

Amortisationszeit (vereinfacht)	Amortisationszeit [Jahre] = $\frac{\text{Investitionskosten [€] - Förderung [€]}{\text{Einspeisevergütung [€ / kWh]} \times \text{jährlicher Ertrag [kWh / a]}}$
Anlagenkosten	<ul style="list-style-type: none"> Siehe unter ‚Auswahl der Größe‘ Ein teureres Angebot muss nicht das Schlechtere sein \rightarrow Technische Spezifikationen, Leistungstoleranzen und Garantiebedingungen vergleichen!
Anschluss an das Netz der allgemeinen Versorgung	<ul style="list-style-type: none"> Anschluss durch einen vom Stromversorger zugelassenen Elektriker Anmeldung der Anlage beim zuständigen Stromversorger durch den Elektroinstallateur Maßgebliche Anforderungen stellen: <ul style="list-style-type: none"> Norm DIN EN 61727 (IEC 61727), Normentwurf VDE 0126 Teil 1, VDEW-Richtlinie „Richtlinie für den Anschluss von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, „Technische Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz TAB 2000“ der Verteilungsbetreiber (VNB) Bezug von elektrischer Energie von einem frei wählbaren Stromlieferanten, für die Einspeisung des Solarstroms ist der örtliche Netzbetreiber zuständig
Aufstellungsort	<ul style="list-style-type: none"> Solargenerator: Hausdach, (Garagen-)Flachdach, Fassade, Balkonbrüstung, (Terrassen-) Überdachung, Mast, Garten, ... Sind Leerrohre, Schächte oder freie Kaminzüge vom Dach zum Keller vorhanden? Lüftungsdurchführung für die Kabeldurchführung? Netzeinspeisegerät: am besten Ort mit gleichbleibend kühler Temperatur, stabiler Luftfeuchtigkeit und staubfreier Umgebungsluft (z.B. im Keller nah am Zählerschrank oder Sicherungskasten), bei Strangwechselrichtern u.U. in der Nähe der Modulstränge
Auswahl der Größe (Flächenbedarf, Kosten, Ertrag)	<ul style="list-style-type: none"> Kriterium „Nutzbare Fläche“ bei derzeitiger Technik \rightarrow pro kWp: kristallin ca. 6 - 11 m², Dünnschicht ca. 11 - 20 m² Kriterium „Verfügbares Budget“ \rightarrow pro kWp: ca. 4.000 – 6.000 € (je nach Größe, Qualität, Technik, Ausstattung z.B. Datenerfassung/Schnittstelle, Display, selbsttätige Freischaltstelle SFS (z.B. dreiphasige Spannungsüberwachung oder ENS)) Kriterium „Gewünschter Energieertrag“ \rightarrow pro kWp: ca. 700 – 850 (selten 900 - 1.000) kWh/a
Baugenehmigung beim Bauamt bzw. der Kommunalverwaltung	<ul style="list-style-type: none"> PV-Anlagen sind bauliche Anlagen im Sinne des Baurechts (eine aus Bauprodukten hergestellte Anlage, die direkt oder indirekt z.B. über ein Gebäude mit dem Erdboden verbunden ist). Mit zunehmender Integration einer PV-Anlage in die Gebäudehülle erhöhen sich die baurechtlichen Anforderungen PV-Anlagen sind in i.d.R. baugenehmigungsfrei bei Montage in/an der Dach- oder Außenwandfläche (in Hessen baugenehmigungsfrei in der Dachfläche, in der Fassade oder auf Flachdächern andernfalls nur bis zu 10 m²; s. HBO § 55 Anl. 2 Nr. 3.9) Baurechtliche Bestimmungen sind auch bei baugenehmigungsfreien Anlagen zu beachten: materielles Baurecht, Vorschriften über Bauprodukte und Bauarten, Brandschutzanforderungen, Statik und Standsicherheit, Verkehrssicherheit, Abstandsflächen zu Grundstücksgrenzen Für aufgeständerte Solargeneratoren können in einigen Bundesländern Auflagen bestehen Einschränkungen durch örtliche Bebauungspläne sind ggf. zu beachten. Genehmigungspflicht bei Denkmal-/Ensembleschutz \rightarrow Möglichst gute Integration in das Gebäude z.B. mittels Solardachziegeln oder nicht einsehbarer Solargenerator. Verantwortlich für die Einhaltung aller Bestimmungen und Vorschriften sind der Bauherr und seine Beauftragten
Beratung s.a. ‚Informationen‘	<ul style="list-style-type: none"> Energieberatungsstellen (für Hessen siehe www.hessenENERGIE.de), Solarfachhandel, Elektroinstallateure, Ingenieurbüros
Betriebskosten	<ul style="list-style-type: none"> Kosten für Versicherung ca. 0,3 bis 0,4 % der Investitionssumme, inkl. Wartung und Sonstigem ca. 0,5 bis 2,0 % der Investitionssumme Abschreibung der Errichtungskosten
Blitzschutz	<ul style="list-style-type: none"> Direkte Blitzschläge: das Eintrittsrisiko wird durch Solaranlagen im Allgemeinen nicht erhöht \rightarrow Errichtung einer Blitzschutzanlage (durch Fachbetrieb) i.d.R. nur bei exponierter Lage des Gebäudes bzw. PV-Generators; bei bestehender Blitzschutzanlage 0,5 m Mindestabstand des PV-Generators von Blitzableitern, keine Erdung oder Anschluss der Modulgestelle an Blitzableiter Indirekte Blitzschläge: Überspannungsableiter (Varistoren) im Generatoranschlusskasten und Netzeinspeisegerät \rightarrow Entfernung Überspannungsableiter zu Modulen mögl. kurz (unter 10 m!); Strangwechselrichter ohne Funktionskontrolle der Überspannungsableiter möglichst nahe an den PV-Generator DIN VDE 0185 (DIN 57185) Blitzschutzanlage, VDE 0100 Teil 712 (PV-Anlagen), VDE 0100 Teil 540 (Erdung und Potenzialausgleich), ...
