEN et al. 2022). Zudem wird mit durchschnittlich 4000 Euro/ha Kosten für die Durchführung von Wiedervernässungsmaßnahmen gerechnet (UBA 2023). Eine Installation von PV auf wiedervernässtem Moor könnte eine mögliche Einkommensalternative für landwirtschaftlich genutzte Flächen sein, die sich mit der geforderten Reduktion des CO₂ Ausstoßes vereinbaren lässt (GRETHE et al. 2021). Gleichzeitig sind ähnlich hohe bzw. höhere Deckungsbeiträge als in der Milcherzeugung als derzeitige Haupteinnahmequelle auf entwässerten Moorflächen möglich. Die Errichtung von PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten, entwässerten Moorböden ist seit Januar 2023 EEG-förderfähig (Tabelle 1). Bedingung ist eine dauerhafte Wiedervernässung der Flächen, die durch die teilweise Beschattung und den damit einhergehenden Austrocknungsschutz durch die PV-Module begünstigt werden könnte (PORADA et al. 2024, WIRTH 2023). Eine Überwachung des Wiedervernässungserfolges bzw. ein Entzug der Betriebserlaubnis wird gefordert, wenn nicht mindestens schwach Torf-zehrende Wasserstände (nach BIRR et al. 2021: -10 bis -45 cm auf Niedermoor) über die gesamte Laufzeit der Energieerzeugung gegeben sind (KBU 2023). Die Festlegung der Bundesnetzagentur sieht Mindest-Wasserstände von -10 cm (Winter) bzw. -30 cm (Sommer) als Nachweis für eine messbare dauerhafte Wiedervernässung vor (BUNDESNETZAGENTUR 2023). Wie das Monitoring dieser Zielwasserstände erfolgen soll, ist noch nicht abschließend geklärt.

Grundsätzlich zeigt der 2021 ans Netz gegangene Solarpark Lottorf (nach EEG als "normale" FFPV vergütet, Tabelle 1), dass die Überbauung und Wiedervernässung (in diesem Fall durch Drainageunterbrechung) möglich ist (WATTMANUFACTUR 2023).

- **AUKM Maßnahmen sind wesentliche Instrumente zur Erreichung von Umweltzielen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.**
- **In PV-Anlagen bisher keine Förderfähigkeit von AUKM Maßnahmen**
- **Anthropogen geschaffene Heterogenität durch PV-Module.**
- **Blühstreifen und Moorwiedervernässung unter PV möglich.**

6 Diskussion

6.1 Kategorisierung

Eine Reform der Kategorisierung für den sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland rasant entwickelnden PV-Ausbau ist dringend notwendig, damit einheitliche Rechtsgrundlagen geschaffen werden können, die auch eine gezielte Mehrfachnutzung (Doppelnutzung) einer Fläche ermöglichen. Bislang erfolgt die Einordnung der Flächen unter PV-Anlagen in landwirtschaftliche Nutzung allerdings nur bei Erfüllung der Agri-PV Bedingungen (Tabelle 1). Daher stammen derzeit lediglich 14 MWp PV-Leistung (dieses entspricht einem Anteil von nur einem Promille an der installierten Gesamtleistung) von landwirtschaftlich eingeordneter Fläche (ZALF 2023).

Die in Abbildung 2 dargestellte Gliederung stellt eine neue, übersichtliche, von Boden und landwirtschaftlicher Nutzungsart ausgehende Struktur dar, die die ganze Bandbreite der landwirtschaftlichen Nutzungsoptionen berücksichtigt. Mit ihrer einfachen Kombination von darunterliegender Fläche bzw. möglicher Bewirtschaftungsoption und PV ist sie intuitiv und damit bei Bedarf leicht erweiterbar. Sie erfüllt zudem die Anforderung, die zunehmende Überbauung von landwirtschaftlich genutzten Böden mit PV-Anlagen in Deutschland (BÖHM UND TIETZ 2022) nachvollziehbar zu gestalten.

6.2 Doppelnutzung

Eine Doppelnutzung der Flächen in PV-Anlagen (z.B. Landwirtschaft und Energieerzeugung), ist in Deutschland politisch gewollt (BMWK 2023). Häufig jedoch mangelt es an der rechtlichen Umsetzbarkeit. Die Hürden hinsichtlich der technischen Ausgestaltung sind (zu) hoch, da die landwirtschaftliche Nutzung an eine Bewirtschaftung mit konventionellen Maschinen angepasst sein soll. Hoch aufgeständerte Agri-PV Anlagen schmälern durch erhöhte Materialkosten die Rentabilität von PV-Anlagen (NLT 2022) und erhöhen somit die Stromgestehungskosten (SCHINDELE et al. 2020) bei gleichzeitiger Verringerung des Flächenenergieertrages (BÖHM 2023).

Im Rahmen einer Informationsveranstaltung des Grünlandzentrums Niedersachsen-Bremen wurden Landwirt*innen gebeten, Potenziale und Hürden von PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Böden einzuschätzen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Grünlandnutzung und hier vor allem die Beweidung das höchste Potenzial für eine kombinierte Nutzung der Landwirtschaft mit PV hatte (detaillierte Angaben hierzu werden im Anhang (S1) bereitgestellt).

Die größten Hürden für eine Doppelnutzung wurden in der genannten Umfrage bei der nötigen Technik zur Bewirtschaftung der PV-Anlagen gesehen, um die derzeitigen Agri-PV Bedingungen zu erfüllen. Diese Bedenken hinsichtlich einer maschinellen Nutzung werden neben Bedenken zum bürokratischen

Aufwand ebenfalls in einer 2020 durchgeführten quantitativen Studie unter deutschen Landwirt*Innen zur Nutzungsbereitschaft von Agriphotovoltaik geäußert (WAGNER et al. 2024). Im Gegensatz zu den meisten Ackerkulturen kann eine extensive Grünlandwirtschaft problemlos mit angepasster Technik durchgeführt werden (vergleiche Kapitel 4). Dadurch ergibt sich ein Vorteil des Grünlandes gegenüber Ackerkulturen, der bisher rechtlich und formal nicht hinreichend berücksichtigt ist.

