



Energie mit Format GmbH – Taubenheimer Str. 7 – 01665 Klipphausen

Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH  
Lüsberger Straße 2  
51580 Reichshof-Nespen

30.05.2025

Sehr geehrte Damen und Herren,

Vielen Dank für Ihre Anfrage einer Stellungnahme bzgl. Wachstum und Verschattung von PV-Freiflächenanlagen.  
Das Dokument finden Sie anbei.

Vielen Dank für Ihr Vertrauen.

Mit freundlichen Grüßen

Fred Hassepass

## Betrachtung der Auswirkungen von Verschattungen durch Freiflächen-PV-Anlagen

### Inhalt:

- Technische Grundlagen
- Ökologische Vorteile und Biodiversität
- Agri-Photovoltaik und Doppelnutzung
- Energieeffizienz und technische Vorteile
- Klimatische Effekte
- Fazit

### Einleitung

Die Entwicklung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen hat durch neue Ansätze wie variierbare Tischhöhen und den Einsatz von lichtdurchlässigen Glas-Glas-Modulen neue Möglichkeiten für eine nachhaltige Landnutzung eröffnet. Diese Technologien ermöglichen es, Solarenergieerzeugung und ökologische Vielfalt in einem symbiotischen System zu vereinen. Die vorliegende Betrachtung listet die vielfältigen und positiven Auswirkungen von PV-Anlagentechnologie für Umwelt, Landwirtschaft und Energieeffizienz auf.

### 1. Einleitung und technische Grundlagen

#### 1.1 Anlagenkonzeption

Grundsätzlich benötigen Ökosysteme, die Fauna und Flora Raum geben, Licht zum Wachsen und Gedeihen.

Da stellt sich die Frage:

„Widersprechen sich ökologische Gedanken und ökonomische Nutzung ein- und derselben Fläche?“

Und wieviel Lichteintrag bedarf es denn überhaupt für Wachstum?

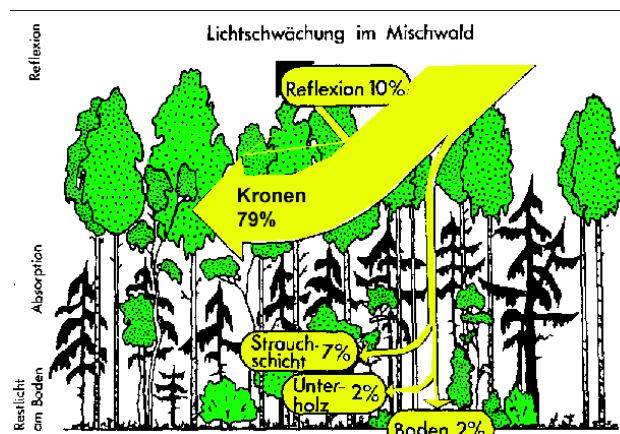


Abb.: Lichtschwächung im Mischwald [Quelle der Abb.: **Nachtigall, Werner**: Unbekannte Umwelt. -- München : Heyne, 1985 (©1979 Hoffmann und Campe). -- (Heyne Bücher ; 7264). -- ISBN 3-453-02170-3. -- S. 32]

In der Darstellung zeigt sich, dass auf dem gewöhnlichen Waldboden lediglich 2-7% des Sonnenlichts einfallen - und die führt zur üppigen Pflanzenvielfalt, wie wir sie von unseren Waldspaziergängen kennen.

Bilden wir diesen Effekt auf die PV-Freiflächen ab, erhalten wir in den Halbschatten der PV-Tische eine üppige Pflanzen- und Tiervielfalt, wie wir diese auch z.B. aus den Wäldern kennen.

- Hier vereinen sich ökologische Gedanken und ökonomische Nutzung.

Freiflächen-Photovoltaikanlagen der neuen Generation zeichnen sich durch zwei wesentliche technische Innovationen aus:

- die wählbare Höhe der Modultische (siehe Beispielbild) und die
- Verwendung von lichtdurchlässigen Glas-Glas-Modulen.

