



My Energy GIE
Groupement
d'Intérêt Economique

Tél. +352 40 66 58
Fax +352 40 66 58-2

28, rue Michel Rodange
L-2430 Luxembourg

info@myenergy.lu
www.myenergy.lu

myenergy
L u x e m b o u r g

Gestaltung und Planung einer Photovoltaik-Anlage

Photovoltaik (PV) ist die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mit Hilfe von Solarzellen. Ihre Anwendungen reichen vom Taschenrechner (Leistung von einigen Watt) bis zum photovoltaischen Kraftwerk (Leistung bis zu mehreren Megawatt).

Anlagentyp: Aufdach-Anlage auf Einfamilienhaus

Es wird zwischen zwei Nutzungsarten unterschieden:

- Eine netzgekoppelte PV-Anlage ist an das Stromnetz angebunden, das die Funktion eines Puffers übernimmt. Die erzeugte elektrische Energie wird bei Bedarf vor Ort genutzt. Wird weniger Strom vor Ort verbraucht als durch die Anlage erzeugt, wird der Überschuss in das Stromnetz eingespeist. Wird mehr Strom vor Ort verbraucht als durch die Anlage erzeugt, liefert das Stromnetz die erforderliche elektrische Energie.
- Bei einer netzunabhängigen PV-Anlage wird die erzeugte elektrische Energie ausschließlich vor Ort verbraucht. Der Überschuss wird über Laderegler in Akkumulatoren gespeichert und bei Bedarf genutzt. Anwendung finden Inselanlagen überwiegend dort, wo aus technischen oder betriebswirtschaftlichen Gründen kein Anschluss an ein Stromnetz besteht (z.B. Camping, Ferienhaus, Stromversorgung in entlegenen Gebieten und Entwicklungsländern (z.B. Pumpsysteme)).

In diesem Merkblatt finden Sie die wichtigsten Informationen zu Gestaltung, Planung und Technik einer PV-Anlage.

Gestaltung einer Photovoltaik-Anlage

PV-Anlagen können auf allen Teilen der Gebäudeoberfläche installiert werden. Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten von Montagesystemen:

- Die PV-Module werden mit einer Metallkonstruktion auf die Gebäudehülle befestigt. Diese bleibt erhalten und behält ihre Funktionen.
- Die PV-Module werden in die Gebäudehülle integriert. Sie können über die Funktion der Stromerzeugung hinaus Funktionen wie Wetterschutz, Wärmedämmung oder Sonnenschutz übernehmen und somit die herkömmliche Hülle ersetzen.

Die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten von PV-Anlagen sind vielfältig:

- Schräge und flache Dächer
 - Aufdach-Systeme
 - Indach-Systeme
- Fassaden: Bei Solarfassaden müssen wegen des nicht optimalen Neigungswinkels Ertragseinbußen von mindestens 30% in Kauf genommen werden. Solarfassaden bieten aber den Vorteil, dass PV-Module häufig teure Fassadenelemente ersetzen können und somit nur geringe Mehrkosten anfallen. Nicht zu vergessen sind der mögliche Prestigewert und der architektonische Wert einer Solarfassade. Die Module können mit den im Glasfassadenbau üblichen Befestigungssystemen montiert werden.
 - Vor der Fassade: Die Module werden auf die vorhandene Fassade montiert.
 - Kalt-/Warmfassade: Die Module werden als äußere Schale einer Kalt- oder Warmfassade eingesetzt.
- Lichtdachkonstruktionen: PV-Module können die Funktion des Sonnenschutzes übernehmen. Interessant ist diese Anwendung auch für die Überdachung offener Bereiche (z.B. Bahnsteig).
- Sonnenschutzeinrichtungen

Des Weiteren können PV-Module in beliebigen Formen und Größen hergestellt und mit sämtlichen optischen und funktionalen Produkteigenschaften von Gläsern ausgestattet werden. Somit werden maßgeschneiderte, auf die Architektur des Gebäudes abgestimmte Lösungen ermöglicht.

Zu beachten ist, dass das Montagesystem einen Einfluss auf den Energieertrag der Anlage hat. Neben einer nicht optimalen Ausrichtung oder Verschattung des Solargenerators führt eine schlechte Hinterlüftung der PV-Module, wegen einer daraus resultierenden höheren Betriebstemperatur, zu einer Minderung des Energieertrages. Die Ertragseinbuße eines dachintegrierten Solargenerators ohne Hinterlüftung beträgt im Vergleich zu einem gut hinterlüfteten Solargenerator ca 3,3% (Quelle: DGS, Photovoltaische Anlagen). Außerdem weisen Spezial- oder Sondermodule oft niedrigere Wirkungsgrade als Standardmodule auf.