Dach Schrägdach	<ul style="list-style-type: none"> Ausreichend Dachhaken oder Stockschrauben setzen, insbesondere an den Rändern und am First Über den Dachziegeln mit Dachhaken \rightarrow Belastung der Ziegel vermeiden, sonst mittelfristige Zerstörung Alternativ spezielle Befestigungsziegel für gängige Pfannen- und Ziegeltypen
Flachdach	<ul style="list-style-type: none"> Mechanisch feste Verankerung optimal bei Neubau oder Dachsanierung Lose Befestigung mit zusätzlichem Ballast zur Sturmsicherung (Dachstatik beachten) Montagewannen (aus Kunststoff, Metall, Faserzement), Beschwerung durch vorhandene Dachauflage (Kies, Platten, auch für Grasdächer) \rightarrow Gegenseitige Abschattung der Modulreihen vermeiden (Abstand mindestens das 4 bis 6fache der Modulreihenhöhe \rightarrow max. Belegung der Dachfläche ca. 40 %)
Integration	<ul style="list-style-type: none"> Dichtigkeit des Daches und ausreichende Hinterlüftung der Module beachten, Investitionsmehrkosten etwa 10 bis 50 % über Anlagen mit aufgeständerten Modulen, Einsparung konventioneller Dacheindeckung, kürzere Montagezeit
Diebstahl	<ul style="list-style-type: none"> Daten angebotener Module u.U. mit einem Diebstahlregister vergleichen, z.B. \rightarrow http://www.sfv.de/lokal/maills/pj/gestohle.htm Beim Kauf von Solarmodulen vorsorglich deren Fabrikate, Typbezeichnung und Fabrikationsnummern notieren
Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> Für spätere Wartungs- oder Änderungsarbeiten an Solaranlagen oder Hauselektrik \rightarrow Technische Daten der Anlage und ggf. Montageanleitung, Inbetriebnahme- und Prüfprotokoll, Versicherungsverträge, Betriebsdaten mit Erfassung von Ausfällen, sonstigen Schriftwechsel
Einspeisevergütung seit 1.1.2004 geregelt durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	<ul style="list-style-type: none"> In der Höhe abhängig von der Generatorleistung der Anlage (kWp), des Einsatzfalls und des Inbetriebnahmejahres: <u>derzeit mind. 43,42 bis max. 59,53 Cent/kWh (Werte für 2005) für 20 Jahre plus verbleibende Monate des Inbetriebnahmejahres</u> <u>Grundvergütung</u> \rightarrow 45,7 Ct/kWh (bei Inbetriebnahme in 2004) Reduktion des Vergütungssatzes bei Inbetriebnahme nach 2004: 5 % pro Jahr gerechnet ab 2005, bei Freiflächen-Anlagen 6,5 % gerechnet ab 2006 <u>Bonus bei Anlagen an/auf Gebäude oder an/auf Lärmschutzwand</u> \rightarrow bis 30 kWp: 11,7 Ct/kWh; über 30 bis 100 kWp: 8,9 Ct/kWh; über 100 kWp: 8,3 Ct/kWh [Bsp. 75 kWp: $30/75 \times 11,7 + (75-30)/75 \times 8,9 = 10,02$ Ct/kWh] Reduktion des Vergütungssatzes bei Inbetriebnahme nach 2004: 5 % pro Jahr gerechnet ab 2005, bei Freiflächen-Anlagen 6,5 % gerechnet ab 2006 <u>Bonus bei Anlagen als Dachersatz oder am Gebäude</u> (nicht auf dem Dach) \rightarrow 5,0 Ct/kWh, keine Reduktion des Vergütungssatzes bei Inbetriebnahme nach 2004

Elektrosmog, EMV	<ul style="list-style-type: none"> • Wechselrichter (WR) können hoch- und niederfrequente elektromagnetische Felder auf Elektroinstallation und PV-Generator übertragen • WR auf dem deutschen Markt halten die Grenzwerte der Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (26. BImSchV) zum Elektrosmog ein • Zusammengehörige Gleichstromleitungen möglichst eng aneinander und möglichst nicht entlang von Wechselstromleitungen verlegen • Elektr. Leitungen und Geräte mit möglichst großen Abständen (mind. 2 m) von Erholungs- und Schlafbereichen → WR-Install. z.B. im Keller • Höhere elektromagnetische Beeinflussung bei trafolosen Wechselrichtern → Kompensation durch spezielles Schaltungsverfahren möglich • Bei Einsatz von Netzfreischaltern darauf achten, dass die Solarstromleitungen ausserhalb der freischaltbaren Zonen verlegt werden • Unter Umständen Abschirmung von elektrischen Feldern durch bauliche Massnahmen → z.B. Metaldächern, spezielle Ausbauplatten • Baubiologische Untersuchungen zum Thema → Fraunhofer ISE Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg (G. Bopp, R. Schätzle) 										