Beispiel einer Freifläche- PV-Tisch Konstruktion:

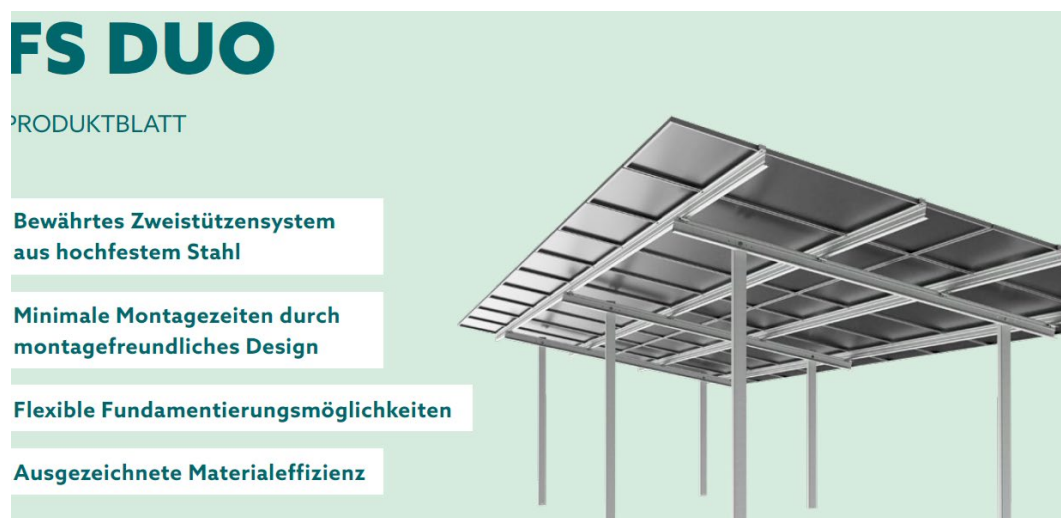


Abb.: Schletter FS Duo Produktdatenblatt

Die Montagehöhen, zwischen 1,4 m und 4 m über dem Boden, schaffen ausreichend Licht durch den Sonnenverlauf für die Entwicklung einer natürlichen Vegetationsschicht unter den Solarmodulen. Im Fall des Falls für die Kantensicherung des Steinbruchs ist 1,4 m für die untere Tischhöhe gewählt.

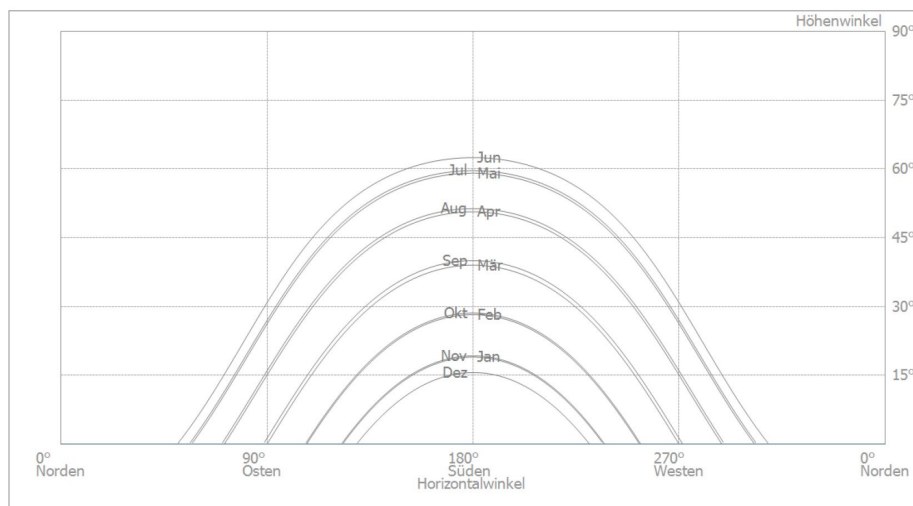


Abb.: Sonnenbahnen in der Region 51580 Reichshof, Quelle PV-Sol

Gleichzeitig ermöglichen Glas-Glas-Module mit einer durchschnittlichen Lichtdurchlässigkeit von 7-10% zusätzlichen Lichteinfall.

