

# Leistungsbeschreibung

(Auszug)

## Umrüstung der kleinen Leuchttürme der Nord- und Ostsee auf eine Photovoltaische Energieversorgung und LED-Technik INTEGRATED POWER SYSTEM LANTERN - IPSL

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>3</b>
1.1	Auszuführende Arbeiten nach Art und Umfang	3
1.2	Vergabeverfahren hinsichtlich der Lose	5
1.3	Hinweise zur elektronischen Vergabe von Leistungen	6
<b>2</b>	<b>Los 1 – Systembeschreibung</b>	<b>7</b>
2.1	Übersicht	7
2.2	Betriebsbedingungen - Anforderungen	8
2.3	Prüfungen, Erprobungen, Dokumentation, Ausführungsunterlagen	9
2.3.1	Bei Angebotsabgabe sind nachzuweisen/vorzulegen	9
2.3.2	Auf Anforderung ist vorzulegen	10
2.3.3	Nach Auftragserteilung sind zu erbringen	10
2.4	Endprüfung der IPSL (Serienfertigung)	10
<b>3</b>	<b>Los 1 – Komponentenbeschreibung</b>	<b>11</b>
3.1	LED-Lichtmodul – Lichttechnische Anforderungen	11
3.1.1	Allgemeines	11
3.1.2	Bezugsgeometrie	12
3.1.3	Photometrische Werte	13
3.1.4	Lichtfarbe	14
3.1.5	Astronomische Uhr / Helligkeitssensor – Dämmerungsschalter	15
3.1.6	Taktung des Lichtes	15
3.2	Photovoltaische Energieversorgung	17
3.2.1	Allgemeine Anforderungen	17
3.2.2	Dimensionierung des PV-Energieversorgungssystems	17
3.2.2.1	Berechnungsgrundlagen	17
3.2.2.2	EXCEL-Berechnungstool – PVSIM	22
3.2.3	Solarmodule	23
3.2.3.1	Technische Daten – Aufbau	23
3.2.3.2	Qualitätsanforderungen	23
3.2.4	Speicherakkumulator	23
3.2.4.1	Technische Daten	23
3.2.4.2	Qualitätsanforderungen	24
3.2.5	Energiemanagement	24
3.2.6	Elektrische Installation	25
3.3	Parametrierung	25
3.3.1	Einzustellende Parameter	25
3.3.2	Schnittstelle	25
3.3.2.1	Infrarotschnittstelle	26
3.3.2.2	Draht-Schnittstelle	26

## **3.2 Photovoltaische Energieversorgung**

### **3.2.1 Allgemeine Anforderungen**

Die Photovoltaische Energieversorgung ist den Betriebsbedingungen und Anforderungen unter Abschnitt 2.2 entsprechend auszuführen. Die Ausführung der Systemkomponenten gemäß den Betriebsbedingungen und Anforderungen sowie den nachfolgenden Spezifikationen ist förmlich nachzuweisen.

Auf Grundlage der diesbezüglichen IALA-Richtlinien:

- 1039 Designing Solar Power Systems for AtoN
- 1042 Power Sources for AtoN
- 1044 Secondary Batteries for AtoN

werden nachfolgend die Dimensionierung des Systems und Anforderungen der Systemkomponenten spezifiziert.

### **3.2.2 Dimensionierung des PV-Energieversorgungssystems**

Zwecks Vergleichbarkeit der angebotenen PV-Energieversorgungssysteme wird ein Berechnungsverfahren vorgegeben. Das EXCEL-Berechnungstool auf Grundlage der IALA-Richtlinie 1039 [ <http://www.wsv.de/fvt/aktuelles/index.html> ] ist in Abschnitt 3.2.2.2 für die Dimensionierung des PV-Systems der IPSL spezifiziert.

#### **3.2.2.1 Berechnungsgrundlagen**

##### **3.2.2.1.1 Solar-Energiegewinn**

Es werden statistische, im durch die EU-Commission of the European Communities Directorate – General Science, Research and Development veröffentlichten European Solar Radiation Atlas entnommene Einstrahlungswerte zur Energiegewinnberechnung verwendet.

