

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Sonnwin Photovoltaik

Ihre unabhängigen Sachverständigen für Photovoltaik

Entwässerungsgutachten

PVA LANGENAU

Bearbeitet:

Dr.-Ing. Stefan Bofinger
Holunderstraße 15
37284 Waldkappel-Rechtebach
+49 (0) 151 64957433
stefan.bofinger@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Rechtebach, 16.06.2023

Review:

Mathias Röper, M. Eng.
Achter de Schün 1
25436 Moorrege
+49 (0) 4122 509100
mathias.roeper@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Moorrege, 16.06.2023

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Version	16.06.2023	Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Executive Summary

Negative Auswirkungen einer Photovoltaik-Freiflächenanlage auf das Niederschlagsabflussverhalten treten im Allgemeinen sehr selten auf. Im vorliegenden Fall wird intensiv genutzte landwirtschaftliche Fläche wie Ackerland in Grünland konvertiert, wodurch sich die Infiltrationsrate (Versickerung von Regenwasservolumen pro Zeiteinheit) erhöht. Zudem weist Grünland eine höhere Oberflächenrauigkeit auf, wodurch die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenwassers reduziert wird. Durch die Ansaat geeigneter Grünlandmischungen (z. B. Klee gras mit geeigneten (heimischen), tiefwurzelnden Blühpflanzen), der Begrünung vor Baubeginn und einer Grünpflege während der Betriebszeit kann darüber hinaus effektiver Erosionsschutz betrieben werden. Das Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass sich die natürliche Entwässerungsfähigkeit des Anlagengeländes bei Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen durch die Realisierung der PVA voraussichtlich tendenziell verbessern und nicht verschlechtert wird. In kritischen Bereichen der Anlage, an denen erhöhte Abflussraten zu erwarten sind oder hohe Geländeneigungen auftreten, sollte durch geeignete Maßnahmen wie Tiefenlockerung und geeignete Einsaaten die Versickerungsfähigkeit des Geländes erhöht werden. Um Rinnenbildung zu vermeiden, ist darauf zu achten die Tropfkanten entlang der Höhenlinien anzuordnen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Methodik	3
2	Beschreibung der geplanten Anlage.....	4
3	Einschätzung des Niederschlagsabflussverhaltens	5
3.1	Topografie	5
3.2	Bodenversiegelung.....	6
3.3	Veränderung der Bodeneigenschaften	7
4	Diskussion.....	10
5	Zusammenfassung der Ergebnisse, Empfehlungen und Fazit.....	11
	Literaturverzeichnis	12

1 Einleitung

Die Firma M. Münch Elektrotechnik GmbH & Co. KG (Auftraggeber) hat Dr.-Ing. Stefan Bofinger, Sachverständiger für Photovoltaik, am 12.05.2023 beauftragt, die Auswirkungen der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) „Langenau“ auf die natürliche Entwässerungsfähigkeit (Versickerung von Niederschlagswasser im Boden) des Anlagenstandortes zu untersuchen und die diesbezüglich zu erwartenden Veränderungen zu beschreiben. Der vorliegende Bericht wurde zudem von Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft (Review).

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob durch die geplante PVA der Boden des Anlagengeländes so verändert wird, dass die natürliche Entwässerungsfähigkeit (Versickerung) des Niederschlagswassers relevant verschlechtert wird.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für den ausschließlichen Gebrauch des Auftraggebers und in seinem Auftrag erstellt. Die Berechnungen und Auswertungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Trotz aller Sorgfalt können Fehler, Irrtümer etc. nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Folgeschäden, die sich aus der Verwendung des Gutachtens ergeben, wird daher keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadensersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wird das Gutachten an Dritte weitergegeben, darf es nicht verändert oder bearbeitet werden. Machen sich Dritte den Inhalt dieses Gutachtens zunutze, ist eine Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Methodik

Im Rahmen des Gutachtens werden Faktoren betrachtet, die für die natürliche Entwässerungsfähigkeit des Geländebodens relevant sind und die durch die Errichtung der PVA voraussichtlich verändert werden. Auf diese Weise kann eine qualitative Abschätzung getroffen werden, ob und wie sich die Entwässerungsfähigkeit des Geländes durch die Errichtung der PVA potenziell verändern wird.

