

Wirtschaftlichkeitsanalyse von Agri-PV-Konzepten gemäß EEG- und BNetzA-Anforderungen

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B.Sc.)“ im
Studiengang Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Leibniz Universität Hannover

Vorgelegt von

Name: Schädler

Vorname: David



Prüfer: Michael H. Breitner

Hannover, 28.10.2024

Ort, Datum

Inhalt

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Theoretische Grundlagen | 2 |
| 2.1. Grundlagen der Photovoltaik | 2 |
| 2.2. Agri-PV Definition und Funktionsweise | 3 |
| 2.3. Definition wirtschaftlicher Kennzahlen und Formeln | 3 |
| 2.3.1. Net Present Value (NPV) | 4 |
| 2.3.2. Payback Period (Amortisationszeit) | 4 |
| 2.3.3. Internal Rate of Return (IRR) | 4 |
| 2.3.4. Levelized Cost of Electricity (LCOE) | 5 |
| 2.3.5. Photovoltaikstromertrag-Formel | 5 |
| 2.3.6. Stromertragvergütung-Formel | 6 |
| 2.3.7. Zahlungsstrom-Formel | 6 |
| 2.3.8. Fixkosten-Formel | 6 |
| 2.3.9. Anschaffungskosten-Formel | 6 |
| 2.3.10. Netzanschlusskosten-Formel | 7 |
| 2.3.11. Anfangsinvestition-Formel | 7 |
| 2.3.12. Vergütungssatz-Formel | 7 |
| 2.4. Entwicklung der PV-Industrie | 8 |
| 2.5.1. Sonnentracker und bifaziale Module | 8 |
| 3. Rechtliche Rahmenbedingungen für PVA | 9 |
| 3.1. Überblick über das EEG | 9 |
| 3.2. Rolle der Bundesnetzagentur (BNetzA) nach § 85 EEG | 10 |
| 3.3. Netzanschluss- und Einspeisemanagement | 10 |
| 3.4. Genehmigungsprozesse und Bauvorschriften für FFPVA | 10 |
| 3.5. Ausschreibungsverfahren für PVA und besondere PVA | 11 |
| 3.5.1. Teilnahmebedingungen | 11 |
| 3.5.2. Auswirkung des Ausschreibungsgebots auf die Wirtschaftlichkeit | 12 |
| 4. Technologische und ökonomische Besonderheiten von Agri-PV | 13 |
| 4.1. Technische Merkmale von Agri-PVA nach der DIN SPEC | 13 |
| 4.2. Doppelnutzung landwirtschaftlicher Flächen und ihre Vorteile | 14 |
| 4.2.1. Synergieeffekte zwischen Landwirtschaft und Energieerzeugung | 14 |

