

Whitepaper

# AGRIVOLTAIK – DIE ZUKUNFT DER LANDWIRTSCHAFT?



## Einleitung

**Eine neue Entwicklung im Bereich der Erneuerbaren Energien** ist der zunehmende Einsatz von Agrivoltaik-Systemen, die auch als APV (Agriphotovoltaik) bezeichnet werden. Dabei handelt es sich um eine doppelte Nutzung von Grund und Boden sowohl für landwirtschaftliche Zwecke als auch für die Erzeugung von Strom durch Photovoltaik (PV), die Vorteile für beide Seiten bewirkt.

Der Ausbau von großflächigen PV-Anlagen ist ein wesentlicher Bestandteil der weltweiten Initiativen zur Eindämmung des Klimawandels. In ihrem World Energy Outlook 2022 fordert die Internationale Energieagentur (International Energy Agency, IEA) eine nahezu Vervierfachung der Investitionen in grüne Energie in diesem Jahrzehnt, um das Ziel eines Netto-Null-Emissionsniveaus bis 2050 zu erreichen.<sup>1</sup> Ein Hindernis dabei ist jedoch der erhebliche Platzbedarf von Solarparks, der durch zwei Faktoren zusätzlich verschärft wird: Erstens durch die weltweite Nahrungsmittelnachfrage, die bis 2050 um 50 % steigen dürfte, und zweitens durch einen zunehmenden Wettbewerb um Land, da die Weltbevölkerung auf voraussichtlich knapp 10 Milliarden Menschen anwachsen wird.<sup>2</sup> Vor diesem Hintergrund könnte die Verbindung von Ackerbau und PV-Stromerzeugung dazu beitragen, diese landschafts-ökonomische Herausforderung zu lösen, indem sie gleichzeitig den künftigen Energie- und Nahrungsmittelbedarf deckt.

Der wachsende öffentliche Widerstand gegen den Verlust von landwirtschaftlichen Anbauflächen und Naturgebieten durch Solarparks ist einer der wichtigsten Treiber für eine weltweite Expansion von Agrivoltaik. Denn die Einführung solcher Systeme löst den sich zuvor gegenseitig ausschließenden Wettbewerb um knappe Landressourcen, indem Ackerland für die Nahrungsmittelproduktion erhalten bleibt und gleichzeitig der steigende Bedarf an Erneuerbarer Stromerzeugung gedeckt wird. Hinzu kommt, dass eine Selbsterzeugung von Strom mittels einer Agrivoltaikanlage finanzielle Vorteile schafft. Dies könnte Landwirte dazu veranlassen, solche Systeme für Flächen zu nutzen, die aufgrund geringer Ertragsfähigkeit derzeit nicht bewirtschaftet werden.

Zudem führt der Klimawandel zu negativen Auswirkungen auf den globalen Wasserkreislauf. Die Folge ist ein chronischer Wassermangel in vielen für die Nahrungsmittelproduktion wichtigen Regionen. Selbst wenn die Netto-Null-Emissionsziele bis 2050 erreicht werden, wird ein großer Teil der Erde bis zum Ende des Jahrhunderts trockener und deutlich anfälliger für extreme Dürren. In diesem Zusammenhang zählen die am besten für Solarenergie geeigneten Regionen, die sich durch hohe Sonneneinstrahlung und ebene Flächen auszeichnen, auch zu einigen der geeignetsten Orte für den Anbau von Nahrungsmitteln. Je nach angebauter Pflanzensorte werden bei Agrivoltaik-Installationen verschiedene Kombinationen von Photovoltaik und landwirtschaftlicher Nutzung eingesetzt. Dies reicht von bodennah aufgeständerter Agrivoltaik mit einer Bewirtschaftung zwischen den Anlagenreihen (Zwischenraum PV bzw. Interspace PV) bis hin zu hoch aufgeständerter Agrivoltaik mit einer Bewirtschaftung unter der PV-Anlage (Overhead PV) jeweils mit unterschiedlichen Höhen und Neigungswinkeln sowie PV-Gewächshäusern.

Agrivoltaik-Systeme können aufgrund ihres integrativen Designs dazu beitragen, die Stromerzeugung zu steigern, die Nahrungsmittelträge zu erhöhen und den Wasserverbrauch zu senken. Diese Win-Win-Situation für Landwirte und PV-Betreiber wird dadurch verstärkt, dass bestimmte Pflanzen von der Beschattung profitieren und die Solarmodule dank der von den Pflanzen verursachten Verdunstung (Evapotranspiration), die die Umgebungsluft abkühlt, eine höhere Effizienz bei der Stromerzeugung und eine längere Lebensdauer gewinnen. Dieser Co-Location-Ansatz optimiert das Mikroklima und senkt die Oberflächentemperatur der PV-Module, während gleichzeitig die Pflanzen beschattet werden, was ihre Verdunstungsrate verringert und ihnen hilft, mehr Wasser zu speichern.

<sup>1</sup> IEA, „World Energy Outlook: executive summary“ (Oktober, 2022). Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary>.  
<sup>2</sup> World Resources Institute, „World Resources Report: Creating a Sustainable Food Future“ (Juli 2019). Verfügbar unter: [Creating a Sustainable Food Future | World Resources Report \(wri.org\)](https://www.wri.org/publications/2019/07/creating-a-sustainable-food-future/)

# INHALT

<b>1. DESIGN VON AGRIVOLTAIK-SYSTEMEN</b>	3
1.1 Kategorien	3
1.2 Kernanforderungen	4
<b>2. ENTWICKLUNGEN IN EUROPA</b>	4
2.1 Entwicklungen in Italien	4
2.2 Innovationen in Europa	5
2.3 Agrivoltaik und Aquila Clean Energy	5
<b>3. CHANCEN</b>	6
3.1 Schnelles Wachstum in den vergangenen Jahren	6
3.2 Potenzial, um das Problem begrenzter Flächen zu lösen	6
3.3 Agrivoltaik-Förderprogramme	6
3.4 Synergieeffekte bei Pflanzenkulturen	6
3.5 Synergieeffekte bei Photovoltaik	6
3.6 Synergieeffekte für die Landwirtschaft	7
<b>4. HERAUSFORDERUNGEN</b>	7
4.1 Regulatorische Hürden	7
4.2 Fördersysteme	7
4.3 Herausforderungen in der Entwicklungsphase	8
4.4 Herausforderungen in der Bauphase	8
4.5 Herausforderungen in der Betriebsphase	8
4.6 Herausforderungen – Zusammenfassung	9
<b>5. AUSBLICK</b>	9
5.1 Wachstum der Photovoltaik-Kapazität	9
5.2 Europäische Klimapolitik	9
5.3 Geringere Kapitalkosten	9
5.4 Lösung der konkurrierenden Flächennutzung	9
5.5 Synergiepotenzial von Agrivoltaik	9