6.3 Ökologische Vielfalt

Die Bedeutung von extensiv genutztem Grünland im Hinblick auf die ökologische Vielfalt wird in Kapitel 5 hervorgehoben. In einer 2023 erschienenen Studie von TÖLGYESI et al. wird dringend empfohlen, ökologische Überlegungen in die Gesetzgebung mit aufzunehmen, da es sonst zu verpassten Gelegenheiten bei der Nutzung direkter und indirekter Vorteile von PV kommen könnte. Die hier von TÖLGYESI et al. (2023) vorgeschlagenen „Ecovoltaic parcs“ sollen mit artenreichem Grünland angesät und extensiv durch Grasens oder Mähens gepflegt werden, um ihr Potenzial hinsichtlich zu erbringender ÖSL möglichst umfänglich entfalten zu können. Standortwahl, Gestaltung der Anlagen und angepasstes Flächenmanagement werden als Schlüssel zur Förderung der Biodiversität angesehen (RAAB 2015, BNE 2019). Insbesondere vor dem Hintergrund der Vielfalt der technischen Ausgestaltungsmöglichkeiten von PV-Anlagen sollte daher eine Überprüfung der Voraussetzungen für maximale ökologische Vorteile bei gleichzeitiger nachhaltiger Flächennutzung zur Stromerzeugung auch in Deutschland stattfinden.

6.4 Technische Ausgestaltung

Im Detail ist noch nicht geklärt, welche baulich-technischen Ausführungen der PV-Anlagen wie dazu geeignet sind, AUKM Maßnahmen und ÖSL des Grünlandes zu unterstützen und welche eher einen hemmenden Effekt auf die Vegetation haben. Der Reihenabstand bzw. der breitere besonnte Streifen zwischen den PV-Modulen ist beispielsweise assoziiert mit der Förderung der Artenvielfalt sowie Arten- und Individuendichte im Vergleich zur umgebenden Landschaft (BNE 2019). Während der Stromertrag der Fläche mit zunehmender Modul-Dichte bis maximal zur gegenseitigen Beschattung ansteigt (DUPRAZ et al. 2011), werden optimale Bedingungen für gleichzeitig erfolgende Pflanzenproduktion (MARROU et al. 2013), aber auch für eine Erhöhung der Diversität (BNE 2019) bei weniger dicht aufgestellten PV-Modulen bzw. breiteren Reihenabständen gefunden. Derzeit werden 20 von insgesamt 23 AUKM Maßnahmen der Intervention „Bewirtschaftungsverpflichtungen zur Verbesserung der Biodiversität“ zugeordnet. Diese Maßnahmen dienen der Erreichung des EU-Ziels „Beitrag zum Schutz der Biodiversität, Verbesserung von ÖSL und Erhaltung von Lebensräumen und Landschaften“ (ML 2024). Ein Großteil dieser Maßnahmen könnte in Grünland PV-Anlagen – abhängig von der technischen Ausgestaltung – durchgeführt werden.

6.5 Erhalt des landwirtschaftlichen Flächenstatus

Eine Beibehaltung des landwirtschaftlichen Flächenstatus wäre die Voraussetzung für die förderrechtliche Einordnung und Anerkennung des Grünlandes in Solarparks als Dauergrünland. Durch die langfristige Nutzungsfestlegung, von der beim Bau von PV-Anlagen ausgegangen wird, wird die GAP Definition von Dauergrünland (>5 Jahre) erfüllt. Durch eine Beibehaltung des landwirtschaftlichen Status wäre dieses Dauergrünland auch nach einem möglichen Abbau der PV-Anlage über die GAP vor Umbruch geschützt (KNE 2023). Eine Anerkennung von Grünland als landwirtschaftliche Nutzungsform in PV-Anlagen ohne Agri-PV Status findet jedoch zurzeit nicht statt. Es kommt vielmehr zu einer Aberkennung des landwirtschaftlichen Status' durch den Bau der PV-Anlage (vergleiche Kapitel 2).

Dies steht im Widerspruch zum sogenannten "Kiesgruben Urteil" von 2020, bei dem der Bundesfinanzhof urteilte, dass eine zum Abbau von Bodenschätzen verpachtete Fläche ihre Zuordnung zur Land- und Forstwirtschaft nicht verliert, wenn die Rekultivierung und Wiederaufnahme der landwirtschaftlichen Nutzung vorgesehen ist (Bundesfinanzhof, II-R-28/18). Diese Rekultivierung und Wiederaufnahme der landwirtschaftlichen Nutzung kann bei mit PV-Modulen genutzten Flächen genauso erfolgen. Zudem kommt es aufgrund der weiterhin notwendigen pflegenden Bewirtschaftung des Grünlandes in PV-Anlagen, anders als bei einer Nutzung als Kiesgrube, nicht zu einer Unterbrechung der landwirtschaftlichen Nutzung, was letztlich deutlich für einen Beibehalt des landwirtschaftlichen Status spricht. Die artenvielfaltfördernde Flächenbewirtschaftung (die durch die Umwandlung von Acker- zu Grünland erfolgen sollte) stellt nach Artikel 6 Absatz 1 EU-GAP-Verordnung eine eigenständige landwirtschaftliche Nutzung dar. Eine Aberkennung des landwirtschaftlichen Flächenstatus erscheint vor diesem Hintergrund nicht nachvollziehbar und sollte durch eine überzeugende Flächeneinordnung ersetzt werden.

6.6 Integration in Förderrichtlinien

Das extensive Grünland ist, wie in Kapitel 4 dargestellt, sowohl von der Intensivierung der Nutzung als auch von der Nutzungsaufgabe gleichermaßen bedroht. Die vielfältigen vom extensiven Grünland erbrachten ÖSL, die seit den 1990er Jahren über Naturschutz und Extensivierungsprogramme gefördert und honoriert werden, werden zudem immer wieder aus fiskalischer Sicht infrage gestellt (DAFA 2015). Dies gilt in besonderem Maße für die ökologisch wertvolle Schafbeweidung (DAFA 2015), die in niedrig aufgeständerten PV-Anlagen häufig praktiziert wird (LFL 2019, SCHALOW 2013). Neue Vermarktungsstrategien bzw. Produktionsverfahren zu erforschen, die den Erhalt des extensiven Grünlandes unterstützen bzw. ermöglichen, erscheinen vor diesem Hintergrund sinnvoll. Durch die Honorierung der Pflegeleistungen der Schafe in PV-Anlagen (POTT 2023) ergibt sich beispielsweise ein solches "neues" Grünlandproduktionsverfahren (Grünland-PV mit Schafbeweidung), welches rechtlich