Neben der Montage auf Gebäuden können PV-Module mit speziellen Trägerkonstruktionen auf freien Flächen errichtet werden. Man spricht von Freiflächenanlagen.

Planung einer Photovoltaik-Anlage

Zunächst muss geprüft werden, ob der vorgesehene Standort zur Installation einer PV-Anlage geeignet ist. Wichtige Faktoren bei der Ermittlung der nutzbaren Fläche sind Ausrichtung und Verschattung.

Die fachgerechte Planung einer PV-Anlage ist Voraussetzung für einen optimalen Stromertrag. Bei der Planung müssen insbesondere folgende Punkte beachtet werden:

- **Azimutwinkel:** Der Azimutwinkel (a) gibt die Abweichung des Solargenerators von der Südausrichtung an. Optimal ist Südausrichtung ($a = 0^\circ$). Die Ertragseinbuße beläuft sich bei Ost- ($a = -90^\circ$) und Westausrichtung ($a = 90^\circ$) auf ca 20% (bei einem Neigungswinkel von 30°).
- **Neigungswinkel:** Der Neigungswinkel (b) gibt die Neigung des Solargenerators von der Horizontalen an. In Luxemburg ist eine Neigung von 30° optimal. Die maximale Ertragseinbuße beläuft sich bei einem Neigungswinkel zwischen 10° und 60° auf ca 10% (bei Südausrichtung). Ab einem Neigungswinkel von 12° ist die Selbstreinigung der Module durch abfließendes Regenwasser meist ausreichend (wenn kein übermäßiger Laubeinfall und keine starke Verschmutzung durch Staub oder Vogelexkrementen) (Quelle: DGS, Photovoltaische Anlagen).
- **Verschattung:** Ein Solargenerator, der auch nur zum Teil im Schatten liegt, kann schon beträchtlich an Leistung verlieren. Deshalb muss die Verschattung des Solargenerators so weit wie möglich vermieden werden und das über den größtmöglichen Zeitraum im Jahr. Mögliche Schattenverursacher sind u.a. Topografie, Vegetation, umliegende Gebäude, Hochspannungsmaste und -kabel, Antennen, Schornsteine und Dachvorsprünge.
- Abstimmung des Solargenerators und der (des) Wechselrichter(s) sowie angemessenes Verschaltungskonzept.
- **Netzanschluss:** Im Vorfeld muss man beim Netzbetreiber anfragen, ob eine Anlage mit der gewünschten Leistung an dem gewünschten Standort an das Stromnetz angeschlossen werden kann. Für eine Anlage auf einem Einfamilienhaus ist das normalerweise der Fall.
- **Baugenehmigung:** Man sollte sich bei der Gemeindeverwaltung erkundigen, ob eine Baugenehmigung erforderlich ist, und diese gegebenenfalls beantragen.

Zur Planungsunterstützung sollte eine Simulation der Anlage durchgeführt werden. Darin werden verschiedene Parameter berücksichtigt: technische Daten der Anlage, Ausrichtung, Verschattung und Klimadaten. Somit kann eine Ertragsprognose erstellt, und daraus die Wirtschaftlichkeit der

Anlage und die Emissionsreduktion abgeleitet werden. Wird die Simulation für verschiedene Anlagenvarianten durchgeführt, kann so die beste Lösung ausgewählt werden. Beispiele von Simulationsprogrammen sind:

- PV*SOL,
- PVS 2.001,
- PVSYST.

Technik einer Photovoltaik-Anlage

PV-Module

Um die gewünschte Leistung zu erreichen, besteht ein Solargenerator gewöhnlich aus einer Anzahl PV-Modulen. Ein Modul selbst besteht aus einer Anzahl Solarzellen. Man unterscheidet drei verschiedene Zellarten.

