

Karl-Heinz Mentzel

Solarplanung

Optimierung einer Solarstromanlage

Solarplanung

Optimierung einer Solarstromanlage

0	Inhaltsverzeichnis	2
1	Einleitung	4
2	Solare Stromerzeugung - Energie mit vielen Pluspunkten	4
2.1	Strom, der universelle universelle Energieträger	4
2.2	Solarstrom und Smart Grid	5
3	Systeme, gesetzliche Anforderungen, Sicherheit, Verfahrensschritte	6
3.1	Systeme zur Netzeinspeisung und Inselbetrieb	6
3.1.1	Netzeinspeisung, Anforderungen, Anträge beim Netzbetreiber	6
3.1.2	Inselbetrieb, Abkoppelung vom öffentlichen Netz	7
3.1.3	Anlagen mit Steckeranschluss an das Hausstromnetz? -offene Fragen klären	8
3.2	Baugenehmigung, Bauanzeige	9
3.3	Meldung an Bundesnetzagentur und Inbetriebnahme - das Datum zählt	9
3.4	Überspannungsschutz und Erdung, Brandschutz	10
4	Planung einer Solarstromanlage, Komponenten	11
4.1	Standort, Platzbedarf für Anlage u. Zähleinrichtungen, Konzept definieren	11
4.1.1	Netzqualität prüfen	11
4.2	Komponenten einer Solarstromanlage	12
4.2.1	Der Wechselrichter, zentrale Steuerungs- und Kommunikationsanlage	12
4.2.2	Generator, Tragkonstruktion, Verkabelung	14
4.2.3	Laderegler, Inselwechselrichter, Akku-Packs	15
4.3	Solarkonzept erarbeiten, Varianten prüfen	16
4.4	Auslegung von Komponenten, Optimierung der Anlage	16
4.4.1	MPP-Arbeitsbereich, Eingangsspannung und Eingangsstrom am Wechselrichter	16
4.4.2	Prüfung auf Grenzsituationen	17
4.4.3	Balance zwischen Ertragsoptimierung und Belastung von Komponenten	18
4.4.4	Kabelverluste, Berechnung	20
4.4.5	Anordnung von Strings, Sortierung von Modulen	20
4.4.6	Vorzüge der symmetrischen Einspeisung	21
4.5	Solare Erzeugung, Eigenverbrauch und Verkauf	22
4.5.1	Eigenverbrauch maximieren	22
4.5.2	Solarstrom für Wärmeerzeugung? Grenzfälle und Werbung näher betrachtet	22
4.5.2.1	Solarstromanlage oder Solarwärmanlage auf's Dach?	23
4.5.2.2	Solarstromanlage und Wärmepumpe	24
4.5.2.3	Solarstrom für elektrische Direktheizung	25
4.5.2.4	Umnutzung von Nachtspeicherheizungen	25
4.6	Solarertragssimulation mit freier und kostenpflichtiger Software	26
4.6.1	Parameter zur Solarertragssimulation	26
4.6.2	Verschattungsprofil detailliert aufnehmen	26
4.6.3	Ertragsminderung durch Mismatching, Verschmutzung, sonstiges	27
5	Anlagenkosten und -Erträge, sonstige Betriebskosten	28
5.1	Solar- und Betreiber- Haftpflichtversicherungen	28
5.2	Abschreibungen, Vorsteuer, Wartungskosten	29
5.3	Excel-Tool für Ermittlung Eigenverbrauch und Kosten-Erlöse-Bewertung	29

6	Montage einer Solarstromanlage und Betriebsüberwachung	31
6.1	Auftragsvergabe und Montage	31
6.2.	Inbetriebnahme und Betriebsüberwachung	31
6.3	Wartung nach Plan und bei besonderen Ereignissen	32
Literaturverzeichnis		33
Anlagen 1	Gesetze, Verordnungen, Richtlinien	33
2	Links zu empfehlenswerten Seiten	33
3	Grafik des Excel-Tools und Erläuterungen	34

1 Einleitung

Diese Solarfibel ist für kleinere Solarstromanlagen konzipiert, die als netzparallele Anlagen im Regelfall in das Niederspannungsnetz einspeisen können.

Sie beinhaltet Hinweise zur ertragsoptimierten Auslegung und einer sicheren Betriebsweise. Neben weiteren Tipps zur Auftragsvergabe und Inbetriebnahme wird die Funktionsweise des Excel-Tools zur Ermittlung des Eigenverbrauchs am solar erzeugten Strom vorgestellt.

Interessenten am Tool können so bewerten, ob es geeignet ist, für ihr Projekt detaillierte und nachvollziehbare Berechnungen zum Eigenverbrauch oder der Wirtschaftlichkeit für Solarsysteme ohne oder mit Akku's vornehmen zu können. Das Tool kann gesondert bestellt werden, Hinweise dazu auf der Website.

Mancher Leser sucht oder vermisst den Begriff Photovoltaikanlage. Ich pflege etwas mehr Deutsch und nenne sie in dieser Solarfibel eine Solarstromanlage. Noch konsequenter wäre sicherlich die Bezeichnung Sonnenstromanlage, aber ein Kompromiss ist per se nichts Negatives.

Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger Ausarbeitung wird keine Haftung für die Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte übernommen.

Copyright:

Alle Rechte am Gesamtwerk einschließlich der Texte, Grafiken und Bilder verbleiben beim Autor. Eine Nutzung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts wird nur nach gesonderter Vereinbarung gestattet.

Ich wünsche dem Leser spannende Unterhaltung.

Karl-Heinz Mentzel

Gößnitz, September 2015

2 Solare Stromerzeugung - Energie mit vielen Pluspunkten

2.1 Strom, der universelle Energieträger

Strom hat vielfältige logistische Vorteile gegenüber anderen Energieträgern.

Ein weitgehend ausgebautes Verteilnetz gestattet einen beinahe uneingeschränkten Zugang der Endverbraucher. Strom wird schnell und verlustarm transportiert. Er läßt sich beim Anwender bedarfsgenau regeln und kann beliebig als Licht, motorische Kraft oder Wärme genutzt werden. Beim Transport von Strom können Signale übertragen werden, die weitere Versorgungs- und Steuerungsaufgaben übernehmen können.

Die Beliebtheit von Strom und der ökologisch als auch der versorgungspolitisch unumgängliche Ausbau der Eigenerzeugung bringen aber auch Probleme mit sich. Wenn zu windstarken oder sonnenreichen Zeiten mehr Strom produziert als abgenommen wird bzw. Netze überlasten, werden Anlagen abgeschaltet. Damit werden Kapazitäten verschwendet und die Rentabilität der Anlagen verschlechtert. Abschaltungen können nicht die Lösung sein.

Eine in die Zukunft gerichtete Strategie kann nur darin bestehen, alle Weichen für einen ungebremsen Ausbau der erneuerbaren Energien zu stellen.

Die solare Stromerzeugung hat dabei noch einen besonderen Charme. Einige Einschränkungen wie bei anderen Formen der erneuerbaren Energiegewinnung fallen hier weg. Bei Nutzung geeigneter Flächen werden weder Flora, Fauna oder Menschen beeinträchtigt, kein Schattenschlag oder Emissionen von Geräuschen. Eine Gefährdung des Grundwassers oder Setzungen des Erdreichs gibt es nicht. Solarstrom kann weitgehend direkt und im Falle der Einspeisung zumindest bei Kleinanlagen in der gleichen Spannungsebene genutzt werden, braucht also nicht umgespannt und über große Strecken transportiert zu werden.

Die dringlichste Aufgabe wird jetzt sein, Angebot und Nachfrage besser zusammen zu bringen. Das geht mit Speicherung im Kleinen wie im Großen, ein Strommanagement in Haushalten und anderen Verbrauchergruppen und letztlich durch die Schaffung lastvariabler Preise für die Verbraucher. Anreize, Strom dann zu beziehen, wenn er im Überfluss vorhanden und besonders preiswert ist, machen Investitionen zur Steuerung des Verbrauchs und der Speicherung sowie ein geändertes Nutzerverhalten attraktiv.

2.2 Solarstrom und Smart Grid

Der Begriff Smart Grid kommt aus dem Englischen und bedeutet wörtlich übersetzt „Kluges Versorgungsnetz“. Die begriffliche Abgrenzung wird in der Fachwelt nicht so genau genommen. Bei Wikipedia [1]

(http://de.wikipedia.org/wiki/Smart_Grid) kann man (Stand: 01.09.2015) lesen:

„Der Begriff **intelligentes Stromnetz** ([englisch smart grid](#)) umfasst die kommunikative Vernetzung und Steuerung von [Stromerzeugern](#), [Speichern](#), [elektrischen Verbrauchern](#) und [Netzbetriebsmitteln](#) in [Energieübertragungs-](#) und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung.“^[1]

Die Bundesnetzagentur führt in ihrem Eckpunktepapier „SmartGridPapierpdf.pdf“ [2] eine Unterscheidung zwischen Smart Grid (Netzthemen) und Smart Market (Markt-Energiethemen) ein. Die Energiethemen des Marktes, also losgelöst von den Aufgaben des Verteilnetzes, umfassen vorrangig die Steuerung und Anwendung beim Verbraucher. Damit könnten solche Themen wie lastvariable Preise, intelligente Zähler (Smart Meter), Speicherung per Akku oder Ansteuerung von elektrischen Verbrauchern beim (Klein)-erzeuger und/oder dem Endkunden u.ä. zutreffender eingeordnet werden. Für die Hausanwendungen hat sich auch der Begriff Smart Home etabliert. Es ist schade, so viele englischsprachige Begriffe verwenden zu müssen. Solange sich noch keine deutschsprachigen Pendant etabliert haben, geht es wohl nicht anders. Vielleicht wäre das einmal eine Aufgabe für die „Gesellschaft für deutsche Sprache“ (GfdS).

Welche Chancen ergeben sich nun bei der solaren Stromerzeugung durch die Installation einer intelligenten Steuerung beim Eigenverbrauch, der zeitversetzten Nutzung oder der Einspeisung?

Der Strom aus dem Netz für die Haushaltsanwendungen ist recht teuer. Daher macht es Sinn, den erzeugten Solarstrom soweit als möglich selbst zu verbrauchen. Immer wenn die abgenommene Leistung beim Eigenverbrauch niedriger als der Leistungswert der Erzeugung ist, ist es vernünftig, aktiv den Eigenanteil zu erhöhen. Mit vergleichsweise geringem Aufwand kann die Bilanz oft durch ein angepasstes Nutzungsverhalten verbessert werden.

Wenn die Grenzen des bewussten Einschaltens von Verbrauchern per Hand (z.B. Waschmaschine, Trockner u.ä.) ausgeschöpft sind, kommt die Steuerung in's Spiel. Nach definierten Bedingungen (Überschuss bei Erzeugung, Kapazität von Speichern, Wärmebedarf, Preislimit für zu beziehenden oder zu verkaufenden Strom u.a.) können weitere Maßnahmen gezielt ausgelöst werden.

Hinsichtlich der Optionen zum lastvariablen und preisvariablen Ein- oder Verkauf von Strom setzt dies intelligente Zähler und eine verfügbarkeits- und bedarfsorientierte Preisgestaltung voraus. Auf der Anwenderseite sind weiterhin periphere Geräte zur Kommunikation und Steuerung mit den Endgeräten erforderlich. Die Technik muss außerdem über einheitliche Standards zur Einbindung der Geräte verfügen, um eine Austauschbarkeit und Erweiterbarkeit zu gewährleisten. Hier hinkt der Markt dem Bedarf und einer wünschenswerten Entwicklung weit hinterher.

Es ist nachvollziehbar, dass kapitalkräftige Energieerzeuger ein Interesse an der höheren Auslastung ihrer konventionellen Kraftwerke für Grund- und Spitzenlast haben und eine Forcierung dieser Technologie nicht sonderlich unterstützen. Da müssen andere ran, das auf einen vernünftigen Weg zu bringen.

Die Einspeisevergütung unterliegt nach den Bestimmungen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) [3] einer Degression. Für kleinere Solarstromanlagen liegt die Vergütung heute etwa bei der Hälfte der Kosten eines privaten Endverbrauchers für die gekaufte Energie.

Zur Schaffung einer Investitionssicherheit war das Prinzip einer festen Vergütung für eingespeisten Solarstrom richtig. Neu aufkommende Aspekte, insbesondere die zunehmenden Erzeugungsmengen in Tageszeiten schwacher Nachfrage (Mittagsstunden) fordern eine ergänzende Regelung.

Dazu folgende Überlegung:

Man stelle sich vor, die Vergütung von eingespeistem Strom einer Solarstromanlage beträgt lt. EEG, § 32, Abs. 2 für eine Dachanlage mit einer Nennleistung bis 10 kWp, Inbetriebnahme im Dezember 2013, netto nicht starr und alternativlos für 20 Jahre lang 13,88 Cent/kWh, sondern es würde jetzt schon eine jederzeit wählbare Option einer preisvariablen Vergütung gelten. Der Betreiber könnte sich aussuchen, ob er tagsüber für die 13,88 Cent/kWh einspeisen möchte oder doch besser erst abends für dann vielleicht 17 Cent/kWh (wenn keine überzogenen Netzkosten in Abzug gebracht werden, da er ja in der Niederspannungsebene einspeist). Dazu käme die Aussicht auf weiterhin ansteigende Vergütungen, da die Stromkosten mit der weiteren Verteuerung der zu verstromenden, konventionellen Energieträger wie Gas, Öl und Kohle, aber auch durch höhere Aufwendungen zur Netzstabilität (höhere Übertragungsleistung, reduzierte Kraftwerksauslastung) sicher weiter steigen werden.

Das könnte die Wirtschaftlichkeit von zu installierenden Akku-Packs erheblich verbessern. Dies wäre marktgerecht und könnte der notwendigen Entwicklung einen echten Schub geben. Dass dem momentan nicht so ist, lässt vermuten, dass Weitsicht und die Umsetzung durch die Politik es schwer haben in der Auseinandersetzung mit den verschiedenen Interessengruppen.

Interessant wäre sicher eine Studie, ob die gesamtgesellschaftlichen Effekte (Staatseinnahmen durch erhöhtes Investitionsvolumen, Beschäftigungseffekte, Ankurbelung Sparverhalten, anrechenbare vermiedene Klimaveränderungs-Folgekosten u.a.) nicht sogar eher strompreisdämpfend wirken als die starre Vergütungsregelung. Wenn die positiven wirtschaftlichen Effekte dann noch verstärkt zur Abdeckung von Kosten der Netzstabilität eingesetzt würden (diese kann als ein Grundbedürfnis eingestuft werden und gehört ein Stück weit in die staatliche Verantwortung), käme ein Wettbewerb bei Produktion und Vermarktung von Energie, der nur preisdämpfend wirken kann, richtig in Fahrt.

3 Systeme, gesetzliche Anforderungen, Sicherheit, Verfahrensschritte

3.1 Systeme zur Netzeinspeisung und Inselbetrieb

Solarstromanlage können so konfiguriert werden, dass sie den erzeugten Strom ganz oder teilweise in das Netz einspeisen oder ausschließlich für eine Stromversorgung am Standort dienen.

Während in den letzten Jahren die Volleinspeisung infolge der hohen Einspeisevergütungen der Regelfall war, zwingen sinkende Vergütungen zumindest bei Kleinanlagen zu anderen Konzepten. Da der Einkaufspreis für Strom bei Haushaltskunden inzwischen größer als der Verkaufspreis für Solarstrom ist, wird ein möglichst hoher Eigenverbrauch zunehmend interessanter. Die meisten Kleinanlagen werden gegenwärtig so konzipiert, daß lediglich der nicht nutzbare Überschuss zur Einspeisung gelangt.

Die Lösungen zur Einbindung der Anlagen sind bekannt und erprobt. Das betrifft die Festlegung der Anbindepunkte am Zählerplatz und die zählerseitige Umsetzung zur Trennung von bezogenem und verkauftem Strom.

Anlagen zum Inselbetrieb sind bei der Versorgung von Wohngebäuden gegenwärtig die Ausnahme. Da die solare Strahlung starken jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt, lassen sich momentan unter ökonomischen Gesichtspunkten kaum rentable Vollversorgungen erzielen. Mit sinkenden Kosten und steigender Zyklfestigkeit der Akku's werden die Konzepte für hohe solare Deckungsanteile oder gar der Vollversorgung aber rentabler.

Fragestellungen, ob objektbezogen eine Solarstromanlage besser mit oder ohne Akku-Pack betrieben werden sollte und wie es mit der Rentabilität solcher Anlagen aussieht, lassen sich mit dem Excel-Tool (sh. auch Beschreibung unter Pkt. 5.3) näher untersuchen.

3.1.1 Netzeinspeisung, Anforderungen, Anträge beim Netzbetreiber

Solarstromanlagen müssen generell eine Reihe von Anforderungen an den Personen- und Anlagenschutz erfüllen. In dem Moment, wo sie Strom in das öffentliche Netz einspeisen, gelten eine Reihe weiterer Anforderungen.

Netzseitig sind die Qualität des Netzstromes (Spannung, Frequenz, Phasenverschiebung), die Kapazität des Netzes (zulässige Übertragungsleistung) und sicherheitsrelevante Anforderungen (Freischaltung- Verhinderung ungewollter Einspeisung) einzuhalten.

Soll eine Solarstromanlage in Betrieb genommen werden, ist zunächst ein Antrag auf Anschluss einer Erzeugungs- / Einspeiseanlage mit dem Formular „Anmeldung zum Netzanschluss“ beim zuständigen Netzbetreiber zu stellen. Im Antrag sind detailliertere Angaben zur Anlage, der gewünschten Messeinrichtung, dem vorgesehenen Verknüpfungspunkt (Einbindepunkt an das Netz) und der gewünschten Vergütungsregelung (ENEV §§ 32, 33) vorzunehmen. Dazu sind Zertifikate zum Wechselrichter anzufügen. Weiterhin kann ein Übersichtsschaltbild und ein Lageplan angefordert werden. Die Anmeldung zum Netzanschluss ist von einer Elektrofachkraft, die der Antragsteller wählen kann, zu unterzeichnen.

Bei der Errichtung von Solarstromanlagen sind die allgemeingültigen Vorschriften zum Anschluss von Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen nach DIN VDE 100-551 einzuhalten. Die Netzbetreiber erlassen weiterhin Technische Anschlussbedingungen (TAB) [4]. In den TAB werden u.a. Einzelheiten zur Ausführung des Zählerplatzes geregelt.

Der Netzbetreiber nimmt darauf hin eine Netzverträglichkeitsprüfung vor und informiert den Antragsteller über u.U. weitere notwendige Maßnahmen und erteilt ggf. die Zustimmung. Für den Einbau des Einspeisezählers (ggf. Austausch vorhandener Zähler, Einbau Zweirichtungszähler u.a.) sind am Zählerplatz entsprechend den TAB die Vorbereitungsarbeiten durch eine zugelassene Elektrofachkraft vorzunehmen. Die Anlage muss bei der Inbetriebnahme soweit montiert sein, dass der vom Netzbetreiber beauftragte Dienstleister die Zähleinrichtung nur noch installieren muss. Die technische Fertigstellung ist mit einer „Fertigstellungsanzeige“ (ANA) dem Netzbetreiber anzuzeigen, der daraufhin den Auftrag zur Montage der Zähleinrichtung erteilt.