bereits vollumfänglich landwirtschaftlich anerkannt ist (BAYERISCHE STAATSKANZLEI 2021) und dazu geeignet ist, eine finanzielle Unterstützung der Schafhaltung zu ermöglichen. Dem Vorbild von Agroforstsystemen folgend, die erstmals in der GAP 2023-2027 berücksichtigt sind (BÖHM C. 2022, UBA 2023), könnten auch mit PV-Modulen genutzte Flächen unter bestimmten Umständen förderfähig bleiben. Dies setzt eine nach guter fachlicher Praxis erfolgende Bodenbewirtschaftung voraus und ermöglicht die Teilnahme an AUKM Maßnahmen. Die Wertschöpfung, die bereits durch PV erfolgt, könnte aber auch unabhängig von GAP Fördergeldern die erbrachten ÖSL des Grünlandes, die bei sachgerechter Bewirtschaftung möglich sind (BNE 2019), finanzieren. Der Stromertrag der Fläche, der entsprechend honoriert wird, finanziert damit die ÖSL des Grünlands, die durch die sachgerechte Pflege ermöglicht werden. Hier wäre die Genehmigung der PV Anlage direkt an die Bereitstellung von ÖSL geknüpft. Auch eine reduzierte Förderung der PV-Flächen in Solarparks wäre denkbar, was ebenfalls zu einer monetären Entlastung der GAP, aber trotzdem einer Steigerung der Effizienz (durch eine Ausweitung der Flächen) von AUKM Maßnahmen führen könnte. Die derzeit geförderten AUKM Maßnahmen beinhalten beispielsweise die Förderung der Umwandlung von Ackerland in Grünland, extensive Grünlandbewirtschaftung, Wasserrückhalt in der Landschaft oder auch Moorbodenschutz. Die hierfür vorgesehenen Mittel sind jedoch begrenzt. Für die geförderte Maßnahme Umwandlung von Ackerfläche zu Dauergrünland auf organischen Böden stehen beispielsweise aktuell nur für 2 % (dies entspricht 6.745 ha) der Gesamtfläche ausreichende Mittel zur Verfügung (UBA 2023). Bei einer Beibehaltung des landwirtschaftlichen Flächenstatus wäre die Umwandlung von Ackerfläche zu Dauergrünland auf organischen Böden ein gewünschter Nebeneffekt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine weiterhin erfolgende landwirtschaftliche Zuordnung der mit PV-Anlagen genutzten bzw. zu nutzenden Flächen, vormals ausschließlich landwirtschaftlich genutzten Flächen anhand der hier vorgeschlagenen Kategorisierung i) eine zu erstellende allgemeingültige Flächenkulisse vereinfacht, ii) die Wertschöpfung durch PV-Anlagen in der Landwirtschaft hält, iii) eine fachgerechte Bewirtschaftung der Flächen in PV-Anlagen gewährleistet, iv) die Möglichkeit der Nutzung von AUKM Maßnahmen bietet und v) den Erhalt und die Wertschätzung des Grünlandes und der dadurch erbrachten ÖSL verbessern kann.

7 Fazit

In diesem Übersichtsartikel wird versucht, den gegenwärtigen Stand der rechtlichen Einordnung und die Kategorisierung von gebäude-unabhängigen PV-Anlagen darzustellen. Ein Fokus liegt dabei auf der Verbindung von PV-Anlagen mit extensiv genutztem Grünland sowie der vom Grünland erbrachten ÖSL. Die Vor- und Nachteile landwirtschaftlicher Nutzungsoptionen, insbesondere der Beweidung mit Tieren, werden aufgezeigt und diskutiert. Darüber hinaus wird das Konzept ÖSL herangezogen, um das

Potenzial einer Verbindung von Energieerzeugung, landwirtschaftlicher Produktion und Förderung von Biodiversität aufzuzeigen. Darauf aufbauend werden Möglichkeiten zur Umsetzung von AUKM Maßnahmen in PV-Anlagen unabhängig von den derzeit geltenden Agri-PV Bedingungen analysiert.

- Fläche ist begrenzt und wird weltweit, in Europa und in Deutschland knapper
- Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Nutzungsansprüche (u.a. Lebensmittelproduktion, Energieerzeugung, Erhalt der Biodiversität, Klimaschutz ...) ist es zwingend erforderlich, mögliche Synergien bei der Flächennutzung zu evaluieren
- Die bisherige Evidenz zeigt, dass eine Kombination aus Energieerzeugung und landwirtschaftlicher Nutzung das Potenzial hat, Synergien zu erzeugen und damit die existierende Flächenkonkurrenz abzumildern.
- Der kombinierten Flächennutzung stehen die gegenwärtig gültigen Regularien entgegen, was sich in der geringen Verbreitung der bisher definierten Agri-PV zeigt.
- Der Verlust des landwirtschaftlichen Flächenstatus hat u.a. weitgehende steuerliche und erbrechtliche Nachteile für einen landwirtschaftlichen Betrieb, betrifft aber ggf. auch die derzeit notwendige Bereitstellung von Ersatz-, Ausgleichs- und Stilllegungsflächen.
- Eine weitergehende Berücksichtigung landwirtschaftlicher Nutzung über das bestehende Konzept Agri-PV hinaus bedarf einer Neuordnung der Kategorisierung von gebäude-unabhängigen PV, die in diesem Artikel vorgeschlagen wird.
- Eine weiterhin bestehende landwirtschaftliche Zuordnung des Bodens würde die Ausweisung einer allgemeingültigen sinnvollen Flächenkulisse (kohlenstoffreiche und Böden mit geringer Feuchtstufe) für PV-Anlagen (inkl. PPA Anlagen) erleichtern und hält die Wertschöpfung mittels PV-Anlagen in der Landwirtschaft.
- Die Umsetzung vieler AUKM-Maßnahmen sollte auch in PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen möglich sein und erscheint als eine geeignete Form der landwirtschaftlichen Flächennutzung.