Erntefaktor energetische Amortisation	<ul style="list-style-type: none"> • Verhältnis von gewonnener Energie zu zur Anlagenherstellung eingesetzter Energie: ca. 5 bis 11 (komplette Anlage) • Energetische Amortisation bzw. Energierücklaufzeit derzeit → monokristalline Module: ca. 5,7 - 6,2 Jahre; polykristalline Module: ca. 4,3 - 4,8 Jahre; amorphe Module: ca. 3 - 3,7 Jahre; CIS-Module ca. 3,5 - 4,1 Jahre; CdTe-Module ca. 2,7 - 3,2 Jahre 										
Ertrag, zu erwartender	<ul style="list-style-type: none"> • In der Regel 700 – 850 kWh/kW_p, selten 900 bis 1.000 kWh/kW_p • ggf. Simulation mit Computerprogramm 										
Ertragsminderung	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe 'Verschattung' sowie 'Neigung und Orientierung' 										
Förderung	<ul style="list-style-type: none"> • KfW-Förderbank: www.kfw-foerderbank.de, Tel. 01805 / 33 55 77 (9 - 18 Uhr: 4,6 Ct/min, 18 - 9 Uhr: 2,5 Ct/min aus Telekom-Festnetz) • Übersichtstabelle Förderprogramme Bund und Hessen: www.hessenENERGIE.de 										
Garantie	<p>Stichworte: Leistungstoleranz, Produktgarantie, Leistungsgarantie, Ertragsgarantie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leistungstoleranz: liegt die mittlere Leistung der Module beim Nennwert oder im Bereich der maximalen Negativabweichung? → Vorteilhaft: die Leistungstoleranz beschränkt sich ausschließlich auf positive Toleranzen. • Beschreibung der Garantieleistungen und -bedingungen genau überprüfen → Wird eine Leistungsgarantie gewährt oder die bessere Ertragsgarantie? Bezieht sich die Leistungsgarantie auf die Nenn- oder auf die geringere Mindestleistung der PV-Module? Wie werden die zugesagten Erträge begründet? Gibt es Einschränkungen? Wie sieht eine evtl. eingeräumte Entschädigungsregelung/-zahlungen bei Minderertrag aus? • Für die ersten beiden Jahre gilt die in Deutschland gesetzlich vorgeschriebene Gewährleistungspflicht: welche Abhilfe bei Nichterfüllung zugesicherter Eigenschaften? → Ein weitergehender Schadenersatz z.B. für den Ausfall von Ertragsvergütung fällt nicht unter die Gewährleistung! • Bei über die gesetzliche Gewährleistungsfrist hinausgehenden Garantien nicht von langen Laufzeiten beeindruckt lassen, sondern die Bedingungen bzw. Einschränkungen im Detail prüfen → Derzeitig übliche Garantiezeiten betragen 10 bis 40 Jahre • Entwurf für Ertragsgarantie → www.sfv.de/lokal/emails/wvf/ertragsg.htm 										
Inbetriebnahme (s.a. Teil2 'Nach der Inbetriebnahme')	<ul style="list-style-type: none"> • Inbetriebnahme möglichst spätestens zum 31.12. des laufenden Jahres → die höhere Vergütungssätze des laufenden Jahres sind attraktiver als die längere Vergütungszeit bei Inbetriebnahme im Folgejahr (Vergütungszeit = 20 Jahre + verbleibende Monate des Inbetriebnahmejahrs) • Inbetriebnahme nach § 3 (4) EEG ist die erstmalige Inbetriebsetzung der Anlage nach Herstellung ihrer technischen Betriebsbereitschaft → gemäß § 3 (2) EEG zählt jedes einzelne Solarmodul als selbständige Anlage und hat somit seinen eigenen Betriebsbeginn, aus dem sich seine Einspeisevergütung ergibt (für z.B. im Folgejahr nachgelieferte Solarmodule kommt die verringerte Vergütung des Folgejahres zum Tragen) • Falls der Netzbetreiber die Abnahme der Anlage vor Jahreswechsel nicht vornehmen kann/will, empfiehlt sich eine Beweissicherung des Inbetriebnahmezeitpunkts, damit die höhere Einspeisevergütung des laufenden Jahres gewährt wird → rechtzeitige und nachweisbare, schriftliche Meldung der Betriebsbereitschaft an den Netzbetreiber; Bezeugung der Betriebsbereitschaft durch einen Unabhängigen (z.B. eine protokollierte gleichstromseitige Messung von Kurzschlussstrom und Leerlaufspannung aller Modulstrings; Nachweis mittels Inaugenscheinnahme der vorschriftsmässigen Montage aller erforderlichen Wechselrichter 										