Nachweise zur netzkonformen Erzeugung u. Einspeisung gehen aus entsprechenden Zertifikaten für die Wechselrichter hervor, die die Einhaltung der Vorschriften für einen Netzparallelbetrieb bestätigen. Hierin wird auch die Funktion der Netzüberwachung und die Eignung als selbstständig wirkende Freischaltstelle (ENS) bescheinigt. Bei netzgeführten Wechselrichtern wird neben der qualitativen Anpassung des eingespeisten Stromes in das Netz gleichzeitig die Sicherheitsfunktion einer Netztrennung erfüllt, die bei Unter- oder Überschreitung von definierten Netzdaten, damit auch bei einer Netzabschaltung, sofort eine Trennung vom Netz vornehmen. Diese Funktion ist für die Sicherheit bei Arbeiten am Netz, auch bei Abschaltung im Brandfalle unerlässlich.

Sogenannte „Balkonanlagen“, die z.T. als einfach zu installierende, steckerfertige Anlagen beworben wurden, können hier u.U. diese Anforderungen nicht erfüllen (sh. auch Pkt. 3.1.3).

3.1.2 Inselbetrieb, Abkoppelung vom öffentlichen Netz

Der Name Inselbetrieb sagt es schon, die Solarstromanlage ist für eine autarke Stromversorgung konzipiert. Da keine Einspeisung vorgesehen ist, mindern nicht zeitgleich zur Erzeugung abgenommene oder speicherbare Erträge die Rentabilität der Anlage. Eine sorgfältige Analyse vom Bedarf incl. der tages- und jahreszeitlichen Verteilung ist die erste Aufgabe des Planers.

Ein Inselbetrieb kann mit Anschluss von Verbrauchern mit Gleichstrom im Schutzkleinspannungsbereich mit 12 V oder 24 V oder auch in der Niederspannungsebene mit 230 V Wechselstrom erzielt werden. Im letzteren Fall ist ebenfalls ein Wechselrichter erforderlich, der den Gleichstrom der Solarmodule in einen Wechselstrom umwandelt. Die Führungsgrößen zu Spannung und Frequenz werden hier nicht aus dem Netz bezogen, sondern sind im Wechselrichter integriert.

Je nach Anforderung (zu versorgende Anwendungen, Grad der Eigenerzeugung) sind im nächsten Schritt die Auslegung von Generator, Wechselrichter, Laderegulierung und Speichersystem) vorzunehmen.

Typische Anwendungsfälle der Anlagen mit Inselbetrieb sind gegenwärtig.

- Versorgung von Wohnwagen, Freizeitaktivitäten (Bootsport, Outdoorbekleidung u.ä.)
- entlegene Verkehrseinrichtungen (Notrufsäulen, Parkuhren, Notbeleuchtung u.ä.)
- abseits gelegene (Wochenend-) Objekte

- Objekte, bei denen keine Eingriffe durch Stromtrassen aus Gründen des Naturschutzes oder der Landschaftsgestaltung gewünscht oder zugelassen sind
- technische Geräte, wie: Uhren, Taschenrechner,

Soll eine Inselnetzfähige Solaranlage in einem Objekt mit Anschluß an das öffentliche Stromnetz errichtet werden, gelten besondere Anforderungen an die sichere Trennung vom Netz.

3.1.3 Anlagen mit Steckeranschluss an das Hausstromnetz? -offene Fragen klären

In letzter Zeit sind Angebote auf den Markt gekommen, die eine einfache Installation und frei von einer Genehmigungspflicht beworben haben. Im Sprachgebrauch wurde u.a. für solche Anlagen der Begriff „Balkonanlagen“ verwendet. Beim Bürger wurde der Eindruck erweckt, er braucht die Anlage mit den wenigen Modulen nur irgendwo auf dem Balkon oder an der Wand zu montieren, einen Stecker in seine Haus- oder Wohnungsinstallation einzustecken und schon kann er Solarstrom nutzen.

Ganz so einfach und unproblematisch ist das leider nicht.

Hintergrund solcher Konzepte und Werbeaussagen war, daß die Anlagen keine Einspeisung in das öffentliche Stromnetz (genauer gesagt, in das Stromnetz der Netzbetreiber) vornehmen. Die Module sollen teilweise integrierte Wechselrichter haben, welche die Funktion einer selbsttätig wirkenden Freischaltstelle (ENS) haben.

Hier ist eine erste Erläuterung mit einem technischen Hintergrund erforderlich.

Bei netzgeführten Wechselrichtern werden einige Netzparameter (im Wesentlichen die Spannung und Frequenz) fortlaufend erfasst und die Anpassung an einen netzkonformen Betrieb vorgenommen. Bei der Einspeisung sind geringe Toleranzen dieser Netzparameter definiert und zugelassen. Die Überwachung der Netzparameter stellt zum Ersten die Führungsgrößen bei der Erzeugung (die Elektrogeräte des Betreibers sind ja mit einer Wechselspannung von 230 V und 50 Hz zu versorgen) und sichert zudem, daß der eingespeiste Strom synchron zur Netzspannung erfolgt.

Solche Freischaltstellen können bei Störungen im Netz (z.B. Netzabschaltung, Unter- oder Überschreitung von zulässiger Bandbreite bei Netzfrequenz oder Spannung) selbsttätig eine Netztrennung vornehmen, sodaß von der Eigenerzeugungsanlage keine Gefahren für Personen bzw. unzulässige Beeinträchtigungen der Netzverhältnisse mehr ausgehen. Da im Gegensatz zur Freischaltung eines Abschnittes des Netzes an einem für die Servicetechniker jederzeit frei zugänglichen und registrierten Verteilerkasten z.B. zum Zwecke von Reparaturarbeiten hier die Sicherheitsfunktion innerhalb der Solaranlage des Betreibers gewährleistet sein muß, ist nachvollziehbar, daß solche Komponenten dringend eine Zertifizierung durch eine unabhängige Prüfstelle besitzen sollten. Als Prüfstellen fungieren z.B. der Fachausschuß Elektronik im Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, welche für die geprüften Erzeugnisse eine zeitlich befristete Unbedenklichkeitsbescheinigung erteilen.

Schon aus Haftungsgründen ist jedem Betreiber zu raten, nur solche Komponenten einzubauen, welche bei allen sicherheitsrelevanten Komponenten einer Solarstromanlage über Zertifikate von anerkannten Prüfstellen verfügen. Es ist anzunehmen, daß Eigenerklärungen der Hersteller bzw. Anbieter solcher Komponenten, welche eine Konformität zu den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften bescheinigen, im Falle eines Schadens und eines Rechtsstreites nicht den Rang der Erklärungen unabhängiger Prüfstellen haben und sich dies in solch einem Verfahren entsprechend auswirken kann.

Weitere Problemstellungen bei „Balkonanlagen“ können sein:

Auslegung und Überschuss

Solange der solar erzeugte Strom größer als die momentane Abnahme im Hausstromkreis ist, erfolgt eine vollständige Abnahme. Aber auch Verbraucher, die zwar ganzjährig am Netz angeschlossen sind, schalten ihre Antriebsaggregate zwischendurch ab, z.B. Kühlschränke. Wird nicht über eine Laderegulierung und Akku's gepuffert, wird der Überschuss verschenkt.

Haben die vorhandenen Zähler eine Rücklaufsperrung, erfolgt zumindest keine Rückwirkung auf das Netz. Da bei Balkonanlagen kein Antrag auf Anschluß einer Eigenerzeugungsanlage vorgesehen ist, gibt es auch keinen Einspeisevertrag mit Vergütung des eingespeisten Stromes. Das mindert die Rentabilität.

Erdung und Potentialausgleich, Anzeige von Fehlfunktionen

Zum Schutz vor gefährlichen Spannungen ist eine Einbeziehung der Tragkonstruktion und der Module in diese Schutzmaßnahmen durch eine Elektrofachkraft dringend geboten. Dies wird in der Werbung dieser Anlagen oft nicht oder nicht ausreichend dargestellt. Eine Montage durch einen technischen Laien ist schlicht gefährlich, da bei Verschaltung von nur wenigen Modulen in Reihe bereits lebensgefährliche Spannungen auftreten können. Nicht nur Defekte an Modulen oder an der Verkabelung (Verbißschäden durch Tiere, Sturmschäden, mechanische Schäden durch abrutschenden Schnee, Dachziegel u.ä.), sondern auch durch ein ortsnahes Gewitter induktiv in die leitfähigen Bauteile eingekoppelte Magnetfelder können eine Gefahr darstellen. Kleinanlagen oder billigen Anlagen ohne Wechselrichter mit visueller Ausgabe von Störungsmeldungen fehlt eine wichtige Kontrollfunktion. Ein Isolationsfehler kann so u.U. zu spät erkannt werden.

VNB- Genehmigungspflicht, Verträglichkeit mit Verteilnetz, Schutzeinrichtungen

Zunächst ist anzumerken, daß die Netzbetreiber mit ihrem Regelwerk (technische Anschlußbedingungen -TAB) Vorschriften erlassen, die über die Grenze vom gewerblichen zum privaten Verantwortungsbereich, das ist die Zählleinrichtung, hinaus wirken. Beim Anschluss und Betrieb von elektrischen Verbrauchsgeräten muß eine elektromagnetische Verträglichkeit gegenüber anderen Kundenanlagen und dem Verteilnetz gewährleistet sein. Für Eigenerzeugungsanlagen mit und ohne Parallelbetrieb im Niederspannungsnetz sind weiterhin einschlägige Richtlinien des VDEW einzuhalten.

Unklare Fragen sind zwischen dem Anschlussnehmer bzw. Betreiber und dem Verteilnetzbetreiber (VNB) zu klären.

Die Stromkreise der Hausinstallation sind mit Leitungsschutzschaltern (Sicherungen) oder Fehlerstromschutzschaltern (FI-Schaltern) gegen Überlastung und unzulässige Ströme geschützt. Bei „Balkonanlagen“ kommen unter Umgehung von Sicherungen zusätzliche Anschlussleistungen in's Hausstromnetz. Dies kann u.U. eine Überlastung der Elektroinstallation und einen Brand begünstigen.

Betreiberhaftpflicht, Zustimmung von Eigentümer

Der Betreiber einer technischen Anlage haftet zunächst. Ein Einschluss in eine Haftpflichtversicherung ist ggf. dann zu empfehlen, wenn im Wirkungsbereich der Anlage ein Personenverkehr möglich ist.

Ist der Betreiber nicht zugleich Eigentümer des Objektes, muß vom diesem eine Erlaubnis eingeholt werden.

Fazit:

Interessenten sollten Angebote zu solchen „Balkonanlagen“ nicht ungeprüft annehmen. Bei ernsthaftem Interesse sollte immer eine Ertragsberechnung vorgenommen und die objektspezifischen Bedingungen zum Anschluss bewertet werden. Weiterhin ist zu empfehlen, eine Kosten-Nutzen- Rechnung aufzustellen.

3.2 Baugenehmigung, Bauanzeige

In den Landesbauordnungen ist geregelt, ob und unter welchen Voraussetzungen die Errichtung einer Solarstromanlage auf Dächern, an Wänden bzw. bei einer Freiaufstellung verfahrensfrei ist.

Ergänzend zu den Landesbauordnungen sind Ortssatzungen zu beachten. Eine kurze Anfrage beim örtlichen Bauamt ist zu empfehlen.

3.3 Meldung an Bundesnetzagentur und Inbetriebnahme - das Datum zählt

Im Gesetz für den Vorrang für Erneuerbare Energien (Erneuerbare Energien Gesetz - EEG), zuletzt geändert am 21.07.2014, wird u.a. die Vergütung für den eingespeisten Strom geregelt.

Sollen die Regelungen des EEG in Anspruch genommen werden, ist eine Meldung an die Bundesnetzagentur (sh. Veröffentlichungen unter www.bundesnetzagentur.de) zwingend erforderlich. Diese Behörde erfasst die Kapazität der neu installierten Anlagen und veröffentlicht die Vergütungssätze nach EEG.

Die Meldung ist zugleich eine Voraussetzung für die Zahlung von Einspeisevergütungen durch die Netzbetreiber.

Gegenüber der ursprünglich jährlich festgelegten Absenkung der Vergütung aus solarer Strahlungsenergie gilt gegenwärtig eine Degression bei der Vergütung, die neben einer fixen monatlichen Absenkung von 0,5 %

gegenüber dem Vergütungssatz vom Vormonat (§ 31, Abs. 2) zusätzlich von der jährlich neu installierten Gesamtleistung bestimmt wird. Dazu ist ein Zubaukorridor definiert, der bei Unter- oder Überschreitung der Gesamtleistung aller nach EEG geförderten Solarstromanlagen weitere Zu- oder Abschläge bei der 0,5- prozentigen Degression festlegt.

Entsprechend § 22 beginnt der Vergütungsanspruch mit dem Monat der Inbetriebnahme und gilt 20 Jahre zzgl. dem Jahr der Inbetriebnahme.

Die Preise fertig installierter Solarstromanlagen sinken ebenfalls. Momentan scheint es fraglich, ob die Kostensenkungen installierter Anlagen mit dem Tempo der Degression mithalten können und die Wirtschaftlichkeit vergleichbar bleibt. Der Trend wird zwangsläufig zur Erhöhung des eigengenutzten Stromes gehen, da die ersparten Kosten beim Netzbezug (einzukaufender Strom) im Gegensatz zu den Einspeisevergütungen eine Aufwärtsskurve verzeichnen.

3.4 Überspannungsschutz und Erdung, Brandschutz

Auch ohne einen direkten Blitzeinschlag können durch ortsnahe Gewitter Schäden durch Überspannungen in den elektrischen Anlagen und Geräten auftreten. Bei einer Solarstromanlage können in Modulen, Modul- und Zeilenverbindungsleitungen durch Induktion Überspannungen erzeugt werden.

Als Mindestforderung zum inneren Überspannungsschutz gehört die Einbindung von Generator und Tragkonstruktion an eine Erdung. Diese kann über Staberder oder Fundamenterder bzw. Anschluß an eine Potentialausgleichsschiene vorgenommen werden. Erdungsleitungen sind auf dem kürzesten Weg zum Erder zu führen.

Erdungen unter Verwendung von (metallischen) Hausinstallationen, wie Heizungs- oder Wasserleitungen, sind zu vermeiden, da zwischenliegende Armaturen oder Änderungen an der Installation die Erdung im Nachhinein unwirksam machen können.

Bei Planung und Verlegung von Modulverkabelungen ist darauf zu achten, daß Plus- und Minusleitungen möglichst dicht beieinander verlegt werden. Dies ist erforderlich, um zwischen den Leitern keine Flächen aufzuspannen, in die dann zunehmende Spannungen induziert werden können.

Da ein Generator i.d.R. aus einer Vielzahl von verkabelten Modulen besteht, ist nachvollziehbar, daß allein durch die Anzahl der Verbindungen auch das Risiko nicht dauerhaft fester Verbindungen steigt. Lose Verbindungen erzeugen erhöhte Übergangswiderstände, bis hin zur starken Erwärmung, Bildung von Lichtbögen und einem Brand. Hier versteht es sich von selbst, daß nur geeignete PV-Stecker und PV-Buchsen und die passenden Crimpwerkzeuge einzusetzen sind.

Auch die Kontrolle von DC-Freischaltern, Generatoranschlusskästen sowie die Ertragskontrolle kann frühzeitig Störungen erkennen.

Schlagzeilen von brennenden Solarstromanlagen bzw. Gebäuden mit derartigen Anlagen und widersprüchliche Empfehlungen zur Brandbekämpfung hatten in den letzten Jahren für einige Unsicherheit gesorgt.

In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit Beteiligung mehrerer sachverständiger Einrichtungen (TÜV Rheinland, Fraunhofer Institut ISE, Berufsfeuerwehr München) wird diese Thematik speziell untersucht. Erste Ergebnisse der Untersuchungen werden in der Veröffentlichung

2011-10_TR_Artikel_bei_VDI_technische_Sicherheit.pdf [5]

dargestellt.

Als erfreulicher Ausblick kann sicher zunächst konstatiert werden, daß bei sachgemäßer Montage von einer Solarstromanlage keine höhere Gefährdung gegenüber anderen elektrischen Anlagen ausgeht.

Die Besonderheit, daß Module durch das Sonnenlicht Strom erzeugen und nicht einfach per Schalter spannungsfrei geschaltet werden können, verlangt nach weiter gehenden Konzepten, um die Anlagen- und Brandsicherheit weiter zu erhöhen. Die Zusammenarbeit mit verschiedenen Fachgremien wird sicher zur schrittweisen Umsetzung von Vorgaben einer erhöhten Produktsicherheit (z.B. Langzeitbeständigkeit von Kabeln, Verbindungselementen) sowie verbesserten Kennzeichnungs-, Dokumentations- und Überwachungspflichten führen.

Der Umfang der einzeln auszuführenden Schutzmaßnahmen geht z.T. aus den Montageanleitungen von Systemanbietern und aus Montageanleitungen der Hersteller von den Wechselrichtern hervor. Bei Eigenmontagen ist in jedem Fall eine Elektrofachkraft hinzu zu ziehen.

Nicht systemgebundene Anleitungen werden teils in gemeinschaftlichen Veröffentlichungen von Branchenvertretungen der Solarindustrie, der Versicherungswirtschaft, der Elektroindustrie und den Feuerwehren heraus gegeben.

Hier einige empfehlenswerte Publikationen zur Thematik, die über die Suchmaschinen zu finden sind:

- Fachregeln_BrandschutzPV.pdf [6]
- vds_3145_web.pdf [7]

4 Planung einer Solarstromanlage, Komponenten

4.1 Standort, Platzbedarf für Anlage u. Zähleinrichtungen, Konzept definieren

Bei der Standortwahl gelten einige Anforderungen.

- Eignung des gewünschten Verknüpfungspunktes zur Einspeisung (bei Anlagen bis 30 kWp mit einem Netzanschluss auf demselben Grundstück gilt dieser als günstigster Verknüpfungspunkt- sh. EEG, § 8)
- möglichst wenig Verschattung
- zusammenhängendes Feld für Modulmontage (weniger Aufwand für Verkabelung)
- Wechselrichter soll gut zugänglich und kontrollierbar sein
- ausreichend Platz für Kühlung vom Wechselrichter
- kurze Anbindung (DC-Leitung) zum Wechselrichter - auf der Gleichstromseite (DC) sind die Verluste höher als auf der Wechselstromseite (AC)
- Sichtkontrollen und Reinigung der Module sollen möglich sein

Zur Montage werden je kW Spitzenleistung (kWp) ca. 7 m² Dachfläche benötigt, wenn die Module dachparallel verlegt werden (gilt für mono- und polykristalline Module). Sollen Module z.B. auf einem Flachdach mehrreihig aufgeständert werden, ist zusätzlich ein Flächenverlust durch diese Montageart zu berücksichtigen.

Zur Auslegung sind auch die Flächenverluste durch notwendige Randstreifen, Abstände zu Dachfenstern, Gauben, Entlüftungsöffnungen u.ä. zu beachten. Verursachen Dachvorsprünge, Schornsteine u.ä. Verschattungen, dann ist eine Recherche zu empfehlen, ob die Auslegung des Generators besser nicht gleich kleiner gewählt werden sollte. Dies läßt sich durch getrennte Simulationen mit geeigneter Software vornehmen, bei der die Verschattungsobjekte, möglichst unterschieden nach Haus- oder Baumobjekten, exakt erfasst werden können.