| | |
|--|----|
| 4.3. Einfluss der Reihenabstände der Module auf die verbaute Leistung, landwirtschaftliche Nutzung und Klassifizierung von Agri-PV | 14 |
| 4.3.1. Optimierung der Reihenabstände | 15 |
| 4.4. Das Agri-PV Konzept von Elysium Solar | 15 |
| 5. Wirtschaftlichkeitsanalyse von Agri-PVA..... | 16 |
| 5.1. Die Kostenstruktur und der Investitionsbedarf von Agri-PV | 16 |
| 5.2. Ertragsprognosen und Einflussfaktoren..... | 17 |
| 5.3. Analyse der EEG-Vergütungssätze und alternative Vergütungsmodelle..... | 18 |
| 5.3.1. EEG-Vergütungssätze für Agri-PVA (>1MWp)..... | 18 |
| 5.3.2. Degression der Vergütungssätze von Agri-PV | 18 |
| 5.3.2. Direktvermarktung..... | 18 |
| 5.3.3. Power Purchase Agreement (PPA) | 19 |
| 6. Fallstudie: Wirtschaftlichkeitsbewertung und Sensitivitätsanalyse einer beispielhaften Agri-PVA in verschiedenen Szenarien | 20 |
| 6.1. Projektbeschreibung der Fallstudie | 20 |
| 6.2. Die betrachteten Szenarien der Fallstudie | 21 |
| 6.2.1 Base-Case Szenario | 21 |
| 6.2.2. Best-Case Szenario | 21 |
| 6.2.3. Worst-Case Szenario | 21 |
| 6.3. Annahmen der Fallstudie und Erläuterung..... | 22 |
| 6.3.1. Kostenannahmen | 22 |
| 6.3.2. Szenario-Annahmen..... | 24 |
| 6.3. Erhebung wirtschaftlicher Kennzahlen der Fallstudie und Interpretation | 25 |
| 6.4. Einfluss der Reihenabstände auf die Rentabilität der Fallstudie | 26 |
| 6.5. Vergleich der Szenario-Cases und Sensitivitätsanalyse der wirtschaftlichen Einflussfaktoren | 27 |
| 7. Ergebnisse und Handlungsempfehlungen | 27 |
| 7.1. Zusammenfassung der Analyseergebnisse | 27 |
| 7.2. Perspektiven für den weiteren Ausbau der Agri-PV | 28 |
| 8. Fazit und Ausblick | 29 |
| 8.1. Beantwortung der Forschungsfragen | 29 |
| 8.2. Limitationen der Arbeit | 30 |
| 8.3. Vorschläge für zukünftige Forschungsansätze | 31 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 9. Literatur Verzeichnis | 31 |
| 10. Formelverzeichnis | 33 |
| 11. Tabellenverzeichnis | 34 |
| 12. Abkürzungsverzeichnis | 34 |
| 13. Abbildungsverzeichnis | 34 |
| 14. Anhang | 35 |

1. Einleitung

Die Photovoltaik (PV) ist eine etablierte Form der Stromerzeugung und wichtiger Bestandteil im Plan der deutschen Bundesregierung die Energiewende voranzutreiben. Die zentralen Steuerinstrumente für die zielgerichtete Förderung von Photovoltaikanlagen (PVA) in Deutschland sind das Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG) und die Anforderungen an besondere Solaranlagen der Bundesnetzagentur (BNetzA). Geplant ist es bis 2030 die installierte PV-Kapazität erheblich zu erhöhen. Mitte 2023 waren in Deutschland etwa 70 Gigawatt PV-Leistung installiert, bis 2030 sollen es 215 GW werden (Die Bundesregierung, 2023). Dieser Ausbau soll durch das EEG für Investoren wirtschaftlich attraktiv und langfristig sicher gestaltet werden. Dafür gibt es seit 2000 einen im EEG festgelegten Mindestvergütungssatz für geeignete PVA. Dieser wurde im Zuge der Marktentwicklung bis heute mehrfach angepasst und ein Ausschreibungsmodell implementiert, wodurch Senkungen der Vergütungssätze realisiert worden und auch weiter geplant sind (Verbraucherzentrale, 2023). Das Problem der Flächenknappheit, die Versiegelung fruchtbarer Böden und der steigende Nahrungsmittelbedarf wirken hohen Druck auf Flächenverfügbarkeit aus. Landwirte und PV-Projektierer stehen im Konkurrenzkampf um Flächen (Diermann, 2023). Der massive Ausbau der PV in der Freifläche bringt dementsprechend verschiedene Herausforderungen mit sich, bei denen Agri-PV helfen kann. Agri-PV ist eine innovative Form von PV, welche landwirtschaftliche Flächen doppelt nutzt. Dabei wird ein Bruchteil der Fläche mit PVA ausgestattet und Raum für landwirtschaftliche Bewirtschaftung zwischen oder unter den Modulen erhalten (ZALF e. V., 2022). Die Agri-PV bietet viele Vorteile, da sie zum Beispiel auch auf Flächen mit ackerbaulich ertragreichen Böden eingesetzt werden kann. So kommen mehr Flächen in Frage auf denen eine PVA-Installation möglich wäre und gleichzeitig Fläche für die Produktion von Nahrungsmitteln erhalten bleibt (ZALF e. V., 2022). Dadurch kommt es zu Synergieeffekten zwischen Landwirtschaft und nachhaltiger Energiegewinnung. Markteffekte, wie steigende Pachtpreise, ausgelöst durch die Konkurrenz um Flächen, könnten entspannt werden. Landwirtschaftliche Betriebe diversifizieren ihre Erträge und können ihre Resilienz steigern, was gerade im Blick auf den Klimawandel und Extremwetter Szenarien vielversprechend ist. Installierte Agri-PVA können auch als ein Schutz vor Extremwetterbedingungen funktionieren zum Beispiel vor Hagel, Winderrosion oder Sonne (Fraunhofer ISE, 2022). Bisher konnte sich die Agri-PV im Vergleich zu anderen Formen der PV, wie die Freiflächenphotovoltaik (FFPV), auf dem Markt noch nicht durchsetzen. Grund dafür sind fehlende, für alle Stakeholder kommerziell attraktive Konzepte und im Vergleich zur FFPV schlechtere Skaleneffekte und somit höhere Investitionskosten relativ zur installierten Leistung (Schindele, 2023). Unternehmen wie Elysium-Solar entwickeln nun innovative Lösungen, die Agri-PV den Markteintritt erleichtern sollen. Der Bau von bifazialen PV-Modulen, montiert auf einem einachsigen Sonnentracker, soll die Erträge von Agri-PV verbessern und die hohen

