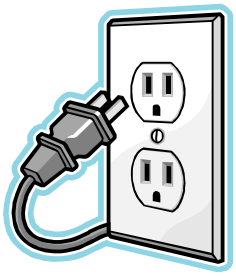
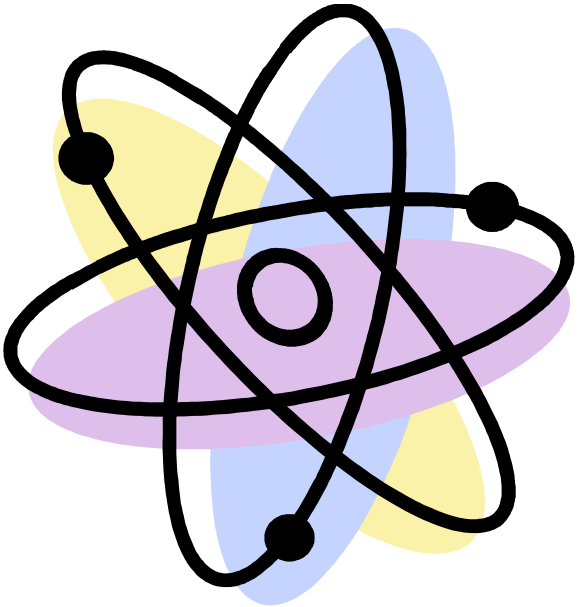
Grundlagenwissen über Solarstromanlagen für Wohnmobile





© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Inhalt

Einführung 3
Allgemeines 4
Das Solarmodul 6
Strahlungsleistung, Solarkonstante, Diffusstrahlung, Globalstrahlung und Modulleistung 6
Auslegung des Solargenerators 9
Erfassung des Stromverbrauchs 10
Dimensionierung des Solargenerators 11
Aufstellung einer ersten Formel 14
Berücksichtigung von Kabel-, Umwandlungs- und Anpassungsverlusten 15
Kabelverluste (Vk): 15
Umwandlungsverluste (Vu): 16
Anpassungsverluste (Missmatching) (Va): 16
Zusammenfassung 17
Ermittlung der Solargeneratorgröße 18
Der Akkumulator 21
Bleiakkus mit flüssigem Elektrolyten 21
Der Blei-Gel-Akku 26
Auslegung des Akkus 28
Laderegler 29
Bestimmung der Kabelquerschnitte 31
Auswertung und Bewertung mit Excel 33
Seite 1 der Excel-Tabelle 34
Seite 2 der Excel-Tabelle 35
Quellenverzeichnis 36

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Einführung

Moderne Wohnmobile werden von den Herstellern technisch so ausgestattet, dass eine autarke Nutzung über eine begrenzte Zeit möglich ist. Wer längere Zeit mit seinem Wohnmobil autark sein möchte, muss in der Regel auch das Energieversorgungssystem des Wohnmobils aufrüsten.

Zur Aufrüstung bieten sich an:

- Generatoren,
- Brennstoffzellen,
- Solarstromanlagen,
- Erhöhung der Batteriekapazitäten,
- Hochleistungsregler für die Lichtmaschinen und
- Kombinationen aus diesen Techniken.

Wohnmobilbesitzern soll diese Broschüre bei der Aufrüstung mit einer Solarstromanlage eine Hilfe sein. Das Thema wird so ausreichend tief behandelt, dass der Anwender das theoretische Wissen bei der praktischen Umsetzung auch fachgerecht und kompetent anwenden kann.

Die Broschüre behandelt weder die handwerklichen Aspekte wie Anbau der Solarmodule oder Verlegung und Anschluss der Verkabelung noch werden Kaufempfehlungen einer bestimmten Marke gegeben. Die Kaufentscheidungen und Umsetzungen richten sich ausschließlich nach den individuellen Bedürfnissen, den Möglichkeiten und den Fähigkeiten eines jeden Einzelnen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Allgemeines

Eine Solarstromanlage, die in ein Wohnmobil eingebaut wird, wird in aller Regel in eine vorhandene elektrische Anlage (Akku, Ladegerät, Lastverteiler und 220V Anschluss) des Wohnmobils integriert.

Bei der Dimensionierung geht es vorrangig um die Ermittlung der optimalen Größen von Solargenerator und Akku (Speicher) unter dem Aspekt der vom Nutzer geforderten Versorgungssicherheit. Zur Dimensionierung gehört außerdem die Bestimmung der Leitungsquerschnitte für die wichtigsten Versorgungsleitungen sowie die Auswahl eines geeigneten Ladereglers.

Bei der Dimensionierung einer Solarstromanlage gilt es folgende Daten zu ermitteln und aufeinander, abzustimmen:

- Den Stromverbrauch und die geforderte Versorgungssicherheit,
- die Sonneneinstrahlung am Ort der Nutzung,
- die Solargeneratorleistung sowie
- die Größe des Stromspeichers, d. h. Akkukapazität.

Der Stromverbrauch und dessen zeitlicher Verlauf bestimmen ganz wesentlich die Anforderungen an die zu planende Anlage. Deshalb ist es notwendig, zunächst einmal den Stromverbrauch und die geschätzte Betriebszeit aller zu versorgenden Geräte aufzulisten und daraus einen täglichen Mittelwert für den Gesamtverbrauch zu errechnen.

Die Kenntnis des Verbrauchs ermöglicht es, in einem zweiten Schritt, die Deckung des Bedarfs zu kalkulieren. Zu diesem Zweck werden Daten über die Sonneneinstrahlung benötigt. Die Daten sollten z. B. das Gebiet abdecken, in dem der Nutzer überwiegend seine Reisen unternimmt. Dies bedeutet in der Praxis, dass man entweder die niedrigste Einstrahlung des Reisegebietes nimmt, um mehr Versorgungssicherheit zu haben, oder insgesamt Mittelwerte über das Gebiet bildet.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Die Leistung der Solarstromanlage muss nun so bemessen sein, dass bei den gegebenen Einstrahlungsbedingungen genügend Strom erzeugt wird, um den Verbrauch einschließlich der Verluste im System mindestens im Mittel oder bei hohen Ansprüchen an die Versorgungssicherheit sogar mit einem gewissen Sicherheitszuschlag zu decken.

Zuletzt wird die Größe des Speichers, d. h. des Akkus, festgelegt. Dieser soll die täglichen bzw. witterungsbedingten mehrtägigen Schwankungen im Solarstromangebot ausgleichen können.

Es wird nicht immer gelingen, die Solarstromanlage eines Wohnmobils für eine weitgehende Autonomie über das ganze Jahr auszulegen. Die Anlage würde sehr groß und sehr teuer und damit für die meisten Wohnmobilbesitzer nicht realisierbar sein. In solchen Fällen ist es notwendig, die Aufgabenstellung zu modifizieren z. B. durch Kompromisse beim Verbrauch, durch Zugeständnisse bei der Versorgungssicherheit oder durch Erschließung weiterer Energiequellen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Das Solarmodul

Module gibt es mittlerweile auf dem Markt in fast unübersichtlich großer Anzahl. Ob es sich dabei um polykristalline oder monokristalline Solarzellen handelt, ist nicht von besonderer Bedeutung. Monokristalline Module haben gegenüber polykristallinen Modulen einen besseren Wirkungsgrad pro m² und können dadurch bei gleicher Leistung etwas kleiner ausfallen. Wenn man erst einmal ermittelt hat, welche Generatorleistung in Wp man für den jeweiligen Verwendungszweck benötigt, kann man im Prinzip jeden 12-Volt-Modultyp verwenden, der geeignet ist, um die erforderliche Generatorleistung zusammenzustellen.

Um aber sicher zu sein, dass man ein qualitativ hochwertiges Produkt kauft, sollte man Hersteller wählen, die eine möglichst hohe Garantiezeit zusichern. Außerdem zählt natürlich das Preis-Leistungsverhältnis, also der Preis pro Watt Spitzenleistung.

Wp, Garantie und spezifischer Leistungspreis in EURO/Wp sind die entscheidenden Kriterien beim Kauf von Solarmodulen.

Strahlungsleistung, Solarkonstante, Diffusstrahlung, Globalstrahlung und Modulleistung

Die gesamte Strahlungsleistung der Sonne, die pro Quadratmeter die Erde am Rande der Atmosphäre erreicht, wird durch die Solarkonstante beschrieben. Sie beträgt im Mittel 1367 W/m². Die bis zur Erdoberfläche durchdringende Strahlung ist jedoch viel geringer, weil

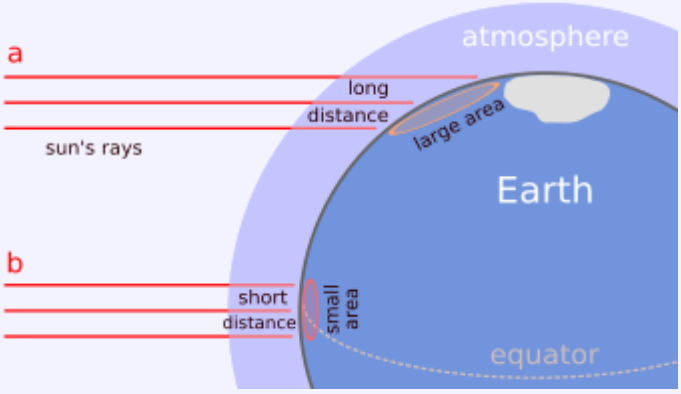
1. die Erdatmosphäre und die in ihr befindlichen Aerosole die Strahlung zu 20 bis 40 Prozent absorbieren bzw. ins All reflektieren, unter anderem in Abhängigkeit von der Bewölkung,
2. der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen nur am Äquator bei idealen 90° liegen kann.

Erreicht die Sonnenstrahlung ungehindert durch Wolken die Erdoberfläche, so nennt man diese Strahlung auch Direktstrahlung. Sonnenstrahlung, die über Reflexion an Wolken, Gebäuden, Berge, Wasser- und Staubteilchen die Erdoberfläche erreicht, ist die diffuse Sonnenstrahlung.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Direkte- und diffuse Sonnenstrahlung an einem Ort ergeben zusammen die dort einfallende Globalstrahlung. Diese weist erheblich größere Schwankungen als die Solarkonstante auf und ist nur für einen bestimmten Ort der Erdoberfläche zu einem Zeitpunkt messbar.

Einen wesentlichen Einfluss hat der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung - der Winkel zwischen den Strahlen und dem Horizont. Fällt die Licht- und Wärmestrahlung schräg ein, verteilt sie sich über eine größere Fläche auf der Erdoberfläche.



Dämpfung der Sonnenstrahlung beim Weg durch die Atmosphäre:

a) langer Weg, Verteilung der Strahlung über ein großes Gebiet (z. B. Polarregion),

b) kurzer Weg, Verteilung über ein kleines Gebiet, Einfallswinkel von 90° am Äquator (Tropen)

Durch die Drehung der Erde um die Sonne ändert sich der *Einfallswinkel der Strahlung* und damit auch die Länge des Weges durch die Atmosphäre.