Tischbreite $b_T$ :	3.54 Meter	$n_M \cdot L_M \vee n_M \cdot B_M$
Tischhöhe $h_T$ :	0.615 Meter	$\sin(\beta) \cdot b_T$
Tischabdeckung $a_T$ :	3.486 Meter	$\cos(\beta) \cdot b_T$
Tischoberkante $T_O$ :	2.015 Meter	$T_U + h_T$
Tischabstand theor. $a$ :	2.294 Meter	$\cot(\alpha) \cdot T_O \cdot (1 - T_U / T_O)$
Anzahl der Tische $n_T$ :	2	$\lceil B / (a_T + a) \rceil$
Tischabstand prakt. $a'$ :	0.028 Meter	$(B - (n_T \cdot a_T)) / (n_T - 1)$
Module je Tisch $n$ :	176	$LL / B_M \cdot J \cdot n_M \vee LL / L_M \cdot J \cdot n_M$
Module insgesamt $N$ :	352	$n \cdot n_T$
Gesamtleistung $P$ :	158.4 kWp	$N \cdot P_M$

∨ bedeutet oder, je nach Anordnung längs oder quer.  $\lceil \dots \rceil$  bedeutet aufrunden,  $\lfloor \dots \rfloor$  bedeutet abrunden.

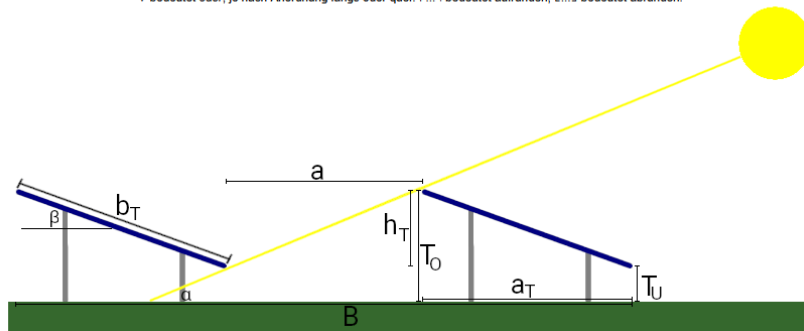


Abb.: <https://rechneronline.de/photovoltaik/tische.php>

Die Abbildung stellt die Tischreihen im Querschnitt dar. Die tägliche Sonnenbahn in Verbindung mit der Tischposition ermöglichen die Vegetation unter und hinter den PV-Tischen.