Als nächstes steht die Prüfung des vorhandenen Zählerplatzes auf Eignung an. Ist ein freier Zählerplatz vorhanden, kann dieser i.d.R. zur Montage eines Einspeisezählers genutzt werden. Weiterhin gibt es die Optionen, einen Einrichtungszähler gegen einen Zweirichtungszähler zu tauschen oder einen externen Zäblerschrank zu montieren.

Durch die zunehmende Differenz der Strompreise zwischen Eigenverbrauch und verkauftem Strom ist von erheblicher Bedeutung, wieviel Eigenverbrauch sich realistisch erzielen lässt. In dem Zusammenhang ist also auch die Fragestellung zu beantworten, ob und auf welchen Wegen eine Speicherung des erzeugten Solarstromes vorzunehmen ist.

Der zu erwartende Eigenverbrauch läßt sich für die Varianten ohne und mit Akku-Speicherung mit dem Excel-Tool, sh. Beschreibung unter Pkt. 5.3 recht genau abschätzen.

Ob sich erzeugter Solarstrom wirtschaftlich sinnvoll als Wärme nutzen läßt, wird unter Pkt. 4.5.2 näher bewertet.

4.1.1 Netzqualität prüfen

In wenigen Fällen kann es vorkommen, daß der Solarertrag nicht den Berechnungen mithilfe einer Simulationssoftware entspricht. Begibt man sich dann auf die Fehlersuche, werden meist zuerst die Konfiguration der Anlage, die ordnungsgemäße Verkabelung und sonstige Störquellen bei der Montage überprüft.

Meistens zuletzt, oder eher durch einen Zufall, wird bemerkt, daß die Anlage trotz guter Einstrahlung öfters abschaltet. Als Ursache für solche Ausfälle können auch Störungen in der Netzqualität in Frage kommen. Da die Wechselrichter die Netzdaten (Spannung, Frequenz, Netzimpedanz) erfassen und den erzeugten Wechselstrom in dieser Spannungsebene netzkonform einspeisen, führen Abweichungen in der Netzqualität zwangsläufig zu Abschaltungen des Wechselrichters, der nur definierte Toleranzen zulässt.

Die Grenzwerte für Spannung, Frequenz und Netzimpedanz werden in der DIN VDE 0126-1-1 (02.06), [8] vormals DIN VDE 0126-1 (04.99) geregelt. Auf diese Grenzwerte sind die selbsttätigen Freischaltstellen (ENS) der Wechselrichter je nach Baujahr zertifiziert.

Da mit Einführung der DIN VDE 0126-1-1 die Grenzwerte geringfügig erweitert wurden, kann bei Wechselrichtern, die nach den Grenzwerten der älteren VDE-Richtlinie eingestellt wurden und schwierigen Netzverhältnissen eine Anpassung der Werte nach aktuell gültigen Werten bereits eine Verringerung der Abschalthäufigkeit bewirken.

Tabelle: ENS Parameter

Geräteparameter	Grenzwerte (zert. nach VDE 0126)	Grenzwerte (zert. nach VDE 0126-1-1)	Reaktionszeit
Netzspannung	195 V 253 V	186 V 262 V	200 ms
Netzfrequenz	49,8 HZ.... 50,2 Hz	49 Hz 50,2 Hz	200 ms
Max. Netzimpedanzsprung	0,5 Ω	1,0 Ω	5 sec

Quelle: Fronius AG, Antrag auf Zugriffscode Fronius IG [9]

Die Netzqualität kann u.a. durch folgende Faktoren beeinträchtigt sein:

- häufige Spannungsschwankungen durch nahe gelegene, leistungsstarke Motoren ohne Anlaufstrombegrenzung
- Betrieb von Schweißgeneratoren in der Nähe
- erhöhte, gemittelte Spannungswerte durch nahen Standort vom Trafohaus
- niedrige, gemittelte Spannungswerte an ungünstigem (entfernten) Standort im Verteilnetz
- mehrere oder leistungsstarke Eigenerzeugungsanlagen sind bereits in Standortnähe am Netz

Mit dem Antrag auf Anschluß einer Eigenerzeugungsanlage wird zunächst die Netzverträglichkeit der beantragten Anlage bewertet. Sie bildet die Grundlage für die Zustimmung zum Anschluß. Dennoch können hier Grenzsituationen auftreten, die zu einer gehäuften Abschaltung des Wechselrichters führen.

Es kann nicht schaden, im Vorfeld der Baumaßnahme mithilfe von geeigneten Messgeräten mit MIN-MAX-Modus und Speicherfunktion an verschiedenen Tageszeiten länger andauernde Messungen der Spannung, Frequenz und ggf. Netzimpedanz vorzunehmen. Es werden die minimalen, die maximalen sowie die Durchschnittswerte über die Messzeiträume angezeigt. Durch solche Messungen läßt sich bewerten, ob mit einem stabilen Betrieb der Solarstromanlage zu rechnen ist.

Liegen im Versorgungsgebiet ungünstige Netzdaten im Niederspannungsnetz vor, bietet sich ggf. als Lösung an, in Abstimmung mit dem Netzbetreiber und dem Hersteller des Wechselrichters die im Wechselrichter gespeicherten Grenzwerte per Software-Schnittstelle oder über die Menüsteuerung an die Netzverhältnisse anzupassen.

4.2 Komponenten einer Solarstromanlage

In diesem Kapitel geht es vorrangig darum, funktionale Zusammenhänge und grundsätzliche Lösungsvarianten darzustellen. An einigen Stellen werden weiterhin Praxistipps zur Fehlervermeidung gegeben. Durch die Vielzahl der technischen Spezifikationen bei den Komponenten wird auf detaillierte Darstellungen verzichtet.

4.2.1 Der Wechselrichter, zentrale Steuerungs- und Kommunikationsanlage

Wechselrichter können viel mehr, als nur den Gleichstrom der Module in einen Wechselstrom umwandeln.

Neben den Schutzfunktionen auf der DC-Seite (integrierter Überspannungsschutz zum Geräteschutz, Isolationsüberwachung als Personenschutz) haben sie auf der AC-Seite die allpolige Trenneinrichtung zum Netz.

Je nach Ausführung können ein- oder dreiphasig die Außenleiter auf Netzspannungsfehler überwacht und das Verhalten weiterer Wechselrichter bei einem Netzfehler auf einer Phase (weitere Volleinspeisung auf anderen Phasen, reduzierte Einspeiseleistung auf anderen Phasen oder komplette Netztrennung) festgelegt werden.

Weiterhin können Leistungsbegrenzungen aktiviert werden, um die Forderungen der Netzbetreiber zum Einspeisemanagement (sh. EEG, § 14) zu erfüllen. Hierbei können Einspeiseleistungen bei Netzüberlastung ferngesteuert durch die Netzbetreiber reduziert werden.

Die Montage entsprechender Steuerungstechnik kann alternativ bei Anlagen bis 30 kWp entfallen, wenn bereits wechselrichterseitig am Verknüpfungspunkt eine Wirkleistungsbegrenzung auf 70 % der installierten (kWp-) Leistung erfolgt (EEG 2012 § 9, Abs. 2, Satz 2b). Dies läßt sich mit einer integrierten Leistungsrosselung (fixen 70 %-Stufe) oder einer dynamischen Einspeiseregulierung des Wechselrichters erzielen.

Lösungen zur entsprechenden Unterdimensionierung des Wechselrichters gegenüber der DC-Nennleistung vom Generator zwecks Einhaltung dieser EEG-Forderung sind kritisch zu betrachten, da hier ein Konflikt mit den höchstzulässigen Eingangsspannungen und Eingangsströmen am Wechselrichter entstehen kann. Dadurch könnte im Schadensfall eine Gewährleistung des Wechselrichters verwehrt werden. Dies ist im Einzelfall mit den Herstellern der Wechselrichter abzuklären.

Weitere umfangreiche Überwachungsfunktionen helfen, verminderte Leistungen oder Fehlfunktionen zu erkennen. Über ein Display sind je nach Ausstattung z.B. abrufbar:

Solargenerator-Daten:

- Modulspannung (V) als Momentan- und bisheriger Maximalwert
- Modulstrom (A)
- Isolationswiderstand (M Ω)

Netzdaten:

- Netzspannung (V) als Momentan- und bisherige Minimal- u. Maximalwerte
- Netzfrequenz (Hz) als Momentanwert
- Eingespeiste Leistung (W) als Momentan- u- bisheriger Maximalwert
- Eingespeister Strom (A) als Momentanwert
- Eingespeiste Energie (kWh, MWh)
- Netzimpedanz (Ω) als Momentanwert

Mit Zusatzmodulen können auch Umgebungstemperaturen ($^{\circ}$ C) oder die Sonneneinstrahlung (W/m 2) erfasst werden.

Neben den Momentan-Messwerten werden teilweise MIN- und MAX- Werte für verschiedene Zeiträume ausgegeben. Weiterhin sind Tages- Monats, Jahres und kumulative Gesamtwerte bei der eingespeisten Energie in kWh oder MWh abrufbar.

Diese Funktionen sind unverzichtbar, um zeitnah Auskunft zur Betriebsweise der Anlage zu erhalten. Die Ertragsüberwachung ist zudem ein wichtiges Instrument zur Überprüfung.

In der Anfangsphase hilft die Einschätzung der Leistungsdaten eine ordnungsgemäße Planung und Montage zu beurteilen. Dies ist zur Geltendmachung von Gewährleistungsansprüchen (Produktgarantie, VOB) nötig. Voraussetzung ist natürlich, daß die jahreszeitlichen Monatserträge einer Ertragssimulation auch übergeben wurden. Im laufenden Betrieb signalisieren Ertragseinbußen Störungen durch Defekte an Anlagenteilen und/oder äußere Einwirkungen.

Über Leuchtdioden können weiterhin folgende Betriebszustände angezeigt werden:

- Stand-By-Betrieb (keine ausreichende Einstrahlung, Nachtabstaltung)
- Anlage startet (Initialisierung)
- Einspeisebetrieb
- Störung (Netzfehler, Erdschluss u.a.)

Den Störungsmeldungen sind zahlreiche Codes zugeordnet, so daß sich weitere Hinweise zur Störung ergeben. Zum Standard gehören weiterhin Schnittstellen für den Anschluß an einen PC und das Internet.

Je nach Ausstattung können weiterhin folgende Funktionen übernommen werden:

Batterieladung und Zustandsüberwachung (Spannung, Temperatur)

Be- und Entladung des Batterie-Packs. Programmierung von Kapazität, Entladungstiefe, Ladestrom oder Batteriewartung möglich.

Backup- Stromversorgung (Notstromfunktion)

Bei einem Netzausfall wird zunächst eine Netztrennung aktiviert (selbsttätige Freischaltstelle- ENS). Ist ein Batterie-Pack in das System integriert, kann über einen zusätzlichen Ausgang am Wechselrichter ein Lastkreis mit 230 V Wechselspannung versorgt werden. Sowohl erzeugter Strom aus dem Solargenerator als auch die gespeicherte Energie in den Akku-Packs kann nun für einen zeitlich begrenzten „Inselbetrieb“ von einem gesondert verlegten Stromkreis genutzt werden. Dabei wird ein gesonderter Schütz vom Wechselrichter aktiviert, der den Lastkreis mit 230 V Wechselspannung versorgt. Eine Rückschaltung des Schützes (Trennung des Notstromkreises) erfolgt dann, wenn im Netz wieder Spannung anliegt.

Lastmanagement

Ansteuerung externer Verbraucher (WW-Speicher, Haushaltsgeräte). Durch die aktive Steuerung kann der Eigenverbrauchsanteil erhöht werden.

Dynamische Einspeiseregulierung

Im Gegensatz zur pauschalen Leistungsrosselung am AC-Ausgang des Wechselrichters zur Erfüllung der Forderungen lt. EEG, § 9, Abs. 2, Satz 2 (Leistungsbegrenzung bei Anlagen mit max. 30 kWp auf 70% Wirkleistungseinspeisung, bezogen auf installierte kWp-Leistung) kann ein Zusatzmodul die Einspeiseleistung am Netzanschlusspunkt erfassen und den Wechselrichter entsprechend regeln. Dadurch kann am Wechselrichter-Ausgang die Leistung um den Betrag erhöht werden, wie im hauseigenen Stromnetz momentan verbraucht wird. Die Forderungen des EEG werden eingehalten, der Anteil von Verlusten durch Abdrosselung läßt sich so reduzieren.

4.2.2 Generator, Tragkonstruktion, Verkabelung

Als Solargenerator ist der Zusammenschluss von Solarmodulen zu einer funktionalen Einheit zur Stromerzeugung zu verstehen. Die addierte Leistung der Module ergibt die Anlagenleistung, die z.B. beim Antrag auf Anschluß einer Eigenerzeugungsanlage oder der Meldung an die Bundesnetzagentur benötigt wird.

Die Leistungsangaben der Module beziehen sich stets auf Standard-Testbedingungen (STC). Leistungsmessungen werden auf Prüfständen mit folgenden Parametern vorgenommen:

- Strahlungsintensität 1000 W/m²
- Modultemperatur 25°C
- Luftmasse 1,5

Die Leistungsmessung unter diesen Randbedingungen ergibt eine Spitzenleistung in Wp (peak = Spitze). Neben diesen Kerndaten zur Produktbeschreibung enthalten die Datenblätter der Module eine Reihe weitere Kenndaten, die zur Planung einer sachgerechten Verschaltung und Ermittlung der standortabhängigen Solarerträge erforderlich sind.

Die Montage der Module erfolgt auf einer Tragkonstruktion, die starr oder ggf. mit 2-achsiger bzw. 3-achsiger Nachführung zum Sonnenstand ausgeführt sein kann. Die Systemanbieter liefern komplette Montagesätze, die alle Bauteile zur gewünschten Montageart (Indachmontage, Aufdachmontage oder aufgeständert) beinhalten.

Neben den Anforderungen zur harmonischen Einfügung der Solarstromanlage in eine Bebauung sollte ebenso der Einfluss der Kühlung von Modulen durch eine Luftströmung beachtet werden. Fehlt z.B. bei Indachanlagen eine Hinterströmung durch Luft, geht dies mit einem spürbaren Leistungsverlust einher. Verantwortlich dafür ist die physikalische Eigenschaft, daß die elektrische Leitfähigkeit der eingesetzten Materialien bei zunehmenden Temperaturen abnimmt. Diese Kenndaten sind in den Datenblättern als Temperaturkoeffizienten ausgewiesen. Der Einfluss dieser Randbedingung wird neben anderen Parametern mit der Ertragssimulation ermittelt.

Die Module haben rückseitig Anschlußdosen und sind montagefertig verfügbar. An den ausreichend langen Modulleitungen sind spezielle Stecker und Buchsen montiert, sodaß die Verschaltung mehrerer Module in Reihe i.d.R. ohne weiteres Werkzeug möglich ist. Vor Ort werden dann die Zeilenverbinder und Strangleitungen unter Verwendung geeigneter Leitungen, Leitungsverbinder und Werkzeuge hergestellt.

Die bei Solarstromanlagen eingesetzten Kabel weisen eine hohe UV- Beständigkeit und eine höhere mechanische Festigkeit auf. Da bei einer Kabelverlegung ein erhöhtes Fehlerpotential besteht, sind einige Anforderungen zu stellen:

- UV- geschützte Verlegung (in speziell dafür vorgesehenem Kanal der Tragkonstruktion, in ansteckbaren Kanälen oder Kabelhaltern)
- Bildung von Schleifen durch überlange Leitungen vermeiden, unvermeidbare Schleifen (bei vorhandenen Modulverbindungen) so formen, dass weitgehend eine leitungsparallele Form entsteht und mit UV-stabilisierten Kabelbindern an der Tragkonstruktion fixiert werden kann
- ein Durchhängen von Leitungen bis unterhalb der Tragkonstruktion unbedingt vermeiden (abrutschender Schnee, Eis, Dachziegel u.a. könnte ggf. Leitung beschädigen)
- Kabel an Solarstecker und -Buchsen nur mit zugelassenem Crimpwerkzeugen aufpressen, jede Verpressung auf Zugfestigkeit kontrollieren.
- Die in Steckern- und Buchsen integrierten Zugentlastungen mit vorgeschriebenen Anzugsmomenten festziehen
- Kabelverlegung in Dachdurchführungen zusätzlich mit materialverträglichem Klebeband mechanisch verstärken, ggf. Zugentlastung montieren
- Dachdurchführung (Ziegel) so ausklinken, daß keine Druckbelastung auf die Kabel entsteht und Kabel so fixieren, daß keine Scheuerstelle entsteht.
- Zeilenverbinder und Strangleitungen so verlegen, daß keine größeren Magnetfelder erzeugt werden können

4.2.3 Laderegler, Inselwechselrichter, Akku-Packs

Wenn die Be- und Entladung von Akku-Packs nicht in einem Wechselrichter für den Netzparallelbetrieb integriert ist, können externe Laderegler eingesetzt werden. Diese sind jedoch von den Leistungsdaten meist für kleine Solarstromanlagen für Anwendungen im reinen Inselbetrieb vorgesehen. Die DC-Eingänge des Generators werden hier direkt am Laderegler angeschlossen.

Durch die beladenen Akku-Packs stehen dann je nach Verschaltung Gleichstrom mit Spannungen mit 12 V, 24 V oder 48 V zur Verfügung. Mit dieser Spannungsebene lassen sich eine Vielzahl von Verbrauchsgütern auch direkt anschließen.

Ist eine Versorgung mit einer Wechselspannung mit 230 V gewünscht, kann ein Inselwechselrichter (Inverter) eingesetzt werden. Bei den Wechselrichtern gibt es verschiedene Verfahren zur Erzeugung der Ausgangsspannung und Frequenz. Ist der Anschluß hochwertiger, empfindlicher Geräte vorgesehen (Computer, TV-Technik, u.ä.) ist unbedingt ein höherwertiges Gerät mit Erzeugung einer sauberen Sinuskurve einzusetzen.

Auswahlkriterium ist hier die zulässige Dauerleistung im Abgleich mit der Summe aller Einzelleistungen (Maximalleistung) der anzuschließenden Verbraucher. Bei Anschluß von Geräten mit hohem Anlaufstrom (Motoren, z.T. auch Kühltechnik) sind entsprechende Leistungsreserven einzuplanen, um eine Überlastung zu vermeiden.

Vom Generator kann ggf. ein Teilgenerator (1-2 Module) abgekoppelt und speziell für eine Notstromversorgung konzipiert werden. Der Nachteil ist, daß diese Leistung in einem Haushalt mit Netzanschluss äußerst selten und dann nur zeitlich begrenzt benötigt wird. Diese Lösung ist eher als ökologisch (kaum ökonomisch) günstigere Lösung gegenüber einem Notstromaggregat unter Einsatz von Benzin oder Diesel anzusehen.

Anschluß von Geräten für 12 V oder 24 V Gleichspannung oder über Inverter auch Verbraucher für 230 V Wechselspannung.

Batterie-Beladung über 230 V Hausstromnetz

Unter Verwendung eines Netz-Ladegerätes (ähnlich dem Auto-Batterie-Ladegerät) kann eine Batterie beladen werden. Das Netz-Ladegerät könnte über eine Regelung (z.B. durch Kopplung mit einem Strahlungssensor oder AC- Ausgang am Wechselrichter mit Lastmanagement) dann frei gegeben werden, wenn mit der Solarstromanlage ohnehin Solarstrom erzeugt und im Hausstromkreis verbraucht wird.