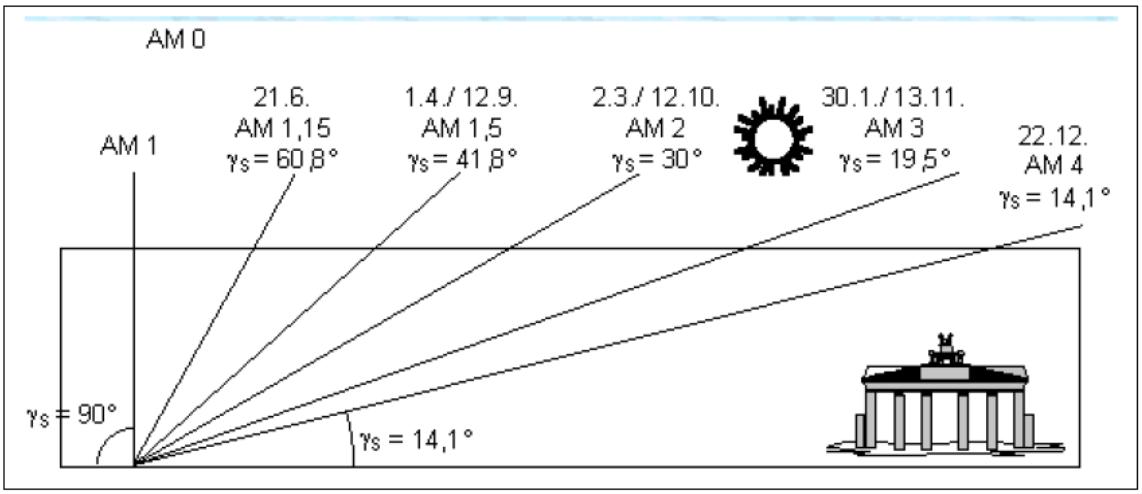
In Mitteleuropa steht die Mittagssonne im Sommer 60 bis 65° hoch und strahlt bei idealen Bedingungen mit einer Bestrahlungsstärke von etwa 800 Watt/m² herab, gemessen in der Horizontalen. Im Winter sind es nur 13 bis 18° und selbst zu Mittag nur etwa 150 Watt/m² (ebenfalls in der Horizontalen gemessen).

Ohne Neigung der Erdachse steht die Sonne mittags am Äquator im Zenit (90° Elevation) und am Nordpol am Horizont (0° Elevation). Folglich bleiben bei uns (auf einer geografischen Breite von etwa 50° Nord) noch 90°-50°=40° Elevation. Nun neigen wir uns im Sommer um 23,4° der Sonne entgegen, das macht zusammen 63,4° (mittags zur Sommersonnenwende) und im Winter neigen wir uns um den gleichen Winkel von der Sonne weg, das macht 16,6° (mittags zur Wintersonnenwende). In München sind es 2° mehr, in Hamburg 3° weniger.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Um diese Änderung zu charakterisieren, führt man den Begriff der *"Air Mass" (AM)* ein, als Größe der spektralen Absorption der Sonnenstrahlen.
Der "AM" – Wert gibt das Verhältnis von der Länge des tatsächlichen Strahlungswegs zu dem der Länge bei senkrechtem Einfall an. Die extraterrestrische Strahlung wird mit AM0 bezeichnet. AM1 kennzeichnet den senkrechten Einfall des Sonnenlichtes auf die Erde. Die in der Atmosphäre auftretende Absorption ist dann am kleinsten, wenn die Sonne im Zenit steht = AM1.

Beispiel der Sonneneinstrahlung in Berlin:
Für Berlin schwankt der AM Wert zwischen AM1,15 zum Sommeranfang und AM4,12 zum Winteranfang.



Als internationale Norm zur Vermessung von Solarzellen hat sich AM1,5 durchgesetzt. Die verschiedenen Luftmassen entsprechen in etwa folgenden maximalen Bestrahlungsstärken:AM0: 1367 W/m²; AM1: 925 W/m²; AM1,5: 844 W/m²; AM2: 691 W/m²

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Die Leistungsangabe bei Solarmodulen ist nach international einheitlichem Standard genormt. „Wpeak“ oder auch „Wp“ bezeichnet die elektrische Leistung bei einer Einstrahlung von 1000 W/m² und einer Zelltemperatur von 25°C.

Mit anderen Worten: Es wird die Leistung in Watt angegeben, die ein Modul bei einer Strahlungsstärke von 1000W auf 1 m² Fläche und einer Temperatur der Zellen von 25°C abgibt.

Da es sich hierbei um extrem günstige Strahlungs- und Temperaturannahmen handelt, die in der Praxis - abgesehen von Einsatzorten mit besonders klarer Witterung und tiefen Außentemperaturen, wie z. B. im Hochgebirge - nur selten vorkommen, wird auch von einer Spitzenleistung gesprochen und der Leistungswert in Wpeak angegeben (das englische Wort peak bedeutet Spitze). In der Praxis können aus den weiter oben angegeben Gründen die Leistungsdaten nicht erreicht werden. Dies ist wichtig zu wissen, um eigene Messwerte (Strom und Leistung) richtig interpretieren zu können und um keine falschen Erwartungen an die Leistung der Module aufzubauen.

Auslegung des Solargenerators

Im Folgenden wird ein vereinfachtes Verfahren zur Auslegung von Solarstromanlagen in Wohnmobilen dargestellt, das sich im Wesentlichen auf einschlägige Veröffentlichungen, zum Teil aber auch auf eigene Erfahrungen des Verfassers stützt.

Es wird versucht, den Rechnungsgang so einfach wie möglich zu halten, um dem Praktiker "das Leben möglichst leicht" zu machen. Dennoch kann der Anwender damit so tief in die Materie eindringen, dass er diese auch fachgerecht einsetzen kann.

Wichtigste Aufgabe bei der Planung einer Solarstromanlage ist die Abstimmung zwischen Energieverbrauch und Energieangebot. Da Sonnenenergie eine täglich begrenzte und schwankende Ressource ist, müssen täglicher Stromverbrauch, tägliches Strahlungsangebot und Akkukapazität realistisch kalkuliert und aufeinander abgestimmt werden.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Schwierig wird die Situation, wenn eine ganzjährige autarke Versorgung angestrebt wird. In unseren Breiten ist die verfügbare Strahlungsmenge im Sommer etwa 6-mal so groß wie im Winter. Der Strombedarf ist aber in der Regel im Winter höher als im Sommer. Eine Auslegung des Solargenerators für den Winterbedarf kann die Möglichkeiten des Wohnmobils oder des Nutzers übersteigen.

Für die mobile Nutzung ist der hier dargestellte Auslegungsweg ein sinnvoller Schritt in Richtung auf pragmatische Handlungsfähigkeit. Die Bedürfnisse des Wohnmobilbesitzers bestimmen den Grad der Autarkie der elektrischen Anlage. Grenzen werden nur durch die Möglichkeiten des Fahrzeuges und den wirtschaftlichen Gesichtspunkten gesetzt.

Erfassung des Stromverbrauchs

Ein wichtiger Schritt bei der Dimensionierung einer Solarstromanlage ist die sorgfältige Aufstellung des täglichen Stromverbrauchs. In Tabelle 1 habe ich dies beispielhaft für mein Wohnmobil (RAPIDO 7099F) durchgeführt.

Tabelle 1: Verbrauchsbilanz

Verbraucher	Strom [A]	Sommer (niedrigster Wert)		Winter (höchster Wert)	
		Zeit [h/d]	Energie [Ah]	Zeit [h/d]	Energie [Ah]
TV	2,5	3	7,5	3	7,5
Sat-Receiver	1,5	3	4,5	3	4,5
Beleuchtung	1,8	2	3,6	3	5,4
Druckpumpe	3,5	0,5	1,75	0,5	1,75
Heizung f. Warmwasser	0,4	1,0	0,40	1	0,4
Heizung läuft (Mittelwert)	1,4	1	1,4	15	21
Sicherheitsablassventil	0,03	24,0	0,72	24	0,72
Truma Duomatic Eisex	0,7	0	0	bisher nicht benötigt!	
Tagesbedarf			~ 20Ah/d		~ 42/d

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Tagesverbräuche in den einzelnen Monaten:
Jan – Feb =42Ah; Mär =35Ah; Apr =30Ah; Mai – Aug =20Ah; Sep =25Ah; Okt =30Ah;
Nov =35Ah; Dez =42Ah.
Alle o.a. Werte basieren auf meinen Erfahrungen mit meinem Wohnmobil (RAPIDO 7099F) und gelten als Beispiel für alle weiteren Berechnungen.

Dimensionierung des Solargenerators

Nachdem der tägliche Strombedarf geklärt ist, stellt sich die Frage nach der richtigen Größe des Solargenerators. Die sinnvollste Vorgehensweise dürfte sein, von der Nennleistung eines Moduls auszugehen; denn diese unterliegt internationalen Normbestimmungen.

Wie Sie jetzt schon wissen, haben die Sonnenhöhe (Höhe über den Horizont im Tagesverlauf und Jahresgang) die Bewölkung und die Witterung wesentlichen Einfluss auf die Intensität der Sonneneinstrahlung. Damit ist die täglich eingestrahlte Energiemenge je nach Standort verschieden. Außerdem hängt sie noch von der Neigung und Orientierung des Solargenerators zur Sonne ab.