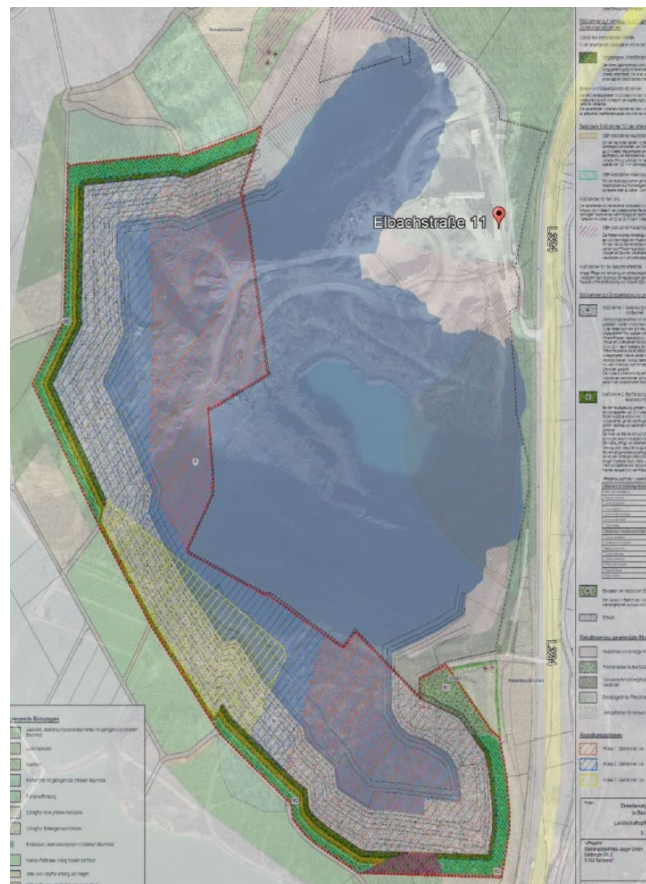


Abb.: PV-Projekt Steinbruch

## 1.2 Technische Spezifikationen

Die Glas-Glas-Module bestehen aus zwei Glasschichten, zwischen denen die photovoltaischen Zellen eingebettet sind. Wobei spezielle Beschichtungen und Strukturen eine kontrollierte Lichtdurchlässigkeit gewährleisten. Diese bifazialen Module können sowohl direktes als auch reflektiertes Licht nutzen und erzielen dadurch höhere Energieerträge.

Die gewählte Tischhöhe erfordert robuste Montagesysteme, bietet aber gleichzeitig verbesserte Luftzirkulation und damit optimierte Betriebstemperaturen der Module.

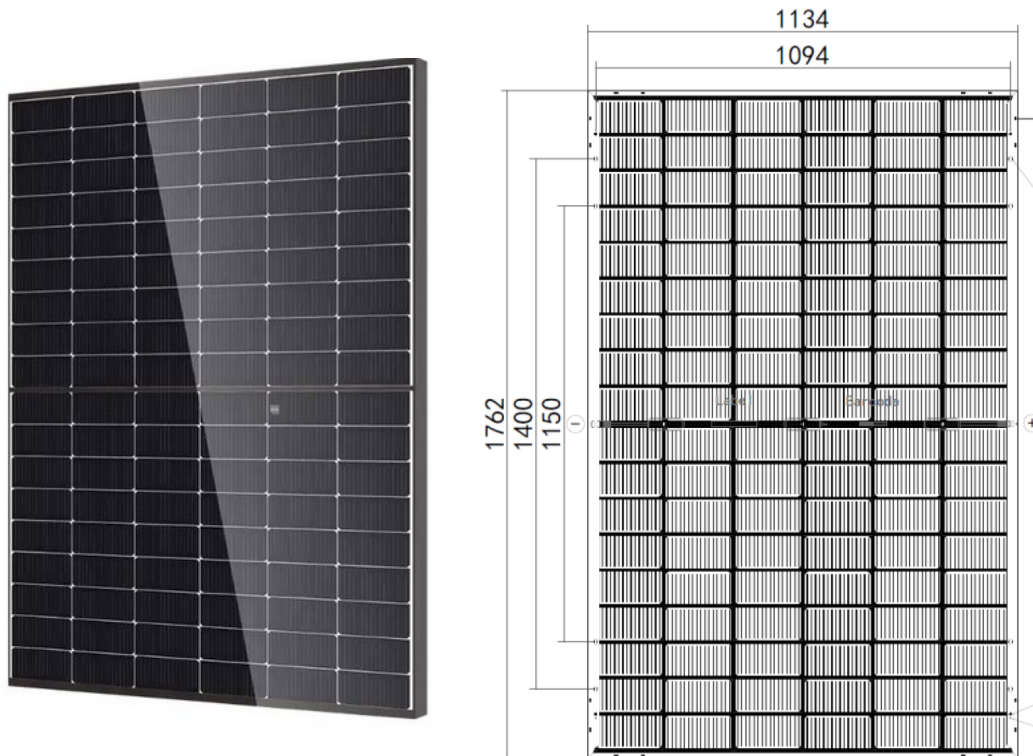


Abb.: Bifaciales PV-Modul (DMEGC, gezeichnete Zellzwischenräume lassen Licht durch)