Solche Netz-Ladegeräte müssten dann die Funktion der Erkennung eines Ladezustandes der Batterie haben, um die Ladevorgänge auf das erforderliche Maß zu reduzieren. Weiterhin sind ggf. Wartungsladungen zur weitgehenden Aufrechterhaltung der Batteriekapazität durchzuführen.

Notfalls sind zyklische Erhaltungsladungen zur Kompensation einer Selbstentladung vorzunehmen.

Die ökonomischen Aspekte bei den Lösungen zur Speicherung von Solarstrom können mit dem Excel-Tool (sh. Pkt. 5.3) näher bewertet werden.

4.3 Solarkonzept erarbeiten, Varianten prüfen

Zu Beginn einer Solarplanung sollte zunächst eine Zielstellung definiert werden:

- Soll die Solarstromanlage als Renditeobjekt wirken? Kann ich damit meine künftigen Stromkosten im Zaum halten?
- Geht es darum, eine höhere Versorgungssicherheit zu erreichen und einen möglichst hohen Anteil am eigenen Strombedarf selbst zu erzeugen? Gern auch mit einer Notstromfunktion bzw. der unterbrechungsfreien Stromversorgung.
- Sind eher ökologische Aspekte, eine Vorbildwirkung oder einfach nur die Freude an der intelligenten Technik die Ausschlag gebenden Motive?

Meistens ist es wohl ein Mix dieser Erwartungen. Die Antwort erhält man aber kaum über ein Angebot per Postwurfsendung. Hier ist eine zielführende Recherche und Berechnung gefragt.

Zu empfehlen sind:

- Analyse des eigenen Verbrauchs. Anstelle von kapitalintensiven Maßnahmen sollte erst einmal die nahe liegenden Einsparpotentiale (in einigen Fällen mit günstigerem Kosten-Nutzen-Verhältnis) ausgeschöpft werden. Dazu kann z.B. auch ein „Basis-Check“ geordert werden. Info's hierzu sh.
- Solarberatung bei der Verbraucherzentrale in Anspruch nehmen. Die Beratungen kosten max. 7,50 € pro 30 Minuten Beratungszeit, in einigen Beratungsstellen wird auch Solarsoftware eingesetzt. Falls einmal keine hinreichend genaue Bewertung des Vorhabens möglich ist oder der Einsatz einer computerberechneten Lösung gewünscht wird, kann der Vorgang ggf. an einen Fachkollegen bei der Verbraucherzentrale weiter geleitet werden.
- Prüfung verschiedener Konfigurationen. Festlegung von Generatorleistung, erweiterte Funktionen des Systems.
- Einholung von Angeboten nach Vorgaben. Feststellung der Kosten pro betriebsfertig montierter Anlagenleistung in Euro pro kWp [€/kWp].

4.4 Auslegung von Komponenten, Optimierung der Anlage

Die größte Effizienz beim Einsatz von Solarstromanlagen wird erzielt, wenn neben der bedarfsgerechten Auslegung der Komponenten auch zahlreiche Aspekte der Montage, Betriebsweise und Überwachung beachtet werden.

4.4.1 MPP-Arbeitsbereich, Eingangsspannung und Eingangsstrom am Wechselrichter

Bei den Modulen wird in den Datenblättern u.a. eine Reihe von elektrischen Kenndaten unter „Standard Testbedingungen“ (STC) (25°C, 1000 W/m², AM 1,5) angegeben.

Dazu gehören:

- Die Nominalleistung [Wp]
- Leistungstoleranz [%] (kann als Plus-, Minus- Toleranz oder neuerdings vermehrt als Null, Plus-Toleranz angegeben sein- die Mindestleistung entspricht dann der Nennleistung)
- Spannung im MPP - U_{MPP} [V]
- Strom im MPP - I_{MPP} [A]

- Leerlaufspannung $-U_{OC}$ [V]
- Kurzschlussstrom $-I_{SC}$ [A]
- Modulwirkungsgrad $[\eta]$

Ergänzend zu den STC- Werten können weitere Leistungsangaben nach NOCT (20°C, 800 W/m², 1 m/s) angegeben sein. Weiterhin können weitere Strom-Spannungskennlinien für die Strahlungsintensitäten von 800 W/m², 600 W/m², 400 W/m² und 200 W/m² angegeben sein.

Diese Teilleistungsparameter können in einer Moduldatenbank zur Berechnung der Jahreserträge übernommen werden.

Eine weitere wichtige Kenngröße ist die maximale Systemspannung DC seitig, die bis 1000 V betragen kann.

MPP ist abgekürzt von „Maximum Power Point“ und heißt übersetzt: im Punkt der maximalen Leistung Die Maximalwerte werden zur Auslegung und Abstimmung mit dem geeigneten Wechselrichter benötigt.

Weitere Kenndaten sind die temperaturabhängigen Kenndaten:

- Temperaturkoeffizient vom P [%/K]
- Temperaturkoeffizient von V_{OC} [%/K]
- Temperaturkoeffizient von I_{SC} [%/K]

Da sich mit abweichenden Außenlufttemperaturen die elektrischen Kennwerte verändern, werden die Temperaturkoeffizienten benötigt, um die Leistungsdaten des Generators auf den Winterfall berechnen zu können. Hier sind die winterlichen Betriebszustände auf die Einhaltung folgender Forderungen zu überprüfen:

- wird die maximal zulässige Systemspannung bei den Modulen eingehalten?
- werden die zulässigen Maximalwerte bei der Eingangsspannung und dem Eingangsstrom am Wechselrichter eingehalten?

Ein Solargenerator besteht aus mehreren Modulen. Durch Reihenschaltung von Modulen zu einem String erhöhen sich die Strings spannungen (Stromstärke bleibt konstant), bei Parallelschaltung der Module erhöhen sich die Stromstärken (Spannung bleibt konstant).

Durch eine gezielte Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung lassen sich so die gewünschten Leerlaufspannungen und Kurzschluss-Stromstärken eines Strings erzielen.

Die Wechselrichter erfassen die durch die Strahlung bedingt schwankenden Leistungen des Generators und stellen innerhalb ihres MPP-Arbeitsbereiches ein Optimum bei der erzeugten Leistung her.

4.4.2 Prüfung auf Grenzsituationen

Die Hersteller der Wechselrichter (WR) legen mit den Datenblättern eine Reihe technischer Daten fest. Zum Schutz der WR (auch zur Aufrechterhaltung der Garantie) sind insbesondere die vom Generator eingangsseitigen (DC-seitigen) Vorgaben einzuhalten.

Einige Parameter werden allerdings nicht einheitlich definiert, sodass bei den temperaturabhängigen Daten Umrechnungen erforderlich werden können.

Solche Parameter sind u.a.

- Max. DC-Leistung [W]
- empfohlene DC-Leistung [W]
- Max. DC-Spannung [V]
- Max. Eingangsstrom [A]
- MPP-Spannungsbereich von - bis [V]
- Anzahl MPP-Tracker [Stück]

Die maximale Eingangsspannung kann auch auf den Winterfall mit definierten Randbedingungen angegeben sein, (z.B. 1000W/m²; -10°C). Hier kann diese Randbedingung -10°C bei der Software-Simulation gleich mit eingegeben oder die Leerlauf-Strangspannung separat ermittelt werden.

Schwieriger wird es, die für die Region anzunehmende tiefste Außentemperatur zu ermitteln und als Grenzwert für die Auslegung zu berücksichtigen. Im Flachland und in windgeschützten Lagen sollten die tiefsten Außenlufttemperaturen für die Simulation etwas niedriger (mit ca. -16°C) und bei gebirgigen Standorten entsprechend noch tiefer angesetzt werden. Ohne Angabe einer Grenztemperatur für die festgelegte DC-Spannung für den WR ist ggf. eine Rückfrage beim Hersteller zu empfehlen.

Dazu folgendes Beispiel:

Ein Modul soll lt. Datenblatt folgende Kennwerte haben:

- Leerlaufspannung $U_{OC} = 36,4 \text{ V}$ (gilt für $1000\text{W}/\text{m}^2$, AM 1,5 und $+25^{\circ}\text{C}$)
- Spannungskoeffizient $-0,35 \text{ \%}/\text{K}$

Hier ist zunächst eine Umrechnung der Winterfall-Leerlaufspannung von Prozent/Kelvin [%/K] nach milliVolt pro Kelvin [mV/K] vorzunehmen.

$$-0,35 \text{ [\%/K]} * 0,01 * 36,4 \text{ [V]} = -127 \text{ [mV/K]}$$

Wird eine Winterfall-Außenlufttemperatur von 16°C zugrunde gelegt, ergeben sich z.B. folgende Werte:

$$\text{Leerlaufspannung Winterfall (bei } -16^{\circ}\text{C)} = 36,4 \text{ [V]} + (-127 \text{ [mV/K]} * (-25 \text{ K} + (-16 \text{ K}))) = 41,6 \text{ V}$$

Würde die max. Eingangsspannung am WR 500 V (bei -16°C) betragen, könnten maximal 12 Module, $= 12 * 41,6 \text{ V} = 499,2 \text{ V}$ in Reihe angeschlossen werden. Hier ist erkennbar, daß eine tiefere Temperatur (z.B. klarer, sonniger Tag im Februar oder März mit einer schon etwas höher stehenden Sonne) zu einer Überschreitung der zulässigen DC-Spannung führen kann.

Neben der Eingangsspannung sind der maximale Eingangsstrom und die DC-Leistung zu beachten.

Da die Leistung [W] das Produkt aus Spannung [V] und Stromstärke [A] ist, kann es vorkommen, daß trotz Einhaltung der maximalen Eingangsspannungen und der Eingangsstromstärken eine unzulässig hohe DC-Leistung am Eingang des Wechselrichters anliegt. Diese Situation kann eintreten, wenn sowohl die Eingangsspannung als auch der Eingangsstrom dicht am Limit des WR ausgelegt sind. Es ist daher jeder einzelne Grenzwert zu beachten.

Das Excel-Tool (sh. Pkt. 5.3) enthält einen Umrechner der temperaturabhängigen Leistungsangaben von [%/K] in [mV/K].

4.4.3 Balance zwischen Ertragsoptimierung und Belastung von Komponenten

Es ist nachvollziehbar, dass eine Solarstromanlage einen möglichst hohen Ertrag bringen soll.

Wenn die Möglichkeit besteht, an einen vorbestimmten WR pro String 12, 13 oder 14 Module in Reihe anzuschließen, ist leicht zu erkennen, daß die Lösung mit den 14 Modulen wirtschaftlicher als bei 12 oder 13 Modulen wird. Da sich die Kosten für den WR nicht mehr erhöhen, und sich nur die anteiligen Kosten für die zusätzlichen Module incl. Unterkonstruktion und Montage erhöhen, sinkt der Preis der installierten Leistung in kWp mit steigender Modulanzahl.

Neben dieser rein ökonomischen Betrachtung sind auch die sich ändernden Betriebsbedingungen zu beachten.

Die WR haben pro MPP-Tracker einen Arbeitsbereich, in dem sie mit einem Suchalgorithmus die Generatorkennlinie (Strom- u. Spannungskennlinie) fortlaufend überprüfen und durch ein Tracking den optimalen Betriebspunkt einstellen. Je besser die MPP-Spannungen des Generators durch die Verschaltung der Module an den MPP-Tracking-Bereich des WR durch angepasst werden können, umso höher wird der Solarertrag.

Mit ein paar Simulationen sollen nachfolgend die Auswirkungen verschiedener Auslegungsvarianten dargestellt werden:

Komponenten und Kenndaten (3 Strings mit symmetrischer Einspeisung)	Module je String in Reihe 12	Module je String in Reihe 13	Module je String in Reihe 14
Module je String: Schott POWER poly 230 Wp			
Max. Systemspannung am Modul: 1.000 V			
Einbausituation des Generators: hinterlüftet			
Wechselrichter je String: 1 x SMA Sunny Boy 3000			
AC- Nennleistung des WR: 2,75 KW			
Max. DC-Systemspannung des WR: 600 V			
Neigung (Elevation-keine Nachführung): 45°			
Südabweichung (Azimut- keine Nachführung): 18°			
Verschattung: ja - sh. Grafik Bild 2			
Verluste: ja- sh. Grafik Bild 3			
Klimadatensatz: 04639 Gößnitz			
Überprüfung der Auslegung (je String)			
PV-Leistung je String [kWp]	2,76	2,99	3,22
Zulässiger Dimensionierungsfaktor WR [%]	93 - 123	93 - 123	93 - 123
Dimensionierungsfaktor [%]	100	109	117
MPP-Tracking-Bereich WR [V]	268 - 480	268 - 480	268 - 480
MPP-Spannung Solargenerator [V]	290 - 370	314 - 401	338 - 431
Solargenerator-Leerlaufspannung (bei -10°C) [V]	493	534	575
Solargenerator-Leerlaufspannung (bei -16°C) [V]	501	543	585
Grenztemperatur bei Leerlaufspannung: -24°C			599
Nutzungsgrade und erzeugte Energie			
Solargenerator-Leistung [kWp]	8,28	8,97	9,66
Erzeugte Energie AC-seitig [kWh/a]	6.816,6	7.399,0	7.938,1
Systemnutzungsgrad [%]	10,8	10,8	10,7
Anlagennutzungsgrad (Performance Ratio) [%]	76,7	76,9	76,6
Spezifischer Jahresertrag [kWh/kWp]	820,3	822,1	819,2

Simulationen: Ing.-büro Mentzel

Die Tabelle zeigt, dass bei Montage von 14 Modulen in Reihe und Außenlufttemperaturen ab ca. -24°C rechnerisch die maximale Eingangsspannung am Wechselrichter überschritten werden kann.

Obwohl natürlich der absolute Jahresertrag gegenüber den Varianten mit 12 oder 13 Modulen steigt, sinkt der spezifische Jahresertrag in kWh/kWp. Die MPP-Spannung des Generators verschiebt sich in einen etwas ungünstigeren Bereich.

Für die Einbausituationen des Generators können lt. Software die Zustände: „frei“, „hinterlüftet“ und „nicht hinterlüftet“ selektiert werden. Hier geht es schlicht um die Kühlung des Generators durch die Belüftung. Als „freie“ Einbausituation ist die Aufständigung (z.B. auf einem Flachdach) und bei der „hinterlüfteten“ Variante die dachparallele Montage zu verstehen. Indachmontagen sind nicht „hinterlüftet“.

Da aber auch zwischen einer windgeschützten Tallage und einem erhöhten Standort gegenüber der übrigen Bebauung ein Unterschied bei der Luftanströmung besteht und diese Einflussgröße schwerer zu bewerten ist, sollten hier Grenzwerte bei den maximalen Eingangsspannungen nicht ganz ausgereizt werden.

Da grenzwertige Auslegungen den Anlagennutzungsgrad wieder etwas reduzieren und zudem das Risiko einer Überlastung der Komponenten erhöhen, ist eine Sicherheitsreserve, die auch einmal einen neuen Minustemperatur-Rekordwert übersteht, zu empfehlen.

Hier sollte man bedenken, daß die Anlage 20 Jahre und länger störungsfrei laufen soll und eine Überwachung auf extreme Wetterlagen zur evtl. notwendigen, manuell vorzunehmenden DC-Freischaltung kaum praktikabel ist.

Bei Beibehaltung o.g. Modul- und Wechselrichtertypen wäre hier eine Auslegung mit 13 Modulen pro WR zu empfehlen. Alternativ können natürlich andere Kombinationen von Modulen und Wechselrichtern überprüft werden.

Die Konfiguration kann durch die integrierte Anlagenüberprüfung gecheckt werden:

Anlagenüberprüfung			
Überprüfung der Leistungen		Überprüfung der Ströme	
PV-Leistung pro Wechselrichter	3,22 kW	Strom durch Leitungen bei STC:	7,76 A
AC-Nennleistung des Wechselrichters:	2,75 kW	Belastbarkeit von isolierten Kupfer-Leitungen Gruppe 3:	45,0 A
Dimensionierungsfaktor: PV-Leistung (STC) AC-Nennleistung	117 %	Rel. Leitungsverluste bei STC:	0,167 %
Zulässiger Dimensionierungsfaktor:	93 % - 123 %	Max. Strom durch Wechselrichter bei 25 °C und 1000 W/m ² :	7,76 A
		Max. Eingangsstrom des Wechselrichters:	12,0 A
Überprüfung der MPP-Spannungen		Überprüfung der oberen Spannungsgrenze	
MPP-Tracking-Bereich des Wechselr.:	268 - 480 V	Max. Systemspannung des Wechselrichters:	600 V
MPP-Spannungen des PV-Generators bei 70 °C und 1000 W/m ² bzw. 15 °C und 1000 W/m ² :	338 - 431 V	Max. Systemspannung der Module:	1000 V
		PV-Generator-Leerlaufspannung bei -10 °C und 1000 W/m ² :	575 V
Überprüfung der Schiefelast			
Aktuelle Schiefelast:	0,0 kVA	Maximal zulässige Schiefelast:	4,6 kVA
Es sind keine Unstimmigkeiten aufgetreten! Spezielle Auslegungsregeln der Hersteller sind zu beachten			
Teilgen 1		Teilgen 2	
Teilgen 2		Teilgen 3	
Berechnungen mit festen Extremwerten (siehe Optionen->Einstellungen)		Weiter	
		Hilfe	

Quelle: PV*Sol 5.5 [9]

4.4.4 Kabelverluste, Berechnung

Die Verluste der DC-seitigen Leitungen werden durch Eingabe der Querschnitte und Kabellängen bei einer speziellen Solarstromsoftware mit ermittelt.

Ebenso wichtig ist die Begrenzung der Verluste auf der Seite zwischen Wechselrichter und dem Einspeisepunkt (AC-Seite). Soweit die Solarsoftware dies nicht mit berechnet, kann hier ggf. ein kostenfreies Tool der Hersteller der Wechselrichter in Anspruch genommen werden. Sie bieten auf ihrer Website mit dem Tool die Möglichkeit, neben der Wechselrichterauslegung (natürlich sind hier nur die Geräte ihrer Produktpalette aufrufbar) auch die Verluste der AC- und DC-seitigen Leitungen zu überprüfen und die richtige Auslegung zu finden.

Weiterhin ist die Impedanz am AC-Eingang des Wechselrichters zu seiner ungestörten Betriebsweise zu ermitteln. Sie berechnet sich als Summenwert aus Widerstand am Einspeisepunkt und Widerstand der Wechselstromanschlussleitung. AC-Anschlussleitungen sollten immer großzügig bemessen werden. Die Netzimpedanz am Einspeisepunkt läßt sich nur mit einer Langzeitmessung, ggf. über mehrere Tage, feststellen, um einen Mittelwert zu bilden und Impedanzsprünge zu erkennen.

Im Excel-Tool (sh. Pkt. 5.3) sind in einem gesonderten Arbeitsblatt u.a. ein Tool zur Berechnung der Wechselstromanschlussleitungen für die einphasige und dreiphasige Einspeisung integriert.