Um das volle agronomische und ökologische Potenzial von mit PV-Anlagen genutzten Grünlandflächen ausschöpfen und baulich technische Empfehlungen treffen zu können, braucht es weiterer Forschung. Eine Beibehaltung des landwirtschaftlichen Status der mit PV-Anlagen genutzten Grünlandflächen erscheint nach gegenwärtigem Wissenstand als sinnvoll.

Zusammenfassung

Die bisherigen Begrifflichkeiten zu Freiflächen Photovoltaik (PV) -Anlagen inklusive "Agri-PV", sowie die generelle Gesetzeslage zu PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzter bzw. vormals

landwirtschaftlich genutzter Fläche sind unübersichtlich und unzureichend. Das agronomische und ökologische Synergiepotenzial der Kombination Landwirtschaft und Energieerzeugung sollte umfangreich genutzt werden. Gunst-Standorte der Lebensmittelerzeugung nachhaltig zu schützen, aber trotzdem die Chancen einer möglichen kombinierten Flächennutzung (Doppelnutzung) wahrzunehmen und die Wertschöpfung in der Landwirtschaft zu halten, sind in diesem Kontext die Herausforderungen. Die Begrenztheit der landwirtschaftlichen Fläche macht eine Evaluierung der landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten und eine Neuordnung der Begrifflichkeiten dringend erforderlich, wozu dieser Übersichtsartikel einen Beitrag leistet. Eine neue Kategorisierung wird vorgeschlagen, die eine übersichtliche Zuordnung der mit PV kombinierten landwirtschaftlichen Flächennutzung ermöglicht. Die mögliche Doppelnutzung durch PV und extensiv landwirtschaftlich genutzter Fläche (unter Berücksichtigung der Umsetzungsmöglichkeiten von Agrar- Umwelt und Klimamaßnahmen), sowie die sinnvolle Integration der auf landwirtschaftlicher Fläche errichteten PV-Anlagen in die aktuelle landwirtschaftliche Kulisse wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit systematisch untersucht und die Potenziale sowie der nötige Forschungsbedarf werden aufgezeigt.

Summary

The current terminology for free-field photovoltaic (PV) systems, including "Agri-PV", and the general legal situation regarding PV systems on agricultural or former agricultural land in Germany are confusing and inadequate. The potential for agronomic and ecological synergy by combining agriculture and energy production should be fully exploited. The challenge here is to protect favourable soils and sites for food production, while at the same time exploiting the opportunities of the dual use of agriculture and energy production with PV - and keeping the added value in agriculture. The limited amount of agricultural land makes an evaluation of agricultural land use options and a reorganisation of terminology urgently necessary. A new categorisation is proposed that allows a clear classification of agricultural land use combined with PV. In this review, the combination of PV and agricultural land use – considering also ecosystem services, implementation of agri-environmental measures and legal aspects – is systematically analysed. Potential research and remaining open questions are identified.

Literatur

1. AGORA ENERGIEWENDE (2021), Der Photovoltaik- und Windflächenrechner. Ein Beitrag zur Diskussion um die Ausweisung von Flächen für Windenergieanlagen an Land.
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_DE_RE-GIS/A-EW_235_PV-Windflaechenrechner_WEB.pdf (abgerufen am 2.11.2023).

2. ARMSTRONG, A., OSTLE, N. J., & WHITAKER, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environ.Re.Lett.* 11:074016
<https://doi:10.1088/1748-9326/11/7/074016>.
3. BADEL, O., NIEPELT, R., WIEHE, J., MATTHIES, S., GEWOHN, T., STRATMANN, M., BREDEL, R. & VON HAAREN, C. (2020). Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE). 128 S.
4. BAYERISCHE STAATSKANZLEI (2021), VGH München, Urteil vom 01.06.2021 - 6 BV 19.98, Titel: Zahlungsansprüche für Flächen, auf denen ein Solarpark errichtet ist und die zugleich als Schafweide genutzt werden. <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/Y-300-Z-BECKRS-B-2021-N-16272> (abgerufen am 31.10.2023).
5. BENGTSOON, J., BULLOCK, J.M., EGOH, B., EVERSON, C., EVERSON, T., O'CONNOR, T., O'FARRELL, P.J., SMITH, H.G. & LINDBORG, R. (2019). Grasslands – more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10, Article e02582, <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>.
6. BfN (2009), Herden, C., Gharadjedaghi, B., Rasmus, J., Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Endbericht, Stand 2006.
https://www.gfn-umwelt.de/fileadmin/user_upload/publikationen/skript247.pdf (abgerufen am 1.11.2023).
7. BfN (2014), Grünland-Report-Alles im grünen Bereich?
https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei_0.pdf (abgerufen am 19.09.2023).
8. BfN (2017), Agrar-Report 2017. Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft.
(https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN-Agrar-Report_2017.pdf) (abgerufen am 15.6.2023).
9. BfN (2019), Auswirkungen der neuen Rahmenbedingungen der Gemeinsamen Agrarpolitik auf die Grünland-bezogene Biodiversität.
(https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript540_2_auf.pdf) (abgerufen am 18.9.2023).
10. BMEL (2016), Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin.
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 1.11.2023)
11. BMEL (2023), FAQ-Agri-Photovoltaik Stand Oktober 2023. [https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/fileadmin/Redaktion/Seiten/Service/Veranstaltungen/2023/Agri-PV/Doku/PDFs/FAQ - Agri-Photovoltaik - Potenzial einer doppelten Ernte.pdf](https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/fileadmin/Redaktion/Seiten/Service/Veranstaltungen/2023/Agri-PV/Doku/PDFs/FAQ_-_Agri-Photovoltaik_-_Potenzial_einer_doppelten_Ernte.pdf) (abgerufen am 24.10.2023)
12. BMWK 2023, Überblickspapier Solarpaket, Stand August 2023.
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/20230816-ueberblickspapier-solarpaket.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (abgerufen am 13.4.2024).
13. BIRR, F., ABEL, S., KAISER, M., NÄRMANN, F., OPPERMANN, R., PFISTER, S., TANNEBERGER, F., ZEITZ, J. & LUTHARDT, V. (2021). Zukunftsfähige Land- und Forstwirtschaft auf Niedermooren – Steckbriefe für klimaschonende, biodiversitätsfördernde Bewirtschaftungsverfahren. 148 S.