Da sowohl die direkte als auch die diffuse Sonneneinstrahlung zum Solar-Energiegewinn beitragen, werden zur Berechnung die Globalstrahlungswerte genutzt. Terrestrisch bedingte Unterschiede werden durch Auswahl der Einstrahlungsdaten der entsprechenden Messstation berücksichtigt.

Es werden die Einstrahlungsdaten aus südlicher Himmelsrichtung verwendet. Durch die Rundum - Anordnung der Solarmodule erfolgt eine Reduzierung der nutzbaren Sonneneinstrahlung um 30 % im Vergleich zur südlichen Einstrahlung. Dieser mittlere Reduzierfaktor

von 0,7 wurde in Auswertung der Einstrahlungsdaten im genannten Einstrahlungs-Atlas, durch Messungen des Seezeichenversuchsfeldes - SV7/90 in Koblenz sowie einer messtechnischen Untersuchung der Fa. INTERATOM – 70.03836.9 auf der Insel Norderney ermittelt. Die Einstrahlungsdaten sind monatsbezogene mittlere tägliche Werte in [kWh/m<sup>2</sup>].

Der horizontale Anstellwinkel des Solargenerators geht über die Auswahl der entsprechenden Sonneneinstrahlungsdaten ebenso in die Berechnung ein. Für den Ganzjahresbetrieb in Deutschland ergibt sich, um vor allem in den Wintermonaten einen maximalen Energiegewinn zu erzielen, ein vertikaler Anstellwinkel von 60 ° zur Horizontalen. Es kann auch ein Winkel von 90 ° gewählt werden, hierbei besteht eine bessere Selbstreinigung der Solarmodule. Zudem trägt bei dieser Konstellation noch die Reflexion der Sonneneinstrahlung durch das Wasser zum Energiegewinn bei. Die Einstrahlungswerte weichen in den Wintermonaten bei einem vertikalen Anstellwinkel der Solarmodule von 60 ° und 90 ° nicht signifikant voneinander ab.

Die Leistungsangaben von kristallinen Solarzellen / -modulen sind gemäß EN 61215, EN 60904 auf Standard Testbedingungen – STC bezogen:

- Zelltemperatur = 25 °C
- Bestrahlungsstärke = 1000 W/m<sup>2</sup>
- Airmass (AM) = 1,5  
(beschreibt die Wegstrecke des direkten Sonnenlichtes durch die Erdatmosphäre)

Energiegewinnverluste durch Zelltemperaturen > 25 °C werden nicht berücksichtigt. Aufgrund der Auslegung des PV-Systems auf eine 100 % -ige Deckungsrate besteht in den Sommermonaten, in denen erhöhte Solarzelltemperaturen auftreten können, generell ein Energiegewinnüberschuss.

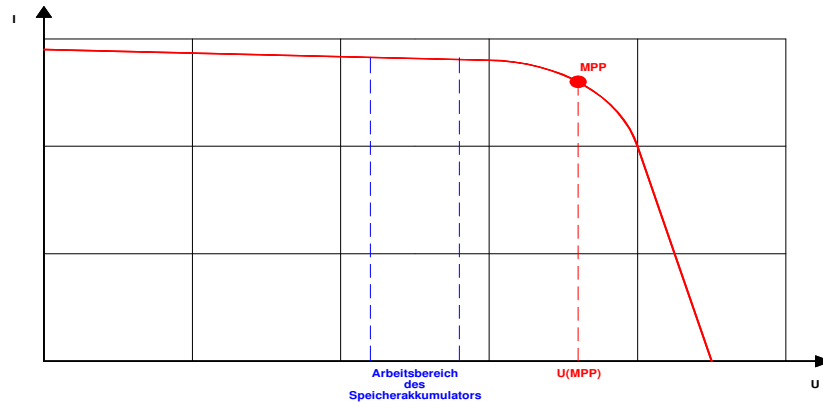
Temperaturen der Solarzellen < 25 °C wirken sich auf deren Energiegewinn begünstigend aus. Da dieser Energiegewinn in der Praxis aber schwer voraus zu berechnen ist, wird auch dieser in der Energiebilanzierung nicht berücksichtigt.