Das vorliegende Gutachten baut dabei auf den Ergebnissen von Studien auf und ist in diesem Sinne als Metastudie zu verstehen, die den vorliegenden Sachverhalt auf der Basis einer Vielzahl von Publikationen bewertet. Eigene Berechnungen (insbesondere umfangreiche hydrologische Modelle/Simulationen) oder Messungen vor Ort wurden im Rahmen dieses Gutachtens nicht durchgeführt.

Erosionsrelevante Aspekte werden im vorliegenden Gutachten nur oberflächlich betrachtet. Das Gutachten kann daher nicht zur Abschätzung möglicher Erosionen oder als Bodenschutzkonzept herangezogen werden, sondern konzentriert sich auf die qualitative Bewertung der Entwässerungsaspekte.

2 Beschreibung der geplanten Anlage

Die geplante PVA soll auf (aktuell) landwirtschaftlicher Nutzfläche als Freiflächenanlage realisiert werden. Das Anlagengelände befindet sich nahe Langenau. Insgesamt umfasst das Anlagengelände ca. 6 ha.

Das Anlagengelände weist besonders im zentralen Bereich eine starke Neigung Richtung Südwest auf. Abbildung 1 zeigt das Anlagenlayout (Modultische).

Tabelle 1: PVA-Parameter

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	ca. 9.237,7 MWp
Anlagenfläche	6 ha
Modulabmessung	2,278 m x 1,334 m
Modulneigung	17°
Modulausrichtung (Azimut)	170° SÜDOST
Höhe untere Modulunterkante	0,8 m
Höhe obere Modulkante	3,04 m
Flurstücke	FLUR-NR.326, 327, 328, 329, 330, 331, 333, 334, 335, 336 96355 TETTAU-LANGENAU



Abbildung 1: Übersicht der Anlagenfläche: Dargestellt sind die Modultische – Quelle Abbildung: Auftraggeber

3 Einschätzung des Niederschlagsabflussverhaltens

Im Folgenden werden die örtliche Topografie, die potenzielle Bodenversiegelung und die zu erwartenden Veränderungen der Bodeneigenschaften durch die Realisierung der Photovoltaikanlage (PVA) Langenau sowie die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die natürliche Entwässerungsfähigkeit des Anlagengeländes dargestellt.

3.1 Topografie

Den Haupteinfluss auf den Verlauf des Niederschlagsabflusses hat die Topografie. Für die Betrachtung der Topografie wurde ein Höhenmodell mit einer Auflösung von 1 x 1 m (DGM1) des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (Bayern) verwendet.