## 2. Ökologische Vorteile und Biodiversität

### 2.1 Förderung der Artenvielfalt

Die Kombination aus partieller Beschattung und Lichtdurchlässigkeit schafft ein solides Mikroklima unter den PV-Modulen, so dass verschiedene Pflanzenarten wachsen können. Studien aus dem Bereich der Freiflächen PV-Anlagen zeigen auf, dass sich unter solchen Anlagen oft eine höhere Biodiversität entwickelt als auf konventionell genutzten Freiflächen. Die partielle Beschattung reduziert Temperaturschwankungen und Verdunstung, was zu einer stabileren Bodenfeuchte führt und damit ideale Bedingungen für verschiedene Pflanzengemeinschaften schafft.

Eine Anlagenhöhe von 1,4 m ermöglicht zudem die Ansiedlung niedriger bis mittelhoher Vegetation und schafft Lebensräume für verschiedene Tierarten. Insbesondere Insekten, Kleinsäuger und Vögel profitieren von den strukturreichen Habitaten, die durch die Kombination aus besonnten und beschatteten Bereichen entstehen.



## 2.2 Bodenökologie und Wassermanagement

Die partielle Beschattung durch die PV-Module reduziert die Bodentemperatur und minimiert die Verdunstung erheblich. Dies führt zu einer verbesserten Wasserspeicherung im Boden und reduziert den Bewässerungsbedarf für die Vegetation. Gleichzeitig wird die Bodenstruktur durch die reduzierte Erosion stabilisiert, da die Module als Windschutz fungieren und die Niederschläge gleichmäßiger verteilt werden.

Die Modulreihe/Tischneigung ermöglicht eine fast natürliche Regenwasserverteilung, wobei das Wasser entlang der Modulkanten abfließt und zu einer gleichmäßigeren Bewässerung der darunterliegenden Vegetation beiträgt.

Diese Wassermanagement-Eigenschaften sind besonders in trockenen Regionen von Vorteil und können zur Erhaltung gefährdeter Pflanzengemeinschaften beitragen.

## 3. Eine Weiterführung dieser PV-Anlagen ist Agri-Photovoltaik (Doppelnutzung von Flächen)

### 3.1 Landwirtschaftliche Nutzung unter PV-Anlagen

Nur zur Vollständigkeit - eine kurze Erwähnung der Agri-PV.

Die höheren Tische und die Lichtdurchlässigkeit der Glas-Glas-Module eröffnen neue Möglichkeiten für die Agri-Photovoltaik (Agri-PV). Unter den Modulen können verschiedene landwirtschaftliche Kulturen angebaut werden, die von der partiellen Beschattung profitieren. Insbesondere schattentolerante Pflanzen wie bestimmte Gemüsesorten, Kräuter oder Futterpflanzen zeigen unter diesen Bedingungen oft bessere Wachstumsergebnisse als unter Vollsonne. Dies ist besonders relevant in Zeiten zunehmender Hitzeperioden und Dürren, wo die Beschattung einen natürlichen Schutz bietet. Auch in windexponierter Lage, schafft eine geringere Austrocknung und ein zugleich verbesserter Feuchtigkeitseintrag der Vegetation Vorteile.

## 4. Energieeffizienz und technische Vorteile

### 4.1 Verbesserte Modulperformance

Die gewählte Installationshöhe bietet mehrere technische Vorteile:

- Da die Leistung von Photovoltaikmodulen mit steigender Temperatur abnimmt, können durch die bessere Kühlung Ertragssteigerungen von 3-5% erreicht werden.
- Die Glas-Glas-Konstruktion bietet eine höhere Langlebigkeit und bessere Witterungsbeständigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Modulen mit Kunststoffrückseite
- Die bifaziale Eigenschaft dieser Module ermöglicht es, sowohl das direkte Sonnenlicht auf der Vorderseite als auch das vom Boden reflektierte Licht auf der Rückseite zu nutzen, was zu zusätzlichen Energieerträgen von 10-20% führen kann.