Investitionskosten der Agri-PV ausgleichen (Elysium Solar GmbH, 2023). Ziel dieser Arbeit ist es die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Konzepte der Agri-PVA (passend zu den Anforderungen des EEG und der BNetzA) zu bewerten und die einflussreichsten Faktoren auf die Wirtschaftlichkeit zu identifizieren. Dafür werden zuerst die theoretischen Grundlagen erläutert sowie die Definition und Funktionsweise von Agri-PVA gemäß EEG und BNetzA dargelegt. Außerdem werden die technologischen Grundlagen und Besonderheiten von Agri-PV am Beispiel in Deutschland bereits umgesetzter bzw. geplanter Konzepte dargestellt. Die rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für Agri-PV werden anhand einer Analyse der EEG-Vergütungssätze und Regelungen erläutert. Zusätzlich werden auch die Vorgaben der BNetzA, sowie Genehmigungsprozesse und rechtliche Anforderungen für Agri-PVA betrachtet. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird eine detaillierte Untersuchung der Kostenstruktur und des Investitionsbedarfs einer Agri-PVA vorgenommen, um in einem Cash-Flow-Modell die Rentabilität und weitere Kennzahlen dieser Investitionsprojekte bewerten zu können. Dafür ist auch eine Ertragsprognose notwendig, wofür folgende Vergütungsmodelle erläutert und anhand dieser Einnahmenberechnungen aufgestellt werden. Vergütungspreise des EEG, dem Direktverkauf an der Strombörse und Power Purchase Agreements (PPA), landwirtschaftliche Erträge werden nicht berücksichtigt. Um konkrete Ergebnisse zu erstellen und Aussagen bezüglich der Wirtschaftlichkeit einer Agri-PVA zu treffen, werden der Net Present Value (NPV) und die Amortisationszeit der PVA zu verschiedenen Vergütungssätzen erhoben. Zusätzlich werden die kritischen wirtschaftlichen Einflussfaktoren, wie z.B. Vergütungspreise, Netzanschlusspunkt etc., anhand einer Sensitivitätsanalyse verglichen. Anschließend wird eine Fallstudie für eine beispielhafte Agri-PVA erstellt, auf welche zuvor ermittelte wirtschaftliche Kennzahlen angewandt werden. Diese wird besonders in Bezug auf verschiedene Reihenabstände zwischen den PV-Modulen und deren Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit verglichen. Abschließend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Analysen zusammengefasst und daraus Handlungsempfehlungen für die Planung und Umsetzung von Agri-PVA abgeleitet.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Grundlagen der Photovoltaik

Die Photovoltaik ist eine Technologie, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandelt, diesen Vorgang nennt man auch photovoltaischen Effekt. Dabei werden Halbleitermaterialien, welche in PV-Modulen verbaut sind, durch die Einstrahlung von Sonnenenergie angeregt Elektronen freizusetzen und so Strom zu erzeugen. Diese Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom ist fast gänzlich emissionsfrei und nachhaltig (Fraunhofer ISE, 2022)