Informationen (s.a. 'Beratung')	<ul style="list-style-type: none"> • „Technische Anforderungen, Planungs- und Installationshinweise (8/2000)“ vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten (HMULF) als Download im pdf-Format im Internet → http://www.hessenenergie.de/Info-Bereiche/Photovoltaik/pv-antec.htm • Informationen, Berechnungshilfen, Firmenadressen, Übersichten u.a.: <ul style="list-style-type: none"> www.boxer99.de www.bsi-solar.de (u.a. Firmenverz.) www.bva-bielefeld.de/zeit/sw/ (Firmenverz.) www.cleanenergy.de www.dgs.de www.eco-address.de (Firmenverz.) www.gelbeseiten.de (Firmenverz.) www.iwr.de/solar (u.a. Firmenverz.) www.mysolar.com www.photon.de/firmen/firmen.aspx (Firmenverz.) www.sfv.de www.solarbranche.de (Firmenverz.) www.solarbusiness.de (Firmenverz.) www.solarcontact.de www.solarenergie.com (u.a. Firmenverz.) www.sonnenenergie.de www.solarfix.de (Firmenverz.) www.solarfoerderung.de www.solarinfo.de www.solarportal24.de www.solarpraxis.de www.solarrechner.de www.solarserver.de (u.a. Firmenverz.) www.solartechnikberater.de www.solarwirtschaft.de www.solid.de www.top50-solar.de 										
Installation	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeiten auf dem Dach nie ohne Absturzsicherung • Spannungsführung der Module beachten → anliegende Spannung bereits bei schwachem Lichteinfall! • Freiliegende Kontakte gegen zufälliges Berühren schützen → Lichtbogengefahr! • Elektrische Leitungen nicht quetschen oder knicken • Netzanschluss nur durch Fachbetrieb • Zur eigenen Sicherheit → z.B. Arbeitsschutzgesetz, Arbeitsstättenverordnung, Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften beachten 										
Kabel und Kabelverbindungen	<ul style="list-style-type: none"> • Lüfterziegel oder einzufräsende Nut an der Unterkante eines Dachsteins zur Leitungsdurchführung durch die Dachhaut • Verlegung in Leerrohren, stillgelegtem Kamin, Installationsschacht, auf Außenwand hinterm Regenrohr • Kurze Leitungen zwischen Solarmodulen, Anschlusskasten und Netzeinspeisergerät zur Minimierung der Energieverluste • Ausgelegt für die auftretenden Spannungen und Ströme, kurz- und erdschlusssicher, im Außenbereich für den Außeneinsatz geeignet (UV-, Ozon- und wärmebeständig) • Leitungen mechanisch dauerhaft fixieren → z.B. ist die Befestigung durch Kabelbinder nicht ausreichend • Dauerhaften Schutz der Leitungen vorsehen → Schutzrohr zur Vermeidung von Scheuern und Belastung durch z.B. rutschendes Eis oder Schnee • Geprüfte Steckverbindungen statt fehlerträchtiger Klemm-/Schrupfverbindungen → Steckverbinder müssen spürbar einrasten • Dauerhafte Beschriftung der Leitungen vornehmen; korrekten Verschaltungsplan erstellen 										
Langzeiterfahrungen	<ul style="list-style-type: none"> • Seit 1990 Langzeitstudien über Solarmodule im Freiland → Laboratory of Energy, Ecology and Economy LEEE-TISO in Lugano/Schweiz • Im Frühjahr 2004 begann die Zeitschrift „Photon“ vergleichende Messungen auf eigens eingerichteten Testgelände → www.photon.de 										
Neigung und Orientierung	<table border="0"> <tr> <td>• Südausrichtung und 30° Neigung →</td> <td>optimaler Ertrag = 100 %</td> </tr> <tr> <td>• Südwest oder Ostwest-Ausrichtung und 45° Neigung →</td> <td>ca. 95 %</td> </tr> <tr> <td>• Ost- oder Westausrichtung und 25° - 40° Neigung →</td> <td>ca. 80 %</td> </tr> <tr> <td>• zweiachsige, mechanische Nachführung → höherer Aufwand für Herstellung u. Wartung! Mögl. Alternative: größere Generatorfläche</td> <td>120 bis 130 %</td> </tr> <tr> <td>• Südfassade, senkrecht →</td> <td>ca. 65 %</td> </tr> </table>	• Südausrichtung und 30° Neigung →	optimaler Ertrag = 100 %	• Südwest oder Ostwest-Ausrichtung und 45° Neigung →	ca. 95 %	• Ost- oder Westausrichtung und 25° - 40° Neigung →	ca. 80 %	• zweiachsige, mechanische Nachführung → höherer Aufwand für Herstellung u. Wartung! Mögl. Alternative: größere Generatorfläche	120 bis 130 %	• Südfassade, senkrecht →	ca. 65 %