Die Sonneneinstrahlung wird von den meteorologischen Stationen auf der ganzen Welt gemessen. Tabelle 2 gibt monatsweise die mittlere Summe der täglichen Globalstrahlung für die wichtigsten deutschen Wetterstationen an. Es handelt sich um langjährige Mittelwerte, die für eine horizontale Fläche gemessen werden. Für geneigte Flächen müssen diese Werte noch mit einem Faktor umgerechnet werden. Die dazu nötigen Korrekturfaktoren enthält Tabelle 3. Da üblicherweise Solargeneratoren auf den Wohnmobildächern waagerecht =horizontal angebracht werden, beträgt der Korrekturfaktor deshalb generell 1.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Tabelle 2: mittlere tägliche Globalstrahlung auf horizontale Flächen [kWh/m²/d] Monat:

Station / Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Norderney	0,56	1,30	2,60	4,27	5,13	6,02	5,45	4,75	3,06	1,66	0,74	0,44
Hamburg	0,52	1,13	2,23	3,55	4,67	5,44	4,82	4,34	2,79	1,49	0,67	0,40
Braunschweig	0,63	1,16	2,24	3,43	4,65	5,20	4,77	4,21	2,79	1,50	0,70	0,42
Braunlage	0,74	1,34	2,40	3,51	4,42	4,95	4,79	4,16	2,78	1,67	0,76	0,51
Berlin	0,61	1,14	2,44	3,49	4,77	5,44	5,26	4,58	3,05	1,59	0,76	0,46
Gelsenkirchen	0,60	1,23	2,10	3,45	4,69	4,44	4,31	3,78	2,68	1,65	0,78	0,48
Aachen	0,69	1,34	2,29	3,61	4,75	5,00	4,82	4,26	3,06	1,76	0,88	0,54
Bonn	0,72	1,33	1,79	3,33	4,82	4,38	4,15	3,63	2,76	1,67	0,84	0,53
Trier	0,72	1,47	2,52	3,88	4,88	5,25	5,27	4,43	3,31	1,79	0,84	0,56
Geisenheim	0,70	1,22	2,07	3,59	4,72	4,85	4,52	4,07	2,87	1,52	0,77	0,54
Freiburg	0,76	1,34	2,51	3,59	4,71	5,20	4,83	4,55	3,46	1,92	0,97	0,72
Nürnberg	0,70	1,42	2,27	3,07	5,66	5,84	5,03	4,52	2,99	1,90	0,87	0,65
Würzburg	0,82	1,60	2,68	4,04	5,03	5,54	5,34	4,49	3,53	1,94	0,92	0,65
Weihenstephan	1,07	1,83	2,96	4,11	5,08	5,39	5,46	4,60	3,70	2,23	1,18	0,83
Hohenpeissenberg	1,38	2,05	3,17	4,15	4,89	5,13	5,40	4,62	3,85	2,62	1,43	1,12
Durchschnitt	0,74	1,38	2,40	3,68	4,86	5,18	4,90	4,28	3,09	1,78	0,87	0,58

Tabelle 3: Korrekturfaktoren für die Abweichung von der Horizontalen

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Süd, 30	1,44	1,40	1,17	1,08	1,00	0,96	0,97	1,03	1,17	1,30	1,47	1,42
Süd, 45	1,57	1,50	1,19	1,05	0,94	0,90	0,91	1,00	1,18	1,37	1,61	1,55
Süd, 60	1,63	1,54	1,15	0,98	0,85	0,81	0,83	0,92	1,14	1,38	1,68	1,61
Südwest/Südost, 30	1,37	1,33	1,15	1,07	1,00	0,97	0,98	1,03	1,15	1,25	1,40	1,36
Südwest/Südost, 45	1,48	1,42	1,16	1,05	0,95	0,91	0,92	1,00	1,16	1,31	1,51	1,46
Südwest/Südost, 60	1,52	1,43	1,12	0,99	0,88	0,82	0,84	0,93	1,12	1,30	1,55	1,49
Horizontale Fläche	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
West/Ost, 30	1,01	1,01	0,99	0,98	0,97	0,96	0,96	0,97	0,99	1,00	1,01	1,00
West/Ost, 45	0,99	1,00	0,96	0,95	0,93	0,92	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	0,98
West/Ost, 60	0,95	0,96	0,91	0,89	0,88	0,86	0,86	0,88	0,92	0,94	0,96	0,94

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Betrachten wir ein Beispiel:

Der Horizontal-Strahlungswert im Mai in Berlin und Umgebung beträgt 4,77 kWh/m²/d. Anders ausgedrückt:

Auf eine horizontale Fläche von 1 m² liefert die Sonne im Laufe eines durchschnittlichen Maitages 4,77 kWh Strahlungsenergie. Das ist das Ergebnis eines ca. 14-stündigen Strahlungsgeschehens. Die gleiche Energiemenge würden wir erhalten, wenn wir das Strahlungsgeschehen gewissermaßen auf 4,77 h komprimieren und dabei die Normstrahlungsstärke von 1 kW/m² auf die Fläche von 1 m² einwirken lassen. Meine Anlage mit 2x 85Wp Modulen = 170Wp, die ja flach (horizontale Einstrahlung) auf dem Wohnmobildach montiert ist, würde dann 4,77h lang mit der Normstrahlungsstärke 1 kW/m² bestrahlt und demnach 4,77 h x 170 W = 811 Wh Tagesertrag bringen (vorausgesetzt die Zelltemperatur der Module betrüge während dieser Zeit 25°C).

Die Ertragsberechnung ist also eigentlich ganz einfach: Wir können die Zahlenwerte der Tabelle 2 als Stunden pro Tag mit der Normstrahlungsstärke von 1 kW/m² interpretieren und müssen sie dann nur mit der Nennleistung des Solargenerators multiplizieren.

Schließlich müssen wir noch die Abweichung der Zelltemperatur vom Normwert berücksichtigen. Mit Ausnahme der Wintermonate liegt sie im Mittel über 25°C. Die Leistung wird dadurch vermindert. Entsprechende Korrekturfaktoren sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung der Zelltemperatur

Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1,02	1,01	0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,86	0,89	0,98	1,00	1,02

In unserem Beispiel hat der Mai den Faktor 0,88. Damit vermindert sich der Ertrag unseres Solargenerators auf: 811Wh/d x 0,88 = 714Wh/d.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Aufstellung einer ersten Formel

Wir können nun die Ertragsberechnung für einen gegebenen Solargenerator in folgender Formel zusammenfassen. Es gilt:

F2 = Wert der mittleren täglichen Globalstrahlung z. B. Tabelle 1

F3 = Korrekturfaktor für die Abweichung von der horizontalen Tabelle 2

F4 = Korrekturfaktor für die Zelltemperatur Tabelle 3

PvErtrag= Solargeneratorertrag in Wh/d

PvNenn= Solargeneratornennleitung in Wpeak

$$\boldsymbol{PvNenn\ x\ F2\ x\ F3\ x\ F4 = PvErtrag}$$

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Berücksichtigung von Kabel-, Umwandlungs- und Anpassungsverlusten

Wir kennen bisher den täglichen Strombedarf der vorgesehenen Verbraucher und können den täglichen Ertrag eines gegebenen Solargenerators in Abhängigkeit von der geografischen Lage, der Jahreszeit und der Ausrichtung des Generators berechnen. Zwischen Solargenerator und Verbrauchern befinden sich allerdings noch das Kabelnetz, der Laderegler und der Akku. Vor allem Kabel und Akku reduzieren den Stromertrag.

An den Kabeln treten Spannungsverluste auf und der Akku verursacht Umwandlungs- und Anpassungsverluste. Erst wenn wir diese Verluste berücksichtigt haben, wissen wir, welche Energiemenge der Akku den Verbrauchern tatsächlich zur Verfügung stellt.

Kabelverluste (Vk):

Wir werden bei der Kabeldimensionierung darauf achten, dass die Verluste auf ca. 3% beschränkt werden. Dies ist, wie man später sehen wird, bei Niederspannungsanlagen ein durchaus hochgestecktes Ziel. Andererseits ist unser Solarstrom ein kostbares Gut, das nicht verschwendet werden sollte. Nur selten wird es wirtschaftlich sinnvoll sein, hohe Kabelverluste in Kauf zu nehmen und sie durch die Anschaffung zusätzlicher Module zu kompensieren. Insofern hat der Verlustwert von 3% seine praktische Berechtigung.

Folglich setzen wir 3% für die Kabelverluste an. Das bedeutet, dass wir den Generatorertrag um den Faktor

Vk = 0,97 verringern müssen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Umwandlungsverluste (Vu):

Die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie und wieder zurück in elektrische Energie, die im Akku stattfindet, ist ein energetisch schwer kalkulierbarer Prozess, da Konstruktionsdetails, Alter, Temperatur, Entladetiefe, Stromstärke der Ladung und Entladung darin eingehen. Diese, bei der Ladung des Akkus entstehenden Verluste, werden von den Herstellern mit als Ladefaktor angegeben. Er ist das Verhältnis von zugeführter Ladung zur entnehmbaren Ladung. Nach Herstellerangaben liegt dieser Faktor bei 1,05 bis 1,2. Das heißt, 5% bis 20% der zugeführten Ladung stehen beim Entladen nicht mehr zur Verfügung. Werden die Lade- und Entladezyklen auf einen Bereich zwischen 80% und 60% der Kapazität beschränkt, kann der Ladefaktor Werte von 1,02 bis 1,08 annehmen.

Für unsere weiteren Berechnungen gehen wir von einem Ladefaktor von 1,1 aus. Daraus ergibt sich ein Umwandlungsverlust von 10%. Damit wird der Generatorertrag um den Faktor

Vu = 0,9 verringert.

Anpassungsverluste (Missmatching) (Va):

Sie sind die Folge davon, dass es während des Betriebs Veränderungen im Spannungsniveau gibt: Der Akku gibt durch seinen jeweiligen Ladezustand und die davon abhängige aktuelle Spannung sowie durch seine Temperatur dem Solargenerator unterschiedliche Spannungsniveaus vor, sodass der Generator häufig außerhalb seines maximalen Leistungspunktes arbeitet. Dieser ist aber zugleich wieder strahlungs- und temperaturabhängig. Dieses als Missmatching bezeichnete Driften der Spannung muss im Mittel ebenfalls noch einmal mit 10% Energieverlusten veranschlagt werden.

Verlustfaktor also: **Va = 0,9**.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Daraus ergibt sich der Gesamtverlustfaktor (V):

$$V = Vk \; x \; Vu \; x \; Va$$

Entsprechend den obigen Ausführungen gilt: **V = 0,97 x 0,9 x 0,9 = 0,79**

$$V = 0,79$$

Zusammenfassung

Die noch verfügbare Menge an Solarstrom lässt sich nun auf die zusammenfassende Formel bringen:

$$PvNenn\ [W] \; x \; F2[h/d] \; x \; F3 \; x \; F4 \; x \; V = PvErtrag\ [Wh/d]$$

Im obigen Beispiel war mein Wohnmobil mit einem horizontal aufgebauten Solargenerator von 170Wpeak im Berliner Raum unterwegs. In der Sommersaison, repräsentiert durch den Monat Mai, können wir für die angeschlossenen Verbraucher eine Nutzenergie von

170W x 4,77 h/d x 1 x 0,88 x0,79 = **564 Wh/d**

beziehen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Ermittlung der Solargeneratorgröße

Um die Leistung eines Solargenerators zu ermitteln, die den Verbrauch im Wohnmobil berücksichtigt, müssen wir die Formel so umstellen, dass wir als Ergebnis die PV-Generatorgröße in [Wp] erhalten.

Für PvNenn [W] erhalten wir die Leistung des Solargenerators in Wp und für PvErtrag setzen wir den täglichen Verbrauch in Wattstunden pro Tag (Wh/d) ein.

Damit gilt:

$$\frac{\boldsymbol{täglicher\ Verbrauch\ [Wh/d]}}{\boldsymbol{F2[h/d]xF3xF4xV}} = \boldsymbol{PVGenerator[Wp]}$$

Für mein Wohnmobil ergibt sich damit:

Der tägliche Verbrauch im Wohnmobil im Sommer (Mai – September) beträgt typisch 20 Ah/d im September aber 25Ah. Für eine hohe Versorgungssicherheit der Sommermonate wird deshalb der Verbrauchswert des Monats September für die weitere Berechnung genommen.