## 1. Design von Agrivoltaik-Systemen

Für den Einsatz in der Praxis werden im Wesentlichen drei Kombinationen aus Photovoltaik und Landwirtschaft genutzt: Overhead-Solaranlagen über den Pflanzenkulturen, Zwischenkonzepte mit Platz für die Pflanzen zwischen den Installationen und Solarmodule für Gewächshäuser. Alle drei Systeme profitieren von verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten, um die von den Modulen und den Pflanzen absorbierte Sonnenenergie zu maximieren. Dazu zählen der Neigungswinkel der Solarmodule, die angebaute Pflanzenart, die Höhe der Module, die Sonneneinstrahlung und die jeweils vorherrschenden Klimabedingungen.

### 1.1 Kategorien

Gemäß einer kürzlich veröffentlichten deutschen Norm für Agrivoltaik (DIN SPEC 91434) kategorisiert das Fraunhofer Institut Installationen mit einer vertikalen Höhe von mehr als 2,1 Meter als Overhead-Solaranlagen und solche mit Abstand von weniger als 2,1 Metern zum Boden als Zwischenraum-PVs. Verschiedene Neigungswinkel werden für Dauerkulturen und mehrjährige Pflanzenanbauarten (Obst- und Weinbau), einjährige und langfristige Anbauarten (Feldfrüchte und Gemüse) sowie für gewerblich genutztes Grünland zum Mähen oder Weiden angewendet.<sup>3</sup> Die Höhe von Overhead-Konstruktionen kann je nach Anbaukultur sehr unterschiedlich sein. Bei Feldfrüchten werden gelegentlich Agrivoltaik-Systeme mit einer großen Bodenfreiheit von etwa vier bis sechs Metern eingesetzt, um die Durchfahrt von landwirtschaftlichen Fahrzeugen unter den Modulen zu ermöglichen. Dagegen werden bei Dauer- und mehrjährigen Kulturen niedrigere Aufbauten von etwa zwei bis drei Metern verwendet. Diese Konstruktionen sind jedoch investitionsintensiver und werden daher seltener genutzt.<sup>4</sup>

Die am weitesten verbreiteten und von Projektentwicklern präferierten Designs sind durch einen Abstand zwischen den Modulreihen gekennzeichnet. Die von Aquila Clean Energy betriebenen Agrivoltaik-Projektentwicklungen haben, abhängig vom jeweiligen Gelände, zumeist einen Freiraum zwischen den Reihen von 7 bis 9 Metern und ermöglichen es dadurch, Traktoren frei zwischen den Reihen zu manövrieren. Diese Zwischenraum-PV-Systeme besitzen typischerweise ein Design, bei dem die Modulreihen in Ost-West-Richtung verlaufen und die Module in einem Neigungswinkel nach Süden ausgerichtet sind, der dem Breitengrad minus 10 Grad entspricht. Die Reihen sind so angeordnet, dass sie sich nur in einer begrenzten Anzahl von Stunden gegenseitig beschatten, und die Mindesthöhe der Module ist so gewählt, dass sie normalerweise nicht von den sie umgebenden Pflanzen beschattet werden. Dieser Ansatz, der zur Maximierung der energetischen und wirtschaftlichen Leistung bei der Stromerzeugung optimiert ist, variiert bei Agrivoltaik-Anlagen, um ausreichend Raum für landwirtschaftliche Aktivitäten zu lassen und das Wachstum der Pflanzen zu fördern.<sup>5</sup>

3 Fraunhofer ISE, „Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition – A Guideline for Germany“ (April 2022), S. 12.

4 Ministero della Transizione Ecologica (MITE), „Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici“ (Juni 2022), S. 32.

5 Ebenda (ebd.), S. 18.



Ein zunehmendes Anwendungsfeld ist die Verbindung von Photovoltaik und Gewächshäusern. Denn diese Kombination ermöglicht es, Strom für Gewächshaussteuerungssysteme wie Belüftung, Bewässerung, Heizung und Kühlung zu erzeugen und so die Pflanzen vor übermäßiger Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen zu schützen sowie den Wasserverbrauch zu senken.<sup>6</sup>

## 1.2 Kernanforderungen

Zu den Kernanforderungen nach typischen Standards für Agrivoltaik zählen: die Gewährleistung einer landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen, eine maximale Flächenreduktion nach der Installation von PV-Anlagen von nicht mehr als 10 % bei Overhead-PVs bzw. 15 % bei Zwischenraum-PVs, eine nachgewiesene Verfügbarkeit von Licht, Lichthomogenität und Wasserverfügbarkeit für Pflanzen, die Anpassung an die landwirtschaftlichen Bedürfnisse, die Vermeidung von Bodenerosion und -schäden, die Möglichkeit eines Rückbaus ohne Bodendegradation und ein landwirtschaftlicher Ertrag von mindestens 66 % des Referenzenertrags.<sup>7</sup> In verschiedenen Studien wurden die Wachstumsmuster und Erträge von Pflanzen untersucht, die nach der Installation von Agrivoltaik-Anlagen einer verringerten Lichteinstrahlung ausgesetzt waren. Pflanzen mit einem hohen Lichtbedarf, bei denen schon geringe Beschattungsintensitäten zu starken Ertragseinbußen führen, wie z. B. Weizen und Obstbäume, wurden als ungeeignet eingestuft, es sei denn, der Neigungswinkel und die Höhe der Solarmodule wurden optimiert. Pflanzenarten, die auch bei mäßiger Beschattung gut wachsen, wie Roggen, Gerste oder Hafer, wurden dagegen als geeignet eingestuft. Als besonders geeignet erwiesen sich Pflanzen wie Kartoffeln und Hopfen, da sich die teilweise Beschattung sogar positiv auf die Erträge auswirkte.<sup>8</sup>