## 4.2 Reduzierung des Wartungsaufwands

Die Anlagenhöhe erleichtert die Wartung und Reinigung der Module erheblich. Wartungspersonal kann unter den Modulen arbeiten, was die Arbeitseffizienz und -sicherheit verbessert. Gleichzeitig reduziert die natürliche Vegetation unter den Modulen das Aufkommen von Staub und Sand, da der Boden stabilisiert wird und weniger Erosion auftritt. Die Glas-Glas-Module sind weniger anfällig für mechanische Beschädigungen und zeigen eine geringere Degradationsrate über die Betriebszeit. Dies führt zu niedrigeren Wartungskosten und einer längeren wirtschaftlichen Nutzungsdauer der Anlage.

## 5. Klimatische und mikroklimatische Effekte

### 5.1 Temperaturregulation

Die innovative Anlagenkonzeption trägt zur Temperaturregulation bei sowohl auf lokaler als auch regionaler Ebene bei. Die partielle Beschattung reduziert die Oberflächentemperatur des Bodens um bis zu 10°C während heißer Sommertage. Dies führt zu einem angenehmeren Mikroklima und reduziert die Bildung von Hitzeinseln, die typisch für große, unerschütterte Freiflächen oder exponierte Lagen sind.

Die Vegetation unter den Modulen trägt durch Transpiration zusätzlich zur Kühlung bei und erhöht die lokale Luftfeuchtigkeit. Dieser Effekt kann sich positiv auf das Klima der umliegenden Gebiete auswirken und zur Anpassung an den Klimawandel beitragen.

### 5.2 CO<sub>2</sub>-Bindung und Kohlenstoffspeicherung

Die geförderte Vegetation unter den PV-Modulen trägt aktiv zur Kohlenstoffspeicherung bei. Durch die verbesserten Wachstumsbedingungen kann mehr Biomasse produziert und mehr CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre gebunden werden als auf vergleichbaren ungenutzten Freiflächen. Die Wurzelsysteme der Pflanzen tragen zur Anreicherung organischer Substanz im Boden bei, was langfristig zu einer erhöhten Kohlenstoffspeicherung im Boden führt.

Diese Doppelwirkung aus erneuerbarer Energieerzeugung und CO<sub>2</sub>-Bindung macht solche Anlagen zu besonders effektiven Instrumenten im Kampf gegen den Klimawandel.



## Fazit

Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit erhöhten Tischhöhen und lichtdurchlässigen Glas-Glas-Modulen repräsentieren eine wegweisende Entwicklung in der nachhaltigen Energieerzeugung. Die Technologie bietet eine optimale Lösung für den scheinbaren Konflikt zwischen Energieerzeugung und Landnutzung und Umweltschutz, indem sie alle Aspekte in einem symbiotischen System vereint.

Die vielfältigen positiven Auswirkungen reichen von der Förderung der Biodiversität über die Verbesserung landwirtschaftlicher Erträge bis hin zur Optimierung der Energieeffizienz. Die Technologie trägt gleichzeitig zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz bei und schafft neue wirtschaftliche Möglichkeiten für die Landwirtschaft oder wie im betrachteten Fall, eine erhöhte Biodiversität im Umweltschutz.

Die bisherigen Erfahrungen und Messergebnisse bestätigen das große Potential dieser Anlagenkonzeption. Mit der weiteren technologischen Entwicklung und zunehmenden politischen Unterstützung wird diese Konzept eine Schlüsselrolle in der zukünftigen nachhaltigen Energieversorgung spielen und einen wichtigen Beitrag zur Transformation des Energiesystems und Umweltschutzes leisten.

Die erfolgreiche Implementierung erfordert jedoch eine enge Zusammenarbeit zwischen Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Umweltschutz, Forschung und Politik, um die optimalen Rahmenbedingungen für diese zukunftsweisende Technologie zu schaffen.