Zur Umrechnung in Wh/d wird der Wert mit der Betriebsspannung 12V multipliziert.
25 Ah/d x 12 V = 300 Wh/d

$$\frac{\boldsymbol{300\ Wh/d}}{\boldsymbol{3,04h/d\ x\ 1\ x\ 0,89\ x\ 0,79}} = \boldsymbol{140\ Wp}$$

Als Wert für F2 wurde der Durchschnitt für September als schwächster Monat für die Sommerreisezeit aus Tabelle 2 genommen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Der tägliche Verbrauch im Wohnmobil im Winter (Oktober – April) beträgt typisch 37 Ah/d. Für die Monate Dezember –Februar liegt der Wert aber bei 42 Ah/d. Um eine hohe Versorgungssicherheit auch im Winter zu erreichen, wird zur weiteren Berechnung der Verbrauchswert des Monats Dezember genommen.

Zur Umrechnung in Wh/d wird der Wert mit der Betriebsspannung 12V multipliziert.
42 Ah/d x 12 V = 504 Wh/d

$$\frac{\mathbf{504\ Wh/d}}{\mathbf{0,545h/d\ x\ 1\ x\ 1,02\ x\ 0,79}} = \mathbf{1147\ Wp}$$

Als Wert für F2 wurde der Durchschnitt für Dezember als schwächster Monat für die Winterreisezeit aus Tabelle 2 genommen.

Die Ergebnisse bedeuten, dass in der Sommerreisezeit eine Solargeneratorleistung von 140Wp den täglichen Verbrauch des Wohnmobils abdecken kann, im Winter aber dafür ein Solargeneratorleistung von 1147 Wp benötigt wird.

Es ist bei diesem Ergebnis zu beachten, dass

- die mittleren Werte der Globalstrahlung genommen wurden und
- diese Werte auch noch über das Gebiet der Bundesrepublik gemittelt wurden.

Dadurch können die Erträge

- von Jahr zu Jahr (+- 15%),
- von Nord nach Süd und
- von West nach Ost

unterschiedlich sein.

Wird eine höhere Versorgungssicherheit angestrebt, sind die Werte der Globalstrahlung örtlich und jahreszeitlich genauer zu wählen. Genaue Werte erhält man vom Deutschen Wetterdienst.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Auslegung unseres Wohnmobils:

In der Zeit von April bis September kommt unser Wohnmobil mit einer Solargeneratorleistung in Deutschland ab 140Wp gut zurecht. Um die Monate März und Oktober zusätzlich abzudecken, ist die eine Solargeneratorleistung von 240Wp ausreichend, welche dann aus meiner Sicht auch für die meisten Wohnmobilbesitzer eine vernünftige Grenze darstellt.

Ich habe mich für eine Leistung von 2x 85Wp= 170Wp entschieden, weil diese Leistung mir für mein Reiseverhalten (Reisezeitraum und Reisegebiet und Reisedauer) ausreichend Versorgungssicherheit bietet.

Um die Monate November bis Februar in Deutschland autark abzudecken, ist die Nutzung einer zusätzlichen anderen Energiequelle in Betracht zu ziehen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Der Akkumulator

Die Energiespeicherung ist ein zentrales Thema bei der Sonnenenergienutzung, weil Energiegewinnung und -verbrauch in der Regel ungleichzeitig erfolgen. Der tagsüber gewonnene Solarstrom wird zu großen Teilen erst in den Abendstunden benötigt, muss also zwischengespeichert werden. Auch müssen längere Schlechtwetterperioden überbrückt werden.

Bleiakkus mit flüssigem Elektrolyten

Eine Akkuzelle ist ein mit verdünnter Schwefelsäure (H2SO4) gefüllter Behälter, in den 2 fingerförmig miteinander verzahnte Plattensätze aus Blei (chem.: Pb, Minuspol) bzw. Bleioxid (chem.: PbO2, Pluspol) eingelassen sind. Bei Stromentnahme fließen über die Verbraucher Elektronen vom Minus- zum Pluspol und verursachen eine chemische Reaktion zwischen den Platten und der Schwefelsäure. An den Oberflächen beider Plattensätze entsteht jetzt Bleisulfat (PbSO4), Schwefel wird sozusagen von der Säure in die Platten umverlagert. Dadurch sinkt die Konzentration der Säure, sie wird wässriger. Diese Veränderung lässt sich mit einem Säureheber recht gut messen, sodass die Möglichkeit besteht, den Ladezustand einer Akkuzelle zu kontrollieren.

Bei geringer Stromentnahme verläuft die Einlagerung von Schwefel in die Platten langsam und eine größere Eindringtiefe wird erreicht als bei starker Stromentnahme. Bei starker Stromentnahme "blockieren" die anfangs eingelagerten Schwefelmoleküle das schnelle Eindringen der Nachfolgenden. Die Folge ist, dass man einem Akku bei langsamer Entladung mit kleinen Strömen insgesamt mehr Strom entnehmen kann als bei schneller Entladung mit großen Strömen. Die verfügbare Kapazität hängt also von der Größe des Entladestroms ab oder - wie es handelsüblich dargestellt wird - von der Entladezeit: Wenn ich den Gesamtvorrat des Akkus in 10 h entnehme, fließt ein viel größerer Strom, als wenn ich ihn in 100 h entnehme.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

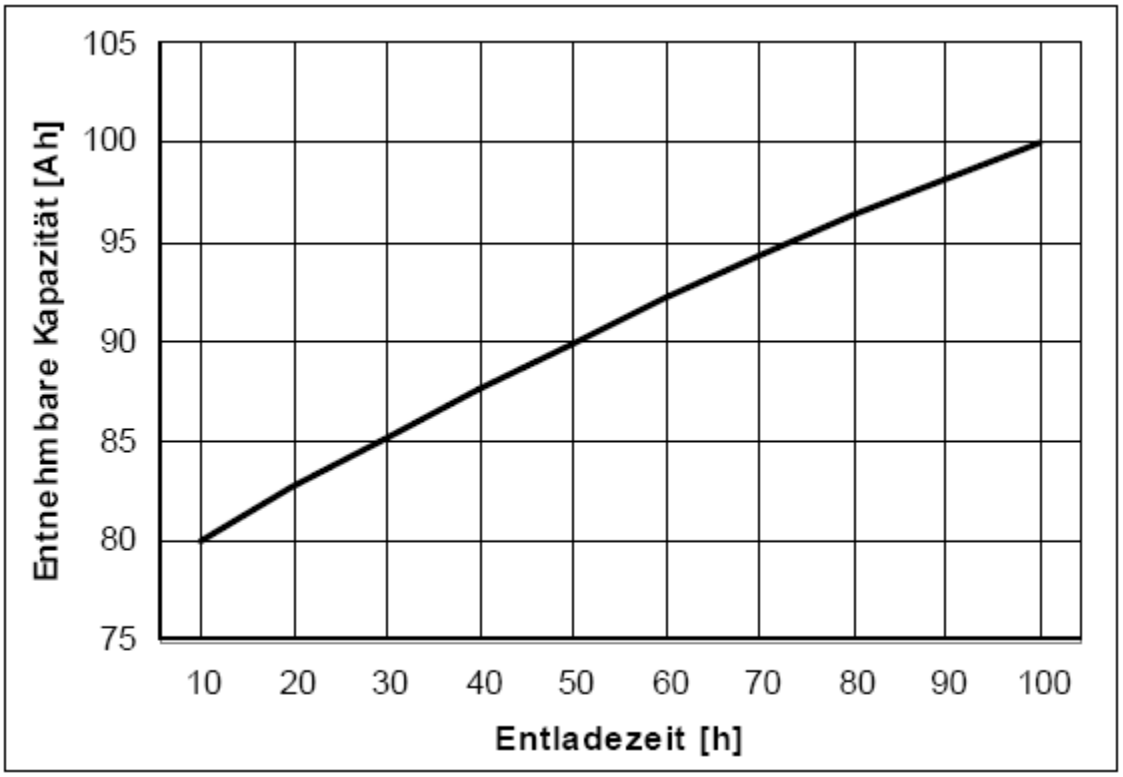


Abb. 1

Abb. 1 zeigt diesen Zusammenhang beispielhaft: Bei 100-stündiger Entnahme hat der dem Schaubild zugrunde liegende Akku eine Kapazität von 100 Ah, bei 10-stündiger Entnahme nur von 80 Ah. Beim Wiederaufladen des Akkus "drückt" der Solargenerator durch eine Spannungshöhe, die oberhalb der aktuellen Akkuspannung liegt, Elektronen in die andere Richtung, vom Pluspol zum Minuspol. Dadurch wird die chemische Veränderung, die beim Entladen stattgefunden hatte, wieder rückgängig gemacht.

Wie aber bei allen Naturvorgängen so ist auch hier der Prozess nicht vollständig reversibel. Kleine Mengen von Bleisulfat werden nicht wieder aufgelöst (Sulfatierung). Der Akku hat also durch den Entlade-Lade-Zyklus eine kleine Kapazitätsschwächung erlitten, diese ist um so größer je vollständiger die Entladung war. Wenn nur Teile seiner Kapazität entnommen werden, ist sie verhältnismäßig klein.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

In einem solchen Fall verlängert sich die Lebensdauer, also die Zahl der Zyklen, erheblich. Den Zusammenhang zwischen Entladetiefe und Zyklenzahl zeigt Abb. 2.