## 2. Entwicklungen in Europa

Um Beispiele für die mögliche Skalierbarkeit sowie die technische und wirtschaftliche Machbarkeit von Agrivoltaik in Europa zu liefern, liegen verschiedene Entwicklungen aus zahlreichen Ländern mit unterschiedlichen Klimazonen und Einstrahlungsniveaus vor. In Süddeutschland wurden vertikale bifaziale – also zweiseitig Ertrag bringende – Solarmodule vom chinesischen Unternehmen Jolywood installiert, einem führenden Solarproduzenten, der ein bifaziales 700-Watt „N-Type“ Solarpaneel unter der Bezeichnung „Niwa Max“ angekündigt hat. Diese Paneele fangen zwischen 21,7% und 22,5% der Sonneneinstrahlung ein, verglichen mit durchschnittlich 17% bis 19% bei herkömmlichen Paneelen. Sie werden vertikal angebracht, um Windschutz zu bieten und um zu gewährleisten, dass die Pflanzen das volle Sonnenlicht erhalten.<sup>9</sup>

In den Niederlanden hat sich gezeigt, dass landwirtschaftliche Agrivoltaikprojekte mit speziellen monokristallinen Solarmodulen mit unterschiedlichen Transparenzgraden den Ertrag und die Qualität von fünf Kulturpflanzen steigern, darunter Heidelbeeren, rote Johannisbeeren, Himbeeren, Erdbeeren und Brombeeren. Die Transparenz der Paneele soll sicherstellen, dass ausreichend Licht zu den darunter liegenden Pflanzen hindurchdringt, und gleichzeitig Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung, Regen, Hagel und Frost bieten. Die Module sind so konzipiert, dass Luft durch sie hindurchströmen kann, so dass die Luft im Bereich der Pflanzen kühler ist als die Umgebung und viel kühler als bei herkömmlichen Folienabdeckungen.<sup>10</sup> Und bei einem Agrivoltaikprojekt in Griechenland bedecken mit Nanostrukturen beschichtete Solarzellen, die unerwünschte UV-Strahlen herausfiltern, ein 1.000 Quadratmeter großes für Weinanbau genutztes Gewächshaus. Sie sorgen dafür, dass nahezu der gesamte Energiebedarf klimaneutral gedeckt wird.<sup>11</sup>

### 2.1 Entwicklungen in Italien

Italien besitzt angesichts der hohen Sonneneinstrahlung und seines bedeutenden Agrarsektors möglicherweise das größte Potenzial für Agrivoltaik-Systeme. Obwohl das Land noch immer sehr herausfordernde gesetzliche Vorgaben und Genehmigungsverfahren für landwirtschaftliche Solarsysteme vorschreibt, hat die italienische Regierung 1,1 Mrd. Euro für die Errichtung von 2 GW neuer agrivoltaischer Erzeugungskapazität in diesem Jahrzehnt als Teil des von der EU nach der Covid-Pandemie finanzierten Nationalen Wiederaufbau- und Resilienzplans bereitgestellt.

6 Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 11.

7 ebd., S. 12.

8 MITE, „Linee Guida“ (Juni 2022), S. 19.

9 13D Research & Strategy, „What I Learned This Week: Agrivoltaic Disruption: Produce more food with less water while generating enough clean electricity to power the world“ (Oktober 2021). Verfügbar unter: [13D Research & Strategy](#).

10 Bellini, E., „Special solar panels for agrivoltaics“, PV Magazine (Juli 2020). Verfügbar unter: [Special solar panels for agrivoltaics – pv magazine International \(pv-magazine.com\)](#)

11 Klenske, N., „To feed a growing population, farmers look to the Sun“, European Commission (Januar 2022). Verfügbar unter: [To feed a growing population, farmers look to the Sun | Research and Innovation \(europa.eu\)](#)



Die „Italienische Nationalagentur für neue Technologien, Energie und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung“ (ENEA) hat ein nationales Netzwerk für nachhaltige Agrivoltaik-Systeme ins Leben gerufen. Ziel ist es, die installierte Solarleistung um 30 GW zu erhöhen. Laut ENEA müssten lediglich 0,32 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen Italiens mit PV-Anlagen ausgestattet werden, um bereits 50 % der Ziele des nationalen Energieplans zu erreichen.<sup>12</sup>

Das „Vereinfachungsdekret“ der italienischen Regierung aus dem Jahr 2021 war ebenfalls ein wichtiger Durchbruch bei der Einführung von Photovoltaikanlagen in der Landwirtschaft, da es integrierte Lösungen auflistet, die die Kontinuität landwirtschaftlicher Tätigkeiten nicht beeinträchtigen.<sup>13</sup>

## 2.2 Innovationen in Europa

In Europa haben wesentliche Marktteilnehmer in Spanien, Griechenland und Italien innovative Projekte entwickelt, bei denen die Unternehmen mit dem Anbau von Pflanzenarten unter und zwischen den Paneelen experimentieren, ohne das Layout der PV-Projekte radikal zu verändern.<sup>14</sup> Die am stärksten von der Synergie profitierenden Pflanzen besaßen eine begrenzte Höhe, wie z. B. Futterpflanzen (Mais, Gerste, Hafer), Kräuter, Gemüse und kleinere Obstpflanzen. Dabei ergaben die Tests eine Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge um bis zu 20 bis 60 % sowie eine Verringerung des Wasserverbrauchs für die Pflanzen um bis zu 15 bis 20 %. Darüber hinaus wurde die Verbindung von Viehzucht und Photovoltaik erfolgreich getestet.<sup>15</sup> Andere Marktteilnehmer entwickeln Agrivoltaik-Projekte in der italienischen Region Kampagnien, wo bifaziale Solaranlagen mit vertikalen Neigungstrackern in einer Höhe von zwei Metern über dem Boden mit Viehzucht, Gartenbau einer vertikalen Landwirtschaft sowie mit Batteriespeichersystemen kombiniert werden.<sup>16</sup>