Es wird von einer Degradation der Solarzellen ausgegangen. Daraus folgt für die Berechnung des Energiegewinns des Solargenerators über den Betriebszeitraum hinweg ein Sicherheitsabschlag vom Energiegewinn von 1% p.a..

Die Nennleistungsangaben von Solarmodulen sind Angaben im Punkt der maximalen Leistung (MPP). Der MPP befindet sich im Knickpunkt der Strom-Spannungs-Kennlinie der So-

larzelle / des Solarmoduls. Die Spannung im Punkt der maximalen Leistung liegt immer über der Ladeschlussspannung der zum Solargenerator kompatiblen Akkumulatoren. Aufgrund dessen sowie aufgrund des bzgl. des Stromes nahezu konstanten Verlaufs der Strom-Spannungskennlinie von Solarzellen erfolgt die Energiegewinnberechnung über den Solarmodulstrom im MPP.

Abbildung 3-6 – Strom-Spannungskennlinie Solarmodul



Es erfolgt eine Summenbildung des Energiegewinns in Abhängigkeit von der Nennleistung des Solargenerators ( $W_{Peak}$ ) bei einer Sonneneinstrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$ . Der Solarzellentyp geht durch Berücksichtigung der Spannung ( $U_{MPP}$ ) im Punkt der maximalen Leistung in die Berechnung mit ein.

Der monatliche Energiegewinn wird berechnet:

$$\frac{\text{tägliche Einstrahlung} \cdot \text{Zeit} \cdot \text{SiA} \cdot \text{Nennleistung des Solargenerators} \cdot \text{Systemspannung}}{100\% \cdot 1 \text{ kW} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Spannung der Solarmodule}}$$

mit:

tägliche Einstrahlung	[kWh · m <sup>-2</sup> · d <sup>-1</sup> ]	
Zeit	[d]	(Anzahl der Tage im Monat)
SiA	[%]	(Sicherheitsabschlag)
Nennleistung des Solargenerators - $P_{Mpp}$	[W]	(bei STC: $1\text{kW/m}^2$ , $25^\circ\text{C}$ , AM 1,5)
Spannung der Solarmodule - $U_{Mpp}$	[V]	(Spannung im Arbeitspunkt der maximalen Leistung)
Systemspannung	[V]	

$$[\text{Energiegewinn}] = \frac{\text{kWh} \cdot \text{d} \cdot \% \cdot \text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{V}}{\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \% \cdot \text{kW} \cdot \text{V}} = \text{Wh}$$

### 3.2.2.1.2 Energieverbrauch

Bei der Berechnung des Energieverbrauchs geht die Nennleistung des LED-Lichtmoduls unter Berücksichtigung des Leistungsprofils ein. Es wird zum Einen die Taktung des Schiffsfahrtszeichens und zum Anderen dessen tägliche Einschaltdauer berücksichtigt. Die Einschaltdauer ist nach Erlass – BW 25/52.22.05-1/45 S 84, wonach Leuchtfeuer 1 h vor Sonnenuntergang ein- und 1 h nach Sonnenaufgang ausgeschaltet werden, festgelegt. Daraus ergeben sich folgende tägliche Einschalt Dauern:

Januar	18,0 h
Februar	15,0 h
März	14,0 h
April	12,0 h
Mai	10,0 h
Juni	8,6 h
Juli	9,4 h
August	11,0 h
September	13,0 h
Oktober	15,0 h
November	17,0 h
Dezember	18,0 h

Ständige Energieverbraucher im System werden mit deren mittleren Leistungsaufnahme als Grundlast in der Energiebilanzierung berücksichtigt.

### 3.2.2.1.3 Energiespeicherung

Da bei der Bemessung des PV-Systems der IPSL von einem asynchronen Verlauf von Energiegewinnung und Energieverbrauch sowohl über einen Tag als auch über das gesamte Jahr auszugehen ist, wird die Zwischenspeicherung der elektrischen Energie erforderlich.