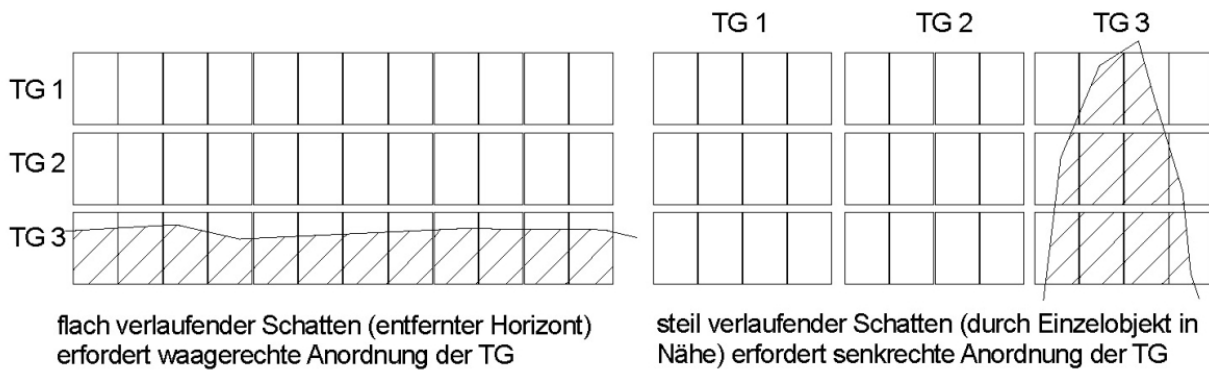
4.4.5 Anordnung von Strings, Sortierung von Modulen

Um den Einfluss von Verschattungen zu minimieren, kann eine bewusste Anordnung der Strings sinnvoll sein. Hierbei ist zwischen den standortnahen „Hindernissen“ und dem standortfernen Horizont als Ursache für eine Verschattung zu unterscheiden.

Bei standortnahen Objekten (Häuser, Bäume, Lichtmasten u.ä.) können durch den Verlauf der Sonne in den Übergangszeiten Teilverschattungen entstehen. Soweit dies möglich ist, sollten Teilgeneratoren so angeordnet werden, daß zeitlich betrachtet jeweils nur einzelne Teilgeneratoren betroffen sind und die übrigen Teilgeneratoren ohne Verschattung arbeiten können.

Bild 1 zeigt die Anforderung

Reduzierung von Verschattungsverlusten



Zielstellung: Eine Verschattung soll gleichzeitig möglichst wenige Teilgeneratoren (TG) betreffen.
Für jeden TG ist eine getrennte MPP-Steuerung vorzusehen.

Grafik: Ing.-büro Mentzel

Damit die Ertragseinbußen auch gering gehalten werden können, ist es notwendig, daß statt eines Zentralwechselrichters mit einem MPP-Tracker ggf. ein Wechselrichter mit mehreren MPP-Trackern oder je String ein Wechselrichter zum Einsatz kommt. Nur dadurch können unterschiedliche Betriebspunkte der Generatorkennlinien für einen maximalen Ertrag berücksichtigt werden.

Während der Phasen einer Teilverschattung erzielen die Teilgeneratoren unterschiedliche Leistungen. Wird z.B. ein ausreichend leistungsstarker Wechselrichter mit 3 DC-Eingängen und nur einem MPP-Tracker eingesetzt, kann nur ein Betriebspunkt eingestellt werden. Dabei ergibt sich ein Leistungsverlust für die Anlage.

Zur Optimierung des Solarertrags sind bei 3 Teilgeneratoren daher folgende Wechselrichter und Anschlüsse möglich:

- je Teilgenerator ein WR mit einem MPP-Tracker (weitgehend symmetrische Einspeisung)
- 1 WR mit 3 MPP-Trackern
- 1 WR mit 2 MPP-Trackern (oft nicht optimaler Ertrag, wenn 2 statt 3 Teilgeneratoren errichtet werden)

Eine weitere Möglichkeit zur Anlagenoptimierung besteht darin, die Module vor der Montage zu sortieren. Den Modulen wird ein sogenanntes Werks-Messprotokoll beigelegt. Bei diesen Messungen werden die elektrischen Kenndaten (Leistung, I_{SC} , U_{OC} , I_{MPP} , U_{MPP}) unter Standard-Testbedingungen (STC) erfasst und dokumentiert. Die Module haben dazu auf der Rückseite einen Aufkleber, auf dem der Typ und die Modulnummer versehen sind. Die Kontrolle von solchen Werks-Messprotokollen ergab, dass bei einer Charge von angenommen 30 Modulen durchaus Leistungs- und Spannungsschwankungen bis ca. 3 % auftreten können.

Für die Sortierung der Module kann es zwei Beweggründe geben:

- Da höher liegende Teilgeneratoren weniger Verschattung haben, kann dort eine Modulreihe mit den höchsten Leistungswerten angeordnet werden. Das steigert den Solarertrag vom Generator, wenn diese Modulreihe einen String bildet und eine eigene MPP-Steuerung hat.
- Die Winterfall-Leerlaufspannung bewegt sich dicht am zulässigen Eingangsspannungsbereich vom Wechselrichter. Wird nun eine unsortierte Modulmontage vorgenommen, ist es möglich, dass zufällig mehrere der leistungsstärksten Module mit Plus-toleranzen in einem String verschaltet werden und somit die Gefährdung des Wechselrichters ansteigt.
Die Sortierung hätte in diesem Falle den Zweck, solche Spitzenwerte pro String zu unterbinden.

4.4.6 Vorzüge der symmetrischen Einspeisung

Die Differenz der eingespeisten Leistungen auf die Außenleiter L1, L2 und L3 darf nicht mehr als 4,6 kVA [10] betragen, man spricht von einer Schiefast. Wird die Schiefast vermieden, liegt eine symmetrische Einspeisung vor. Diese hat einige Vorteile.

Bei einer Generatorleistung von z.B. 9,0 kWp wäre es zulässig, auf zwei Außenleiter (Phasen) einzuspeisen. Wird stattdessen eine dreiphasige Einspeisung mit angeschlossenen Generatorleistungen von je 3 kWp vorgesehen, sinkt zunächst die Ausfallrate durch Störungen bei einzelnen Außenleitern. Ein weiterer Vorteil ist, daß sich eine Störung an einem Teilgenerator leichter erkennen läßt. Hat sich zwischen den Teilgeneratoren durch die Lageabweichungen erst ein Ertragsunterschied eingepegelt, fallen spätere Abweichungen durch Ausfälle an Modulen, Kabelschäden u.a. sofort auf.

Auch die Netzbetreiber sehen die symmetrische Einspeisung lieber, dies kann sich bei schwierigen Netzverhältnissen beim Antragsverfahren (Antrag auf Anschluß einer Eigenerzeugungsanlage) positiv auswirken.

4.5 Solare Erzeugung, Eigenverbrauch und Verkauf

Wird eine Solarstromanlage zur Volleinspeisung konzipiert, spielt der Eigenverbrauch keine Rolle. Bei kleineren Anlagen, die zusätzlich im eigenen Wohnobjekt oder zumindest in der Nähe montiert werden, wird die Überschusseinspeisung zum Regelfall.

Die zählerseitigen Anforderungen können bei den Netzbetreibern variieren, diese sind abzufragen.

4.5.1 Eigenverbrauch maximieren

Da der Preis für den bezogenen Netzstrom inzwischen höher liegt als der Preis des solar erzeugten und eingespeisten Stromes, ist es sinnvoll, den Eigenverbrauch, soweit dies mit vertretbarem Aufwand möglich ist, zu maximieren.

Bei den meisten Haushaltsanwendungen (sh. Excel Tool Pkt.5.3.- Abschnitt A I Haushalt) gibt es über das Jahr betrachtet eine beinahe konstante Abnahme.

Bei der Beleuchtung gibt es zwischen dem sommerlichen und dem winterlichen Bedarf natürlich Unterschiede. Diese sind beim Einsatz energiesparender Leuchten (am besten LED-Technik) aber im Hinblick auf die Bewertung des Eigenverbrauchsanteiles an Solarstrom fast zu vernachlässigen.

Deutlich relevanter werden die Prozesse, die an den Heizungsbetrieb gekoppelt sind. Dies kann zunächst mehrstufige Heizungs-, WW-Lade- oder Zirkulationspumpen betreffen.

Am stärksten wirken die elektrische Warmwasserbereitung und die Raumheizung. Da bei Bestandgebäuden älterer Bauart der Heizwärmebedarf i.d.R. ein Vielfaches gegenüber dem Warmwasserbedarf beträgt, kann die Senkung des Strombedarfs für die Raumheizung im Hochtarif (Tagstrom) auch die größten Einsparpotentiale erschließen.

Mit vergleichsweise geringem Aufwand lassen sich im Haushalt einige Anwendungen zeitlich so steuern, daß sie in die ertragsstarken Mittagsstunden verlegt werden.

Ein Start der Geräte über Zeitschaltuhr (Mittagszeiten), ggf. über Strahlungssensor in Kombination mit Regler oder Ansteuerung vom Wechselrichter (Lastmanagement), ist möglich bei:

- Waschmaschine, Trockner
- Warmwasserbereitung (wenn über Heizpatrone)
- Pool/Aquarium- Filterung
- weiteres (sh. Excel-Tool)

4.5.2 Solarstrom für Wärmeerzeugung? Grenzfälle und Werbung näher betrachtet

In letzter Zeit häufigen sich die Werbeanzeigen, die suggerieren, daß man mit einer Solarstromanlage die steigenden Heizkosten in den Griff bekommen kann, daß man sich unabhängig machen kann und ähnliches mehr.

Für die seriöse Bewertung einer angedachten Lösung sind einige Berechnungen vorzunehmen:

- Wie ist der Deckungsanteil der solaren Stromerzeugung am Wärmebedarf (jährliche Erzeugungskurven bei Solarstrom und Bedarfskurven bei Wärme für Raumbeheizung u. Warmwasserbereitung sind auszuwerten- sehr gut möglich mit Excel-Tool sh. Pkt. 5.3)
- Wie sind die Kosten und die Erlöse des betrachteten Konzeptes bei Einbindung einer Solarstromanlage? Solche Berechnungen sollten nach den Rechenvorschriften der VDI-Richtlinie 2067 [11] Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen- vorgenommen werden. Hierbei werden kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten berücksichtigt.

Bei solchen Berechnungen können statische oder dynamische Berechnungen vorgenommen werden. Dynamische Berechnungen eignen sich für langfristig angelegte Investitionen, bei denen auch angenommenen Preisänderungen bei den eingesetzten Energieträgern berücksichtigt werden können.

Einige Anwendungsfälle zur Nutzung des Solarstromes für die Raumwärme bzw. die Hilfsenergie von Wärmeerzeugern werden in den nachstehenden Unterpunkten näher beleuchtet.

4.5.2.1 Solarstromanlage oder Solarwärmeanlage auf's Dach?

Manchmal steht die Fragestellung, ob zur Unterstützung der Raumheizung u. Warmwasserbereitung besser eine Solarstromanlage oder eine Solarwärmeanlage montiert werden sollte.

Da beide Systeme Vor- und Nachteile haben, sollen die wichtigsten Argumente einmal für die typischen Anwendungsgrenzen eines Eigenheimbesitzers gegenüber gestellt werden.

	Einheit	Solarstrom- anlage	Solarwärme- anlage
Randbedingungen:			
<u>Kollektor- bzw. Modulfeld:</u> Südausrichtung, optimaler Neigungswinkel für Wärmeerzeugung berücksichtigt, nahezu verschattungsfrei,			
<u>Systemtemperaturen Heizung:</u> VL/RL 50/40°C oder niedriger			
<u>Spezifischer Wärmebedarf:</u> 70 kWh/m ² Nutzfläche (Neubauniveau), 150 m ² Warmwasserbedarf: 2.000 kWh/a			
<u>Speicher:</u> Pufferspeicher 1000 L + WW-Speicher 300 L			
<u>Solarstromanlage:</u> ohne Akku-Pack gerechnet (da direkte Nutzung)			
Ertragsdaten:			
spezifischer Ertrag bei vollständiger Abnahme ca. 1)	kWh/(m ² *a)	< 150	bis 300
solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf (Variante: „ <u>Vorrangschaltung für Heizwärme</u> “) bei Montageflächen von			
ca. 2)	20 m ² %	16	28
	10 m ² %	10	21
solarer Deckungsanteil am Wärmebedarf (Variante: <u>Nachrangschaltung für Heizwärme</u>) bei Montageflächen von			
ca. 3)	20 m ² %	9	28
	10 m ² %	4	21
Kosten und Erlöse:			
Montagekosten incl. Zuschussförderung auf Montagefläche bezogen ca. 4)	€/ m ²	450,-	900,-
Erläuterungen:			
1) Brutto- Montageflächen, ohne Stillstandsverluste durch Abschaltung bei Speicherbeladung. Größere Anlagen erfordern Saisonspeicherung.			
2) Ohne Saisonspeicherung. Vorrang für Eigenverbrauchsnutzung an Haushaltstrom und Wärmepreise beachten- sh. Folgetext Auswertung			
3) Für den Eigenverbrauch beim Haushaltsstrom wurden ca. 700 kWh/a in Abzug gebracht			
4) Bei Solarwärmeanlagen zur Heizungsunterstützung kann ggf. BAFA-Förderung in Anspruch genommen werden. Bei Solarwärmeanlagen sind Bruttokosten (incl. MwSt.), bei Solarstromanlagen sind Nettokosten angesetzt. Bei Solarstromanlagen sind neben den kWp-Montagekosten auch die Zusatzkosten für einen Speichersystem für Heizwasser (analog den Solarwärmeanlagen) eingerechnet.			

Berechnungen: Ing.-büro Mentzel

Auswertung:

Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, basiert die Berechnung bei der Variante: „**Vorrangschaltung Heizwärme**“ auf der Annahme, dass der solar erzeugte Strom zuerst für die Raumbeheizung und Warmwasserbereitung genutzt wird. Dies ist kaum praxistgerecht, da der sonstige Haushaltsverbrauch (Waschen, Kühlen etc.) schon aus Kostengründen immer vorrangig oder zeitgleich abgedeckt werden sollte.

Die Variante „**Nachrangschaltung Heizwärme**“ ist in den unteren Zeilen bei den Ertragsdaten zu sehen. Diese Lösung wird erzielt, wenn zunächst der (normal erzielbare) Eigenverbrauch am Haushaltsstrom (ohne Akku's) abgedeckt wird und der übrige solar erzeugte Strom bis zur Grenze des jahreszeitabhängigen Wärmebedarfs in einen Pufferspeicher eingespeist wird.

Beide Konzeptionen lassen sich mit dem Excel-Tool ausreichend genau analysieren.

Die Nutzung der lediglich überschüssigen Solarstromanteile für die Raumbeheizung/Warmwasserbereitung führt daher bei diesen Randbedingungen zu erheblich niedrigeren solaren Deckungsanteilen gegenüber den Konzeptionen mit Solarwärmeanlagen. Wird ein hoher solarer Deckungsanteil gewünscht, ist ein kompletter Systemvergleich zwischen Solarwärme- und Solarstromanlagen unumgänglich.

Hinweise zu Solarwärmeanlagen sind der Fibel „Optimierung einer Solarwärmeanlage“ ebenfalls auf www.sonnenbahn.de zu finden.

Mit sinkendem, spezifischem Raumwärmebedarf erhöhen sich die Deckungsanteile durch die Solarstromerzeugung, sodaß sich die erforderlichen Zielwerte bei der solaren Erzeugung und dem Jahres-Heizwärmebedarf ermitteln lassen.

4.5.2.2 Solarstromanlage und Wärmepumpe

Bei beworbenen Lösungen zur Kopplung von Solarstromanlagen mit Wärmepumpen wären die Offerten zu hinterfragen und weiter gehende Berechnungen anzufordern/vorzunehmen.

- a) Soll der Solarstrom die elektrische Antriebsenergie der Wärmepumpe (teilweise) abdecken?
- b) Soll der Solarstrom in den Sommer- und Übergangsmonaten die Betriebszeiten der Wärmepumpe reduzieren oder einen zeitweisen Ausschaltbetrieb ermöglichen?
- c) Soll gar per Solarstromanlage (oder Solarwärmeanlage) Wärme in das Erdreich gepuffert werden, um die Jahresarbeitszahl zu erhöhen?

Bei allen Varianten sind zunächst die per Simulation zu erwartenden Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen zu ermitteln. Ist der Jahresheizwärmebedarf incl. WW-bedarf für das Objekt bekannt, können zunächst die Strombedarfsanteile dieser Systeme berechnet werden. Da die Arbeitszahlen von der Temperaturdifferenz zwischen der Quelle (Luft, Wasser, Erdreich) und der Senke (Speicher) jahreszeitlich schwanken, wären auch die monatlichen Stromanteile anzupassen. Abweichend von den Wärmeanteilen nach VDI- 2067 wären die winterlichen Anteile für den Strom zu erhöhen und die sommerlichen Anteile zu verringern.

Die weitere Berechnung der nutzbaren Solarstromerzeugung kann mit dem Excel -Tool erfolgen.

Wird Solarstrom für die direkte Wärmeerzeugung (per Heizstab an Puffer oder per Elektro-Heizgerät) genutzt, vermindern sich die sommerlichen und somit günstigen Betriebszeiten für die Wärmepumpe. Die Jahresarbeitszahl muß sich damit zwangsläufig vermindern. Dies ist in der Gesamtbetrachtung der gekoppelten Anlage zu beachten.

Bei zeitversetzter Nutzung von Solarenergie (Solarstrom oder Solarwärme) für eine Einspeicherung in das Erdreich sind die Effekte der zeitabhängigen Wärmeverluste und der zusätzlichen Hilfsenergie (hohe Leistungen der Solepumpen und ggf. zusätzliche Betriebszeiten) zu berücksichtigen. Solche Vorschläge sind stets kritisch zu betrachten, insbesondere da keine verlässlichen Daten für die Wärmeleitung (Wärmekapazität, Strömungsverhältnisse bei Grundwasser) im Erdreich vorliegen und eine seriöse Nachweisführung auch für qualifizierte Planer kaum möglich ist. Die Zeitspanne zwischen einer sommerlichen Einspeisung und um einige Monate späteren Entnahme ist so groß, daß davon ausgegangen werden kann, daß im Regelfall hier keine wirtschaftliche Betriebsweise zu erzielen ist.

Soll eine Einspeisung in einen allseitig gedämmten Saisonspeicher erfolgen, kann durch die definierten Parameter am Speicher wenigstens eine hinreichend genaue Berechnung und Überprüfung solch eines Konzeptes vorgenommen werden.

4.5.2.3 Solarstrom für elektrische Direktheizung

Eine Aktivierung von Heizpatronen zur Wärmespeicherung in einem wasserführenden System oder die direkte Ansteuerung von Elektroheizkörpern sollte stets nachrangig zur Eigenverbrauchsnutzung für den Haushaltsstrom erfolgen. Die ist einfach damit zu begründen, daß der kWh- Preis für den Strom im Hochtarif am höchsten ist.

Im Allgemeinen läßt sich sagen, daß die Nutzung von Solarstrom für Raumwärme dann ökonomisch sinnvoll ist, wenn der Wärmepreis der Raumwärme gleich oder größer als die Vergütung für den eingespeisten Strom ist. Die Eigennutzung von Solarstrom für Wärme kann ebenfalls Sinn machen, wenn überschüssige Kapazitäten gegenüber dem Haushaltsstrombedarf auf diese Weise genutzt werden. Bei dieser Betrachtungsweise sind natürlich auch die sonstigen relevanten Kosten (Annuitäten der Investitionen, vermiedene Kosten bei Beschaffung, Wartung u.s.w.) zu berücksichtigen.