## 2.3 Agrivoltaik und Aquila Clean Energy

Aquila Clean Energy, die Plattform für Erneuerbare Energien der Aquila Group, entwickelt in Italien ein umfangreiches Portfolio an Photovoltaikanlagen mit einer Kapazität von ca. 2,6 GW. Mehrheitlich handelt es sich dabei um Agrivoltaik-Systeme, die den nationalen Richtlinien für die Agrivoltaik vollständig entsprechen und eine durchschnittliche Produktion von 1.700 MWh/MWp pro Jahr ermöglichen. Mit der Entwicklung von mehr als 70 Projekten in verschiedenen Regionen besitzt Aquila Clean Energy eine führende Position innerhalb des italienischen Agrivoltaik-Markts. Das im März 2021 in Mailand eröffnete Büro ist innerhalb von kurzer Zeit auf 20 Mitarbeiter angewachsen, von denen die Hälfte dem Clean Energy Development and Construction Team angehört, was dem zukünftigen Wachstum in Italien einen großen Schub verleihen dürfte. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass Aquila Clean Energy nicht auf Agrivoltaik-Projekte setzt, nur um die Wahrscheinlichkeit dafür zu erhöhen, dass Projekte auf landwirtschaftlichen Flächen genehmigt werden. Denn klar ist, dass angesichts der ehrgeizigen Ausbauziele für Erneuerbare Energien im Rahmen des „European Green Deal“ und des „Next Generation EU“-Pakets Industrie- und Stadtgebiete nicht für die gesamte geplante Entwicklung ausreichen. Daher ist es notwendig, Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen als Kompromiss zur Erreichung der Energiewende zu integrieren. Das Design von Agrivoltaik-Systemen wird daher so optimiert, dass die Anlagen die weitere landwirtschaftliche Nutzung so wenig wie möglich behindern. Daher dürfte Agrivoltaik wesentlich dazu beitragen, Investitionen in Erneuerbare Energien zu fördern und die inländische Energieproduktion zu stärken, während sie gleichzeitig die Widerstandsfähigkeit und Sicherstellung der europäischen Energieversorgung unterstützt.

<sup>12</sup> HT, „Agrivoltaics: what is it and how does it work?“ (November 2021). Verfügbar unter: [Agrivoltaics: What is it and How does it Work? \(ht-apps.eu\)](https://ht-apps.eu/).  
<sup>13</sup> ebd.

<sup>14</sup> Enel Group, „Energy: agreement between Enel Green Power and ENEA for an innovative agrivoltaic pilot plant (Mai 2021). Verfügbar unter: [Energy: agreement between Enel Green Power and ENEA for an innovative agrivoltaic pilot plant | Enel Green Power](https://www.enelgroup.com/en/energy-agreement-between-enel-green-power-and-enea-for-an-innovative-agrivoltaic-pilot-plant); Enel Group, „Agrivoltaics: Enel Green Power’s campaign bears its first fruits“ (Juni 2022). Verfügbar unter: [A new Agrivoltaic model | Enel Green Power](https://www.enelgroup.com/en/agrivoltaics-enel-green-power-s-campaign-bears-its-first-fruits).

<sup>15</sup> Enel Group, „All the benefits of agrivoltaics“ (März 2023). Verfügbar unter: [Agrivoltaics: benefits of agriculture and solar energy | Enel Green Power](https://www.enelgroup.com/en/all-the-benefits-of-agrivoltaics)

<sup>16</sup> PV Europe, „Land of the Sun project in Italy“ (2023). Verfügbar unter: <https://www.pveurope.eu/agriculture/agrivoltaics-land-sun-project-italy>.

## 3. Chancen

### 3.1 Schnelles Wachstum in den vergangenen Jahren

Agrivoltaik-Systeme bieten ein erhebliches Potenzial sowohl für die Erzeugung grüner Energie als auch für Sicherheit bei der Lebensmittelproduktion. Laut Fraunhofer ISE ist die installierte Agrivoltaik-Leistung in den vergangenen Jahren exponentiell gestiegen, von ca. 5 MWp in 2012 über ca. 2,9 GWp in 2018 auf über 14 GWp in 2021. Während in Japan mehr als 3.000 kleinere Agrivoltaik-Systeme installiert sind, bleibt China mit einer geschätzten installierten Leistung von 12 GWp (Stand von Juli 2021) der eindeutige Marktführer.<sup>17</sup>

### 3.2 Potenzial, um das Problem begrenzter Flächen zu lösen

Agrivoltaik verfügt über die Kapazität, den gesamten globalen Strombedarf auf weniger als 1 % der weltweiten Anbauflächen zu decken. Würden auf nur 10 % der gesamten Gewächshausfläche in den europäischen Mittelmeerländern Agrivoltaik-Systeme installiert, könnte eine mögliche Kapazität von rund 15 GWp genutzt werden. Allein bezogen auf Deutschland – das eine installierte PV-Kapazität von rund 59 GWp im Jahr 2021 aufwies – verdeutlicht ein angestrebter Ausbau der PV-Kapazität auf 215 GWp bis 2030 und ein Gesamtstrombedarf von 300 bis 450 GWp das massive Potenzial der Agrivoltaik. Denn die Technik könnte den enormen Flächenbedarf, der für den geplanten Ausbau erforderlich ist, ohne den Verlust landwirtschaftlicher Flächen und mit minimalen Konflikten und Akzeptanzproblemen lösen.<sup>18</sup>

### 3.3 Agrivoltaik-Förderprogramme

Darüber hinaus wurden in Europa eine Reihe von Agrivoltaik-Förderprogrammen aufgelegt, darunter 1,1 Mrd. Euro an Fördermitteln im Rahmen des europäischen Green Deal. In Ländern wie Frankreich, Italien und Deutschland gibt es zudem eigene Förderprogramme. Insbesondere für Obst, Beeren und Weinanbau werden dort zahlreiche neue Agrivoltaikanlagen installiert, da diese zusätzliche Vorteile beim Schutz empfindlicher Kulturen vor Hagel, Starkregen, zu intensiver Sonneneinstrahlung, Trockenheit und Frost bieten. Nationale Agrivoltaik-Förderprogramme gibt es auch in Japan seit 2013, in China seit 2014, in Frankreich seit 2017, in den USA seit 2018 und seit kurzem auch in Südkorea, was zugunsten eines weiteren Ausbaus der Agrivoltaik-Kapazitäten wirken dürfte.<sup>19</sup>