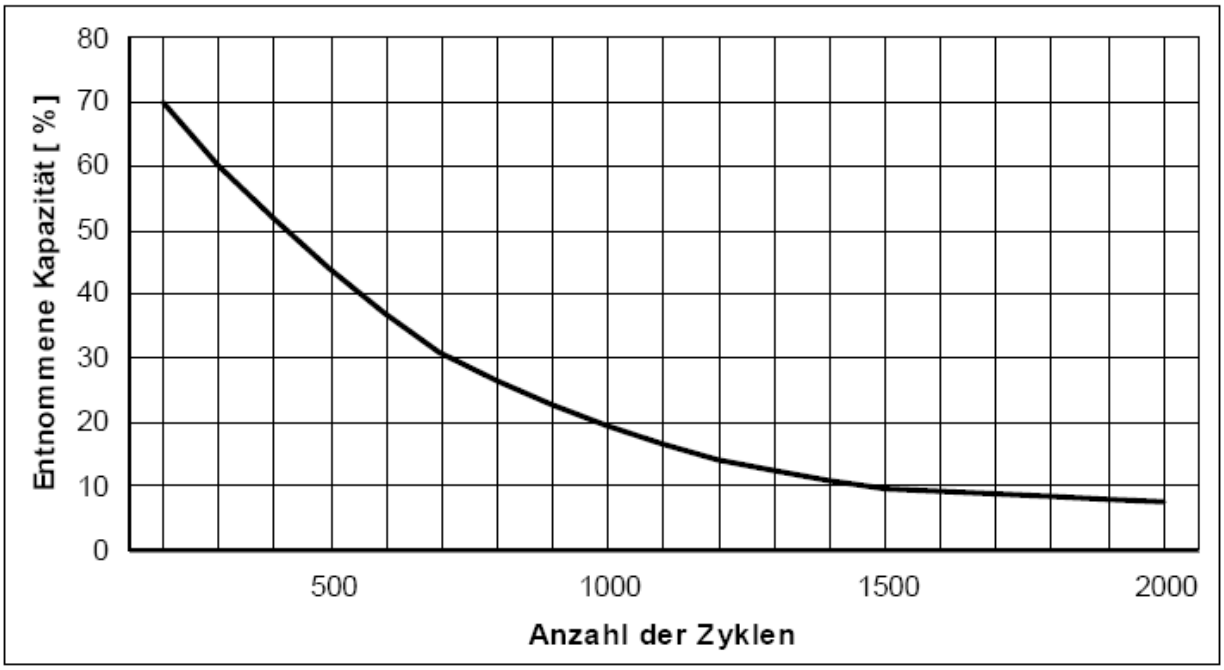


Abb. 2

Das Diagramm zeigt die Zyklenfestigkeit eines durchschnittlichen Solarakkus. Bei 70 % Entladetiefe, also wenn regelmäßig 70 % seiner Kapazität entnommen werden, erreicht er eine Lebensdauer von nur 200 Zyklen, bei 50 % Entladetiefe sind es schon etwas mehr als 400 Zyklen und bei 20 % bereits 1000 Zyklen. Solche Akkus eignen sich ganz gut für sporadische Anwendungen z. B. in Wohnmobilen, Wohnwagen, Booten und Wochenendhäusern. Sofern der Akku groß genug bemessen wird, kommt es nur selten zu einer 50 %-tigen Entladung, sodass er über mehrere Jahre seinen Dienst tun kann.

An dieser Stelle sei kurz auf die häufig gestellte Frage eingegangen, ob man auch eine Autobatterie als Solarakku verwenden kann: Der Starterakku im Auto ist mit relativ dünnen Platten in hoher Stückzahl ausgestattet. Das ergibt eine große aktive Oberfläche und somit kann kurzzeitig ein hoher Anlasserstrom zur Verfügung gestellt werden. Dieser fließt nur wenige Sekunden und entnimmt dem Akku dabei nur einen sehr kleinen Teil seiner Kapazität. Zugunsten einer hohen Kurzzeitleistung (dünne Platten) verzichtet man auf Zyklenfestigkeit.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Daher würde ein Starterakku im normalen zyklischen Solarbetrieb mit bis zu 50 % Entladetiefe nach wenigen Tagen bereits unbrauchbar sein. Seine Kapazität wäre auf einen Bruchteil der Anfangskapazität gesunken. Erst wenn man ihn mit einem speziellen Laderegler auf 15 % Entladetiefe begrenzen würde, käme er auf eine genügend lange Lebensdauer.

Dann würde man allerdings eine mehrmals so große Akkukapazität kaufen müssen wie bei einem Solarakku und das wäre dann einfach zu teuer. Im Unterschied zum Starterakku sind Solarakkus zur Erhöhung der Zyklenfestigkeit mit stärkeren Platten ausgerüstet und mit einem Antimonzusatz versehen. Außerdem hat der Elektrolyt einen etwas geringeren Säuregehalt, um die Eigenkorrosion zu verringern und damit die Lebensdauer zu erhöhen.

Die Kapazität eines Akkus ist nicht nur von der Stromstärke abhängig, mit der er entladen wird, sondern auch von der **Temperatur**. Mit sinkender Temperatur wird die Kapazität geringer, mit steigender Temperatur höher. Sinkt die Temperatur z. B. von 20° auf 0° ab, so verringert sich die entnehmbare Kapazität um ca. 25 %. Während des Ladevorganges steigt die Akkuspannung allmählich an. Sie erreicht irgendwann einen Wert, bei dem eine leichte Gasbildung (Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff) einsetzt. Das austretende Gasgemisch ist hochexplosiv (Knallgas). In der Nähe dieser Gasungsspannung definiert der Hersteller eine akkuspezifische **Ladeschlussspannung**. Sie muss mit einem Laderegler kontrolliert werden, damit der Akku keinen Schaden durch Flüssigkeitsmangel und zu hohe Säurekonzentration nimmt und die Gefahr durch Knallgas minimiert wird. Da die Ladeschlussspannung temperaturabhängig ist, muss der Laderegler die Temperatur erfassen und in seinen Ladealgorithmus mit aufnehmen können.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

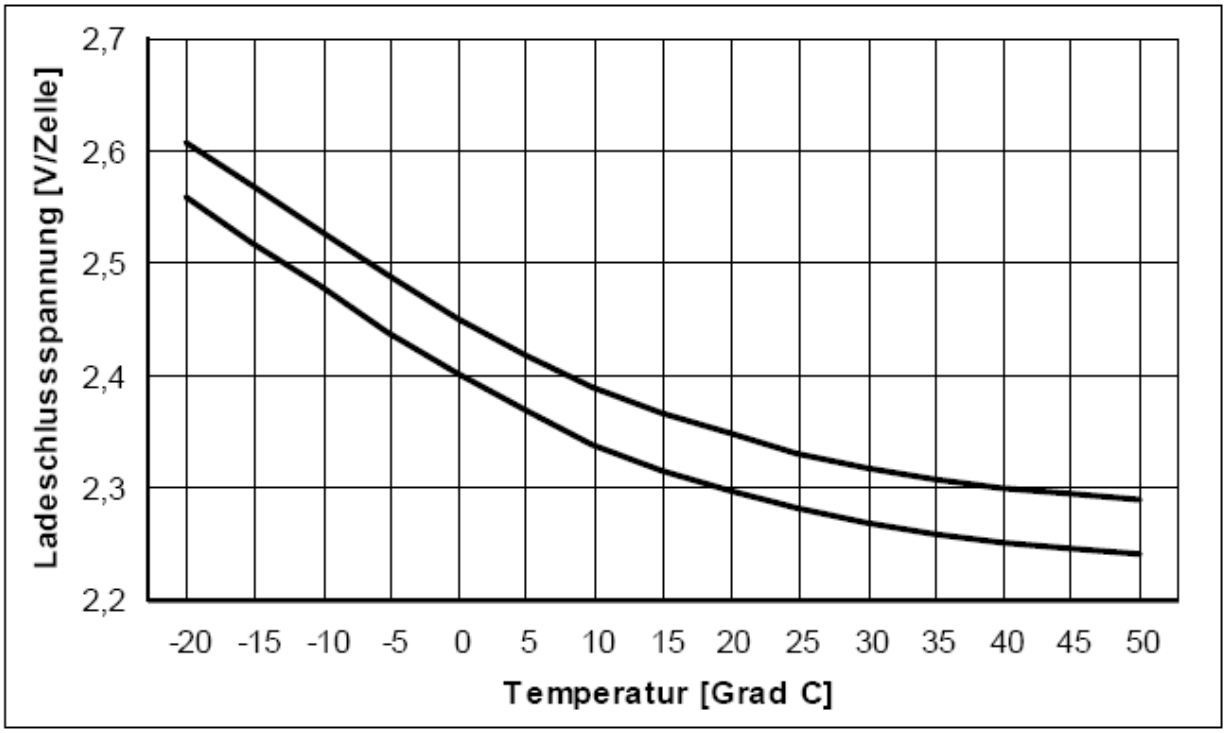


Abb. 3

Wie Abb. 3 zeigt, beträgt die Ladeschlussspannung eines Akkus bei 20°C etwa 2,3 bis 2,35 V pro Zelle. Bei höheren Temperaturen sinkt sie (+40° -> 2,25V bis 2,3V), bei Tieferen steigt sie an (0° -> 2,4V bis 2,45V). Der Alterungszustand des Akkus hat ebenfalls einen Einfluss auf die Ladeschlussspannung: Sie wird generell etwas früher erreicht als bei neuen Akkus. Intelligente Laderegler sind in der Lage, dies zu berücksichtigen.

Eine gewisse gelegentliche Gasung des Akkus ist trotz Knallgasbildung und Flüssigkeitsverlust durchaus erwünscht, weil durch die aufsteigenden Gasbläschen die Säure durchmischt wird. Dies erhöht die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit des Akkus. Andererseits ergeben sich daraus auch Anforderungen an die Wartung (Säurestand kontrollieren und destilliertes Wasser nachfüllen - ca. 1 bis 2 Mal im Jahr) und an die Aufstellung innerhalb von geschlossenen Räumen. Der Aufstellungsort sollte gut belüftet und zur Erleichterung der Wartung gut zugänglich sein.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Der Blei-Gel-Akku

Eine interessante Weiterentwicklung des klassischen Bleiakkus ist der Blei-Gel-Akku. Die Säure ist hier durch Zusätze in einem Gel festgelegt worden. Besondere Vorteile dieses Verfahrens:

- geringere Sulfatierung höhere Zyklenfestigkeit,
- keine störende Säureschichtung,
- keine Gasung - abgesehen von extremer Überladung, für die ein Sicherheitsventil eingebaut ist - daher auch bei mangelnder Belüftung und in kleinen Nischen einsetzbar,
- Geschlossenes auslaufsicheres Gehäuse,
- lageunabhängiger Einbau (Boote, Wohnwagen, Wohnmobile)
- wartungsfrei.

Zu beachten ist, dass dieser Akkutyp einen zu seinen Eigenschaften passenden Laderegler benötigt. Angesichts der etwas höheren Anschaffungskosten ist die wichtigste Information, ob auch eine höhere Lebensdauer mit dem höheren Preis verbunden ist.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