Die Einspeisevergütung für Strom aus solarer Strahlungsenergie richtet sich nach den Bestimmungen des EEG. Die Vergütungssätze werden von der Bundesnetzagentur veröffentlicht.

Die Wärmepreise für die üblichen konventionellen Energieträger (Öl, Gas, Flüssiggas, Festbrennstoffe, andere) bzw. für Fernwärme oder auf der Basis erneuerbarer Energien werden wie folgt bestimmt.

- a) handelsübliche Energieträger (Öl, Erdgas, Flüssiggas, Scheitholz, Holzpellets, Holzhackschnitzel, Kohle, u.a.)
Je nach Betriebsart der Wärmeerzeugungsanlage (Niedertemperaturtechnik oder Brennwerttechnik) ist zunächst der Preis des Energieträgers für den Heizwert (unterer Heizwert H_u) oder der Brennwert (oberer Heizwert H_o) des Energieträgers pro Liefereinheit zu ermitteln. Bei volumen- oder massebezogenen Liefereinheiten (Kg, Tonne, Zentner, m^3 , Liter, Raummeter) sind die Preise pro kWh umzurechnen. Hierbei sind teilweise Umrechnungen mit Berücksichtigung der Dichte oder des Feuchtegehaltes der Energieträger vorzunehmen. Für einige beispielhafte Energieträger sind die Wärmepreise auf [www.sonnenbahn.de/Projekte & Info's/Ökonomie/Wärmepreise](http://www.sonnenbahn.de/Projekte%20&%20Info's/Ökonomie/Wärmepreise) zu finden. Entsprechend dem dort aufgezeigten Schema können Anpassungen für aktuell gültige Einkaufspreise vorgenommen werden.
- b) Strom im Hoch- oder Niedertarif, Sondertarife (außer Wärmepumpentarif)
Hier kann der Arbeitspreis in [€/kWh] lt. Preisblatt zugrunde gelegt werden. Umwandlungsverluste können i.d.R. entfallen.
- c) Wärmepumpe
Um den Wärmepreis einer Wärmepumpenheizung berechnen zu können, muß zunächst die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe mithilfe einer speziellen Software berechnet werden. Ist diese bekannt, kann der Preis für den Wärmepumpentarif durch die JAZ dividiert werden.

4.5.2.4 Umnutzung von Nachtspeicherheizungen

Die vergünstigten Tarife für Nachtspeicherheizungen sind an zulässige Ladezeiten gekoppelt, die im Regelfall zwischen 22.00 Uhr und 06.00 Uhr am Folgetag liegen. Ergänzende Tarife lassen auch weitere, stundenweise Tagnachladungen zu.

Sollen vorhandene Nachtspeicheröfen auch mit Solarstrom (teil)-beladen werden, sind folgende Bewertungen vorzunehmen:

- wieviel Solarstrom bleibt steht nach der dem vorrangigen Eigenverbrauch für den Haushaltsstrom noch für eine Wärmenutzung zur Verfügung?
- wie hoch ist davon der zeitanteilige Ertrag, wenn nur die Zeiten der Tagnachladung beim Wärmepumpentarif genutzt werden sollen?
- lohnt sich der Wechsel vom vergleichsweise preisgünstigen Wärmepumpentarif in einen Hochtarif, um die Einschränkungen der zeitlich begrenzten Tagnachladung zu umgehen?
- zu beachten sind die monatlichen Anteile beim Wärmebedarf (Raumheizung und Warmwasserbereitung) im Abgleich mit den solaren Überschüssen, die für die Beladung der Nachtspeicheröfen in Betracht kommen.
- Jahresbilanz mit Kosten im Bestand und nach einer Umnutzung

Hinweis: Berechnungen der nutzbaren Stromanteile für die Wärmeerzeugung können mit dem Excel -Tool recht ausführlich vorgenommen werden

4.6 Solarertragssimulation mit freier und kostenpflichtiger Software

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, einen zu erwartenden Solarertrag abzuschätzen bzw. zu ermitteln. Einige kostenfreie Tools geben Durchschnittswerte für eine Region oder bei einer definierten Ausrichtung an. Da einige ertragsbestimmende Parameter einer Solarstromanlage zu großen Abweichungen gegenüber solchen Durchschnittswerten führen können, sind auf eine kWp- Leistung oder auf eine Region bezogene Ertragswerte für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung schlichtweg untauglich.

Ein weiterer Nachteil besteht bei pauschalen Ertragsprognosen darin, dass kein Abgleich zwischen Planwerten und tatsächlich erzielten Solarerträgen vorgenommen werden kann und damit keine Rückschlüsse auf eine ordnungsgemäße Installation vorgenommen oder Störungen beim Anlagenbetrieb erkannt werden können.

Eine sorgfältige Planung und Dokumentation sichert zunächst einen langfristig störungsfreien Anlagenbetrieb und schafft die Voraussetzungen für eine angemessene Anlagenüberwachung und frühzeitige Störungserkennung. Dies lässt sich nur unter Zuhilfenahme einer höherwertigen Solarsoftware erzielen.

4.6.1 Parameter zur Solarertragssimulation

Zum Standort gehören die geografische Lage (Breiten- u. Längengrad). Die Solarsoftware hat i.d.R. eine Anzahl Klimadatensätze für die wichtigsten Standorte in Deutschland integriert.

Liegt einer dieser Standorte nahe am betrachteten Objekt, kann solch ein Klimadatensatz sicher heran gezogen werden. Noch genauer wird die Simulation, wenn mithilfe der Software-Applikation „MeteoSyn“ ein Klimadatensatz für den neuen Standort generiert wird.

Insgesamt sind für eine sachgerechte Ertragssimulation folgende Parameter mindestens zu berücksichtigen:

- Standort (Breiten- u. Längengrad)
- Einbaulage des Generators (Azimut und Elevation)
- Montageart (frei, hinterlüftet, nicht hinterlüftet)
- Verschattung (komplettes Verschattungsprofil, möglichst getrennt nach durchlässigen (Bäume) und nichtdurchlässigen Objekten (Häuser) getrennt
- Module mit Leistungswerten (dies muss ggf. in der Moduldatenbank eingegeben werden)
- Wechselrichter mit Kenndaten (muss ggf. in WR-Datenbank eingegeben werden)
- Verschaltung der Module (Reihen- und Parallelschaltung)
- Länge von Anschlussleitungen und Querschnitt
- Verluste (Abweichung vom Standard-Spektrum, Mismatch, Abweichung gegenüber Leistungsangaben, Dioden, Verschmutzung)

Da die vom Generator erzeugte Leistung nach den Regelungen des EEG (sh. § 9, Abs. 2) entweder ferngesteuert reduziert werden kann oder bei Anlagen bis 30 kWp alternativ eine Begrenzung der Wirkleistungseinspeisung auf 70 % der Nennleistung zu gewährleisten ist, sind vom berechneten Solarertrag ggf. Abschläge einzuplanen.

Wie hoch diese Abschläge durch den nicht gleichzeitigen Eigenverbrauch ausfallen, lässt sich mit dem Excel-Tool näher berechnen.

4.6.2 Verschattungsprofil detailliert aufnehmen

Der Einfluss einer Verschattung, auch Teilverschattung auf den Solarertrag wird oft unterschätzt.

Die Ermittlung der Horizontes muss von Standort der Solaranlage aus gesehen erfolgen. Mindestens in einem 180 ° Winkel, besser 360°, ist die Verschattung durch das Gelände bzw. Häuser und Bäume zu erfassen.

Besteht ein Generator aus mehreren Teilgeneratoren, können insbesondere die objektnahen „Hindernisse“ zu starken Abweichungen im Ertrag bei den Teilgeneratoren führen. In dem Fall ist eine gesonderte Erfassung der Entfernungen und Höhen- und Breitenwinkel der einzelnen Verschattungsobjekte unerlässlich.

Die nachstehende Grafik zeigt die Auswirkung auf drei übereinander angeordnete Teilgeneratoren.

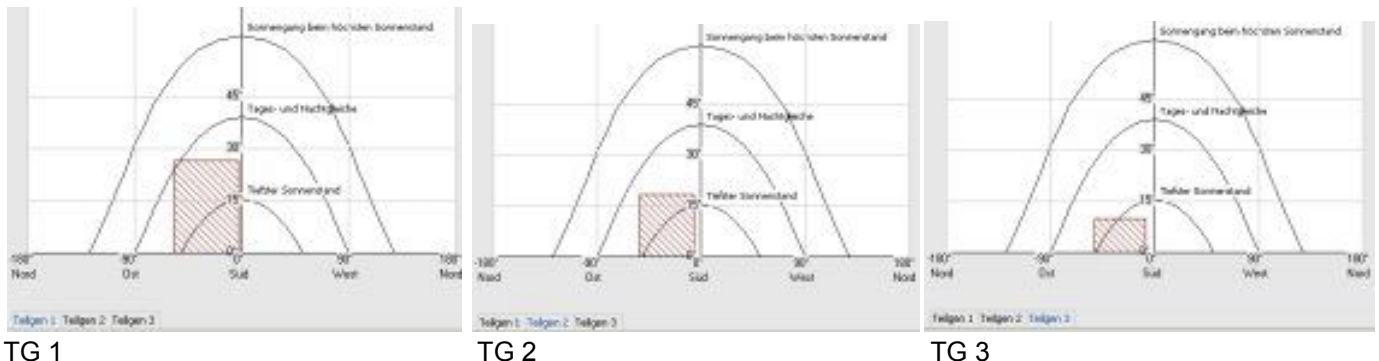


Bild 1: Verschattung der Teilgeneratoren, Quelle: PV*Sol Pro 5.5 [9]

Der Teilgenerator 3 (TG 3) ist in der obersten Reihe angeordnet. Damit erhöht sich der Abstand zum verschattenden Objekt gegenüber den darunter angeordneten Teilgeneratoren. Gleichzeitig nimmt auch die Überhöhung dieses Objektes zum Generator ab. Die abgestuften Eingabewerte können auf Plausibilität überprüft werden, da sich bei der grafischen Wiedergabe die Verschattungen der höher liegenden Teilgeneratoren (sie sind damit weiter vom Hindernis entfernt) zunehmend kleiner werden.

Da die Verschattung einen großen Einfluss auf das Ergebnis ausübt, sollte der Auftraggeber auf jeden Fall einen Ausdruck der Verschattungsprofile mit einfordern.

Auf die Eintragung eines entfernt liegenden Hindernisses (einen Horizont, den jede Solarstromanlage hat, wird in der Software bei > 0° Neigung berücksichtigt) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Der Horizont würde flach und über einen breiten Bereich angeordnet sein und das sichtbare Hausobjekt teilweise überlagern.

Um eine Verschattungsprofil aufzunehmen, gibt es verschiedene Verfahren.

- a) *Kompass und Winkelmesser*: Alle Eckpunkte werden mit Werten erfasst und zu einer Horizontlinie verbunden.
- b) *Fotoserie und Auswertesoftware*: Fotos werden aufgenommen und mit spezieller Software zusammen gefügt. Es ergibt sich ein Panoramabild, welches in den Verschattungsgenerator der Solarsoftware übertragen werden kann.

Tip: Auch bei einer Datenaufnahme mit Kompass und Winkelmesser sollte die Verschattung per Foto festgehalten werden.

Dies dient als Nachweis der Berechnung bei sich später ändernder Verschattung.

Eine relevante Verschattung durch einen Baum sollte möglichst abgestellt werden. Dies kann ggf. in Absprache mit der Behörde durch eine Ersatzmaßnahme (Ersatzpflanzung) erfolgen. Vorteilhaft ist, schon vor dem Antrag den Ertragsverlust durch Berechnungen ohne und mit Verschattung zu ermitteln. Dies ermöglicht eine qualifizierte Argumentation.

4.6.3 Ertragsminderung durch Mismatching, Verschmutzung, sonstiges

Auch bei einer guten Abstimmung von Generator und Wechselrichtern incl. der Verschaltung sind einige Verluste nicht zu vermeiden. Hier sollten für die einzelnen Verlustarten übliche Werte berücksichtigt werden, um einen Ertrag nicht „schön“ zu rechnen.

Gleichermaßen sind die sonstigen, beeinflussenden Parameter zum Standort angemessen zu erfassen.

Bild 2 zeigt ein Beispiel:

Verluste

Teilgen 1 | Teilgen 2 | Teilgen 3 | Einspeisemanagement

Leistungsverluste

durch Abweichung vom Standardspektrum AM 1.5: 1,0 %

durch Mismatch oder Minderertrag bei Abweichungen von den Herstellerangaben: 2,0 %

in Dioden: 0,5 %

durch Verschmutzung: 0,5 %

Zur Bestimmung der Einstrahlungsgewinne:

Mittlere jährliche Bodenreflexion (Albedo) 20,0 %

Albedo monatlich eingeben

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Zur Auswertung des dynamischen Temperaturmodells:

Anlagenhöhe über Erdboden 6,0 m

Zur Berücksichtigung von Herstellertoleranzen in vorsortierten Teilgeneratoren

Abweichung der Modulleistung von der Nennleistung 0,0 %

Resultierende Modulleistung: 230,0 Wp

Gleichstromleitungen zum Wechselrichter

Einfache Länge: 10,0 m

Leitungsquerschnitt eines Strings: 4 mm²

Summe der Leitungsquerschnitte: 4,00 mm²

Für alle Teilgeneratoren übernehmen OK Abbrechen

Quelle: PV*Sol Pro 5.5 [9]

5 Anlagenkosten und -Erträge, sonstige Betriebskosten

Bei der Planung einer Solarstromanlage sollte eine kleine Bilanz aufgestellt werden.

Auf der Sollseite stehen die jährlichen Kosten für die Anschaffung (Annuitäten) sowie die typischen Nebenkosten, wie Versicherungen, Reparaturen (bzw. anteiligen Rücklagen), Wartung sowie Verluste durch verminderte Einspeisung durch Vorgaben des EEG.

Die Habenseite beinhaltet geplante Einsparungen durch den Eigenverbrauch und den verkauften Strom. Erweiterten Funktionen der Anlage zur Versorgungssicherheit kann ebenfalls ein Wert zugeschrieben werden.

5.1 Solar- und Betreiber- Haftpflichtversicherungen

Eine Solarstromanlage ist vorteilhaft in eine Elementarschadenversicherung des Gebäudes einzubeziehen. Als versicherte Risiken sind dann mindestens Brand, Blitzschlag, Feuer und Sturm zu vereinbaren.

Bei Bedarf kann eine gesonderte Solarversicherung abgeschlossen werden. Diese können dann auch die Risiken durch Diebstahl, Vandalismus oder Ertragsausfall mit abdecken. Dieses Risiko abzuschließen, ist i.d.R. erst bei größeren oder schlecht zu beaufsichtigenden Anlagen zu empfehlen.

Da der Ausgleich für einen Anlagenstillstand je nach Police aber erst nach mehreren Wochen greift, lohnt sich dieses Risikomerkmal bei Kleinanlagen meistens nicht, da der Betreiber um eine kurzfristige Instandsetzung bemüht

ist. Der Aufpreis für eine separate Solaranlagenversicherung gegenüber den Kosten bei Einbeziehung der Solaranlage in eine Elementarschadenversicherung ist meist erheblich.

Eine Betreiber- Haftpflichtversicherung deckt Schäden durch die Anlage gegenüber Dritten ab. Hier sind die anlagenbezogenen Risiken abzuwägen, ob diese Versicherung gesondert abzuschließen ist.

5.2 Abschreibungen, Vorsteuer, Wartungskosten

Solarstromanlagen werden lt. der AfA- Tabelle [12] mit 20 Jahren Nutzungsdauer bewertet. Da die anfangs zulässige degressive Abschreibungsmöglichkeit aufgehoben wurde, bleibt die lineare Abschreibung. Die Jahreskosten sind also mit 1/20 der (netto-) Anschaffungskosten zu bewerten.

Als Betreiber solch einer Anlage kann man entscheiden, ob die Investition mehrwertsteuerpflichtig oder mehrwertsteuerfrei sein soll. Beim Antrag auf Anschluß der Anlage muß gegenüber dem Netzbetreiber daher erklärt werden, ob die Anlage mehrwertsteuerpflichtig betrieben werden soll. Diese Einstufung gilt dann für die gesamte Laufzeit der Anlage.

Beim Stromverkauf (Einspeisung) wäre das zunächst egal. Bekommt man vom Netzbetreiber für den eingespeisten Strom zusätzlich zum festgelegten Einspeisetarif die darauf anfallende Mehrwertsteuer, muß diese dann wieder an das Finanzamt abgeführt werden. Dieser Posten bleibt für den „Unternehmer“ kostenneutral.

Einen Unterschied macht es aber bei der Anschaffung und ggf. weiteren Kosten, wie Reparaturen. Bei einem mehrwertsteuerpflichtigen Betrieb der Anlage kann man sich die beim Kauf enthaltene Vorsteuer vom Finanzamt zurück holen, bezahlt also weniger. Daher ist es der Regelfall, daß Solarstromanlagen steuerlich als mehrwertsteuerpflichtige Investitionen behandelt werden.

Solarstromanlagen mit Akku-Packs bilden eine funktionale Einheit. Bei Akkumulatoren weist die AfA-Tabelle eine normative Nutzungsdauer von 10 Jahren aus. Hier ist eine Rückfrage beim Finanzamt anzuraten, ob die Akku's als gesonderte Einheit abgeschrieben werden können oder wie die Solaranlage zu behandeln sind. Auf jeden Fall ist es ratsam, daß der Anbieter die Kosten der Akku's gesondert ausweist. Dies ist nicht nur aus steuerlicher Sicht zu empfehlen, auch für die Berechnung einer Förderung im Programm der KfW werden die Kosten der Akkuanlage benötigt.

Für die Wartungskosten ist im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Rechnung ein pauschaler Prozentsatz von den Investitionskosten zu berücksichtigen. Die Angabe in der Fachwelt variieren, sodaß ein verbindlicher Satz kaum zu benennen ist.

Als Kriterium ist sicherlich zu berücksichtigen, ob es sich um eine kleine Anlage handelt, bei der der Betreiber die ortsnah installierte Anlage selbst wartet oder eine Fremdleistung in Anspruch genommen werden muss.

Bei der Steuererklärung können nur tatsächlich entstandene, kostenpflichtige Leistungen berücksichtigt werden. Auch dies ist bedarfsweise mit dem Finanzamt abzuklären.

5.3 Excel-Tool für Ermittlung Eigenverbrauch und Kosten-Erlöse-Bewertung

In der Praxis werden den Solarkunden mitunter anstelle einer seriösen Ertragsberechnung (Anforderungen sh. Pkt. 4.6) mitunter Solarerträge offeriert, die auf Erfahrungswerten oder Vergleichswerten für die Region basieren. Noch abenteuerlicher wird es bisweilen, wenn der mögliche Eigenverbrauch ohne oder mit einem Akku-Pack benannt wird. Die Eigenverbrauchsanteile am solar erzeugten Strom sind kaum vollziehbar.

Mit dem Excel-Tool, das im Anhang detailliert beschrieben wird, können vielfältige Berechnungen zum Eigenverbrauch und darüber hinaus vorgenommen werden.