### 3.4 Synergieeffekte bei Pflanzenkulturen

Verschiedene Kombinationen von landwirtschaftlicher Bewirtschaftung in Abhängigkeit von der jeweils angebauten Pflanzenart und Photovoltaikanlagen, deren Solarpaneele beispielsweise in einer Höhe von 2 bis 4 Metern über den Feldern angebracht

werden, können nachweislich dazu beitragen, dass die Pflanzen mit weniger Wasser wachsen und die Paneele gleichzeitig bis zu 10 % mehr Energie erzeugen. Denn die Integration von Agrivoltaik ermöglicht eine Beschattung von Pflanzen um oder unter den Modulen während bestimmter Tageszeiten. Für ihre Photosynthese benötigen alle Pflanzen eine bestimmte Menge an täglicher Sonneneinstrahlung, während über diesen Punkt hinausgehende Lichtzufuhr lediglich dazu führt, dass die Pflanzen ihren Wasserverbrauch erhöhen. Die Beschattung durch Agrivoltaik-Systeme kann dazu beitragen, die Pflanzen vor überschüssigem Sonnenlicht zu schützen und dieses gleichzeitig zur Stromerzeugung zu nutzen. In Gebieten mit vergleichsweise geringer Sonneneinstrahlung kann dies allerdings den Ertrag und die Qualität der Anbaupflanzen verringern. Eine Lösung bieten dort bifaziale Solarpaneele, die das Sonnenlicht auf beiden Seiten aufnehmen. Sie werden vertikal angebracht, so dass die Pflanzen das volle Sonnenlicht erhalten und gleichzeitig ein Windschutz geschaffen wird.<sup>20</sup>

Laut einer in Nature Sustainability veröffentlichten Studie konnten schattige Pflanzen wie Chiltepin-Paprika und Kirschtomaten, die unter Solarpaneelen angebaut wurden, ihre Erträge im Vergleich zu einer herkömmlichen Anbaufläche verdoppeln. Die Pflanzen verringerten ihre Wasserabgabe im Durchschnitt um 65 %, während der Boden mehr Wasser speicherte, wodurch der Bewässerungsbedarf reduziert werden konnte.<sup>21</sup>



17 13D Research & Strategy (Oktober 2021); Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 21.

18 13D Research & Strategy, „Agrivoltaic Disruption“ (Oktober 2021); Fraunhofer ISE, „Integrated photovoltaics“ (April 2023). Verfügbar unter: [Agrivoltaics - Fraunhofer ISE](#)

19 13D Research & Strategy, „Agrivoltaic Disruption“ (Oktober 2021); Fraunhofer ISE, „Integrated photovoltaics“ (April 2023). Verfügbar unter: [Agrivoltaics - Fraunhofer ISE](#).

20 13D Research & Strategy, „Agrivoltaic Disruption“ (Oktober 2021).

21 Barron-Gafford et al., „Agrivoltaics provide mutual benefits across food-energy-water nexus in drylands“, Nature Sustainability, Bd. 2 (Juli 2019), S. 848.



### 3.5 Synergieeffekte bei Photovoltaikanlagen

Eine kürzlich in Applied Energy veröffentlichte Mikroklimastudie hat zudem gezeigt, dass die Anbringung von Solarmodulen in vier Metern Höhe über einer Sojabohnenfarm zu einer Verringerung der Oberflächentemperatur der Solarpaneele um bis zu 10 °C im Vergleich zu einem Standard-PV-Modul führte, das einen halben Meter über dem Boden angebracht wird. Dies trug zu einer höheren Energieumwandlungseffizienz, einer geringeren Wärmebelastung und einer längeren Lebensdauer der Solarmodule bei. Die Studie führt diese Effekte auf eine bessere passive Kühlung durch größere Paneelhöhen, eine stärker reflektierende Bodenbedeckung und eine höhere Verdunstung der Pflanzen zurück.<sup>22</sup> Die Skalierbarkeit der Studie zeigt, dass Agrivoltaik das Potenzial bietet, mehr Nahrungsmittel und Energie zu erzeugen, während gleichzeitig der Wasserverbrauch gesenkt und der Wettbewerb um Landflächen verringert wird.

### 3.6 Synergieeffekte für die Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Betriebe, die Erneuerbare Energien für ihre operativen Aktivitäten bei Beleuchtung, Heizung und Kühlung oder im Rahmen von PV-Gewächshäusern nutzen, können zusätzliche Einnahmen erzielen, indem sie überschüssigen Strom verkaufen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass die Elektrifizierung von landwirtschaftlichen Einrichtungen, wie z. B. solarbetriebene Bewässerungssysteme, den Wiederverkaufswert von Land erhöht.<sup>23</sup>

Insgesamt eröffnet Agrivoltaik aufgrund ihrer operativen Effizienz sowie ihrer nachgewiesenen technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit somit ein interessantes Synergiepotenzial für landwirtschaftliche Betriebe.

## 4. Herausforderungen

Zu den wichtigsten Herausforderungen für eine flächendeckende Einführung von Agrivoltaik-Systemen zählen die Notwendigkeit einer internationalen Standardisierung, die Beseitigung regulatorischer Hürden, wirksame Fördersysteme, ein noch umfassenderes Monitoring und eine stärkere Einbeziehung der Landwirte sowie eine weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit.<sup>24</sup>

### 4.1 Regulatorische Hürden

Das wohl größte Hindernis für die volle Ausschöpfung des Potenzials von Agrivoltaik-Systemen ist der derzeitige regulatorische Rahmen. In Deutschland ist eine Doppelnutzung von Photovoltaik und Landwirtschaft auf demselben Grund und Boden bislang im Flächennutzungsplan nicht inkludiert. Dies hat zu erheblichen Auseinandersetzungen geführt, da die Gemeinden in ihren Planungen festlegen müssen, welche Flächen für die Entwicklung von Photovoltaik und welche für die Landwirtschaft genutzt werden sollen. Eine Doppelnutzung ist bisher nicht vorgesehen, was eine engere Zusammenarbeit mit den Gemeinden und eine detailliertere Planung in der Auftaktphase jeglicher Projektentwicklungen erfordert.

Ein weiteres regulatorisches Hindernis besteht darin, dass das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) einen Eigenverbrauch der von Agrivoltaik-Anlagen erzeugten Energie durch die landwirtschaftlichen Betriebe nicht zulässt, sondern diese sie an einen Dritten liefern oder vollständig in das Stromnetz einspeisen müssen. Jedoch würde es die Wirtschaftlichkeit der Anlagen erheblich steigern, wenn Agrivoltaik-Systeme zur Deckung des Eigenstrombedarfs eingebunden werden dürften. Dies gilt insbesondere für kleinere Anlagen, die am stärksten von den Einsparungen bei den Netzentgelten profitieren könnten, da ein großer Teil des erzeugten Stroms für den Eigenbedarf genutzt würde. Vor diesem Hintergrund sollte der Eigenverbrauch zugelassen werden. Zudem sind EU-weite oder globale Agrivoltaik-Standards erforderlich, um eine breite Einführung der Technologie im Landwirtschaftssektor zu erreichen. Ganz besonders gilt dies für Genehmigungsfragen, wenn neue Flächenkategorien erforderlich sind und eine verbesserte Rechtssicherheit geschaffen werden soll.