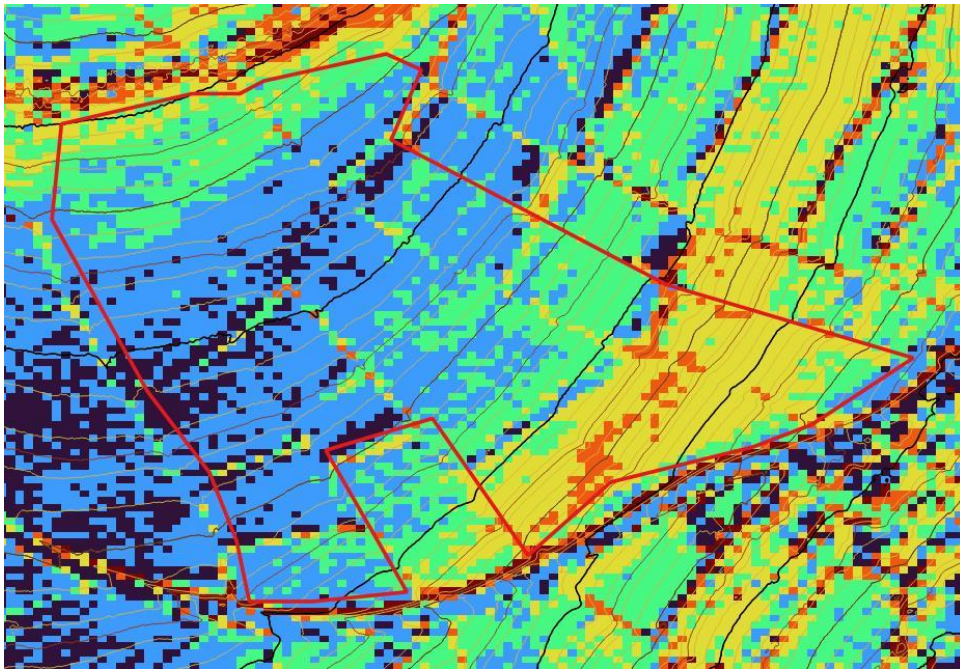


Abbildung 2: Hangneigung (dunkelblau: $< 3^\circ$, hellblau: $< 5^\circ$, grün: $< 7^\circ$, gelb: $< 10^\circ$, orange: $< 15^\circ$, rot: $\geq 15^\circ$) sowie Höhenlinien (schwarz: 5m, braun: 2,5m) und Grenzen des Solarparks. Die Darstellung basiert auf eigenen Berechnungen, aufbauend auf dem DGM1. Datenquelle: Landesamt für Digitalisierung, Breitband (Bayern)

In [1] wird die Möglichkeit von Erosion schon ab 2° (ca. 3,5 %) Hangneigung/Gefälle genannt. Dies gilt jedoch nur für unbedeckte Böden. Zur Vermeidung von Erosion ist eine stabile Bodenbegrünung insbesondere in den steilen Lagen dringend zu empfehlen. Generell ist an dieser Stelle auch darauf hinzuweisen, dass die Geländeformen durch den Bau der PVA nicht verändert werden. Die steileren Geländepartien weisen bereits vor dem Bau der PVA hohe Abflussraten auf.

Abbildung 2 zeigt die Hangneigungen/Gefälle des PVA-Geländes (und der Umgebung). Weite Bereiche der Anlage weisen Neigungen $< 5^\circ$ auf. Im südlichen Bereich sind jedoch Neigungen bis zu 10° zu ermitteln.

Wenn die Tropfkanten der Modultische vergleichsweise parallel zu den Höhenlinien verlaufen, ergeben sich in der Regel keine negativen Auswirkungen auf das Niederschlagsabflussverhalten. Der Niederschlag wird in diesem Fall gleichmäßig an die Umgebung abgegeben und kann entsprechend in der Fläche versickern. Tropfkanten, die mit dem Gefälle (also quer zu den Höhenlinien) verlaufen, sind anders zu bewerten. Hier kann es zur Rinnenbildung (Bodenerosion) und damit zu höheren Abflussmengen auf kleiner Fläche und hohen Fließgeschwindigkeiten kommen. Die steilsten Teilflächen im Anlagengelände befinden sich an einem nach Süden-Osten geneigten Hang. Soweit dies den vorliegenden Plänen zu entnehmen ist, sind die Modultische parallel zu den Höhenlinien geplant.