- Auszug aus den BfN-Skripten 616, bearb. Fassung. Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und Greifswald Moor Centrum (Hrsg.). Eberswalde, Greifswald
14. BNE (2019). Solarparks – Gewinne für die Biodiversität, Studie des Bundesverbands Neue Energiewirtschaft (bne) e.V., November 2019. https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/20191119_bne_Studie_Solarparks_Gewinne_fuer_die_Biodiversitaet_online.pdf (abgerufen am 13.06.2023).
 15. BÖHM J, & TIETZ, A. (2022). Abschätzung des zukünftigen Flächenbedarfs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Thünen Working Paper 204. DOI:10.3220/WP1669630417000 (abgerufen am 12.6.2023).
 16. BÖHM, J. (2022). Die Konflikte entschärfen. DLG-Mitteilung, 4, 14-17. DLG-Mitteilung.
 17. BÖHM, C. (2022). Agroforstsysteme in der GAP ab 2023 - ein Überblick. Themenblatt Nr. 3 Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft. <https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2022/11/Themenblatt3-Agroforstsysteme-in-der-GAP-ab-2023.pdf> (abgerufen am 26.9.2023).
 18. BÖHM, J. (2023). Vergleich der Flächenenergieerträge verschiedener erneuerbarer Energien auf landwirtschaftlichen Flächen - Für Strom, Wärme und Verkehr. Berichte über Landwirtschaft Band 101, Heft 1. <https://doi.org/10.12767/buel.v101i1.462>
 19. BUNDESNETZAGENTUR (2023). Az.: 4.08.01.01./1#4 https://www.clearingstelle-eeq-kwkg.de/sites/default/files/2023-10/Festlegung_zu_besonderen_Solaranlagen_2023.pdf (abgerufen am 5.11.2023)
 20. BURKHARD, B., KROLL, F., NEDKOV, S. & MÜLLER, F. (2012) Mapping ecosystem service supply, demand and budgets, Ecological Indicators, Volume 21 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>.
 21. CRITCHLEY C.N.R., WALKER K.J. & PYWELL R.F. (2007) The contribution of English agri-environment schemes to botanical diversity in arable field margins. *Aspects of Applied Biology*, 81, 293-300.
 22. DAFA (2015). Fachforum Grünland - Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen', Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. https://www.dafa.de/wp-content/uploads/FF_Gruenland.pdf (abgerufen am 5.5.2024).
 23. DUPRAZ, C., MARROU, H., TALBOT, G., DUFOUR, L., NOGIER, A. & FERARD, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renew Energy* 36:2725–2732. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.005>
 24. EEG 2023, Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. S. 1066), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist.
 25. FISCHEDICK, M., HAAKE, H., ARNOLD, K., GÖTZ, T., HENNES, L., KASELOFSKY, J., KOSKA, T., LEIPPRAND, A., SAMADI, S., SCHÜWER, D., SPECK, M., SUERKEMPER, F., THOMAS, S., VENJAKOB, J., VON GEIBLER, J. & WILTS, H. (2021). Transformative Innovationen (Zukunftsimpuls Nr. 18). Wuppertal Institut
 26. GEROWITT, B., SCHRÖDER, S., DEMPFLER, L., ENGELS, E.-M., ENGELS, J., FEINDT, P. H., GRANER, A., HAMM, U., HEIBENHUBER, A., SCHULTE-COERNE & H., WOLTERS, V. (2013). Wissenschaftlicher Beirat für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim BMELV: Biodiversität im Grünland – unverzichtbar für Landwirtschaft und Gesellschaft. Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Biodiversität und Genetische Ressourcen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 20 S.

27. GRAHAM, M., ATEs, S., MELATHOPOULOS, A. P., MOLDENKE, A. R., DEBANO, S. J., BEST, L. R., & HIGGINS, C. W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11:7452. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86756-4>
28. GRETHE, H., MARTINEZ, J., OSTERBURG, B., TAUBE, F. & THOM, F., (2021). Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität.
29. HAMIDI, D., HÜTT, C., KOMAINDA, M., GRINNELL, N.A., HORN, J., RIESCH, F., HAMIDI, M., TRAULSEN, I., ISSELSTEIN, J. (2023). Grid grazing: A case study on the potential of combining virtual fencing and remote sensing for innovative grazing management on a grid base. *Livestock Science* 278 105373. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105373>
30. HAMIDI, D., SIEVE, F., SIEDE, C., WILMS, L., ZINKEN, L., KAYSER, M., HAMIDI, M. & ISSELSTEIN, J. (2024). Solar grazing - spatial distribution of sheep in free field photovoltaic systems on grassland. "Why grassland" General Meeting of the European Grassland Federation, 9– 13 June 2024, Netherlands.
31. HASSANPOUR ADEH, E., SELKER, J.S. & HIGGINS, C.H., (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS One* 13 (11), e0203256. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203256>
32. HOFFMANN, V. U., (2008). Damals war's: Ein Rückblick auf die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland. *Sonnenenergie* November-Dezember 2008. https://www.dgs.de/fileadmin/sonnenenergie/SE-2008-06/SE-2008-06-s38-Damals_wars.pdf (abgerufen am 4.11.2023).
33. ISSELSTEIN, J. (1993a). Influence of slight shading, sward density and nitrogen fertilization on yield and nutritive value of *Lolium multiflorum* Lam. In: *J. Agronomy & Crop Science* 170, 341-347.
34. ISSELSTEIN, J. (1993b). Ensilability and silage quality of *Lolium multiflorum* (Lam.) as influenced by slight shading and N-fertilization. In: *Agrobiological Research (Zeitschrift für Agrarbiologie-Agrakulturchemie-Ökologie. Band 46, Heft 1, 1993.*
35. ISSELSTEIN, J. & KAYSER, M. (2012): Standortangepasste Strategien zur Lösung von Landnutzungskonflikten. In: (Ed. Vorstand des Dachverbandes Agrarforschung) ,Nutzungskonkurrenzen in der Landschaft – Ursachen, Auswirkungen und Lösungsansätze, pp. 153 – 169. Agrarspectrum, Schriftenreihe Band 45, DLG-Verlag, Frankfurt.
36. ISSELSTEIN, J. & KAYSER, M. (2014). Functions of grassland and their potential in delivering ecosystem services. *Grassland Science in Europe* 19, 199–214.
37. ISSELSTEIN, J. & KOMAINDA, M. (2023): Grünlandaufwuchs. In: Dänicke et al. (Hrsg.), *Handbuch der Futtermittel. Herkunft, Verarbeitung, Verwendung. Themenbibliothek Tierernährung.* Agrimedia. 98-133.
38. JANSEN-MINßEN, F., KLINCK, L. & KRAUSE, A. (2022). Zukunft der Moorstandorte in der Küstenregion Niedersachsen, Fakten, Fragen, Handlungsansätze, Grünlandzentrum Niedersachsen/Bremen e.V., Ovelgönne. https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE_PhotoVoltaik_auf-wiedervernaessten_Moorboeden.pdf (abgerufen am 18.10.2023).
39. KAMPHERBEEK, E. W., WEBB, L. E., REYNOLDS, B. J., SISTLA, S. A., HORNEY, M. R., RIPOLL-BOSCH, R., DUBOWSKY, J. P. & MCFARLANE, Z. D. (2023). A preliminary investigation of the effect of solar