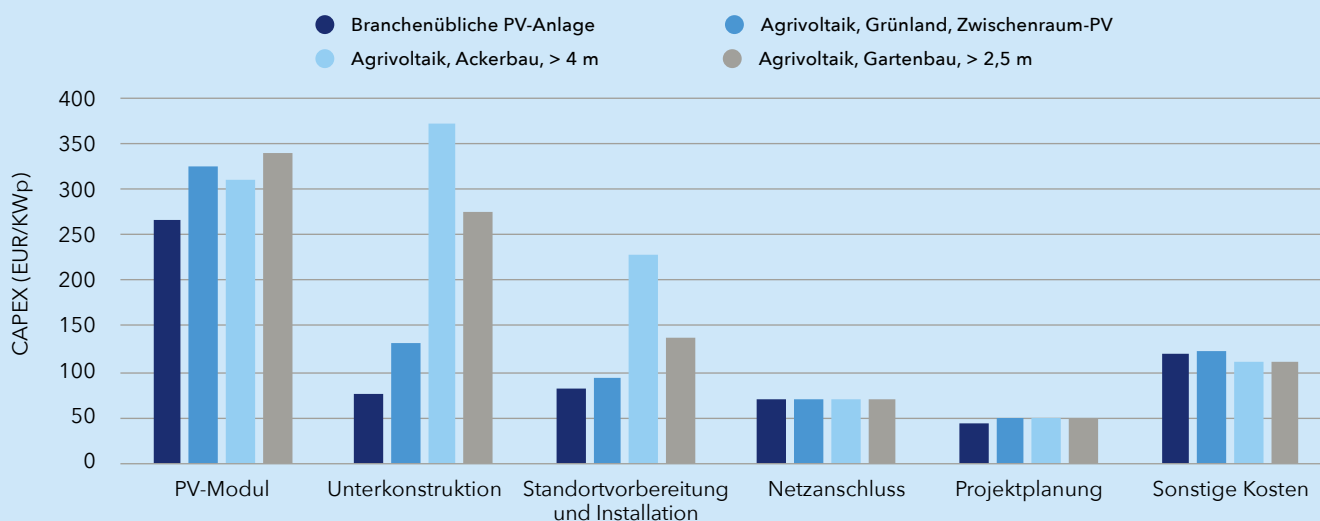
### 4.2 Fördersysteme

In Deutschland bieten die derzeitigen Fördersysteme, wie das EEG, keine angemessene Vergütung. Die Bundesrepublik fördert Agrivoltaik als sogenannte „spezielle Solarstromanlagen“ in ihrer Innovationsausschreibungsverordnung von Juni 2021 für Projekte bis 150 MWp. Einschränkend an dieser Subvention ist, dass sie die Ausschreibung auf Systeme beschränkt, bei denen Photovoltaikanlagen mit einem Batteriespeicher oder einem zusätzlichen erneuerbaren Energiesystem kombiniert werden, was eine weitere Hürde für Agrivoltaik-Anlagen bedeutet. Darüber hinaus sind Zwischenraum-Agrivoltaik-Anlagen, die den Anbau von Pflanzen zwischen den PV-Modulreihen ermöglichen, aufgrund ihrer weniger komplexen Unterkonstruktion weitaus wettbewerbsfähiger als Overhead-Systeme, die den Anbau von Pflanzen zwischen den PV-Modulreihen ermöglichen. Die Wahrscheinlichkeit einer Förderung für Overhead-Systeme reduziert sich entsprechend. Dies ist nachteilig, da Overhead-Systeme in puncto effizienter Flächennutzung und Schutz vor dem Klimawandel förderlicher sind.

<sup>22</sup> Williams et al., „The potential for agrivoltaics to enhance solar farm cooling“, Applied Energy, Bd. 332 (Februar 2023). Verfügbar unter: *The potential for agrivoltaics to enhance solar farm cooling - ScienceDirect*.

<sup>23</sup> R.R. David, „Agrivoltaic systems, a promising experience“, Energy Industry Review (April 2021). Verfügbar unter: <https://energyindustryreview.com/analysis/agrivoltaic-systems-a-promising-experience/>.

<sup>24</sup> Alle in diesem Kapitel enthaltenen Informationen basieren auf Daten für deutsche agrivoltaische Systeme, die vom Fraunhofer ISE analysiert wurden, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 32-35, 60-63.

**ABBILDUNG 1: GESCHÄTZTE INVESTITIONSAUSGABEN (CAPEX) FÜR BRANCHENTYPISCHE IN BODENNÄHE MONTIERTE PV- UND AGRIVOLTAIKSYSTEME**


Quelle: Schätzwerte von Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 33.

### 4.3 Herausforderungen in der Entwicklungsphase

Herausforderungen existieren es auch in den Entwicklungs-, Bau- und Betriebsphasen eines Agrivoltaik-Systems. In der Entwicklungsphase besteht noch Unklarheit über die erforderliche Anzahl der Pachtverträge, die dazu dienen, die unterschiedlichen Interessen von landwirtschaftlichen Betrieben einerseits und PV-Betreibern andererseits zu koordinieren und miteinander in Einklang zu bringen. Darüber hinaus ist während der Entwicklungsphase unklar, wer der Hauptpächter sein wird und ob es auf einer Fläche möglicherweise Doppelpächter geben kann. Erhebliche Unsicherheiten bestehen auch mit Blick auf landwirtschaftliche Lizenzen, die der Agrivoltaik-Betreiber für den Betrieb der Anlagen erwerben müsste, sowie in Bezug auf die zu erfüllenden Anforderungen, mittels derer sich Agrivoltaik-Anlagen für EU- und nationale Agrarförderungen qualifizieren. In Abhängigkeit von der örtlichen Gemeinde gibt es zudem Hürden bei der Erteilung von Genehmigungen.

### 4.4 Herausforderungen in der Bauphase

In der Bauphase sind je nach verwendeter Technologie (bifaziale Module, Tracker usw.) höhere Investitionskosten zu berücksichtigen. Je höher die Anlagen sind, desto höher muss auch das PV-Montagesystem sein, was das Investitionsvolumen steigert (siehe Abbildung 1). Darüber hinaus ist eine Abstimmung mit dem landwirtschaftlichen Betrieb erforderlich, da sich der Bau der PV-Anlage nicht mit landwirtschaftlichen Tätigkeiten wie der Bestellung von Böden sowie der Ernte überschneiden sollte.