Das Tool ist dabei so aufgebaut, daß bei Nutzung der Voreinstellungen nur wenige Eingaben vorgenommen werden müssen. Im einfachsten Fall braucht nur der voraussichtliche Ertrag der Solarstromanlage und der jährliche Strombedarf, der aus der letzten Stromrechnung zu entnehmen ist, eingetragen zu werden. Damit kann schon der Eigenverbrauch in Prozent abgelesen werden.

Natürlich lassen sich die individuellen Verbrauchsprofile bei allen Anwendungen anpassen. Das gilt zunächst für alle typischen Haushaltsanwendungen wie: Kühlen, Waschen, Kochen, Beleuchtung, Haushaltsgeräte und ähnliches. Darüber hinaus können die monatlichen oder jährlichen Bedarfsmengen für die Heizungs- u. sonstigen Pumpen, eine Stromheizung, eine Beladung von PKW-Akku's und sonstige Verbraucher erfasst und bei der Ermittlung des Eigenverbrauchs berücksichtigt werden.

Liegt ein genaueres Verbrauchsprofil an Strom über alle Monate des Jahres vor, sind im zweiten Schritt die Solarerträge einzutragen. Ohne weitere Anpassungen wäre die Eingabe des Jahresertrages möglich. Durch mehrere Simulationen wurde bei Anlagen mit 40° Neigung und südlicher Ausrichtung, aber ohne nennenswerte Verschattung, die mittleren Prozentwerte der Monatserträge ermittelt und in die Voreinstellung übernommen. Diese Prozentwerte können natürlich mit Erträgen, die sich in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen ergeben, überschrieben werden.

Genauer wird es, wenn aus einer Solarertragssimulation die monatlichen Anteile in das Tool übernommen werden. Macht man sich die Mühe, nach der ersten standortbezogenen Simulation die monatlichen Anteile in das Tool zu übertragen, können sich bei weiteren Simulationen mit unveränderter Ausrichtung, aber anderen Anlagengrößen, die weiteren Ertragseingaben auf den Jahresertrag reduziert werden. Die Monatsanteile werden dann automatisch richtig berechnet.

Wer bereits eine Solarstromanlage besitzt und nun überlegt, ob sich die Nachrüstung mit einem Akku-Pack lohnt,, müsste die bisher erzielten Solarerträge nur in das Tool übernehmen. Im Idealfall wurde eine monatliche Aufzeichnung der Zählerstände vorgenommen, die nun ein sehr genaues Erzeugungsprofil erlauben. Der nutzbare Eigenverbrauch wird dann automatisch nach Monaten in kWh, als Jahreswert in kWh und als Jahreswert in Prozent ausgewiesen.

Eine weitere Funktion des Tools berücksichtigt die Einbindung eines Akku-Packs und die Berechnung, wie sich damit der Eigenverbrauch steigern lässt.

Hier sind neben der installierten Generatorleistung zusätzlich die Akku-Kapazitäten in kWh, die Zyklenzahl der Akku's lt. Herstellererklärung, die zulässige Entladetiefe und die nutzbare Kapazität der Akku's einzutragen.

Zu den Eingabefeldern gibt es Hinweise, die den Rechengang erläutern und an einigen Stellen auch Angaben zu sinnvollen Auslegungen machen. So lassen sich mit wenigen Eingaben vielfältige Analysen vornehmen, wie z.B.:

- wie ist die monatliche Verteilung meines Jahresstromverbrauchs, wenn typische Verbrauchsprofile beibehalten werden? (Korrekturen bei Verbrauchsprofilen sind bei allen Nutzungsarten möglich)
- wie ändert sich der solare Eigenverbrauch bei unterschiedlichen Generatorleistungen?
- ist das optimale Verhältnis vom (bisherigen) Stromverbrauch zur Dimensionierung der Solarstromanlage?
- wie ändert sich der Eigenverbrauch bei Einbindung von Elektroheizungen?
- kann ich mit der Solarstromanlage über den Strombedarf vom Haushalt hinaus gehende, akzeptable Strommengen für eine Beladung von PKW-Akku's oder für erweiterte Funktionen (unterbrechungsfreie Stromversorgung, Notstromfunktion etc.) erzielen?
- wie ist das optimale Verhältnis von installierter Solarstromanlage [kWp] zu Akkukapazität [kWh]? (ein Umrechnungstool der Kapazitätsangabe Amperestunden [Ah] in Kilowattstunden [kWh] ist in einem weiteren Tabellenblatt integriert)
- welche Lebensdauer ist für die Akku's bei Berücksichtigung der lt. Datenblatt gegebenen Informationen zu Zyklenzahl (Vollzyklen), Restkapazität und Entladetiefe zu erwarten? (die in der Praxis auftretenden Teilentladungen werden in Vollentladungen umgerechnet)
- unter welchen Randbedingungen lässt sich eine weitgehende oder vollständige Abdeckung des gesamten Strombedarfs mit der Solarstromanlage incl. Akku-Pack erzielen?
- welche Kosten und Erlöse entstehen bei Berücksichtigung der wichtigsten betriebswirtschaftlichen Parameter (Investkosten, Abzug Förderbetrag, Betriebskosten, Kapitalzins, Strompreis, Strompreis-Steigerungsfaktor, Einspeisevergütung) im ersten Jahr bzw. über die Abschreibungszeit für einen Solarstromanlage pur oder in Kombination mit einem Akku-Pack? (ein KfW-Förderung kann in dem Excel-Tool berücksichtigt werden, sodaß die korrigierten Kosten berücksichtigt werden).

Im Anhang ist über mehrere Seiten der Aufbau des Excel-Tools dargestellt und eine Beispielrechnung abgebildet. Erläuterungen helfen, denn Einfluss der Eingabewerte zu verstehen und eine sachgerechte Berechnung vorzunehmen.

Ein Farbleitsystem erleichtert die Eingabe und schützt vor Fehleingaben, da reine Ergebniszeilen und Ergebniszellen gegen ein unbeabsichtigtes Überschreiben gesperrt sind.

Die Ergebnisse vom Excel-Tool schaffen somit nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen, unter welchen Randbedingungen die Investition im Vergleich mit anderen Konzeptionen (Wärmeschutzmaßnahmen, Einbindung anderer erneuerbarer Energien etc.) sinnvoll ist. Das Tool kann für den privaten Gebrauch und im Versand per email für einen Unkostenbeitrag von 10,-Euro zzgl. MwSt. bestellt werden.

Das Excel-Tool kann gesondert unter folgender Adresse bestellt werden:

Ingenieurbüro Mentzel
Dipl.-Ing (FH) Karl-Heinz Mentzel
Steinke 2, 04639 Gößnitz
email: ing-buero-mentzel@t-online.de
Tel. 034493-22788
www.sonnenbahn.de

Weitere Informationen sind auf der Website zu finden.

6 Montage einer Solarstromanlage und Betriebsüberwachung

6.1 Auftragsvergabe und Montage

Vor Auftragsvergabe empfiehlt sich, daß der Investor beim Netzbetreiber zum Vorhaben eine Anfrage stellt. Dazu sind mindestens die geplante Leistung und der gewünschte Standort anzugeben.

Wird ein Unternehmen mit der Installation der Solarstromanlage beauftragt, sollte dringend darauf geachtet werden, daß es sich um eine Komplettleistung handelt. Der Auftragnehmer soll auch alle Anträge beim Netzbetreiber stellen und ggf. strittige Punkte zum Zählerplatz, der Einbindung in die Hausinstallation, ggf. der Einbindung eines Akku-Packs u.a. klären. Dies ist so eindeutig zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer schriftlich zu vereinbaren.

Beispiele der Vergangenheit zeigen, daß es ansonsten vorkommen kann, daß nach der Montage der Anlage der Anschluß des Einspeisezählers und der Abschluss eines Einspeisevertrages vom Netzbetreiber verweigert oder verzögert wird.

Vor dem Montagetermin des Einspeisezählers müssen neben der kompletten Montage der Anlage alle notwendigen Arbeiten entsprechend der technischen Anschlussbedingungen (TAB) des Netzbetreibers erfüllt u sein.

Es ist hilfreich, wenn dem Auftraggeber neben dem Angebot die Datenblätter der wichtigsten Komponenten und eine Montageanleitung mit übergeben werden. Solche Montageanleitungen werden durch die Systemanbieter bzw. Großhändler erstellt und den Vertragsfirmen zur Verfügung gestellt.

Hat der Investor diese Unterlagen, kann er schon im Vorfeld bewerten, ob eine betriebssichere Montage zu erwarten ist. Weiterhin ermöglicht es ihm, bei sensiblen Arbeitsschritten (z.B. Dachhakenmontage, Kabelverlegung) eine Kontrolle auf Einhaltung der Anforderungen vorzunehmen.

6.2 Inbetriebnahme und Betriebsüberwachung

Die Inbetriebnahme ist i.d.R. unmittelbar nach der Montage des Einspeisezählers vorzunehmen.

Durch den Netzbetreiber bzw. eine beauftragte Firma wird dann die Funktionsfähigkeit der selbsttätigen Freischaltstelle (ENS) überprüft. Sind die sicherheitstechnischen Anforderungen seitens des Netzbetreibers erfüllt, wird nach dem Nachweis der Meldung der Anlage an die Bundesnetzagentur ein Einspeisevertrag vom Netzbetreiber angeboten.

Am Tage der Abnahme soll ein funktionsfähiges Werk vorgeführt und übergeben werden. Eine schlüssige Funktionskontrolle bei der Abnahme erfordert, daß nach der Initialisierung der/des Wechselrichter/s zunächst keine Fehlermeldung am Wechselrichter ausgegeben wird.

Danach sind alle Anzeigewerte am Wechselrichter (AC- und DC-seitig) mit Datum und Zeit auszulesen, mit einem Hinweis auf die aktuelle vorhandene Solarstrahlung (sonnig, leicht bewölkt, stark bewölkt) zu versehen und zu protokollieren.

Die Leistungsdaten der Anlage müssen schlüssig zur kWp-Leistung der Anlage stehen, wobei die jahres- und tageszeitlichen bzw. strahlungsseitigen Bedingungen einzuschätzen sind.

Eine Einweisung in die Bedienung und Auslesung der Menüs der/des Wechselrichter/s und ggf. weiterer steuerbarer Komponenten versteht sich von selbst. Der Aufruf von Anzeigewerten und das Erkunden der Gliederung der Menüebenen ist erforderlich, um eine laufende Betriebsüberwachung vornehmen zu können.

Zur Übergabe gehört auch ein Schema mit Darstellung der Verschaltung aller Module und Strings einschließlich der Kennzeichnung der Verkabelung. Die DC- Kabel sind am besten farblich bereits in Plus- und Minusleitungen zu unterscheiden. Liegen mehrere Strings am Eingang von Generatoranschlussdosen und Wechselrichtern an, sollten diese unterscheidbar markiert sein und diese Markierungen ebenfalls am Eingang des Generators synchron vorhanden sein. Solche Markierungen sollten mit kabelumschließenden, schmalen Klebebändern vorgenommen werden, Markierungen mit Stiften sind ungeeignet. Das hilft, im Fehlerfall zielgerichtet nach der Störung suchen zu können.

Eine Gegenüberstellung von berechnetem und erzieltm Solarertrag hilft Planungs- und Montagefehler zu erkennen. Bei größeren Anlagen kann die Überwachung mit einer Visualisierung per Software am Computer erfolgen. Bei Kleinanlagen hat sich die monatliche Erfassung der Erträge am Zähler und eine Kontrolle auf Fehlermeldungen am Wechselrichter bewährt. Aus diesem Grund ist vorab eine monatsweise Ertragsberechnung nicht nur zur Bewertung des Angebotes, sondern auch zur Fehlererkennung unverzichtbar.

6.3 **Wartung nach Plan und bei besonderen Ereignissen**

Zur Wartung gehört mindestens die Sichtprüfung des festen Sitzes von Modulen, Verkabelung und Unterkonstruktion. Diese sollte nach schweren Wetterereignissen (Sturm, Hagel) sehr zeitnah und ansonsten jährlich vorgenommen werden.

Zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit gehört auch die turnusmäßige Prüfung des Isolationswiderstandes der Anlage. Kabel können trotz sachgerechter Verlegung und Sicherung durch unterschiedlichste Fremdeinwirkungen (Sturm, abrutschender Schnee/Eis/Dachziegel, Marderverbiss) beschädigt werden.

Die Bedingungen zur Kühlung der Wechselrichter sind aufrecht zu erhalten (Belüftungsabstände frei halten, Verschmutzungen durch Staub u.ä. entfernen). Am Solargenerator sind durch die Selbstreinigung durch Niederschlagswasser meist keine weiteren Reinigungsarbeiten erforderlich.

Stärkerer Schneefall und Anhaftung auf den Modulen kann ggf. durch den Schneedruck zu einer Gefährdung der Module und der Unterkonstruktion führen. Der Schnee ist nötigenfalls zu entfernen. Dabei sind nur solche Schieber bzw. Kratzer einzusetzen, die keine Beschädigung der Module bzw. Modulrahmen bewirken können. Zu beachten ist ebenso, daß bei Montagen mit Dachhaken auf Ziegeldächern die Spaltmaße zwischen Dachbelag und Dachhaken durch Schnee und Eis nicht aufgehoben werden, da ansonsten ein Bruch der druckempfindlichen Ziegel droht.

Sind an die Garantiebedingungen der Hersteller von Solarkomponenten oder der Versicherer durchgeführte Wartungsintervalle gebunden, sind diese Wartungen zu dokumentieren.

Literaturverzeichnis:

- [1] Wikipedia, Definition Smart Grid
- [2] Bundesnetzagentur, Eckpunktepapier „SmartGridPapierpdf.pdf“
- [3] Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) vom 21.07.2014
- [4] Technische Anschlussbedingungen (TAB) 2000 Hessen, Febr. 2002
- [5] pv-brandsicherheit.de 2011-10_TR_Artikel_bei_VDI_technische_Sicherheit.pdf
- [6] pv-brandsicherheit.de Fachregeln_BrandschutzPV.pdf
- [7] VDS-Schrift vds_3145_web.pdf
- [8] Fronius AG, Antrag auf Zugriffscode Fronius IG
- [9] Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, Berlin, PV*Sol 5.5
- [10] DGS Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Landesverband Berlin Brandenburg e.V. - Photovoltaische Anlagen- Leitfaden für Elektriker, Dachdecker, Fachplaner, Architekten und Bauherren
- [11] VDI-Richtlinie 2067, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen
- [12] AfA- Tabelle des Bundesfinanzministeriums, 2000

Anlage 1

Gesetze, Verordnungen, Richtlinien

- Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) vom 21.07.2014
- DIN VDE 100-551 Vorschriften zum Anschluss von Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen
- DIN VDE 0126-1-1 (02.06) Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz

Anlage 2

Links zu empfehlenswerten Seiten

<http://www.bundesnetzagentur.de/> Bundesnetzagentur (Veröffentlichung Einspeisevergütungen, Meldung Inbetriebnahmen)

http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2014/gesamt.pdf Gesetze im Internet- EEG

<http://www.kfw.de/> KfW-Programm 275, Erneuerbare Energien, Förderung von Speichern (Akku's)

<http://www.photon.de/> Photon- Das Solarstrom-Magazin

<http://www.dgs.de/> Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.

<http://www.energieverbraucher.de/> Bund der Energieverbraucher

<http://www.solarserver.de/> Solarserver- Das Internetportal zur Sonnenenergie

http://www.pv-brandsicherheit.de/fileadmin/downloads_fe/Fachregeln_BrandschutzPV.pdf Fachregeln Brandschutz

http://www.pv-brandsicherheit.de/fileadmin/downloads_fe/2011-10_TR_Artikel_bei_VDI_Technische_Sicherheit.pdf

http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_3145_web.pdf Photovoltaikanlagen Technischer Leitfaden

Anlage 3

Grafik vom Excel-Tool mit Erläuterungen

Ermittlung vom Eigenverbrauchsanteil bei Solarstrom 1)		© Ing.-büro Mentzel, Steinke 2, 04639 Gößnitz, Tel. 034493-22788 www.sonnenbahn.de											8.829	
Hinweis zur Haftung: Trotz sorgfältiger Erarbeitung keine Haftung für Richtigkeit		Stand: September 2015					Gesamt-Jahres-Stromverbrauch in kWh/a 2)							
Farbleitsystem - mindestens gelb hinterlegte Felder ausfüllen		ausfüllbare Zellen gelb			anpassbare Zellen grün			Ergebnisse- Zellen braun			Beispiel- Zellen hellgrau			Eingabe-,
Objekt:		(Daten eintragen)			(%-Werte u. Faktoren)									Ergebnisse- u.
Variante:		Felder für Summen-Kontrollen und Zwischenrechnungen blaugrau											Kontrollspalte	
A Bestimmung Verbrauch nach Gruppen		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	kWh/a o. %
A I Haushalt Monatsanteile vom Jahresbedarf in %, anpassbar 3)		8,49	7,67	8,49	8,22	8,49	8,22	8,49	8,49	8,22	8,49	8,22	8,49	300,00
Kühlen (Kühl- u. Gefiertechnik)		32	29	32	31	32	31	32	32	31	32	31	32	380
Kochen, Backen, Spülen		17	15	17	16	17	16	17	17	16	17	16	17	200
Waschen, Trocknen		13	12	13	12	13	12	13	13	12	13	12	13	150
Beleuchtung		10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
TV, Radio, Telefon, Internet, PC , Fax (Online- und Standby-Verbrauch)		10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	120
Warmwasser-Bereitung elektrisch		17	15	17	16	17	16	17	17	16	17	16	17	200
Gesundheit + Hobby (z.B. Sauna, Solarium, Aquarium, Garten...)		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	50
Reinigung, sonstiges ...		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48
Monats- und Jahressummen Haushalt in kWh		108	97	108	104	108	104	108	108	104	108	104	108	1.268
A II Raumheizung- elektrisch + Pumpenstrom + Klimatisierung 4)														
Wärmeanteile nach VDI 2077 (Beispielwerte der Monatsanteile in %)		17,00	15,00	13,00	8,00	4,00	1,33	1,33	1,33	3,00	8,00	12,00	16,00	100,00
Wärmeanteile Passivhaus ca. (Beispielwerte der Monatsanteile in %)		30,00	20,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	16,00	29,00	100,00
Raumheizung elektrisch direkt (Monatsanteile in %, anpassb.) 5)		22	19	8	4	2	1	1	1	1	6	14	21	100
Raumheizung elektrisch direkt in kWh (Ergebniszeile)		1663	1437	605	302	151	76	76	76	76	454	1059	1588	7.561
Heizungs-, WW-Lade-, Zirkul. -Solarpumpen (Monatsa. in %, anpassb.)		14	13	11	7	6	4	4	4	5	7	11	14	0
Heizungs-, WW-Lade-, Zirkul. -u. Solarpumpen in kWh (Ergebniszeile)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klima (Lüften, Kühlen, Befeuchten) (Monatsanteile in %, anpassbar)		0	0	0	0	10	30	35	25	0	0	0	0	100
Klima (Lüften, Kühlen, Befeuchten) in kWh (Ergebniszeile)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monats- und Jahressummen Wärme in kWh		1.663	1.437	605	302	151	76	76	76	76	454	1.059	1.588	7.561
A III Verkehr + Gewerbe + sonstiges														
Fahrzeuge- Akku- Beladung (Monatsanteile in %, anpassbar) 6)		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	100,00
Fahrzeuge- Akku- Beladung in kWh (Ergebniszeile)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verwaltung, Büroprozesse (Monatsanteile in %, anpassbar)		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	100,00
Verwaltung, Büroprozesse in kWh (Ergebniszeile)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertigung, sonstiges (Monatswerte in %, anpassbar)		8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	100,00
Fertigung, sonstiges in kWh (Ergebniszeile)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monats- und Jahressummen Verkehr + Gewerbe + sonstiges in kWh		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summenzeile Verbrauch der Gruppen I, II und III 7)		1.771	1.534	713	407	259	180	183	183	180	561	1.163	1.696	8.829
Die gelb hinterlegten Eingabewerte der Gruppen I, II und III sind so anzupassen, daß der berechnete Wert vom Kontrollfeld [O35] mit dem Jahresverbrauch, Eingabefeld [O1] überein stimmt.													Jahresverbr.	