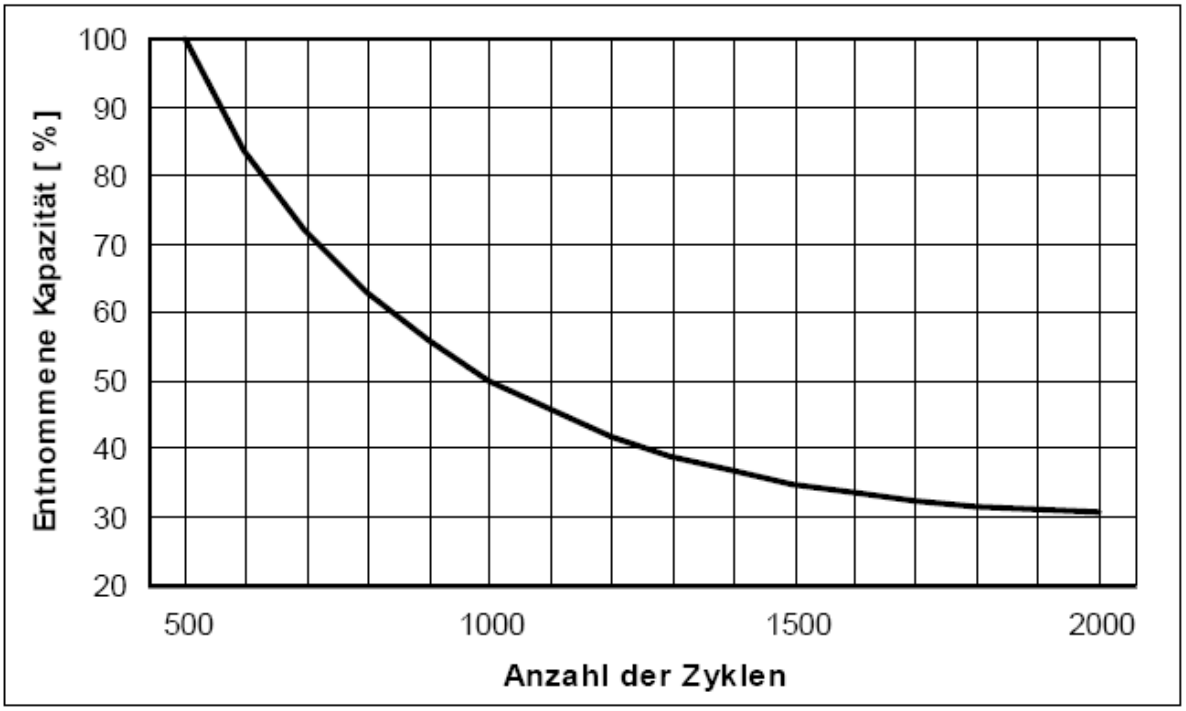


Abb. 4

Das Diagramm (Abb.4) für einen einfachen Gel-Akku des Herstellers Sonnenschein zeigt, dass bei einer Entladetiefe von 50 % eine Zyklenzahl von 1000 erreicht wird. Das ist bereits mehr als doppelt so viel wie beim Akku mit flüssigem Elektrolyten. Eine bei ausreichender Dimensionierung für die Praxis typische Entladetiefe von 30% führt beim Gel-Akku zu 2000 Zyklen, beim Akku mit flüssigem Elektrolyten nur zu 700 Zyklen. Erhöhte Kosten zahlen sich hier also aus.

Eine professionell ausgerüstete Anlage sollte ihrem Betreiber ein Speichersystem bieten, das sich durch folgende Merkmale auszeichnet:

- Günstiges Preis-Leistungsverhältnis
- Geringer Wartungsaufwand
- Genügend hohe Lebensdauer von 10 und mehr Jahren
- Schutz vor Umweltgefährdung

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

In sporadisch genutzten Anlagen wie in Wohnmobilen erfüllt der einfache Solarakku mit flüssigem Elektrolyten diese Anforderung recht gut. Er ist preisgünstig, hat geringen Wartungsaufwand (es muss gelegentlich der Säurestand geprüft und destilliertes Wasser nachgefüllt werden), er erreicht hohe Standzeiten, wenn er großzügig dimensioniert ist, und wenn er an einem geschützten Standort untergebracht werden kann, ist er vor äußeren Beschädigungen und Auslaufen der Säure sicher.

Noch sicherer, wartungsfrei, langlebig und ebenfalls preisgünstig ist der einfache Gelakku. Er erfüllt die obigen Merkmale in idealer Weise. Bei mobilen Anwendungen ist der Gelakku ohnehin die richtige Wahl, weil von ihm keine Transportgefahren ausgehen. Selbst bei Beschädigung des Gehäuses tritt keine Säure aus. Sie ist vollständig im Gel gebunden.

Auslegung des Akkus

Der Akku soll die Ungleichzeitigkeit von Energieangebot und Energieverbrauch ausgleichen. Wir müssen in unseren Breiten mit beträchtlichen Strahlungsschwankungen rechnen. Daher ist es sinnvoll, für die Sommermonate einen Vorrat von 2,5 Tagen und für die Wintermonate von 4 Tagen bereitzustellen.

Um eine ausreichend lange Lebensdauer der Akkus zu erreichen, dürfen wir nicht - wie weiter oben schon ausgeführt wurde - die vom Hersteller angegebene Gesamtkapazität einplanen, sondern nur ca. 50% dieser Größe. Wir müssen die Akkukapazität deshalb doppelt so groß wählen, wie aus den Verbrauchswerten errechnet. Für das Beispielobjekt ergibt sich also:

Tagesverbrauch		Vorrat		Kapazität = doppelter Vorrat	
Sommer	Winter	Sommer 2,5 Tage	Winter 4 Tage	Sommer	Winter
20Ah	42Ah	50Ah	168Ah	100Ah	336Ah

Wie man sieht, wird für die Winterzeit ein erheblich größerer Akku benötigt. Das Reiseverhalten und die angestrebte Versorgungssicherheit wird wieder die Auswahl bestimmen. Ich möchte hiermit nur die Möglichkeit aufzeigen, wie man sich einer eigenen, optimalen Auslegung der Anlage nähern kann.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Laderegler

Der Laderegler hat die Aufgabe, den Akku vor Überladung zu schützen. Da der Akku ein relativ empfindliches technisches Produkt ist, werden an einen Laderegler hohe Anforderungen gestellt. Es müssen die Eigenschaften unterschiedlicher Akkuarten (Akkus mit flüssigem Elektrolyten und Gelakkus), die Temperatur und möglichst auch der Alterungszustand des Akkus berücksichtigt werden. Hier ist moderne Elektronik gefragt. Die ersten Ladereglergenerationen, die teilweise auch heute noch im Handel erhältlich sind, genügten den hohen Anforderungen nur unzureichend. Mittlerweile ist aber ein professioneller Standard erreicht.

Der Shuntregler regelt den Modulstrom kontinuierlich herunter, wenn die Ladeschlussspannung erreicht ist. Da das Solarmodul aber weiterproduziert, wird der nicht benötigte Teil des Modulstroms als Kurzschlussstrom im Modul verbraucht, also in Wärme umgewandelt. Dieses schadet dem Modul nicht, es führt nur zu einer geringen, zusätzlichen Erwärmung. Für den Akku ist diese Methode ideal, weil er schonend und zügig aufgeladen wird.

Ein sogenannter Maximum-Power-Point-Regler ist ein Regler, der direkt auf die charakteristischen Strom-Spannungsverläufe eines Solarmoduls eingestellt ist und gegenüber einem Standardregler mehr Energie aus dem Solarmodul herausholen kann.

In den Punkten maximaler Leistung (MPP) wird die jeweils größte Leistung aus dem Modul entnommen. Besitzt ein Verbraucher einen konstanten Widerstand (Lastwiderstandsgerade), so kann nur in einem bestimmten Bereich der Einstrahlung der Generator optimal genutzt werden. Eine maximale Entnahme von Leistung ist somit nur mit einem sogenannten MPP-Regler möglich, weil er die Belastung so ausregelt, dass die Spannung immer im MPP bleibt.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Abb. 5 zeigt den Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Zellenkennlinie und die Punkte maximaler Leistung, die ein MPP-Regler in Abhängigkeit von der Einstrahlung einstellt. Im Gegensatz dazu sind die Arbeitspunkte einer ungeregelten Last mit einem Widerstand von 3 Ohm dargestellt.

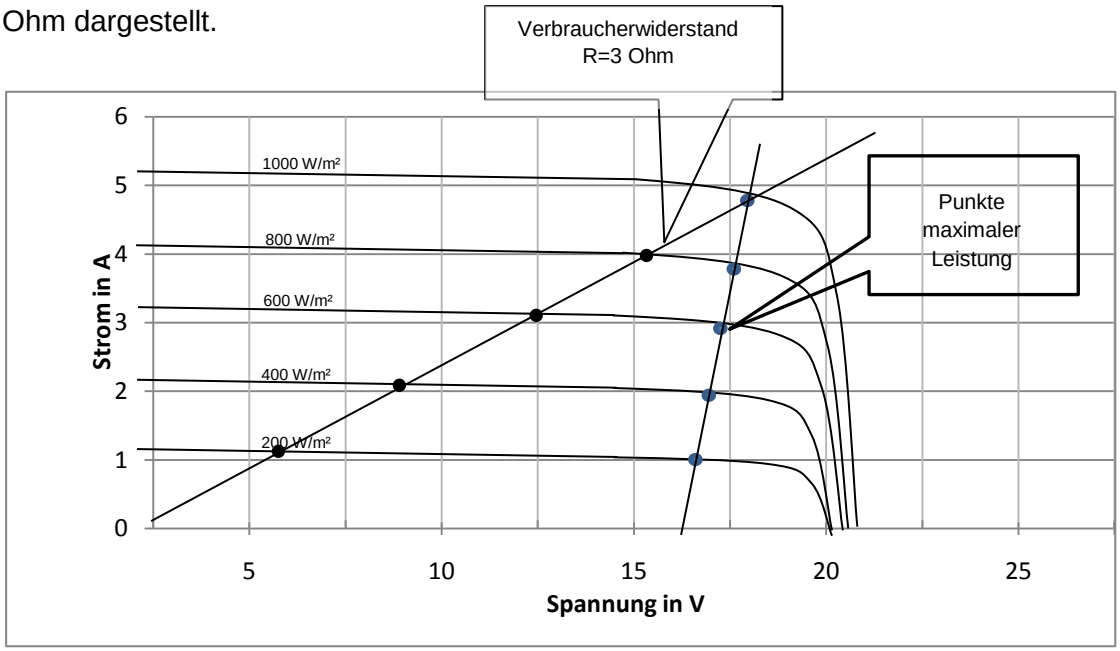


Abb. 5

Moderne Laderegler haben einen eingebauten Temperaturfühler, der die Umgebungstemperatur erfasst. Normalerweise befindet sich der Laderegler in unmittelbarer Nähe zum Akku, sodass die Temperaturen beider Geräte sehr ähnlich sind. Ist dies nicht der Fall, muss an dem Regler der Anschluss eines externen Temperaturfühlers möglich sein. Der Temperaturfühler wird dann direkt an den Akku angebracht.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Bestimmung der Kabelquerschnitte