- panels and rotation frequency on the grazing behavior of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105799>
40. KBU 2023, Freiflächen-Photovoltaik – ja, aber nicht ohne Bodenschutz! Position der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt, Bellingrath-Kimura, S., Broll, G., von Haaren, C., Lang, F., Rück, F., Zeitz, J.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_ub_a_kom_kbu.pdf (abgerufen am 18.10.2023).
 41. KLIMAFARM 2024, Projekt Klimafarm, Landtechnik für Moorböden.
<https://www.klimafarm.stiftungsland.de/das-projekt/landtechnik> (abgerufen am 24.05.2024)
 42. KLIMEK, S., RICHTER GEN. KEMMERMANN, A., HOFMANN, M. & ISSELSTEIN, J. (2007). Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation*, Volume 134, Issue 4, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.007>.
 43. KLIMEK, S., MARINI, L., HOFMANN, M., & ISSELSTEIN, J. (2008). Additive partitioning of plant diversity with respect to grassland management regime, fertilisation and abiotic factors. *Basic and Applied Ecology*, 9(6), 626–634.
 44. KNE 2023, Photovoltaik und Folgenutzung auf Ackerland und Grünland, 17 S.
https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE_Photovoltaik_und_Folgenutzung_auf_Ackerland_und_Gruenland.pdf (abgerufen am 2.11.2023).
 45. KOPECEK, R. & LIBAL, J. (2021). Bifacial Photovoltaics 2021: Status, Opportunities and Challenges. *Energies* **2021**, 14, 2076. <https://doi.org/10.3390/en14082076>
 46. KOST, C., SHAMMUGAM, S., FLURI, V., PEPPER, D., MEMAR, A.D. & THOMAS, S. (2021) Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien: Juni 2021, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Fraunhofer ISE), 49 p, zu finden in <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/cost-of-electricity.htm> (abgerufen am 4.11.2023).
 47. LfL 2019, Beweidung von Photovoltaik-Anlagen mit Schafen, Anforderungen an die Bauweise der Anlage und die Haltung der Schafe, die Vertragsgestaltung sowie die Vergütung. LfL Information.
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/beweidung-pv-anlagen-schafe_lfl-information.pdf (abgerufen am 24.09.2023).
 48. LIU, Y., ZHANG, R.-Q., HUANG, Z., CHENG, Z., LÓPEZ-VICENTE, M., MA, X. R., & WU, G.-L. (2019). Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. *Land Degradation & Development.*, 30, 2177–2186. <https://doi.org/10.1002/ldr.3408>.
 49. LWK NIEDERSACHSEN (2021): Positionspapier der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zu Freiflächen Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen, Stand 06.12.2021. https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38743_Positionspapier_Freiflaechen-Photovoltaik_der_LWK_Niedersachsen (abgerufen am 21.07.2023).
 50. MAIA, A. S. C., CULHARI, E. D. A., FONSÊCA, V. D. F. C., MILAN, H. F. M. & GEBREMEDHIN, K. G. (2020). Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production* 258: 120551.

51. MARROU, H., WERY, J., DUFOUR, L. & DUPRAZ, C. 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur J Agron* 44:54–66. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.08.003>.
52. MERKBLÄTTER AUKM 2024, Stand 21.3.2024. https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agrarforderung/agrarumweltmassnahmen_aum/aum_details_zu_den_massnahmen/aukm-ab-2022-alle-massnahmen-der-neuen-forderperiode-auf-einen-blick-209981.html (Abgerufen am 14.4.2024)
53. ML 2024, Neue AUKM-Die neue Struktur. https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/themen/landwirtschaft/agrarforderung/agrarumweltmassnahmen_aum/aum_die_neue_struktur/aum-die-neue-struktur-121427.html (abgerufen am 14.4.2024)
54. MOORATLAS 2023, Kooperationsprojekt von Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland und der Michael Succow Stiftung, Partner im Greifswald Moor Centrum, https://www.boell.de/sites/default/files/2023-02/mooratlas2023_web_20230213.pdf (abgerufen am 18.10.2023).
55. NIEDERSÄCHSISCHE GRÜNLANDSTRATEGIE 2021, Niedersächsische Ackerbau und Grünlandstrategie (Langfassung). Stand Juli 2021., Herausgeber: Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <https://www.ml.niedersachsen.de/ackergruen/die-niedersachsische-ackerbau-und-grunlandstrategie-198625.html> (abgerufen am 2.11.2023)
56. NLT 2022, Niedersächsischer Landkreistag, Planung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Niedersachsen Hinweise und Empfehlungen aus der Perspektive der Raumordnung. Arbeitshilfe des Niedersächsischen Landkreistages und des Niedersächsischen Städte- und Gemeindebundes in Kooperation mit dem Niedersächsischen Ministerien für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (oberste Landesplanungsbehörde) sowie dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. 1.Auflage, Stand 19.10.2022
57. PEETERS, A.; BEAUFOY, G.; CANALS, R.M.; Vlieghe, A.; DE HUYGHE, C.; ISSELSTEIN, J.; JONES, G.; KESSLER, W.; KIRILOV, A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R.; et al. (2014). Grassland term definitions and classifications adapted to the diversity of European grassland-based systems. In Proceedings of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation: EGF at 50: The Future of European Grassland, Aberystwyth, UK, 7–11 September 2014.
58. PORADA, P., TIEMEYER, B. & PIAYDA, A. (2024). Modelling solar energy effects on rewetted peatlands, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-13441, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-13441>, 2024.
59. PORSCHLOD, P. & WALLIESDEVRIES, M. (2002). The historical and socioeconomic perspective of calcareous grassland-lessons from the distant and recent past. *Biological Conservation* 104, 361-376. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00201-4](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00201-4)
60. POTT, T. W. (2023). Synergien von Freiflächen Photovoltaik und Weidetierhaltung. Bachelorarbeit an der Universität Göttingen im Studiengang Agrarwissenschaften.
61. QUEIROZ, C., BEILIN R., FOLKE, C. & LINDBORG, R. (2014). Farmland abandonment: Threat or opportunity for biodiversity conservation? *Frontiers in Ecology and the Environment* 12: 288–296. DOI:10.1890/120348