Eigenschaften der verschiedenen Zellarten (Quelle: DGS, Photovoltaische Anlagen, und eigene Berechnungen)

Zellart	Monokristalline Siliziumzelle	Polykristallin Siliziumzelle	Amorphe Siliziumzelle (Dünnschicht)
Zellwirkungsgrad ¹ (%)	15-18	13-15	5-8
Flächenbedarf (m ² /kW _p)	7-9	9-11	16-20
jährlicher Ertrag (kWh/kW _p)	> 800	> 800	> 900
Lebensdauer (Jahre)	20-25	20-25	5-20
Erscheinungsbild	homogen dunkelblau bis schwarz	schimmernd blau	homogen braun bis schwarz
Herstellung	Tiegelziehverfahren	Blockgießverfahren	Aufdampfverfahren
energetische Amortisationszeit ² (Jahre)	4-5	3-4	2-3

1: Der Modulwirkungsgrad liegt üblicherweise 1 bis 3% unter dem Zellwirkungsgrad.

2: Betriebsdauer, in der die PV-Anlage soviel nutzbare Energie erzeugt wie Energie zur Herstellung verbraucht wird

Wenn es gilt eine maximale Leistung auf eine beschränkte Fläche zu installieren, kommen wegen des geringeren Flächenbedarfs vorzugsweise mono- und polykristalline Module zum Einsatz. Außerdem zeichnen sich kristalline Module durch ihre Langlebigkeit aus. Der geringere Wirkungsgrad von poly- zu monokristallinen Modulen wird durch einen Preisvorteil in etwa ausgeglichen.

Amorphes Silizium lässt sich neben Glas auch auf flexible Trägermaterialien (Metall- und Kunststofffolien) aufbringen. Trotz des relativ geringen Wirkungsgrades kann die Energieausbeute unter bestimmten Bedingungen recht hoch sein. Die Ausnutzung von diffusem Licht ist bei amorphen Zellen besser und der Leistungskoeffizient, d.h. die Leistungsabnahme in Abhängigkeit

der steigenden Betriebstemperatur, kleiner als bei kristallinen Zellen. Amorphe Module eignen sich besonders bei Indach-Systemen für flache und schräge Dächer.

Bei der Auswahl eines PV-Moduls sind neben der Nennleistung folgende wichtige Punkte zu beachten:

- Die Toleranz gibt an, wie weit die unter standardisierten Testbedingungen gemessene tatsächliche Leistung von der Nennleistung (Leistung unter folgenden Standard-Test-Bedingungen (STC, Standard Test Conditions: Strahlungsleistung 1000 W/m^2 , spektrale Dichte AM 1,5, Zelltemperatur 25°C) abweichen kann. Dieser Wert sollte möglichst niedrig sein.
- Der Modulwirkungsgrad gibt den Wirkungsgrad des gesamten Moduls wieder und berücksichtigt u.a. Randabstand und Packungsdichte der Zellen sowie Verluste am Deckglas. Dieser Wert sollte möglichst hoch sein.
- Der Leistungskoeffizient gibt an, um welchen Prozentsatz die Leistung variiert, wenn sich das Modul um 1°C erwärmt oder abkühlt. Dieser Wert sollte möglichst niedrig sein, damit das Modul an warmen Tagen eine möglichst hohe Leistung erbringen kann.
- Die Nennbetriebstemperatur (NOCT, Normal Operating Cell Temperature) gibt an, welche Temperatur sich bei einem Modul unter folgenden standardisierten Testbedingungen einstellt: 800 W/m^2 , AM 1,5, Windgeschwindigkeit 1 m/s , Umgebungstemperatur 20°C . Je kühler das Modul bleibt, desto besser ist der Ertrag.
- Die Rahmung mit eloxiertem Aluminium hat sich durchgesetzt.
- Das Modul sollte in Bezug auf die Qualität nach der Norm IEC 61215 (IEC 61646 für Dünnschicht-Module) zertifiziert sein und in Bezug auf die Sicherheit den Anforderungen entsprechend der Schutzklasse II (SKL II) genügen.
- Der elektrische Anschluss sollte vorzugsweise über verpolungssichere Steckverbinder geschehen.
- In Luxemburg muss jeder Hersteller für mindestens 2 Jahre das einwandfreie Funktionieren seiner Geräte garantieren. Einige Hersteller bieten bereits eine 5-jährige Produktgarantie an.
- Die Leistungsgarantie sollte bei mono- und polykristallinen Zellen 90% der Nennleistung über 10 Jahre und 80% über 25 Jahre betragen. Einige Hersteller gewähren die Garantie nur auf die Minimalleistung, gemessene oder ausgelieferte Leistung.