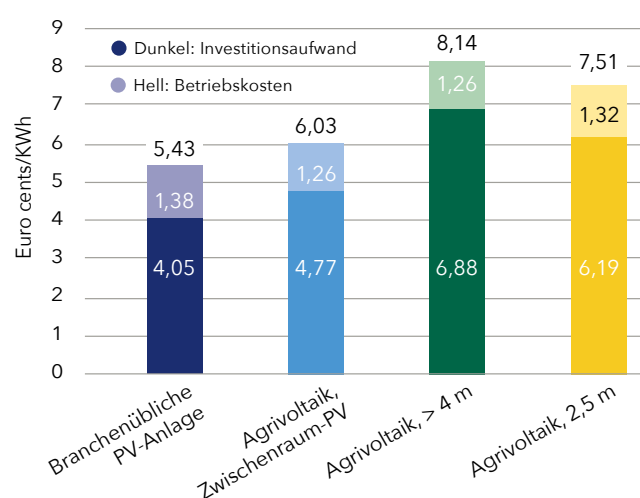
### 4.5. Herausforderungen in der Betriebsphase

In der Betriebsphase sind die Kosten von Agrivoltaik-Systemen variabler. Im Gegensatz zu den Investitionsaufwendungen besteht bei den Betriebskosten jedoch ein Einsparpotenzial verglichen mit klassischen, in Bodennähe installierten PV-Anlagen (siehe Abbildung 2). Gründe hierfür sind die mögliche Aufteilung der Pacht-

kosten zwischen dem landwirtschaftlichen Betrieb und dem Agrivoltaik-Anlagenbetreiber sowie der Wegfall von Kosten für die laufende Grünlandpflege durch den PV-Betreiber, da der Grund und Boden kontinuierlich für landwirtschaftliche Zwecke genutzt wird. Die Kosten für Reinigung und Reparatur der PV-Module dürften dagegen höher ausfallen, da die Arbeiten in größerer Höhe durchgeführt werden müssen und dafür beispielsweise Hebebühnen erforderlich sind.<sup>25</sup>

**ABBILDUNG 2: VERGLEICH GESCHÄTZTER STROMGESTEHUNGSKOSTEN**

nach Investitionsaufwand (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) von branchentypischen PV- und Agrivoltaik-Systemen



Quelle: Schätzwerte von Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 34.

25 Schindele et al., „Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications“, Applied Energy, Bd. 265 (Mai 2020). Verfügbar unter: *Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications - ScienceDirect*

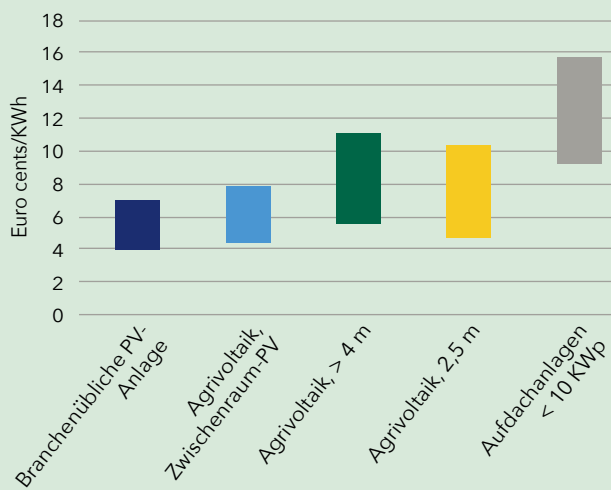


#### 4.6 Herausforderungen – Zusammenfassung

Zusammenfassend sind die Kapitalkosten pro erzeugtem Watt bei Agrivoltaik-Anlagen höher als bei reinen Solarparks, was an den Kosten für das zur Aufständigung der Module benötigte Gestell und den größeren Abständen zwischen den Modulreihen liegt. Allerdings sind die durchschnittlichen Gesamtkosten für Agrivoltaik-Anlagen niedriger als die für PV-Dachanlagen und können dank einer doppelten Einnahmequelle innerhalb von fünf bis zwölf Jahren amortisiert werden. Darüber hinaus ist hervorzuheben, dass die Stromerzeugungskosten bei einer Nutzung auf Dauergrünland nachweislich nur geringfügig höher sind als die einer in Bodennähe montierten Freiflächen-Photovoltaikanlage (siehe Abbildung 3).

#### ABBILDUNG 3: GESCHÄTZTE STROMGESTEHUNGSKOSTEN (LEVELISED COSTS OF ELECTRICITY, LCOE)

für branchentypische PV- und Agrivoltaik-Systeme



Quelle: Schätzwerte von Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 35.

## 5. Ausblick

### 5.1 Wachstum der Photovoltaik-Kapazität

Agrivoltaik wird von dem erwarteten exponentiellen Wachstum der globalen und europäischen PV-Erzeugung in den kommenden Jahrzehnten erheblich profitieren. In 2021 ist die mit dieser Technologie erzeugte Stromproduktion um 22 % gestiegen und hat weltweit die Marke von 1.000 TWh überschritten. Zudem entwickelt sich die Technologie global betrachtet zur kostengünstigsten Option für die Erzeugung neuer Energie. Vor diesem Hintergrund, und um das Ziel von Netto-Null-Emissionen bis 2050 einzuhalten, wird erwartet, dass Photovoltaik im Zeitraum von 2022 bis 2030 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 25 % auf eine globale Produktionsmenge von ca. 7.400 TWh erreicht. Dies würde mehr als eine Verdreifachung des jährlichen Kapazitätsausbaus bis 2030 bedeuten. Nur auf Europa bezogen wird ein deutlicher Anstieg der Erzeugungskapazität von 198 TWh in 2021 auf 688 TWh in 2030 und auf 1.184 TWh in 2050 prognostiziert.<sup>26</sup>

<sup>26</sup> IEA, „World Energy Outlook: executive summary“ (Oktober 2022); IEA, „Solar PV“ (September 2022). Verfügbar unter: *Solar PV - Analysis - IEA*

<sup>27</sup> EU Kommission, „Renewable energy targets“ (April 2023). Verfügbar unter: *Renewable energy targets (europa.eu)*.

<sup>28</sup> IEA, „World Energy Outlook: executive summary“ (Oktober 2022).

<sup>29</sup> Fraunhofer, „Agrivoltaics“ (April 2022), S. 35.