3.2 Bodenversiegelung

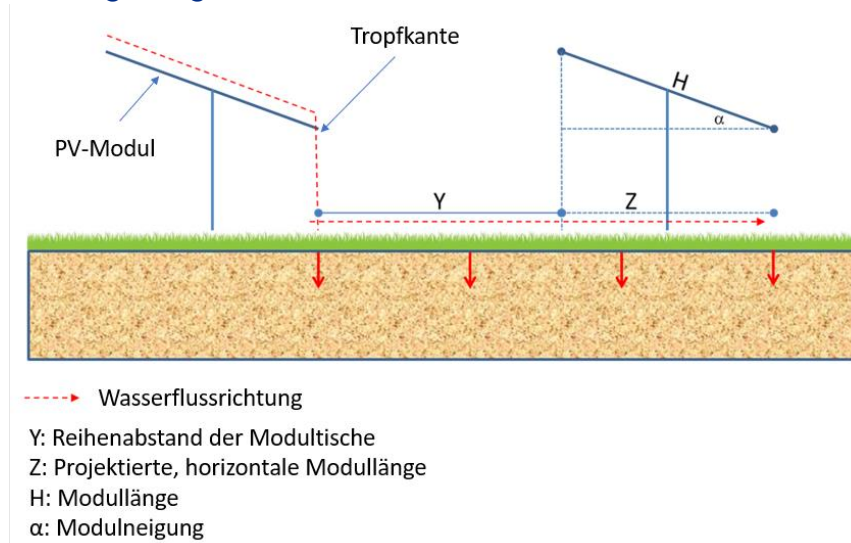


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Regenwasserverlaufs an PV-Modulen auf Freiflächenanlagen –
Quelle: Minnesota Pollution Control Agency (modifiziert)

Abbildung 3 zeigt eine schematische Querschnittszeichnung von zwei Modulreihen einer Freiflächen-PVA (Süd-Ausrichtung). Der Verlauf des Regenwassers der linken Modulreihe wird mit einem gestrichelten Pfeil angedeutet. Es ist zu erkennen, dass die PV-Module das Regenwasser nicht direkt passieren lassen, sondern entsprechend ihrer Neigung über die Tropfkante an den Boden abgeben. Besitzt das Anlagengelände ein Gefälle, breitet sich das Regenwasser entsprechend gerichtet am Boden aus. Dabei findet eine Infiltration (Versickerung im Boden) statt. Über die Länge Y kommt zum Regenwasser der linken Modulreihe weiterer Regen hinzu. Wenn das Regenwasser über die Länge Y nicht versickert ist, erreicht es die Länge Z (die Fläche unter der nächsten Modulreihe). Hier kommt kein weiteres Regenwasser direkt hinzu.

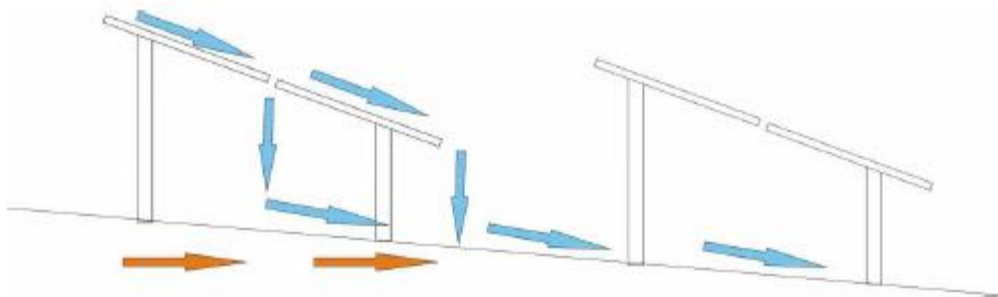


Abbildung 4: Lücken zwischen übereinander installierten PV-Modulen dienen als zusätzliche Tropfkanten

Durch die Module der PVA entsteht demnach keine Bodenversiegelung im klassischen Sinne¹, welche eine signifikante Behinderung der Regenwasserinfiltration verursacht. PV-Module verhindern, dass das Regenwasser direkt auf den Boden trifft, jedoch steht die Fläche unter den Modulen weiterhin für die Infiltration von Regenwasser zur Verfügung, welches über die Länge Y nicht vollständig versickern konnte (siehe Abbildung 3). Werden ausreichend große Lücken zwischen übereinander installierten Modulen gelassen, entstehen zusätzliche

¹ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung>

Tropfkanten (siehe Abbildung 4). Dies führt zu einer gleichmäßigeren Verteilung des Regenwassers über/auf der Fläche unter den Modulen.

Somit verursachen lediglich die in den Boden gerammten Profilträger der Modultische sowie die Stationsgebäude eine Bodenversiegelung, welche in der Summe jedoch vernachlässigbar klein ist.