• Südausrichtung und 30° Neigung →	optimaler Ertrag = 100 %										
• Südwest oder Ostwest-Ausrichtung und 45° Neigung →	ca. 95 %										
• Ost- oder Westausrichtung und 25° - 40° Neigung →	ca. 80 %										
• zweiachsige, mechanische Nachführung → höherer Aufwand für Herstellung u. Wartung! Mögl. Alternative: größere Generatorfläche	120 bis 130 %										
• Südfassade, senkrecht →	ca. 65 %										
Performance Ratio (Qualitätskriterium)	$PR [\%] = \frac{\text{gemessener Solarstromertrag [kWh]} \times 1 [\text{kW} / \text{m}^2]}{\text{Nennleistung [kW}_p\text{]} \times \text{Globalstrahlung in Modulebene [kWh} / \text{m}^2\text{]}}$ <p>Performance Ratio i.d.R. pro Jahr oder Monat; gut 75 %, optimal 80 %</p>										
Service	<ul style="list-style-type: none"> • Service vor Ort? Langfristig verfügbar? Zügiger Austausch von defekten Geräten? 										

Solarmodule	<ul style="list-style-type: none"> Solarzellen werden zu einem Modul verschaltet, mehrere Module zum Generator Auswahlkriterien → Verarbeitungsqualität, Wirkungsgrad (s.a. 'Verschattung'), Anschaffungskosten, Nennleistung [kW_p] und Fertigungsstreuung (2 - 10 %), Produktgarantie (gesetzlich mind. 2 Jahre), Leistungsgarantie (Mindestleistung über z.B. 10 – 40 Jahre), Ertragsgarantie [kWh/a], Fortschreibung der Garantien bei Firmenstrukturierungen, Testergebnisse (Fertigung, Leistung), Nachweis von Prüfzertifikaten (s.a. 'Stand der Technik'), Konstruktion (geringe Erwärmung des Moduls durch geringste Abdeckungen auf der Rückseite und helle Hintergrundfolie, Abrutschen von Schmutz/Schnee ermöglichender Modulrahmen bzw. rahmenlos, Glasstärke besser 4 als 3 mm, strukturierte Glasoberfläche innen, hoher Randabstand der Zellen) Vorsortierung der Solarmodule nach dem Kriterium des MPP-Stroms → Strom im Arbeitspunkt der maximalen Leistung Korrekte Verschaltung der Solarmodule bzw. Strangaufteilung beachten → innerhalb der MPP-Eingangsgrenzen des Wechselrichters Einbauvorschriften der Module einhalten → z.B. Abstände der Module zueinander, Verwindung aufgrund unebener Unterkonstruktion
Solarstrom-Erzeugungskosten vereinf. Berechnung	$\text{Solar-Strompreis [€ / kWh]} = \frac{\text{Investitionskosten [€]} - \text{Förderungen [€]}}{20 [\text{Jahre}] \times \text{jährlicher Ertrag [kWh / a]}}$
Solarzellen	<ul style="list-style-type: none"> monokristallin → Wirkungsgrad η in Produktion ca. 14 - 17 %, Flächenbedarf ca. 6 – 9 m²/kW_p, Herstellungsprozess sehr energie- und kostenintensiv polykristallin → η_{Prod} ca. 13 - 15 %, ca. 8 – 11 m²/kW_p, in der Herstellung günstiger als monokristalline Zellen, erkennbar am Eisblumenmuster Kupfer-Indium-Diselenid (CIS, CuInSe₂) → ca. 11 – 13 m²/kW_p, Dünnschichttechnik, geringer Rohstoffverbrauch, einfache Herstellung Cadmiumtellurid (CdTe) → ca. 14 - 18 m²/kW_p, Dünnschichttechnik, geringer Rohstoffverbrauch, einfache Herstellung amorph (a-Si:H) → η_{Prod} ca. 5 - 7 %, ca. 14 - 20 m²/kW_p, Dünnschichttechnik, anfänglicher Alterungseffekt, Dachbahnen, Spezialmodule Dünnschichttechnik → gute Erträge auch bei häufiger diffuser Sonneneinstrahlung; Einsatzgebiete eher elektrische Kleingeräte, Kleinmodule, aber auch Solarfassaden, Dachintegration