Wechselrichter

Der Wechselrichter wandelt den vom Solargenerator erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom um, der ins Stromnetz eingespeist werden kann. Um die maximale Leistung ins Stromnetz einzuspeisen, wird der Arbeitspunkt des Wechselrichters an den Punkt maximaler Leistung (MPP, Maximum Power Point) des Solargenerators, der sich durch unterschiedliche Einstrahlungs- und Temperaturverhältnisse ändert, angepasst. Außerdem erfüllt ein Wechselrichter folgende Aufgaben:

- Betriebsdatenerfassung, -speicherung und -signalisierung (z.B. Display und/oder Datenübertragung und PC-Auswertung) zur Überwachung der PV-Anlage,
- DC- und AC-Schutzeinrichtung (z.B. Verpolungsschutz, Überspannungs- und Überlastschutz, Überwachungs- und Schutzeinrichtungen zur Einhaltung der VDE-Richtlinien für Eigenzeugungsanlagen).

Zur Dimensionierung des Wechselrichters kann als Faustregel ein Verhältnis zwischen Solargenerator- und Wechselrichterleistung von 1:1 angesetzt werden. Je nach Konzept und Montageort des Wechselrichters kann dessen Leistung zwischen 70 und 120% der Nennleistung des Solargenerators ausgelegt werden (Quelle: DGS, Photovoltaische Anlagen). Wenn der

Wechselrichter hohen thermischen Belastungen ausgesetzt sein kann (Montage im Außen- und Dachbereich), sollte die Wechselrichterleistung höher als die Solargeneratorleistung gewählt werden. Ansonsten kann eine gewisse Unterdimensionierung der Leistung des Wechselrichters oft einen höheren jährlichen Nutzungsgrad erzielen, denn Wechselrichter haben ein Wirkungsgradmaximum meist bei 50 bis 80% ihrer Nennleistung und ein Solargenerator erreicht unter normalen Anwendungsbedingungen nur selten die unter Standard-Test-Bedingungen (STC) gemessene Nennleistung.

Der Wechselrichter sollte an einem möglichst kühlen und trockenen Platz installiert werden, der außerdem leicht zugänglich ist. Bei steigender Umgebungstemperatur steigen die Verluste im Wechselrichter. Das einwandfreie Funktionieren der Anlage sollte regelmäßig über die Angaben im Wechselrichter überprüft werden.

Der Trend bei Wechselrichtern im kleinen Leistungsbereich geht zu traflosen Wechselrichtern. Deren Vorteile sind ein höherer Wirkungsgrad sowie geringeres Gewicht und geringere Baugröße. Allerdings sind zusätzliche Schutzeinrichtungen erforderlich.

Bei der Auswahl eines Wechselrichters sind folgende wichtige Punkte zu beachten:

- Maximale Leistung, die ein Solargenerator haben darf, damit der Wechselrichter sicher und optimal betrieben werden kann.
- Der Wechselrichter sollte vorzugsweise eine ENS (selbsttätig wirkende Freischaltstelle mit zwei selbsttätigen parallelen Einrichtungen zur Netzüberwachung mit jeweils zugeordnetem Schaltorgan in Reihe) beinhalten. Diese erkennt einen Netzausfall oder eine Netzabschaltung und trennt die PV-Anlage vom Netz.
- Die Leistung, die der Solargenerator mindestens erzeugen muss, damit der Wechselrichter anfangen kann zu arbeiten, sollte möglichst niedrig sein.
- Die Standby-Leistung (Leistung, die der Wechselrichter verbraucht, wenn er nicht einspeist) und die Nacht-Leistung (Leistung, die der Wechselrichter verbraucht, wenn er „ausgeschaltet“ ist) sollten so gering wie möglich sein.
- Der europäische Wirkungsgrad, der unter Berücksichtigung der Solareinstrahlung in Mitteleuropa berechnet wird, sollte möglichst hoch sein. Dieser gemittelte Wirkungsgrad ist aussagekräftiger als der maximale Wirkungsgrad. Während den meisten Betriebsstunden wird der Wechselrichter mit einem geringen Teil seiner maximalen Leistung belastet. Der Wirkungsgrad ist aber nicht über den gesamten Leistungsbereich konstant.
- Das Überlastverhalten gibt an, wie der Wechselrichter bei Überbelastung reagiert (Arbeitspunktverschiebung, Leistungsbegrenzung, Abschaltung).
- Umgebungstemperatur, Luftfeuchte und Schutzart geben Aufschluss darüber, unter welchen Umgebungsbedingungen der Wechselrichter betrieben werden kann. Ein Wechselrichter im Außenbereich sollte den Schutzgrad IP 65 aufweisen.
- Je nach Art und Aufbau des Wechselrichters (z.B. ohne oder mit Lüfter) reicht der Geräuschpegel von kaum wahrnehmbar bis störend. Der Geräuschpegel sollte bei der Wahl des Installationsortes des Wechselrichters berücksichtigt werden.
- In Luxemburg muss jeder Hersteller für mindestens 2 Jahre das einwandfreie Funktionieren seiner Geräte garantieren. Einige Hersteller bieten eine 5-jährige Produktgarantie an.