3.3 Veränderung der Bodeneigenschaften

Das Gelände der geplanten PVA wurde ursprünglich intensiv für den Anbau unterschiedlicher Nutzpflanzen und Feldfrüchte (Acker) genutzt. Für die Betriebsdauer der PVA soll der Boden in eine Grasfläche/Wiese konvertiert werden. Dies entspricht dem üblichen Vorgehen bei Freiflächenanlagen. Die Konvertierung des Bodens bringt Veränderungen im Kontext der Entwässerungsfähigkeit mit sich, welche im Folgenden dargestellt werden.



Abbildung 5: Aufnahme einer Freiflächenanlage auf einer Grasfläche - Quelle: Eigene Aufnahme

Grasflächen besitzen eine höhere Infiltrationskapazität (bessere Versickerungseigenschaft von Regenwasser) als Ackerland [2]–[4]. Dies kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Zum Einen führt die regelmäßige Bewirtschaftung von Ackerflächen mit Feldmaschinen (Traktoren, etc.) zu einer höheren Bodenverdichtung [2]. Zum Anderen akkumuliert eine Grasfläche mit der Zeit eine deutlich höhere Masse an organischem Material in der Bodenoberfläche, als dies beim annualen Anbau von Nutzpflanzen der Fall ist [5]. Organisches Material in der Bodenoberfläche fördert die Bildung von stabilen Porenstrukturen im Boden, was die Infiltrationskapazität erhöht [5]. Außerdem stellt Boden mit einem hohen Anteil an organischem Material ein gutes Habitat für Bodenbiota wie Erdwürmer dar, welche die Porenbildung des Bodens weiter fördern [3]. Zusätzlich bietet die flächendeckende und beständige Vegetation einer Grasfläche/Wiese der Bodenoberfläche Schutz vor niederschlagsbedingten negativen Einwirkungen (wie z. B. das Zerstören von Poren oder Bodenabtragung) [3].

Wenn die Infiltrationsrate eines Bodens unter der lokalen Niederschlagsintensität liegt und der Boden ein Gefälle besitzt, kann niederschlagsbedingte Erosion (Abtragung von Boden durch Regenwasser) entstehen. Dem Bodenatlas der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist zu entnehmen, dass der Bodenabtrag des PVA-Geländes in der Nutzungsform als Acker sehr hoch ist (siehe Abbildung 6). Dies ist während Bau und Betrieb zu beachten und durch entsprechende Maßnahmen, wie Boden-Monitoring, gute, tiefwurzelnde Begrünung, Tiefenlockerung und ggf. durch das Einbringen von erosionsminderndem Substrat zu würdigen.

Die Konvertierung des Geländes zur Grasfläche wird sich daher positiv auf die lokale Erosionssituation auswirken [6], [7]. Nach [4] hat Grünland je nach Dauer und Menge des Niederschlags sowie der Vorfeuchte des Bodens eine ca. 25 % bis 300 % höhere Infiltrationsrate als Ackerland. Damit führt die Konvertierung von Acker in Grünland zu einer besseren Niederschlagsabflusssituation. Das bedeutet, dass Niederschläge in der Fläche deutlich besser versickern können.

Eine zusätzliche Verbesserung der Drainagefähigkeit kann durch die spätere Aussaat von tiefwurzelnden Blümmischungen erreicht werden [8]. Dabei sollten einheimische und resistente Sorten gewählt werden.

Darüber hinaus wird durch eine Grünlandeinsaat (im Vergleich zum Ackerland) die Rauigkeit des Geländes erhöht (vgl. u.a. [9]–[11]), was wiederum zu einem langsameren Wasserabfluss und damit zu einer längeren Versickerungszeit führt.