62. RAAB, BERND. (2015). Erneuerbare Energien und Naturschutz –Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. – ANLiegen Natur 37(1): 67–76, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.
63. SCHALOW, L. E. (2013). Schafbeweidung in Solarparks in Deutschland. Masterarbeit an der Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie.
64. SCHILS, R. L.M., BUFE, C., RHYMER, C. M., FRANCKSEN, R. M., KLAUS, V. H., MILAZZO, M. A. F., LELLEI-KOVÁCS, E., TEN BERGE, H., BERTORA, C., CHODKIEWICZ, A., DĂMĂȚIRĂ, C., FEIGENWINTER, I., FERNÁNDEZ-REBOLLO, P., GHIASI, S., HEJDUK, S., HIRON, M., JANICKA, M., PELLATON, R., SMITH, K. E., THORMAN, R., VANWALLEGHEM, T., WILLIAMS, J., ZAVATTARO, L., KAMPEN, J., DERKX, R., SMITH, P., WHITTINGHAM, M. J., BUCHMANN, N. & NEWELL PRICE, J. P. (2022) Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 330, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891>.
65. SCHINDELE, S., TROMMSDORFF, M., SCHLAAK, A., OBERGFELL, T., BOPP, G., REISE, C.; BRAUN, C., WESELEK, A., BAUERLE, A., HÖGY, P., GOETZBERGER, A., WEBER, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy* 265, 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
66. SUNFARMING 2024; <https://sunfarming.de/blog/tag/bluehstreifen> (abgerufen am 10.04.2024).
67. SUTTERLÜTTI, R., KOMAINDA, M., KAYSER, M. & ISSELSTEIN, J. (2023) Tree lines do not reduce grassland productivity and herbage quality in alley cropping under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science* 2023; 00:1–11., DOI: 10.1111/jac.12658
68. TEGTMEYER, P. (2023). Der Einfluss von Photovoltaikmodulen auf den Ertrag und die Futterqualität von Grünland. Eine wirtschaftliche Doppelnutzung? Ergebnisse aus einem Solarpark auf Moor. Bachelorarbeit an der Universität Göttingen im Studiengang Agrarwissenschaften.
69. TÖLGYESI, C, BÁTORI, Z., PASCARELLA, J., ERDŐS, L., TÖRÖK, P., BATÁRY, P., BIRKHOFER, K., SCHERER, L., MICHALKO, R., KOŠULIČ, O., ZALLER, J. G. & GALLÉ, R. (2023). Ecovoltaics: Framework and future research directions to reconcile land-based solar power development with ecosystem conservation. *Biological Conservation* 285(6):110242. DOI:[10.1016/j.biocon.2023.110242](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110242)
70. UBA 2022 Günnewig, D, Johannwerner, E., Bosch & Partner GmbH, Hannover. Umweltverträgliche Standortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen. Abschlussbericht, Texte: [141/2022https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_141-2022_umweltvertraegliche_standortsteuerung_von_solar-freiflaechenanlagen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_141-2022_umweltvertraegliche_standortsteuerung_von_solar-freiflaechenanlagen.pdf) (abgerufen am 2.11.2023)
71. UBA 2023, Klimaschutz in der GAP 2023-2027, Wirkungsbeitrag und Ausgaben 2.Auflage (2023).https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/103_2023_texte_klimaschutz_in_der_gap.pdf (abgerufen am 14.4.2024).
72. UEMATSU, Y., KOGA, T., MITSUHASHI, H. & USHIMARU, A. (2010). Abandonment and intensified use of agricultural land decrease habitats of rare herbs in semi-natural grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 4, 304-309. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.0>
73. VON SEHT, H. (2023). Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik. Unterstützungs- und Steuerungsmöglichkeiten der Bundesraumordnung und Landesplanung. *Raumforschung und Raumordnung* 81/2: 188-202
74. WAGNER, J., BÜHNER, C., GÖLZ, S., TROMMSDORFF, M., JÜRKENBECK, K. (2024).

- Factors influencing the willingness to use agrivoltaics: A quantitative study among German farmers. *Applied Energy*, Volume 361,122934.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122934>.
75. WATTMANUFACTUR 2023. www.wattmanufactur.de/moor-pv.html; (abgerufen am 2.11.2023)
76. WEGENER, J., LÜCKE, W. & HEINZEMANN, J. (2006). Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Treibhausgasemissionen in Deutschland. *Agrartechnische Forschung* 12 (6):103-114.
77. WESELEK, A., EHMANN, A. ZIKELI, S., LEWANDOWSKI, I., SCHINDELE, S. & HÖGY, P. (2019). Agrophotovoltaic systems: application, challenges, and opportunities. A review. *Agronomy for Sustainable Development Dev.* 39, 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3>
78. WESCHE, K., KRAUSE, B., CULMSEE, H. & LEUSCHNER, C. (2012). Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation* 150, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.02.015>
79. WIRTH, H. (2023). Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Harry Wirth, FraunhoferISE, Download von www.pv-fakten.de, (Fassung vom 27.09.2023)
80. WRAGE, N., STROTHOFF, J., CUCHILLO, H. M., ISSELSTEIN, J. & KAYSER, M. (2011). Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodivers. Conserv.*, 20. [10.1007/s10531-011-0145-6](https://doi.org/10.1007/s10531-011-0145-6).
81. WÜRFEL, P. (2000). *Physik der Solarzellen*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin, 2nd edition.
82. ZALF 2023, Impulspapier: Welche Mehrwerte kann die Agri-PV für die Energie- und Agrarwende bieten? Chancen und Herausforderungen für den Markthochlauf in Deutschland. (2023). https://www.zalf.de/de/aktuelles/DokumenteMeldungen/DIR/IMPULSPAPIER_Agri_P_V.pdf abgerufen am 14.4.2024
83. ZINKEN, L. HAMIDI, D., TEGMEYER, P., KAYSER, M. & ISSELSTEIN, J. (2024). Microclimate, grass growth and herbage quality of peat grassland under free field photovoltaic modules. "Why grassland" General Meeting of the European Grassland Federation, 9– 13 June 2024, Netherlands.