Stand der Technik Normen	<ul style="list-style-type: none"> Anlage muss dem Stand der Technik entsprechen PV-Module müssen <ul style="list-style-type: none"> → eine CE-Kennzeichnung aufweisen, → der IEC 61215 „Terrestrische Photovoltaik-Module mit kristallinen Zellen - Bauartegnung und Bauartenzulassung“ (der vom Joint Research Center JRC entwickelte Standard Ispra 503 entspricht der IEC 61215.) bzw. der IEC 61646 „Terrestrische Dünnschicht-Photovoltaik-Module - Bauartegnung und Bauartenzulassung“ entsprechen und → die Schutzklasse II einhalten (die SKL II betrifft die Bedingungen zur Vermeidung gefährlicher Körperströme beim Berühren des Solargenerators bei Schutzkleinspannungen ab 120 Volt) Vorsicht: „Fertigung gemäß z.B. IEC 61215“ heißt nicht unbedingt, dass entsprechende Tests erfolgreich bestanden wurden Wechselrichter (Netzeinspeisegerät) muss ebenfalls die CE-Kennzeichnung besitzen Alle elektrischen Leitungen müssen für auftretende Spannungen und Ströme ausgelegt sowie kurz- und erdschlusssicher sein (s.a. 'Gleichstromkabel')
Statische Belastung	<ul style="list-style-type: none"> Zusätzliche Flächenlast durch den PV-Generator ca. 0,25 kN/m² (~ 25 kg/m², entsprechend ca. 15 % der zulässigen Gesamtlast); Prüfung der Dachstatik bei größeren Dachneigungen und windexponierten Standorten; Belastung durch Windsog beachten
Steuern, Recht	<ul style="list-style-type: none"> Beim Ordnungsamt klären, ob eine Gewerbeanmeldung erforderlich ist (Ordnungsrecht) Bei Gewinnerzielung: Einkommensteuer sowie Gewerbesteuer (bei Gewinn aus gewerblicher Tätigkeit von mehr als 24.500 € pro Jahr) Verpflichtung zur Umsatzsteuer (bekannt als Mehrwertsteuer bzw. Vorsteuer) bei regelmäßig über 50 % Einspeisung (Ausnahme Kleinunternehmerregelung: bei Jahresumsatz im Vorjahr max. 16.620 € und im laufenden Jahr voraussichtlich nicht über 50.000 €)
Trennstelle	<p>Trennung der Solarstromanlage bei Ausfall/Abschaltung des Netzes der allgemeinen Versorgung aus Sicherheitsgründen wahlweise durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> Eine von EVU-Mitarbeitern jederzeit zugängliche Trennstelle (z.B. an der Hauswand oder an der Grundstücksgrenze) Dreiphasige Überwachung der Netzfrequenz und –spannung im Netzeinspeisegerät (Prüfung bei Inbetriebnahme und danach alle drei Jahre) ENS-Schaltung im Netzeinspeisegerät (gemäß E DIN VDE 0126), einphasig bis maximal 5 kW_p, dreiphasig bis maximal 30 kW_p
Verfügbarkeit Qualitätskriterium	$\text{Verfügbarkeit [\%]} = \frac{365 [\text{d/a}] - \text{Ausfallzeit [\text{d/a}]}{365 [\text{d/a}]} \times 100 \%$ <p style="text-align: right;">Ziel: Anlage ohne Störungen bzw. Ausfallzeiten, d.h. Verfügbarkeit = 100 %</p>
Verschattung	<ul style="list-style-type: none"> Bereits kleine Teilabschattungen können zu erheblichen Ertragseinbußen führen <ul style="list-style-type: none"> → Minimierung ggf. durch Umsetzung von Antennen; Kürzung schattenwerfender Bäume; Änderung von Freileitungen; ausreichende Abstände zu Hindernissen (z.B. Schornsteinen); niedrige Systemspannung; Verschaltung der Module entsprechend dem Schattenverlauf; evtl. Verschattungsanalyse (Computersimulation, Sonnenstandanalyse); bei Flachdächern maximale Flächenbelegung i.d.R. ca. 30 - 40 % Vegetationen und Bebauungen → evtl. Absichten angrenzender Nachbarn Eigene Absichten → z.B. späterer Dachausbau, Dachfenster, solarthermische Anlage
Versicherung	<ul style="list-style-type: none"> Betriebshaftpflichtversicherung <ul style="list-style-type: none"> → evtl. abdeckbar über bestehende Gebäudehaftpflicht- oder private Haftpflichtversicherung; Achtung: Bauherrenhaftpflicht während der Bauphase! Schäden an der Solaranlage <ul style="list-style-type: none"> → durch Gefahren wie z.B. Feuer, Blitzschlag, Sturm/Hagel; Leitungswasser integrierbar in die Wohngebäudeversicherung Allgefahrendeckung (Vollkasko) <ul style="list-style-type: none"> → sollte Schäden versichern u.a. durch Erdbeben, Erdsenkung, Erdbeben, Hochwasser, Überschwemmung, Sturm, Frost, Hagel, Brand, Blitzschlag, Explosion u. Löschchen, Überspannung, Kurzschluss, Konstruktions-, Material-, Ausführungs- und Bedienungsfehler, Diebstahl, Sabotage, Vandalismus Leistungsumfang <ul style="list-style-type: none"> → Erstattung des Zeitwerts oder der Wiedererrichtung? Inkl. Fahrt-, Montage-, Frachtkosten? Selbstbehalt? Erstattung des Produktionsausfalls?