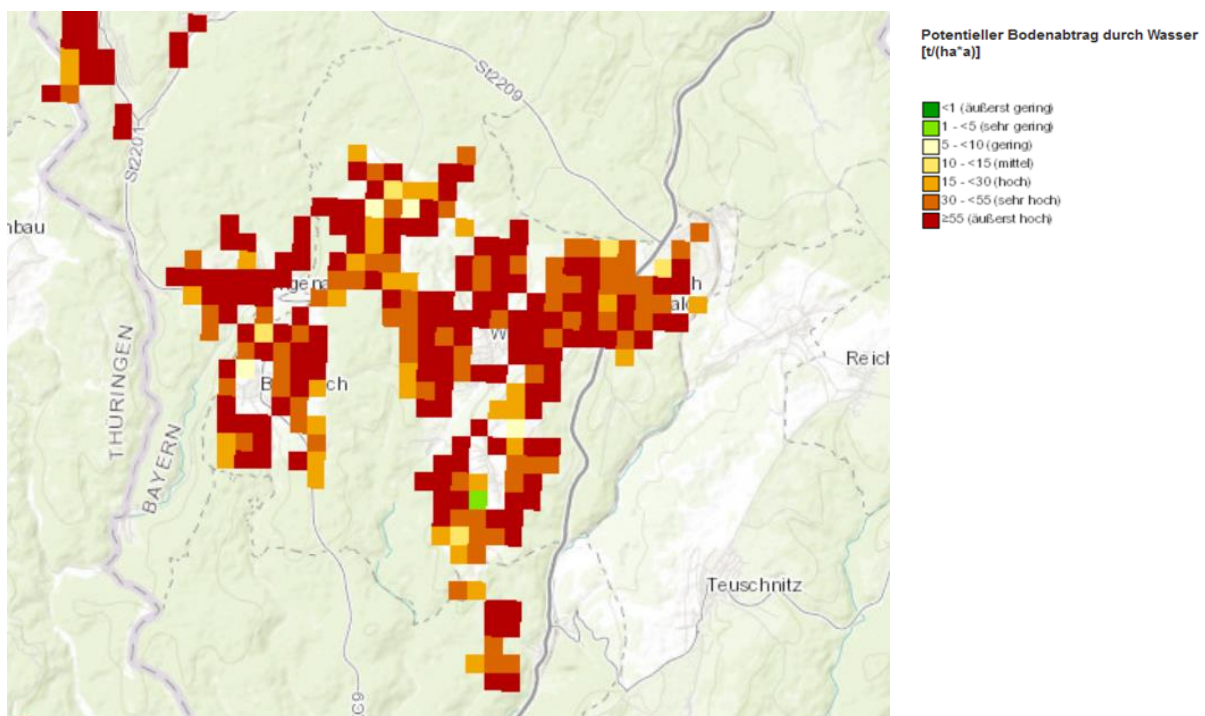


Abbildung 6: Potenzieller Bodenabtrag durch Niederschlag im Gebiet um die geplante PVA - Quelle: Bodenatlas der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Im Bereich der geplanten Anlage befinden sich heute Äcker. Für diese spezielle Nutzungsform liegen wenig Untersuchungen bzgl. des Niederschlags-Abfluss-(NA)-Verhaltens vor. Maßgebliche Faktoren zur Bewertung der Veränderung des NA-Verhaltens aufgrund der geplanten Landnutzungsänderung durch die PV-FFA sind auf der einen Seite die Bodenrauigkeit (z. B. definiert über die Manningfaktoren) sowie die Infiltrationsrate. Die Manningfaktoren sind für verschiedene Landnutzungstypen in Abbildung 7 aufgeführt.

Landnutzung	Manningfaktor	Quelle
Grünfläche, dichte Vegetation	0,3	Engman
Grünfläche, mittlere Vegetation	0,24	Engman
Grünfläche, spärliche Vegetation	0,15	Engman
Spärlicher Wald	0,11	Arcement et al.
Wald	0,2	Arcement et al.
Hecke	0,1	Phillips et al.
Asphaltierte Straßen	0,011	Engman
Schotterwege	0,02	Engman

Abbildung 7: Manningfaktoren (Maß der Bodenrauigkeit) für verschiedene Landnutzungsformen

Aus der Tabelle wird deutlich, dass bzgl. der Rauigkeit, also der Fähigkeit Wasser beim Abfluss abzubremesen (und somit auf der Fläche zu halten und damit eine längere Zeit zum Versickern an Ort und Stelle zu ermöglichen) ein Dauergrünland besser geeignet ist als ein Acker oder Wald.