Je nach Verschaltungskonzept unterscheidet man 3 Arten von Wechselrichtern (siehe Verkabelung):

- Anlagenwechselrichter,
- Strangwechselrichter,
- Modulwechselrichter.

Verkabelung

Die PV-Module werden durch Reihen- und Parallelschaltung zum Solargenerator zusammengefügt. Die in Reihe geschalteten Module werden als Strang bezeichnet.

Je nach Verschaltungskonzept unterscheidet man 3 Arten von Wechselrichtern:

- **Anlagenwechselrichter:** Ein Wechselrichter übernimmt die gesamte Leistungsumwandlung der Anlage. Die einzelnen Stränge werden im Generatoranschlusskasten zusammengeführt. Dieses Konzept eignet sich gut bei kleinen Anlagen, wo es die günstigste Alternative darstellt.
- **Strangwechselrichter:** Der Solargenerator wird in mehrere Stränge aufgeteilt. Für jeden Strang wird ein Wechselrichter installiert. Bei Ausfall eines Wechselrichters oder Verschattung eines Stranges ist die Funktion der anderen Stränge uneingeschränkt. Bei größeren Anlagen ergibt sich durch direkten Anschluss der Wechselrichter an die Stränge im Vergleich zum Anlagenwechselrichter eine Reduzierung der Kosten und der Verluste in der Gleichstromverkabelung.
- **Modulwechselrichter:** Jedes Modul besitzt seinen eigenen Wechselrichter. Die Verkabelung besteht nur aus einer recht einfachen Wechselstromverkabelung. Der Vorteil bei diesem Konzept ist, dass die eventuell verschatteten Module abgeschaltet werden und so keinen Einfluss auf den Rest der Anlagenleistung haben.

Bei Anlagen, die aus Teilgeneratorflächen mit unterschiedlichen Ausrichtungen bestehen, oder bei Anlagen, die teilweise verschattet sind, sollten Strang- oder Modulwechselrichter eingesetzt werden.

Bei der Verkabelung einer PV-Anlage ist besonders auf die Gleichstromverkabelung zu achten. Um hohe Verluste zu vermeiden, müssen die Kabelquerschnitte ausreichend groß dimensioniert sein. Bei Verlegung im Freien müssen die Kabel UV- und ozonbeständig sowie wärme- und kältebeständig sein. Am häufigsten wird dazu eine doppelt isolierte Gummischlauchleitung vom Leitungstyp H07 RN-F eingesetzt.

Außerdem sollte der Wechselrichter so nah wie möglich an den Modulen installiert werden um die Gleichstromkabel so kurz wie möglich zu halten. Der Wechselrichter sollte jedoch auch an einem möglichst kühlen und trockenen Platz installiert werden, der außerdem leicht zugänglich ist.

Netzanschluss

Wegen der günstigen Vergütung der ins Stromnetz eingespeisten elektrischen Energie ist es in Luxemburg empfehlenswert eine PV-Anlage ans Stromnetz anzubinden.

Der Anschluss der PV-Anlage an das Stromnetz muss beim Netzbetreiber beantragt werden und auch von diesem abgenommen werden.

Zur Messung der eingespeisten elektrischen Energie wird ein PV-Zähler installiert. Dabei handelt es sich um einen Zweirichtungszähler, der zwischen der gelieferten elektrischen Energie und der bezogenen elektrischen Energie (Eigenverbrauch der Anlage, gering im Vergleich zur gelieferten Energie) unterscheidet.