Wechselrichter Netzeinspeisegerät	<ul style="list-style-type: none"> Der Wechselrichter (WR) bzw. das Netzeinspeisegerät (NEG) dient zur Umwandlung des solaren Gleichstroms in netzkonformen Wechselstrom → durchschnittliche Effizienz bzw. Wirkungsgradverlauf bei Teillast (Stichwort „Europäischer Wirkungsgrad“, derzeit um 89 bis 96,5 %) ist wichtiger als der Maximalwirkungsgrad (derzeit um 97 %) Erfassung von Betriebsdaten, Anzeige von Fehlermeldungen Maximum-Power-Point-Regelung (MPP) der Spannung und des Stroms zur Optimierung der Generatorleistung Verhältnis von Wechselrichter- zu Generator-Nennleistung: Empfehlung 85 bis 100 % Installationsort: hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit gemäßigt (Vorsicht bei nicht gedämmten Dachböden! s.a. 'Aufstellungsort'); Geräuschentwicklung durch WR und Lüfter beachten (u.U. bis um 72 db) Mögliche Ausstattung: Display, ENS, Rechner-Schnittstelle, Fernabfrage Ertragsmessungen im WR weisen i.d.R. keine hohe Messgenauigkeit auf WR mit Trafo: Eingang- u. Ausgangsspannung sind galvanisch getrennt; Schutzkleinspannung möglich (unter 120 V keine gefährlichen Körperströme auf der DC-Seite); langjährige Betriebserfahrungen; i.d.R. geringer Elektromog; Potentialausgleich des PV-Generators verzichtbar; ohmsche u. magnetische Trafoverluste; höheres Gewicht und Baugröße WR trafolos: die Spannung des PV-Generators muss deutlich über dem Scheitelwert der Netzspannung liegen oder Einsatz von DC/DC-Hochsetzern; Einsatz meist als Strang- und Modulwechselrichter (dann Reduzierung der DC-Installation); höherer Wirkungsgrad; Gewicht und Baugröße geringer; Einsatz zusätzlicher Schutzeinrichtungen erforderlich (gleichstromsensitive Fehlerstromschutzschaltung, Erdung des PV-Generators); Arbeitspunkt schwankend; durchgängige Installation nach Schutzklasse II erforderlich; höhere elektromagnetische Beeinflussung Dauerhafte Beschriftung der (Strang-)Leitungen am Wechselrichter vornehmen
Zähler, Zählerschrank	<ul style="list-style-type: none"> Platz im Zählerschrank für den Einbau eines separaten Einspeisezählers erforderlich

Inbetriebnahme

Inbetriebnahme-protokoll	<ul style="list-style-type: none"> Inkl. Angabe von Messwerten der Strangspannungen → mit den Herstellerangaben vergleichen
---------------------------------	--

Regelmäßige Kontrollen

Eine PV-Anlage arbeitet nahezu wartungsfrei. Besonders wenn die Anlage keine automatische Funktionskontrolle oder Fehlerwarneinrichtungen aufweist, empfiehlt sich jedoch das regelmäßige Ablesen des Stromzählers und Kontrollen der Anlage, um frühzeitig Störungen erkennen und ggf. Ertragseinbußen zu vermeiden.