Anschrift der Autoren

Dr. Dina Hamidi

Georg-August-Universität Göttingen

Abteilung Graslandwissenschaft

Von-Siebold-Str.8

37075 Göttingen

E-Mail: dina.hamidi@uni-goettingen.de

Orcid ID: 0000-0001-5273-7862

Dr. Karen Baumann

Universität Vechta

Geo-Labor

Driverstr. 22
49377 Vechta
E-Mail: karen.baumann@uni-vechta.de
Orcid ID: 0000-0003-1341-052X

PD Dr. Manfred Kayser
Universität Vechta
Geo-Labor
Driverstr. 22
49377 Vechta
E-Mail: manfred.kayser@uni-vechta.de
Orcid ID: 0000-0002-0855-8098

Prof. Dr. Dr. h. c. Harald von Witzke
Humboldt Universität zu Berlin
Unter den Linden 6
10099 Berlin

Prof. Dr. Johannes Isselstein
Georg-August-Universität Göttingen
Abteilung Graslandwissenschaft
Von-Siebold-Str.8
37075 Göttingen
E-Mail: jissels@gwdg.de
Orcid ID: 0000-0002-8010-9238

Danksagung

Diese Arbeit ist im Rahmen des Projekts 'Klimaschutzkonzept Wesermarsch' gefördert vom Ministerium für Wissenschaft und Kultur (Niedersachsen) entstanden.

Franziska Kunz danken wir herzlich für die Vegetationsaufnahmen im 'Solarpark Lottorf' und im 'Solarpark Klein Rheide'.

Anhang

Information zu den Befragungsergebnissen: Zu einem überwiegenden Teil ordneten sich die Befragten (n=34) der Gruppe "Landwirtschaft" zu (65 % inkl. teilweise Doppelnennung) und gaben zu einem großen Teil (59 %) an, dass ihre Motivation zur Teilnahme an der Veranstaltung der Besitz von Flächen ist, auf denen eventuell PV umgesetzt werden soll.

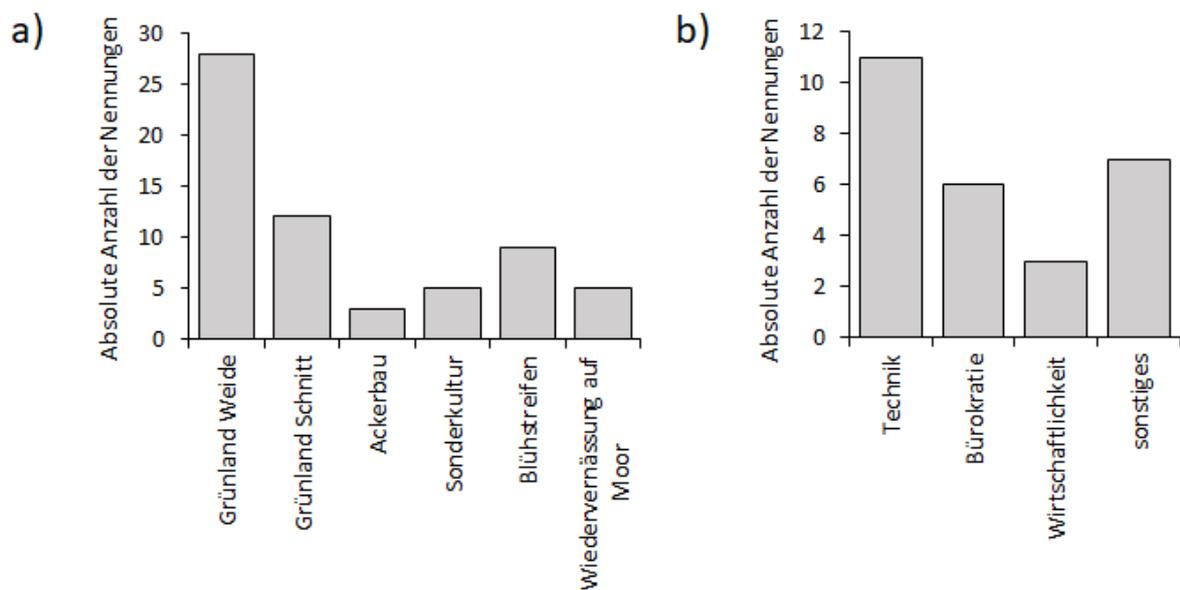


Abbildung S1: a) Ergebnisse der Befragung zu PV in der Landwirtschaft in Nordwest-Niedersachsen (25.10.2023). Absolute Anzahl der Nennung der jeweiligen Bewirtschaftungsoption als Antwort auf die Frage: "Was würden Sie unter PV umsetzen wollen, um eine Flächensynergie zu erreichen?" Mehrfachnennungen waren möglich; die Kategorie "Wiedervernässung auf Moor" wurde nachträglich eingefügt, da von den Personen, die die Möglichkeit "Sonstiges" wählten, diese Option im Freitextfeld eingefügt wurde; andere Optionen wurden nicht genannt; n = 34. **b)** Ergebnisse (Absolute Anzahl der Nennungen der jeweiligen Kategorie) der Befragung in Nordwest Niedersachsen (25.10.2023). Kategorisierte Freitextantworten auf die Frage: "Was sehen Sie als größte Hürde bei einer Doppelnutzung?". Teilweise wurden mehrere Argumente angeführt. Unter sonstiges sind die Argumente aufgeführt, die maximal zweimal genannt wurden. Die Kategorie "Technik" beinhaltet alle Bedenken zum Thema intensive Bewirtschaftung der Flächen, Bürokratie fasst die Bedenken hinsichtlich des nötigen bürokratischen Aufwandes zusammen. n = 25