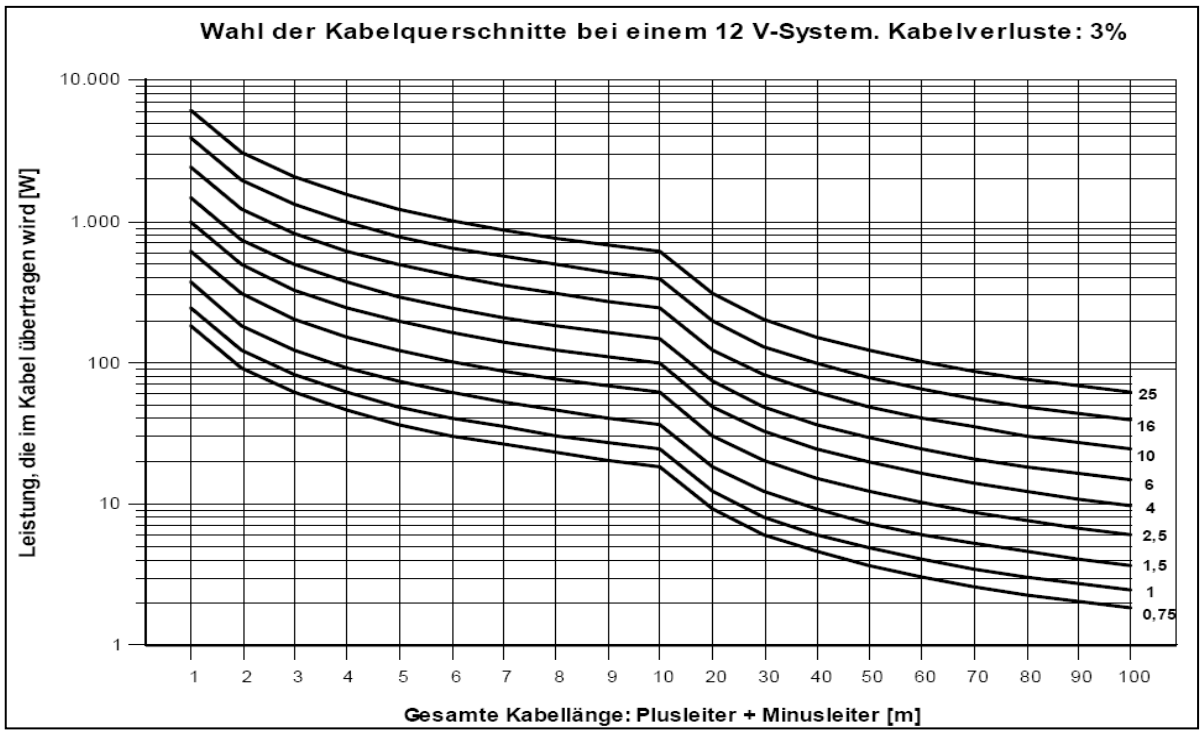
Um vom Solargenerator bis zum Akku so wenig wie möglich an Leistung zu verlieren, hatten wir für die Auslegung des Solargenerators im vorigen Kapitel einen Spannungsverlust in den Kabeln von 3% unterstellt. Um diese Voraussetzung auch einzuhalten, sind geeignete Kabelquerschnitte zu wählen.

Die erforderlichen Querschnitte können entweder mit der folgenden Formel oder aus dem Diagramm Abb.6 ermittelt werden.

$$A = \frac{0{,}0175 \text{ x L x P}}{\text{fk x U}^2}$$

0,0175	= spezifischer elektrischer Widerstand von Kupfer [Ohm x mm2 / m]
L	= Kabellänge (Plusleiter + Minusleiter) in m
P	= im Kabel übertragene Leistung in W
fk	= Verlustfaktor (im allgemeinen 3%) = 0,03
U	= Systemspannung in V

Abb. 6



© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Beispiel:

Generell sollten alle Kabel in einem Wohnmobil so bemessen sein, dass maximal 3% Leistungsverluste auftreten können.

Wir betrachten hier aber nur den Kabelstrang Solargenerator – Regler und nehmen mein Wohnmobil mit 170 Wp Solargeneratorleistung als Beispiel. Zur Berechnung wird die theoretisch maximal mögliche Leistungsübertragung des Generators in die Formel eingegeben. Die wird zwar in der Regel nicht erreicht, gibt uns aber damit eine gewisse Sicherheit. Als Systemspannung wird die Modulnennspannung von 17V genommen. Für die Länge des Kabels (Solargenerator – Regler) ist die Länge der Hin- (+) und Rückleitung (-) zu addieren.

L= 10m P= 170W U= 17V

$$A = \frac{0{,}0175 \text{ x } 10 \text{ x } 170}{0{,}03 \text{ x } (17\text{x}17)} = 3{,}43$$

Ergebnis: Es ist ein Kabel mit mindestens 4mm² zu verlegen.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Auswertung und Bewertung mit Excel

Auf den 2 folgenden Seiten wird eine Auswertung meines Wohnmobils vorgestellt, in der alle zuvor beschriebenen Einflussgrößen berücksichtigt wurden.

A. Hier wurde die mittlere Globalstrahlung in KWh eingetragen, die auf einen m² auf eine horizontale Fläche durchschnittlich an einem Tag in dem entsprechenden Monat einstrahlt. Aus den monatlichen Mittelwerten der Globalstrahlung der Messstellen, die über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland verteilt sind, wurden der Durchschnitt genommen. Diese Werte werden für die weiteren Berechnungen herangezogen.
Die Daten über das Gebiet Deutschland Nord und - Süd dienen nur als ergänzende Angabe und spielen für die weitere Berechnung in diese Excel-Tabelle keine weitere Rolle.

B. Bezogen auf einen gegebenen Solargenerator ergibt sich ein theoretischer Energieertrag (Bruttoertrag).

C. Errechnung des Korrekturfaktors, der für die Bestimmung des Nettoertrags benötigt wird.

D. Die zu erwartende nutzbare Energie des gegebenen Solargenerators (Nettoertrag).

E. Hier wird der in den jeweiligen Monaten zu erwartende tägliche Energieverbrauch eingetragen. Die Daten müssen in Amperestunden (Ah) eingetragen werden.

F. Mit den Eingaben „Batteriekapazität“ und „Solargeneratorleistung“ kann entweder eine vorhandene Anlage auf Reichweite der Autarkie überprüft werden (siehe nachfolgende Zeilen G-K) oder man verändert die Werte so, dass die eigenen Bedürfnisse hinsichtlich Vorsorgungssicherheit/Autarkie (G-K) erfüllt/ angenähert sind.

G. In diesen Zeilen sieht man zuerst die Ertragsbilanz des Solargenerators je Monat. Danach kann abgelesen werden, wie viel Tage der Vorrat an Energie reicht, bis die Batteriekapazität auf 50% abgesunken ist. Es wurde außerdem der Vorrat mit und ohne Solargeneratorunterstützung gegenübergestellt.

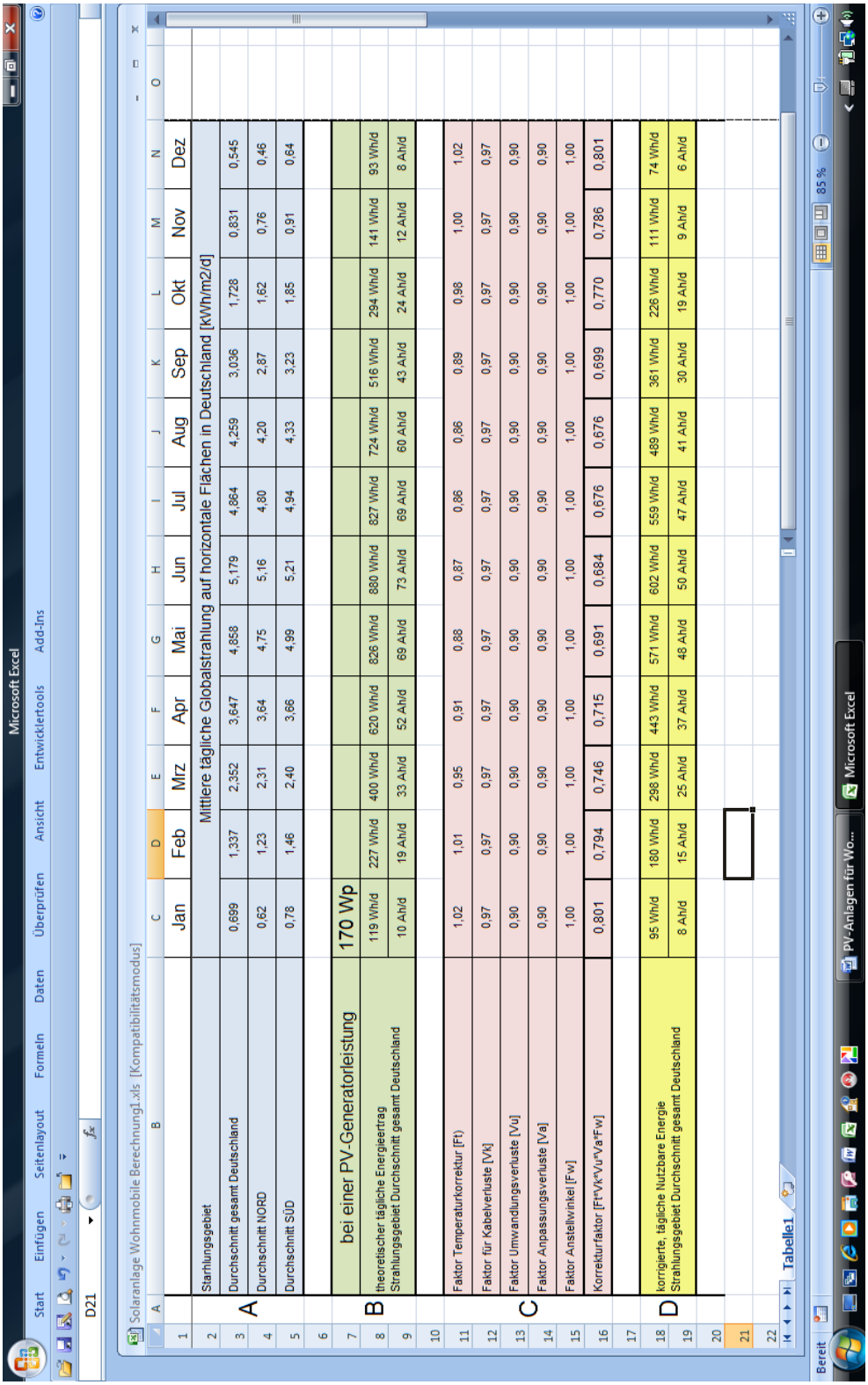
H. Hier wird die Dynamik des Solargenerators dargestellt, mit der die verbrauchte Energie nachgeladen werden könnte. Als maximale Entladetiefe wurde der Grenzwert 50% genommen.