Sichtkontrolle der Generatorfläche	<ul style="list-style-type: none"> Teilabschattung verursachenden Schmutz (z.B. einzelne Blätter, Vogelkot, Blütenpollen, Ruß, Schnee) sofort entfernen (Wasserstrahl) nach ein paar Jahren Schmutzfilm auf den Glasscheiben entfernen
Mindestens monatliche Kontrolle	<ul style="list-style-type: none"> Funktionsanzeigen z.B. am Wechselrichter → Betrieb ohne Fehlermeldung? Wechselrichter mit Kühlung durch Lüfter → regelmäßige Reinigung der Lüftungsöffnungen Strangsicherungen in Ordnung? → Anzeige oder - soweit möglich - am Bauteil selbst: i.d.R. im Generatoranschlusskasten Überspannungsableiter in Ordnung? → Anzeige oder - soweit möglich - am Bauteil selbst: Sichtfenster weiß oder rot? Ablesen des Stromeinspeisezählers → Erfassung möglichst zum Ersten des Monats, bei dieser Gelegenheit die Bezugsmessung für Strom, Gas und Wasser notieren ('Verbrauchskontrolle')
Halbjährliche Kontrolle	<ul style="list-style-type: none"> Generatoranschlusskasten → <i>eingedrungene Insekten, Feuchtigkeit etc.</i>
Nach starken Gewittern	<ul style="list-style-type: none"> Sicherungen und Überspannungsableiter überprüfen, ggf. ausgelösten FI-Schalter wieder einschalten (s.a. 'Mindestens monatliche Kontrolle')
Erfolgsvergleich (s.a. Teil 1 'Vor dem Kauf')	<ul style="list-style-type: none"> Vergleich des solaren Ertrags [kWh/kWp] mit Anlagen in der Region (Achtung: Messeinrichtung des Netzeinspeisegerätes i.d.R. zu ungenau für den Vergleich verschiedener Anlagen – geeigneter ist der Stromzähler.) Performance Ratio (siehe Teil 1 'Vor dem Kauf') auf Basis der örtlichen Strahlungsdaten Aktuelle Monatswerte z.B. in Zeitschriften wie 'Photon' und 'Sonnenergie'; Korrekturfaktor für Generatorneigung berücksichtigen! Verfügbarkeit → siehe Teil 1 'Vor dem Kauf' Erfahrungsaustausch → Vereine, Verbände, Solarfirmen, Solar-Stammtische etc.
Notizen	<ul style="list-style-type: none"> Besonders die Unregelmäßigkeiten/Defekte bei Routinekontrollen notieren → betroffene Komponente wie z.B. Solargenerator, Wechselrichter, Länge des Ausfalls etc. - sehr hilfreich bei evtl. späteren Fehlerbehebungen

Für den Fachmann

Inbetriebnahme- und Prüfprotokoll	<ul style="list-style-type: none"> Wiederholung der Messungen alle drei Jahre → bei dieser Gelegenheit prüfen: Befestigung der Module, sonstige Schraubenverbindungen, Verschiebung des Dachstuhls, Verspannung der Modulfläche, Kabel und Kabelführung innen und außen, Klemmenanschlüsse, Steckverbindungen etc.
Netzeinspeisegerät ohne ENS	<ul style="list-style-type: none"> Wiederholungsprüfung alle drei Jahre mit Protokoll

Fehleranalyse

Minderertrag	<ul style="list-style-type: none"> Auslegung des Netzeinspeisegeräts zu gering kombiniert mit Leistungsabregelung (aus dem MPP-Bereich) Modulstrang ausgefallen → Leitungsbruch, lose Klemmenverbindung, abgeschattete Solarzellen, Erdschluss eines Strangkreises, Strangsicherung defekt sofern vorhanden Defekt des Netzeinspeisegeräts Defekt eines Solarmoduls → Blitzeinschlag, Vandalismus, Bypassdiode Alterserscheinung der Solarmodule → Qualitätsfrage bzw. in den ersten Monaten normal bei amorphen Modulen
Display am Netzeinspeisegerät ist abgeschaltet	<ul style="list-style-type: none"> kein solarer Ertrag oder Fehlerquelle: Gleichstrom-Hauptschalter, Steckverbindungen zum Netzeinspeisegerät, Strangsicherungen, Isolationsfehler, Klemmenverbindungen, Leitungsbrücke zwischen Modulen
Meldung „Netzfehler“	<ul style="list-style-type: none"> trotz solarem Angebot → Fehlerquelle: Netzausfall, Netzsicherungen, FI-Schalter, Zählervorsicherungen, Netzanschlussleitung
Häufiges Ein-/Ausschalten des Wechselrichters	<ul style="list-style-type: none"> Mögl. Gründe: hohe Umgebungstemperatur, Auslegung des Netzeinspeisegeräts zu gering, Randgebiet der Stromversorgung, landwirtschaftliche Maschinen, Aufzüge, Industriebetriebe
Lautes Brummen des Wechselrichters	<ul style="list-style-type: none"> Einstellung durch den Fachmann oder Defekt von Bauteilen
Leistungsspitzen über Nennleistung	<ul style="list-style-type: none"> Leistungsspitzen von 20 bis 30 % über der Nennleistung des Generators [kWp] sind ein Indiz für einen einwandfreien Zustand der Anlage