Auch der zweite wichtige Parameter, die Infiltrationsrate, ist bei Grünland deutlich besser als bei Ackerland. Durch die wesentlich kürzere Standzeit der Feldfrüchte und die daraus resultierende schlechtere Durchwurzelung des Bodens und den schlechten Humusaufbau ist die Infiltrationsrate bei Ackerland deutlich schlechter als bei Grasland. Hinzu kommt die sehr intensive Bodenbearbeitung nach der Ernte.

Mit diesen Überlegungen kommt der Verfasser zu dem Schluss, dass die Bodeneigenschaften hinsichtlich des Abfluss- und Infiltrationsverhaltens durch die geplante PV-FFA nicht verschlechtert, sondern bei Ergreifen der vorgeschlagenen Maßnahmen verbessert werden können.

Die Etablierung eines tiefwurzelnden Grünlands (insbesondere mit tiefwurzelnden Blühpflanzen) führt i. d. R. auch zu einem verbesserten Humusaufbau. Dieser Prämisse sollte auch die nachfolgende Pflege und Nutzung der Anlagenfläche folgen. Humusaufbau führt im Allgemeinen auch zu verbesserter Infiltration und Wasserhaltefähigkeit des Bodens. Daher wird diese Maßnahme vom Verfasser als favorisierte Lösung angesehen. Wenn möglich, sind andere bauliche Maßnahmen zur Wasserhaltung wie Wasserrückhaltebecken zu vermeiden.

4 Diskussion

Einige Teilbereiche der Anlage sind aufgrund ihrer teilweise starken Hangneigung als kritisch einzustufen. Hier können bei Starkregenereignissen größere Abflussmengen auftreten, die bei ungeeignetem Bodenschutz ggf. zu Erosion führen.

Durch eine (dichte) Begrünung des Anlagengeländes, nach Möglichkeit mit tiefwurzelnden Blühpflanzen, kann das Abflussverhalten jedoch deutlich verbessert werden. Ebenfalls förderlich können Maßnahmen der Tiefenlockerung besonders in den kritischen Bereichen sein.

Generell weist Grünland ein deutlich besseres Niederschlagsabflussverhalten auf als Ackerland (Ist-Zustand).

Im Rahmen der Anlagenerrichtung sollten Maßnahmen ergriffen werden, die die Entwicklung einer Grünlandnarbe fördern. Es sollte schon frühzeitig vor Baubeginn geeignetes Saatgut ausgebracht werden. Zwischen den Modulen sollten ausreichend große Abstände eingehalten werden, um zusätzliche Tropfkanten zu erhalten, die eine Bewässerung der Vegetation unter den Modultischen und eine gleichmäßigere Übergabe des Niederschlags an den Boden ermöglichen.

Wichtig ist auch der Bodenschutz, insbesondere während der Bauphase. Nach der Bauphase sollte der Boden wieder aufgelockert und alle Bodenfunktionen wiederhergestellt werden. Es sollte eine regelmäßige Kontrolle des Bodens erfolgen (Monitoring). Dadurch kann eine mögliche Bodenerosion, insbesondere in den steilen Hanglagen, frühzeitig erkannt und ihr durch geeignete Maßnahmen (z. B. durch das Aufbringen von erosionsbeständigem Substrat) entgegengewirkt werden. Eine detaillierte Bewertung des Bodenschutzes ist jedoch nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Des Weiteren sollten Tropfkanten in Fließrichtung des Abflusses vermieden werden, insbesondere in den kritischen Zonen. Dies ist in der vorliegenden Planung weitgehend gegeben.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse, Empfehlungen und Fazit

Bodenversiegelung

Die PVA-bedingte Versiegelung des Anlagenbodens wird als vernachlässigbar eingestuft. Die Module stellen keine Bodenversiegelung im klassischen Sinne dar. Die Fläche unter den Modulen steht weiterhin für die Versickerung von Regenwasser zur Verfügung. Lediglich eine vernachlässigbar kleine Fläche wird durch gerammte Profilträger und Stationsgebäude versiegelt.