J. Errechnete Solargeneratorleitung, die den gegebenen Verbrauch abdeckt.

K. Berechnung der Batteriekapazität, die als Vorrat eine geforderte Versorgungssicherheit abdecken kann.

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Seite 1 der Excel-Tabelle

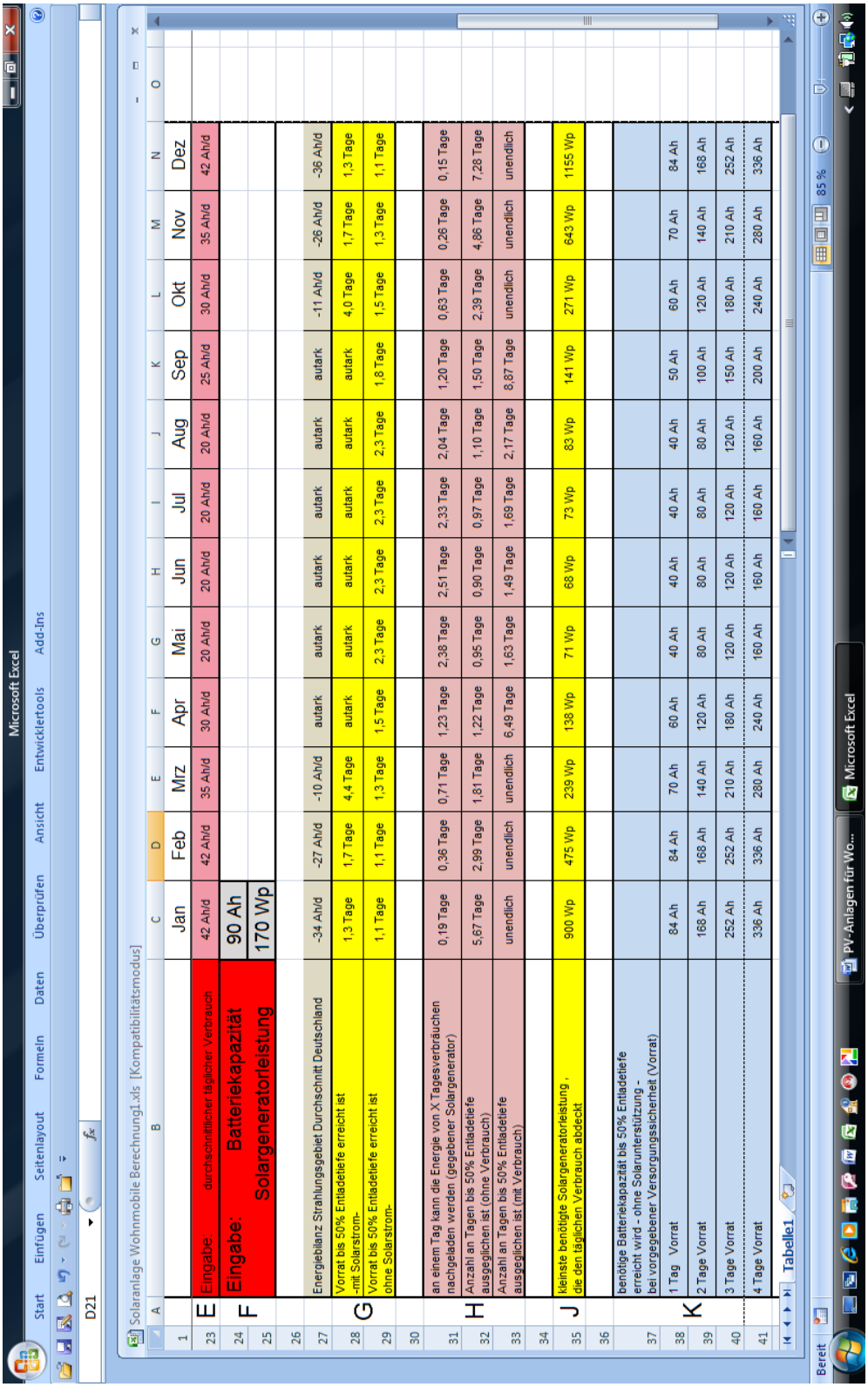


Solaranlage Wohnmobile Berechnung1.xls [Kompatibilitätsmodus]

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
A Strahlungsgebiet	Mittlere tägliche Globalstrahlung auf horizontale Flächen in Deutschland [kWh/m2/d]											
Durchschnitt gesamt Deutschland	0,699	1,337	2,352	3,647	4,858	5,179	4,864	4,259	3,036	1,728	0,831	0,545
Durchschnitt NORD	0,62	1,23	2,31	3,64	4,75	5,16	4,80	4,20	2,87	1,62	0,76	0,46
Durchschnitt SÜD	0,78	1,46	2,40	3,66	4,99	5,21	4,94	4,33	3,23	1,85	0,91	0,64
B bei einer PV-Generatorleistung	170 Wp											
theoretischer tägliche Energieertrag	119 Wh/d	227 Wh/d	400 Wh/d	620 Wh/d	826 Wh/d	880 Wh/d	827 Wh/d	724 Wh/d	516 Wh/d	294 Wh/d	141 Wh/d	93 Wh/d
Strahlungsgebiet Durchschnitt gesamt Deutschland	10 Ah/d	19 Ah/d	33 Ah/d	52 Ah/d	69 Ah/d	73 Ah/d	69 Ah/d	60 Ah/d	43 Ah/d	24 Ah/d	12 Ah/d	8 Ah/d
C Faktor Temperaturkorrektur [Ft]	1,02	1,01	0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,86	0,89	0,98	1,00	1,02
Faktor für Kabelverluste [Vk]	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Faktor Umwandlungsverluste [Vu]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faktor Anpassungsverluste [Va]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Faktor Anstellwinkel [Fw]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Korrekturfaktor [Ft*Vk*Vu*Va*Fw]	0,801	0,794	0,746	0,715	0,691	0,684	0,676	0,676	0,699	0,770	0,786	0,801
D korrigierte, tägliche Nutzbare Energie	95 Wh/d	180 Wh/d	298 Wh/d	443 Wh/d	571 Wh/d	602 Wh/d	559 Wh/d	489 Wh/d	361 Wh/d	226 Wh/d	111 Wh/d	74 Wh/d
Strahlungsgebiet Durchschnitt gesamt Deutschland	8 Ah/d	15 Ah/d	25 Ah/d	37 Ah/d	48 Ah/d	50 Ah/d	47 Ah/d	41 Ah/d	30 Ah/d	19 Ah/d	9 Ah/d	6 Ah/d

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Seite 2 der Excel-Tabelle



Solaranlage Wohnmobile Berechnung1.xls [Kompatibilitätsmodus]

		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
		Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
E	Eingabe: durchschnittlicher täglicher Verbrauch	42 Ah/d	42 Ah/d	35 Ah/d	30 Ah/d	20 Ah/d	20 Ah/d	20 Ah/d	20 Ah/d	25 Ah/d	30 Ah/d	35 Ah/d	42 Ah/d
F	Eingabe: Batteriekapazität	90 Ah											
	Eingabe: Solargeneratorleistung	170 Wp											
	Energiebilanz Strahlungsgebiet Durchschnitt Deutschland	-34 Ah/d	-27 Ah/d	-10 Ah/d	autark	autark	autark	autark	autark	autark	-11 Ah/d	-26 Ah/d	-36 Ah/d
G	Vorrat bis 50% Entladetiefe erreicht ist -mit Solarstrom-	1,3 Tage	1,7 Tage	4,4 Tage	autark	autark	autark	autark	autark	autark	4,0 Tage	1,7 Tage	1,3 Tage
	Vorrat bis 50% Entladetiefe erreicht ist ohne Solarstrom-	1,1 Tage	1,1 Tage	1,3 Tage	1,5 Tage	2,3 Tage	2,3 Tage	2,3 Tage	2,3 Tage	1,8 Tage	1,5 Tage	1,3 Tage	1,1 Tage
H	an einem Tag kann die Energie von X Tagesverbräuchen nachgeladen werden (gegebener Solargenerator)	0,19 Tage	0,36 Tage	0,71 Tage	1,23 Tage	2,38 Tage	2,51 Tage	2,33 Tage	2,04 Tage	1,20 Tage	0,63 Tage	0,26 Tage	0,15 Tage
	Anzahl an Tagen bis 50% Entladetiefe ausgeglichen ist (ohne Verbrauch)	5,67 Tage	2,99 Tage	1,81 Tage	1,22 Tage	0,95 Tage	0,90 Tage	0,97 Tage	1,10 Tage	1,50 Tage	2,39 Tage	4,86 Tage	7,28 Tage
	Anzahl an Tagen bis 50% Entladetiefe ausgeglichen ist (mit Verbrauch)	unendlich	unendlich	unendlich	6,49 Tage	1,63 Tage	1,49 Tage	1,69 Tage	2,17 Tage	8,87 Tage	unendlich	unendlich	unendlich
J	kleinste benötigte Solargeneratorleistung , die den täglichen Verbrauch abdeckt	900 Wp	475 Wp	239 Wp	138 Wp	71 Wp	68 Wp	73 Wp	83 Wp	141 Wp	271 Wp	643 Wp	1155 Wp
	benötige Batteriekapazität bis 50% Entladetiefe erreicht wird - ohne Solarunterstützung - bei vorgegebener Versorgungssicherheit (Vorrat)												
K	1 Tag Vorrat	84 Ah	84 Ah	70 Ah	60 Ah	40 Ah	40 Ah	40 Ah	40 Ah	50 Ah	60 Ah	70 Ah	84 Ah
	2 Tage Vorrat	168 Ah	168 Ah	140 Ah	120 Ah	80 Ah	80 Ah	80 Ah	80 Ah	100 Ah	120 Ah	140 Ah	168 Ah
	3 Tage Vorrat	252 Ah	252 Ah	210 Ah	180 Ah	120 Ah	120 Ah	120 Ah	120 Ah	150 Ah	180 Ah	210 Ah	252 Ah
	4 Tage Vorrat	336 Ah	336 Ah	280 Ah	240 Ah	160 Ah	160 Ah	160 Ah	160 Ah	200 Ah	240 Ah	280 Ah	336 Ah

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de

Quellenverzeichnis

Grundlage und Idee zu dieser Broschüre stammen aus den Ausführungen über „PV-Inselanlagen“ der TU-Berlin von Dipl.-Ing. R.Morsch

Link: http://www2.tu-berlin.de/umweltbildung/service/index.html

Abb.1 Rainer Klasani nach: "Photovoltaische Solaranlagen mit Blei-Gitterplatten-Batterien",Technische Information der Firma VARTA, S. 9,ohne Jahresangabe

Abb.2 Rainer Klasani nach: "Photovoltaische Solaranlagen mit Blei-Gitterplatten-Batterien",Technische Information der Firma VARTA, S. 9,ohne Jahresangabe

Abb.3 Rainer Klasani nach: "Photovoltaische Solaranlagen mit Blei-Gitterplatten-Batterien",Technische Information der Firma VARTA, S. 25,ohne Jahresangabe

Abb.4 Rainer Klasani nach: "Sichere Energiespeicher für Photovoltaik- und Windkraftanlagen",Prospekt der Firma SONNENSCHEIN, ohne Jahresangabe

Abb.5 Rainer Klasani

Abb.6 Rainer Klasani nach Dipl.-Ing. R. Morsch, PV-Inselanlagen, TU-Berlin 2001

Tab.1 Rainer Klasani

Tab.2 Rainer Klasani nach Heinz Ladener: "Solare Stromversorgung", Staufen 1999, S. 65

Tab.3 Rainer Klasani nach Heinz Ladener: "Solare Stromversorgung", Staufen 1999, S. 66

Tab.4 Rainer Klasani nach Dipl.-Ing. R. Morsch, PV-Inselanlagen, TU-Berlin 2001

© 2008 • Rainer Klasani • Uhlandstraße 28 • 59609 Anröchte • Tel. 02947 – 1754 • E-Mail: rainer.klasani@onlinehome.de