### 5.2 Europäische Klimapolitik

Der von der Europäischen Kommission aufgelegte REPowerEU-Plan zielt darauf ab, die Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % zu reduzieren und bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Ein weiteres Ziel besteht darin, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen aus Russland kurzfristig zu reduzieren. Hierzu soll der Anteil Erneuerbarer Energien am Gesamtenergiemix der Staatengemeinschaft bis 2030 mindestens 45 % betragen. Die drei Säulen des Plans – Steigerung der Energieeffizienz, Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung und Diversifizierung der EU-Energieversorgung – werden entscheidend dazu beitragen, Investitionen in Photovoltaik zu erhöhen und breitere Fördermechanismen voranzutreiben, um das Kapazitätswachstum zu beschleunigen.<sup>27</sup>

### 5.3 Geringere Kapitalkosten

Es wird erwartet, dass die Kapitalkosten für Photovoltaik in der EU erheblich sinken, nämlich von 810 US-Dollar/KW in 2021 auf 530 US-Dollar/KW in 2030 beziehungsweise auf 410 US-Dollar/KW in 2050. Dieser Rückgang basiert auf Skaleneffekten, technologischen Fortschritten, breiterem technischem Fachwissen, verbesserten rechtlichen Rahmenbedingungen und einer Erhöhung der gezielten öffentlichen Finanzierung zu attraktiven Bedingungen.<sup>28</sup> Darüber hinaus bieten potenziell sinkende Investitionsausgaben dank geringerer Höchstgrenzen und niedrigerer Betriebskosten aufgrund des Eigenverbrauchs von Strom die wichtigsten finanziellen Vorteile für die Betreiber von PV-Gewächshäusern. Verglichen mit auf Dächern montierten PV-Anlagen sind zudem die Gesamtkosten für Agrivoltaik-Systeme günstiger.<sup>29</sup>

### 5.4 Lösung der konkurrierenden Flächennutzung

Der wohl größte Vorteil der Agrivoltaik liegt darin, eine Lösung für die bestehenden Konkurrenzen und Konflikte um die Nutzung von Land zu bieten. Agrivoltaik ermöglicht eine multifunktionale Landnutzung auf Weideflächen, was nicht nur dem Photovoltaik-Anlagenbetreiber nützt, sondern auch dem landwirtschaftlichen Betrieb, der durch die Beschattung in trockenen und heißen Sommermonaten die Haltungsbedingungen für die Tiere verbessert und damit ihr Wohlbefinden fördert. Overhead- oder Zwischenraum-PVs sichern die weitere landwirtschaftliche Nutzung von fruchtbarem Ackerland.

### 5.5 Synergiepotenzial von Agrivoltaik

Agrivoltaik-Systeme besitzen daher ein erhebliches Potenzial für nachhaltige Energieerzeugung und Ernährungssicherheit. Durch die Kombination von Solarenergiegewinnung und landwirtschaftlicher Produktion bieten diese Systeme zahlreiche Vorteile, darunter eine effizientere Landnutzung, höhere Ernteerträge, weniger Wasserverbrauch, geringere Bodenerosion, stärkere Beschattung, geringere Verdunstung, höhere Effizienz der Solarmodule, Einkommensdiversifizierung für den landwirtschaftlichen Betrieb sowie eine saubere und erneuerbare Energiequelle.

Angesichts von Weiterentwicklungen bei der Technologie und in der Forschung ist es wahrscheinlich, dass agrivoltaische Systeme effizienter, skalierbarer und zugänglicher werden. Dies ermöglicht es ihnen, das Problem begrenzter Flächen in der Landwirtschaft zu lösen, während sie gleichzeitig die ehrgeizigen globalen, europäischen und nationalen Ziele beim Ausbau Erneuerbarer Energien unterstützen.

## Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:

### Aquila Capital

Valentinskamp 70, 20355 Hamburg, Deutschland

Tel.: + 49 (0) 40 87 50 50 -100

E-Mail: [info@aquila-capital.com](mailto:info@aquila-capital.com)

Web: [www.aquila-capital.de](http://www.aquila-capital.de)

Hamburg · Athen · Frankfurt · Invercargill · Lissabon · London · Luxemburg  
Madrid · Mailand · Oslo · Prag · Schiphol · Singapur · Taipei · Tokio · Zürich

Dieses Dokument wurde ausschließlich zu Informationszwecken erstellt. Es stellt weder eine Anlagevermittlung noch eine Anlageberatung dar. Es handelt sich nicht um ein Angebot oder eine Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes oder einer Absichtserklärung. Die Inhalte des Dokuments stellen auch keine sonstige Handlungsempfehlung dar. Dieses Dokument und die darin enthaltenen Informationen können unvollständig sein und Änderungen unterliegen und sind daher als unverbindlich anzusehen. Die Aussagen entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Erstellung des Dokuments und können sich im Hinblick auf die Zielsetzungen oder aus anderen Gründen ändern, insbesondere aufgrund der Marktentwicklung, Änderungen im rechtlichen, politischen und wirtschaftlichen Umfeld. Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen und Meinungen stammen aus Quellen, die von uns als zuverlässig und richtig beurteilt wurden. Dennoch gewährleisten wir nicht die Richtigkeit und Aktualität der Informationen und lehnen jede Haftung für Schäden ab, die durch die Nutzung der Informationen entstehen könnten. **Historische Daten sind keine Garantie für zukünftige Erträge. Vorhersagen über künftige Entwicklungen stellen lediglich Prognosen dar. Aussagen über eine zukünftige wirtschaftliche Entwicklung beruhen auf Beobachtungen aus der Vergangenheit und theoretisch fundierten objektiven Verfahren, sind mithin Prognosen und als solche zu verstehen. Sie sind verschiedenen Einflussfaktoren, einschließlich der oben genannten, unterworfen. Es werden keine Zusicherungen oder Gewährleistungen dafür abgegeben, dass eine indikative Performance bzw. Rendite in Zukunft erreicht wird.**

Aquila Clean Energy ist die Plattform für Erneuerbare Energien der Aquila Group („Aquila Group“ meint die Aquila Capital Holding GmbH und mit dieser verbundene Unternehmen i.S.d. §§15 ff.AktG)

Eine Veröffentlichung der Aquila Capital Investmentgesellschaft mbH. Stand: Mai 2023.

Folgen Sie uns auf  

[aquila-capital.de](http://aquila-capital.de)