Veränderung der Bodeneigenschaften

Die Versickerungsfähigkeit von Grasflächen/Wiesen ist besser als die von Äckern. Da das Anlagengelände im Rahmen der Projektierung von einer Acker- in eine Grasfläche (mit ggf. Blühpflanzen) konvertiert wird, ist mit einer Verbesserung der Versickerungsfähigkeit des Bodens zu rechnen. Besonders in der Bauphase ist auf den Bodenschutz zu achten und für den Betrieb der Anlage ein funktionsfähiger Boden herzustellen. Die detaillierte Bewertung des Bodenschutzes war nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Empfehlungen

Für einen effizienten Erosionsschutz sowie für die Verbesserung des Niederschlagsabflussverhaltens sollte eine frühzeitige Begrünung vor Baubeginn angestrebt werden. Hierzu eignen sich z. B. Klee gras-Saatgut-Mischungen. Später sollten diese durch tiefwurzeln de (heimische) Blü hmischungen ergänzt oder auch ersetzt werden, was die Infiltration weiter verbessern kann.

Zwischen den Solarmodulen sollten ausreichend große Lücken gelassen werden, um zusätzliche Tropfkanten zu realisieren. Daneben sollten die Tropfkanten besonders in den steileren Bereichen entlang der Höhenlinien ausgerichtet werden.

Darüber hinaus ist der Boden (insbesondere während der Bauphase) zu schonen (Bodenschutz). Nach der Bauphase sollte der Boden wieder aufgelockert und alle Bodenfunktionen wiederhergestellt werden.

Darüber hinaus sollte insbesondere während und nach der Bauphase ein Boden-Monitoring durchgeführt werden. Dieses sollte insbesondere erste Erosionserscheinungen und das Abflussverhalten von Niederschlägen umfassen und damit die Grundlage für (ggf. erforderliche) Gegenmaßnahmen wie z. B. das Aufbringen von Substrat entlang von Tropfkanten o. ä. bilden.

Fazit

Das Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass durch die Realisierung der PVA keine Verschlechterung der natürlichen Entwässerungsfähigkeit (Versickerung des Niederschlagswassers im Boden) des Anlagengeländes zu erwarten ist, sofern die empfohlenen Maßnahmen umgesetzt werden. Dies deckt sich mit Beobachtungen bei realisierten, vergleichbaren Anlagen und den dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Für genauere Aussagen und Detailbetrachtungen müssten umfangreiche hydrologische Berechnungen vorgenommen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Schiller, „Bodenerosion durch Wasser“, *Umweltbundesamt*, 23. Februar 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/bodenerosion/bodenerosion-durch-wasser>
- [2] Abu-Hashim, Mohamed, „Impact of land-use and land-management on soil infiltration capacity on catchment scale“, 2011.
- [3] Alhassoun, Rajeh, „Studies on factors affecting the infiltration capacity of agricultural soils“, 2009.
- [4] F. Ries, L. Kirn, und M. Weiler, „Experimentelle Untersuchung der Abflussbildung bei Starkregen“, 2020, doi: 10.5675/HYWA_2020.5_1.
- [5] B. J. Wienhold und D. L. Tanaka, „Haying, tillage, and nitrogen fertilization influences on infiltration rates at a conservation reserve program site“, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Bd. 64, Nr. 1, S. 379–381, Jan. 2000, doi: 10.2136/sssaj2000.641379x.
- [6] D. Pimentel *u. a.*, „World Agriculture and Soil Erosion“, *BioScience*, Bd. 37, Nr. 4, S. 277–283, Apr. 1987, doi: 10.2307/1310591.
- [7] M. Graebig, S. Bringezu, und R. Fenner, „Comparative analysis of environmental impacts of maize–biogas and photovoltaics on a land use basis“, *Solar Energy*, Bd. 84, Nr. 7, S. 1255–1263, Juli 2010, doi: 10.1016/j.solener.2010.04.002.