Es gibt verschiedene Photovoltaikkonzepte die sich in Ort und Art der Installation unterscheiden:

Trotzdem besitzt Agri-PV noch keine Hohe Marktdurchdringung, da Freiflächen-PV-Konzepte für Investoren zurzeit noch attraktiver und unkomplizierter sind. Es liegt an der Bundesregierung, gezielt zu fördern, um Agri-PV wirtschaftlich attraktiv zu gestalten, Markteintrittsbarrieren abzubauen und Genehmigungen zu vereinfachen.

Außerdem bietet Agri-PV das Potenzial für mehr Akzeptanz der Bevölkerung, bezüglich der Expansion erneuerbarer Energien. Denn eine Agri-PVA ist mehr als ein Solarpark, nämlich ein Konzept welches für die Bereitstellung der wichtigsten Ressourcen der Menschheit sorgt und sich nicht gegenseitig verdrängt sondern fusioniert.

8. Fazit und Ausblick

In diesem letzten Kapitel werden die Forschungsfragen beantwortet und somit die zentralen Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Abschließend wird auf die Limitationen der Arbeit eingegangen und Vorschläge für Forschungsansätze unterbreitet, welche auf den Erkenntnissen dieser Arbeit aufgebaut werden können.

8.1. Beantwortung der Forschungsfragen

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wirtschaftlichkeit von Agri-PVA zu bewerten und die einflussreichsten wirtschaftlichen Faktoren zu identifizieren. Sowie eine Analyse der Anforderungen der BNetzA und der EEG für Agri-PV durchzuführen. Zudem sollten Vergütungsmöglichkeiten analysiert und bewertet werden.

Agri-PV kann heute schon rentabel geplant und umgesetzt werden, birgt aber Risiken und Anforderungen während der Planung und des Betriebs der Anlage, welche gegenüber der BNetzA erfüllt und nachgewiesen werden müssen. Die Investitionskosten von Agri-PV sind hoch, weswegen eine sichere, stabile und erhöhte Vergütung, innerhalb einer Innovationsausschreibung des EEG für besondere Solaranlagen nötig ist. Bei sehr großen Anlagen, wie denen von Elysium Solar, sind Skaleneffekte zu erzielen, die eine Vergütung ohne EEG möglich machen können. Dafür werden langfristige Energie-Verträge in Form von PPA's geschlossen und der Strom zu höheren Vergütungen verkauft als die der EEG.

Die EEG-Vergütungssätze bieten eine geringe, jedoch stabile Vergütungsmöglichkeit für eingespeisten PV-Strom. Für durch das EEG geförderte Anlagen, welche eine installierte Leistung größer als 750Wp verzeichnen, ist die Direktvermarktung Pflicht. Die durch die EEG versprochene Marktprämie schützt Anlagen vor der Volatilität der Strommärkte, ist aber auch ein Ansatz erneuerbare Energien früh in den Markt einzubinden. Andere Vergütungsformen wie PPA's können eine attraktive Alternative zur EEG-Förderung sein und Planungssicherheit, durch stabile Zahlungsströme vom Vertragspartner garantieren. Jedoch sind auch diese von Marktentwicklungen und Vertragskonditionen abhängig und mit einem höheren Risiko verbunden.

Agri-PV muss verschiedenste Anforderungen erfüllen, um durch das EEG besonders gefördert zu werden und ist planungstechnisch, sowie investitionstechnisch aufwendiger als

herkömmliche Freiflächen-PVA. Damit an den Ausschreibungen der BNetzA erfolgreich teilgenommen und ein rentables Agri-PV-Projekt umgesetzt werden kann, ist eine kosteneffiziente Planung notwendig. Denn nur ein wettbewerbsfähiges Projekt kann sich eine Vergütung sichern und eine Agri-PVA rentabel betreiben. Die Ausschreibungsverfahren fungieren als marktähnlicher Wettbewerb für das Förderprogramm. Mithilfe begrenzter Ausschreibungsvolumina und Höchstwerte für Gebote lässt sich die PV-Expansion gezielt steuern.