B Bestimmung Eigenverbrauchsanteile Strom	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
B I Solare Eigenerzeugung (Monatsanteile in % anpassbar 8)	3,5	5,7	7,8	10,4	12,4	12,7	12,6	12,2	8,8	7,4	3,9	2,6	100,0
Monatsanteile und Jahres- Stromerzeugung in kWh 9)	147	239	327	436	520	533	529	512	369	310	164	109	4.195
B II Eigenverbrauchsanteil ohne Akku-Speicherung (Variante: Nutzung Solarstrom für Haushalt und Verkauf von Überschuss- keine Raumwärme)													
Jahreszeit-Korrekturfaktor ca. (Monatsanteile in % anpassbar) 10	0,21	0,26	0,32	0,37	0,41	0,43	0,43	0,40	0,35	0,31	0,25	0,19	
Korrekturfaktor Leistungsbegrenz. EEG 2014, §9, Abs. 2, Satz 2 10-1),32)	1,00	1,00	0,98	0,94	0,92	0,90	0,90	0,92	0,94	0,98	1,00	1,00	
Verluste durch Wirkleistungsbegrenzung (Ergebnisseile in kWh)	0	0	7	26	42	53	53	41	22	6	0	0	250
nutzbarer solarer Eigenverbrauch ohne Akku's in kWh (Ergebnisseile 11)	31	62	105	150	106	77	79	73	63	96	41	21	905
Eigenverbrauch (Ergebnisseile in %)									Eigennutzung ohne Akku's in %				22
Stromverkauf (Erzeugung abzüglich Eigenverbrauch u. Verluste) 12)										Stromverkauf in kWh/a			3.041
B III Eigenverbrauchsanteil ohne Akku-Speicherung (Variante: Nutzung Solarstrom für Raumwärme und Verkauf von Überschuss- kein Haushaltsverbrauch)													
Raumwärme- + WW-bedarf (ohne elektr. Antriebe) in kWh/a 13)													0
Übertrag der Wärmeanteile aus Zeile 20 14)	22	19	8	4	2	1	1	1	1	6	14	21	100
Korrekturfaktor Raumwärme/Solarstrom ca. (in % anpassbar) 15)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	Jahresverbr.
Korrekturfaktor Wirkleistungsbegrenz. (Neuanlage) EEG 2014, §9, Abs. 2, Satz 2 15-1),32)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,96	0,96	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	
Verluste durch Wirkleistungsbegrenzung (Ergebnisseile in kWh)	0	0	0	0	31	21	21	31	0	0	0	0	104
Monatsanteile Wärme (Ergebnisseile in kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
nutzbarer Eigenverbrauch Wärme o. Akku's (Ergebnisseile in kWh) 16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eigenverbrauch (Ergebnisseile in %)									Eigennutzung ohne Akku's in %				0
Stromverkauf (Erzeugung abzüglich Eigenverbrauch u. Verluste) 12)										Stromverkauf in kWh/a			4.091
B IV Eigenverbrauchsanteil ohne Akku-Speicherung (Variante: Nutzung Solarstrom für Haushalt + Raumwärme und Verkauf von Überschuss)													
nutzbarer Eigenverbrauch ohne Akku's in kWh (Ergebnisseile 17)	31	62	105	150	106	77	79	73	63	96	41	21	905
Eigenverbrauch (Ergebnisseile in %)									Eigennutzung ohne Akku's in %				22
Stromverkauf (Erzeugung abzüglich Eigenverbrauch u. Verluste) 12)										Stromverkauf in kWh/a			3.186
B V Eigenverbrauchsanteil mit Akku-Speicherung (Variante: keine Umwandlung in Raumwärme, da dies ohne Akku's direkt per Heizstab vorgenommen werden kann)													
Installierte Solargenerator-Leistung in kWp 18)													4,600
Installierte Akku-Pack Nenn-Kapazität in kWh 19)													5,000
lt. Hersteller-Datenblatt, angegebene Zyklenzahl der Akku's 20)													6,000
lt. Datenblatt, angegebene Restkapazität der Akku's in % 21)													60
lt. Datenblatt, nutzbare Kapazität wg. maximaler Entladetiefe in % 22)													90
auf Vollzyklen angenommene Be- u. Entladungen pro Monat/Jahr ca. 23)	6,00	12,00	22,00	35,00	44,00	46,00	46,00	46,00	44,00	35,00	12,00	6,00	354
Korrekturfaktor für Ladezyklen (anpassbar) 24)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Ladefaktor Akku's (Energie aus Entladung zu Beladung) ca. 25)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	
Pauschal-Grenzwert (Abdeckung mit Akku's) in % ca. (anpassbar) 26)	100	100	100	100	98	96	96	100	98	100	100	100	
Zwischenrechnung Eigenverbrauch mit Akku' in kWh 27)	52	105	184	276	259	180	183	183	180	222	84	42	
nutzbarer Eigenverbrauch mit Akku's in kWh (Ergebnisseile 28)	52	105	184	276	259	180	183	183	180	222	84	42	1.952
Eigenverbrauch (Ergebnisseile in %)									Eigennutzung mit Akku's in %				47
Stromverkauf (Stromerzeugung abzüglich Eigenverbrauch) 12)										Stromverkauf in kWh/a			2.243

C Kosten-Erlöse-Bewertung										
Installationskosten der Anlage ohne Akku's in Euro (Netto)	29)									7.360
Zusatzkosten für Akku-Packs in Euro (Netto)	30)									6.000
KfW-Förderung in Euro (sh. Hinweise Tabellenblatt "Akku-Daten")	31)									1.800
Betriebskosten Solaranlage ohne Akku's (Wartung, Versicherung u.a.) in %	32)									1,00
Betriebskosten der Akku's (Wartung, u.a.) in %	33)									1,00
Zinssatz der Netto- Investitionskosten	34)									3,00
Strom-(Brutto- oder Netto-) Arbeitspreis in Cent/kWh	35)									25,00
Jährliche Stromkosten-Steigerung in %	36)									3,00
Einspeisevergütung nach EEG (20 Jahre) in Cent/kWh	37)									12,31
Kosten im ersten Jahr (Anlage ohne Akku's) ca.	38)	568,31						Kosten (Anlage ohne Akku's) bis zum Ende der Abschreibungszeit (20 Jahre) ca.		11.366,15
Kosten im ersten Jahr (Ablage mit Akku's) ca.	39)	930,04						Kosten (Anlage mit Akku's) während der Akku-Lebensdauer ca.	40)	15.763,47
korrigierte Kosten (Anlage mit Akku's) während der Akku-Lebensdauer mit Gutschrift für Rest-Lebensdauer der übrigen Solaranlage ca.									41)	14.029,65
Erlöse im ersten Jahr (Anlage ohne Akku's) ca.	42)	600,45						Erlöse (Anlage ohne Akku's) bis zum Ende der Abschreibungszeit (20 Jahre) ca.	43)	13.562,78
Erlöse im ersten Jahr (Anlage mit Akku's) ca.	42)	764,12						Erlöse (Anlage mit Akku's) während der Akku-Lebensdauer ca.	43)	11.246,78
Überschuss (Anlage ohne Akku's) während der Abschreibungszeit (20 Jahre) ca.										2.196,63
Überschuss (Anlage mit Akku's) während der Abschreibungszeit der Akku's ca.									44)	-2.782,87
Erläuterungen:										
1) In der Matrix sind Beispielwerte angegeben. Je nach objektbezogenen Bedingungen sind die Eingabewerte anzupassen. Die wichtigsten Eingabefelder sind gelb hinterlegt. Falls die voreingestellten Monatsanteile in den grün hinterlegten Zellen von den Ist-Werten abweichen, können sie angepasst werden. Einzelwerte könnten auch in den weißen Zahlenfeldern eingegeben werden, dabei werden aber die Formeln überschrieben. Da diese für spätere Korrekturen oder ein neues Projekt wieder hergestellt werden müssten, ist dies möglichst zu vermeiden. Die rechten, blaugrauen Zellen (Sollwert 100 %) dienen zur Kontrolle, dort ist keine Eingabe möglich. Die Eingabewerte zum Verbrauch in der rechten Spalte sind so anzupassen, daß der Summenwert im blaugrau hinterlegten Kontrollfeld [O35] mit dem Eingabewert vom Jahres-Stromverbrauch oben rechts [O1] überein stimmt.										
2) Gesamt-Jahres-Stromverbrauch lt. letzter Rechnung/en. Eine Tendenz (steigend oder sinkend) ist zu berücksichtigen.										
3) Hier sind zunächst kalendertägliche Anteile (365-Tage-Jahr) in der Voreinstellung eingetragen. Das kann bei Bedarf, wie bei den anderen grünen Feldern auch, natürlich angepasst werden. Um den Aufwand zu begrenzen, ist bei der Genauigkeit in der Erfassung stets auch die Auswirkung auf das Gesamtergebnis abzuschätzen. Dabei haben die Monatsanteile bei der solaren Erzeugung einen Einfluss.										
Beispiel: Ein "weihnachtliches Backen" kann sicherlich den Verbrauch in der Gruppe I (Haushalt), in der Zeile "Kochen, Backen, Spülen" für den Dezember auf das Doppelte ansteigen lassen.										
Nehmen wir an, es werden hier im Dezember 50 statt 25 kWh verbraucht und folgende Gegebenheiten berücksichtigt:										
- in den ertragsstärkeren Monaten bei der Solarerzeugung müssen die Anteile beim Verbrauch etwas reduziert werden (der Jahresverbrauch in der Zeile bleibt gleich)										
- Der Jahresanteil bei der solaren Erzeugung beträgt im Dezember 2,6 %										
Auf das Ergebnis bei der Eigennutzung in % hätte diese Änderung keinen Einfluß. Es kommt also darauf an, insbesondere bei den Solar- ertragsstarken Monaten realistische Werte für Erzeugung, Bedarf und Nutzungsanteil festzulegen. Das gilt analog für alle weiteren Verbrauchsgruppen.										
4) Elektr. Direktheizung und Strom für Wärmepumpen. Nachtspeicherheizung nur teilweise berücksichtigen, wenn nach 22.00 Uhr nutzbare Restkapazitäten der Akkus zu erwarten sind.										
Bei entsprechender solarer Stromerzeugung kann alternativ von der Beladung mit Nachtstrom (NT) auf Tagstrom (HT) umgestellt werden (Ladeströme u. Akkukapazitäten anpassen).										

Die Monatsanteile am Heizwärmebedarf sollten je nach energetischer Qualität vom betrachteten Objekt zwischen den Beispielwerten nach VDI 2077 und dem Passivhausniveau gewählt werden.									
Bei Nutzung von solar erzeugtem Strom für den Eigenbedarf (Akku-Entladung in Niedertarifzeit) ist zu klären, ob der Tarif beibehalten werden kann.									
5) Die voreingestellten Werte entsprechen etwa dem Bedarfsprofil eines Gebäudes nach dem ENEC 2009 - Standard. Bei Altbauten können die Werte nach VDI 2077 (sh. Zeile 18) angesetzt werden.									
6) Die Elektro-Mobilität (E-Auto, E-Bike) hat ein bedeutendes Wachstumspotenzial. Die Kopplung von Solarstromspeicherung und Nutzung für die Elektro-Mobilität erfordert ggf. eine zusätzliche Betrachtung, ob sich der (Teil-) Umstieg auf ein Elektrofahrrad oder Elektroauto lohnt.									
7) Die Monatssummen dieser Zeile werden zur Bestimmung des Jahres-Eigenanteils vom Solarstrom weiter berechnet.									
8) Die Monatsanteile entsprechen üblichen Solarerträgen bei Dachneigungen von ca. 40 Grad und südlicher Ausrichtung (ohne nennenswerte Verschattung). Wird eine objektbezogene Solar-Ertragssimulation oder bei einer bestehenden Anlage eine monatliche Aufzeichnung der Erträge vorgenommen, sollten diese Werte übernommen werden.									
9) Hier ist in der gelben Zelle [O41] der simulierte bzw. erzielte Jahresertrag einzutragen.									
10) Der angenommene Nutzungsanteil berücksichtigt, daß im Sommer bei hohen Solarerträgen wenig (gleichzeitiger) Bedarf für die Haushaltsanwendungen (Beleuchtung, Kühlen, Pumpen u.ä.) besteht. Außerdem sind die Profile der tageszeitlichen solaren Erzeugung und des Verbrauchs im Haushalt (Tag- u. Nacht- Verbrauch) zu berücksichtigen. Eine Umwandlung von überschüssigem Solarstrom in eigengenutzte Wärme (über Heizstab am Pufferspeicher) ist bei dieser Variante nicht berücksichtigt, da Überschussstrom verkauft wird. In den Wintermonaten wird dieser Gleichzeitigkeitsfaktor kleiner. Weitere Erkenntnisse zu praxisnahen Monats-Nutzungsfaktoren werden ggf. später auf sonnenbahn.de veröffentlicht. Achtung: Das Verhältnis von den Stromanteilen für die Haushaltsanwendungen (Gruppe I) zur Raumbeheizung (Gruppe II) kann diese Anteile erheblich beeinflussen und ist zu berücksichtigen. Hinweise zum Strommanagement sind an anderer Stelle der Planungsunterlage "Solarplanung - Optimierung einer Solarstromanlage" (PDF-Download) gegeben.									
10-1) Für Neuanlagen bis 30 KW ist lt. EEG 2014, §9, Abs 2, 2b wahlweise eine fernsteuerbare Reduzierung der Einspeiseleistung vorzusehen oder am Verknüpfungspunkt die Wirkleistungseinspeisung auf 70 % zu begrenzen. Wird die eigene Leistungsbegrenzung vorgesehen, ist abhängig von der technischen Umsetzung und dem Verhältnis der solaren Erzeugung zum gesamten Stromverbrauch (Haushaltsstromverbrauch incl. Heizwärmeverbrauch, weiters) ein Verlust an der solaren Stromnutzung einzuplanen.									
11) Hier wird in der rechten Spalte der jährliche Eigenverbrauch in kWh an der solaren Stromerzeugung ausgewiesen. Im Feld darunter ist noch der Prozentanteil dargestellt. Trotz hoher Bedarfswerte an Energie in den Wintermonaten kann der solare Eigenanteil nicht höher sein als das Produkt aus Monatserzeugung und monatsabhängigem Nutzungsfaktor.									
12) Theoretisch möglicher Stromverkauf. Dieser kann durch eine Leistungsbegrenzung nach EEG, sh. §§ 6, 11 durch den Netzbetreiber reduziert werden. Möglichkeiten zur Vermeidung solcher Einbußen sh. weitere Hinweise in der Fibel "Solarplanung - Optimierung einer Solarstromanlage" auf www.sonnenbahn.de .									
13) Bei Einspeisung von Solarstrom (per Heizstab) in einen ausreichend dimensionierten Speicher für Raumheizung ist in Zelle [O52] der Jahresbedarf an Wärme einzutragen. Diese Variante unterstützt die Bewertung, ob der Jahres-Heizwärmebedarf besser mit einer Solarstromanlage oder einer Solarwärmanlage (thermische Solaranlage) abgedeckt werden sollte. Ergänzende Hinweise zu flächen- oder wirkungsgradbezogenen solaren Erträgen sh. Fibel "Solarplanung - Optimierung einer Solarstromanlage", Pkt. 4.5.2.1									
15) Der Korrekturfaktor kann dann auf 1,00 stehen bleiben, wenn der Speicher für die Raumheizung ausreichend dimensioniert ist, um den täglich erzeugten Solarstrom mit einem Elektro-Heizstab als Wärme aufzunehmen. Ansonsten ist eine Anpassung vorzunehmen.									
16) Ein Haushaltsbedarf an Strom ist hier bewußt nicht berücksichtigt, um darzustellen, an welchen Monaten die benötigte Wärme über Solarstrom abgedeckt werden könnte.									
17) Monatlicher Eigenverbrauch für Haushaltsstrom + Raumwärme, jedoch maximal in Höhe der monatlichen solaren Erzeugung.									
18) Installierte Generator-Leistung in kWp. Der Eingabewert wird zur Errechnung der Förderung der Akku's in das Tabellenblatt 'Akku-Daten' übernommen.									
19) Akku-Nennkapazität in kWh. Soweit die Kapazitätsangabe in Amperestunden [Ah] vorliegt, kann in Tabellenblatt 'Akku-Daten' eine Umrechnung in kWh erfolgen. Da mit steigender Akku-Kapazität der Eigenverbrauch nur mit abnehmenden Schritten zunimmt, kann so ein Kompromiss zwischen zunehmenden Akku-Kapazitäten, Akku-Kosten und Erlösen gefunden werden. Eine Erhöhung der Kapazität wäre möglich, wenn benachbarte Stromabnehmer örtlich eingebunden oder eine preisgesteuerte Einspeisung möglich wäre (sh. Hinweise in Planungsunterlage "Solarplanung - Optimierung einer Solarstromanlage" Pkt. 2.2 "Solarstrom und Smart Grid").									
20) Zylenzahl lt. Herstellerangaben. Sie ist auf Vollzyklen bis zur zulässigen Entladetiefe anzugeben. Da im Praxisbetrieb überwiegend Teilentladungen erfolgen, werden sie in diesem Tool auf Vollentladungen umgerechnet. Ist im Datenblatt eine variable Zyklenzahl in Abhängigkeit der Entladetiefe angegeben, sollte eine mittlere Zyklenzahl mit der zugehörigen Entladetiefe gewählt und beide Kennwerte für die Eingabe übernommen werden (Zyklenzahl in [O70], Entladetiefe in [O72] eintragen).									

44) Ein Ergebnis mit einem voran gestelltem Minuszeichen bedeutet betriebswirtschaftlich betrachtet einen Verlust. Funktionen einer Anlage mit Akku's, wie eine erhöhte Versorgungssicherheit,														
ggf. Notstromfunktion u.ä. haben zunächst einen ideellen Wert. Dem Projekt kann ein materieller Wert zugeschrieben werden, wenn dadurch andere Lösungen zur Absicherung dieser														
Anforderungen entfallen können.														
Sonstiges:														
Für Rückmeldungen zur Handhabung dieses Tools, zum Funktionsumfang, zur rechnerischen Umsetzung, zu ggf. gewünschten Erweiterungen u.ä. bin ich dankbar.														
Hinweise zum Bezug und den Nutzungsbedingungen sh. Website www.sonnenbahn.de														
Ich wünsche aufschlussreiche Berechnungen.														
Karl-Heinz Mentzel														