Alle PVA müssen langfristige Genehmigungsverfahren durchlaufen, damit sie umgesetzt werden können. Diese umfassen eine Baugenehmigung, eine Umweltverträglichkeitsprüfung, Netzanschlussgenehmigung für die jeweils bestimmte Anforderungen erfüllt werden müssen. Für Agri-PVA sind zwei weitere Anforderungen von Bedeutung. Die Anlage muss der Agri-PV DIN SPEC entsprechen und es muss jährlich ein Nachweis der landwirtschaftlichen Nutzung erbracht werden. Werden diese Anforderungen nicht erfüllt kann die Anlage nicht als Agri-PV im Sinne der EEG klassifiziert werden und ist als solche nicht förderfähig.

Die einflussreichsten Faktoren, welche auf die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV wirken sind die Kosten des Netzanschlusses, der Wirkungsgrad der PV-Module, die Höhe des Vergütungssatzes und die jährliche Sonnenbestrahlung am jeweiligen Standort. Netzanschlusskosten können je nach Größe der Anlage, schnell auf einen erheblichen Anteil der Anfangsinvestitionskosten wachsen und sind durch eine sorgfältige Standortauswahl zu umgehen. Die restlichen Faktoren bestimmen die Erträge aus der Stromvergütung und somit den jährlichen Cashflow. Diesen gilt es zu maximieren, um eine hohe Wirtschaftlichkeit der Anlage zu sichern.

8.2. Limitationen der Arbeit

Trotz der umfassenden Wirtschaftlichkeitsanalyse von Agri-PV weist die vorliegende Arbeit folgende Limitationen auf.

Die landwirtschaftliche Nutzung wird in der Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht betrachtet. Um die Rentabilität eines Agri-PV-Projekts gänzlich bewerten zu können müssten die Erträge aus der landwirtschaftlichen Nutzung berücksichtigt werden.

Die verwendeten Daten für die Ertragsprognosen und Kosteneinschätzungen basieren auf Durchschnittswerten Annahmen veralteter Fachliteratur und sind aufgrund der Datenverfügbarkeit nur teilweise angepasst. Zudem sind nicht alle in der Realität auftretenden Projektrisiken und Kosten berücksichtigt worden. Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, lokale Strompreise, Stromselbstbezug, Degradation der Module und landwirtschaftliche Gegebenheiten wurden nicht oder nur in allgemeiner Form berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Arbeit basieren auf dem aktuellen Stand der Technik. Da sich die PV-technologie schnell weiterentwickelt könnten die zukünftigen Werte für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse von Agri-PV bedeutend anders gewählt werden.

Eine genaue Planung von einer PVA-Fläche, bezüglich der Neigung und der Ausrichtung von Modulen, sowie topographische Bedingungen auf der Anlagen Fläche wurden nicht berücksichtigt.

Des Weiteren bestehen rechtliche Unsicherheiten, da die Anforderungen für Agri-PV noch nicht oder teilweise unterschiedlich in den Bundesländern geregelt sind. Eine Novellierung der EEG könnte zu neuen Bedingungen für die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV führen.

8.3. Vorschläge für zukünftige Forschungsansätze

Die Limitationen der Arbeit und Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ergeben verschiedene Ansätze für zukünftige Forschungsarbeiten.

Weitere Forschung könnte standortspezifische Faktoren analysieren, anhand klimatischer regionaler Daten und so eine präzisere Ertragsprognose für die Wirtschaftlichkeit von Agri-PV berechnen und einen Leitfaden für die Standortwahl formulieren.

Eine tiefergehende Analyse könnte auch die landwirtschaftlichen Erträge in die Wirtschaftlichkeitsbewertung einfließen lassen, um die doppelte Nutzung der Fläche gänzlich wirtschaftlich bewerten zu können und dabei auf das Ausmaß der Synergieeffekte zwischen Landwirtschaft und PV-Stromerzeugung eingehen.

9. Literatur Verzeichnis