Bei dem vorliegenden Berechnungsverfahren wird vom Einsatz von Blei-Säure-Speichern ausgegangen. Es wird ein elektrischer Wirkungsgrad von 95 % berücksichtigt.

Aufgrund der erforderlichen Deckungsrate des PV-Systems für die IPSL von 100 % erfährt der Akkumulator nur einmal jährlich, im Winter einen Entladezyklus.

Die maximale mittlere Dauer der Nacht wird nach Erlass – BW 25/52.22.05-1/45 S 84, wonach Leuchtfeuer 1 h vor Sonnenuntergang ein- und 1h nach Sonnenaufgang ausgeschaltet werden, mit  $\leq 18$  h/d festgelegt.

Die erforderliche minimale Überbrückungszeit ohne PV-Energiegewinn zu jedem Zeitpunkt des Jahres durch den Akkumulator wird mit  $\geq 20$  d festgelegt.

### **Bemessung der Berechnungskapazität des Speicherakkumulators**

Die für die Überbrückungszeit erforderliche Akkumulatorkapazität  $C_{\bar{U}}$  wird bestimmt:

$$C_{\bar{U}} = I_{\text{Verbraucher}} \cdot \text{Überbrückungszeit} \cdot \text{Dauer der Nacht}$$

$$C_{\bar{U}} = I_{\text{Verbraucher}} \cdot 20 \text{ d} \cdot 18 \text{ h/d}$$

$$C_{\bar{U}} = I_{\text{Verbraucher}} \cdot 360 \text{ h}$$

$$C_{\bar{U}} = C_{360} \quad (\text{bezogen auf den Verbraucherstrom})$$

Die Nennkapazität von stationären VRLA – Batterien für regenerative Energiesysteme wird mit der 100-stündigen Kapazität für eine Umgebungstemperatur von 20 °C angegeben:

$$C_N = C_{100} \quad (\text{Herstellerangabe bei } 20 \text{ °C})$$

Die Angabe von Akkumulatorkapazitäten [Ah] sind auf einen bestimmten Entladestrom bzw. Entladezeit bezogen. So ist die Nennkapazität  $C_{100}$  auf eine 100-stündige Entladung mit  $I_{100}$  bezogen ( $C_{100} = I_{100} \cdot 100 \text{ h}$ ).

Die für die Überbrückungszeit erforderliche Akkukapazität  $C_{\bar{U}}$  ist auf eine 360-stündige Entladung mit dem Verbraucherstrom bezogen ( $C_{\bar{U}} = I_{\text{Verbraucher}} \cdot 360 \text{ h}$ ).

Wird für  $C_{\bar{U}}$  die Nennkapazität  $C_{100}$  eingesetzt, ist der Entladestrom 3,6-fach kleiner als der auf die Nennkapazität bezogene Entladestrom ( $I_{\text{Verbraucher}} = I_{100} / 3,6$ ). Aufgrund des verringerten Entladestromes bzgl. der Nennkapazität erhöht sich die entnehmbare Kapazität gegenüber der Nennkapazität. Dies ist in den Entladekurven der Herstellerangaben zu entnehmen.

Auf Grundlage von typenabhängig variierenden Herstellerangaben sowie durchgeführten Messungen wird für die 360-stündige Entladung eine auf die 100-stündige Nennkapazität bezogene, um 15 – 20 % erhöhte Kapazität angesetzt. Es wird ein Erhöhungsfaktor von 1,17 verwendet.

$$C_{\bar{U}} = C_{360} = C_N \cdot 1,17$$

Nach Herstellerangaben reduziert sich die verfügbare Akkukapazität bei einer Umgebungstemperatur von -10°C auf ca. 85 % des Wertes bei 20 °C.

$$C_{N(0^\circ)} = C_N \cdot 0,85 \quad (\text{Temperaturkurven – Herstellerangaben})$$

In Zusammenfassung der Untersuchungen wird die Berechnungskapazität des Speicherakkumulators bestimmt:

$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) = C_{\text{Ü}}(0^\circ)$$

$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) = C_{360}(0^\circ)$$

$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) = C_{N(0^\circ)} \cdot 1,17$$

$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) = C_N \cdot 0,85 \cdot 1,17$$

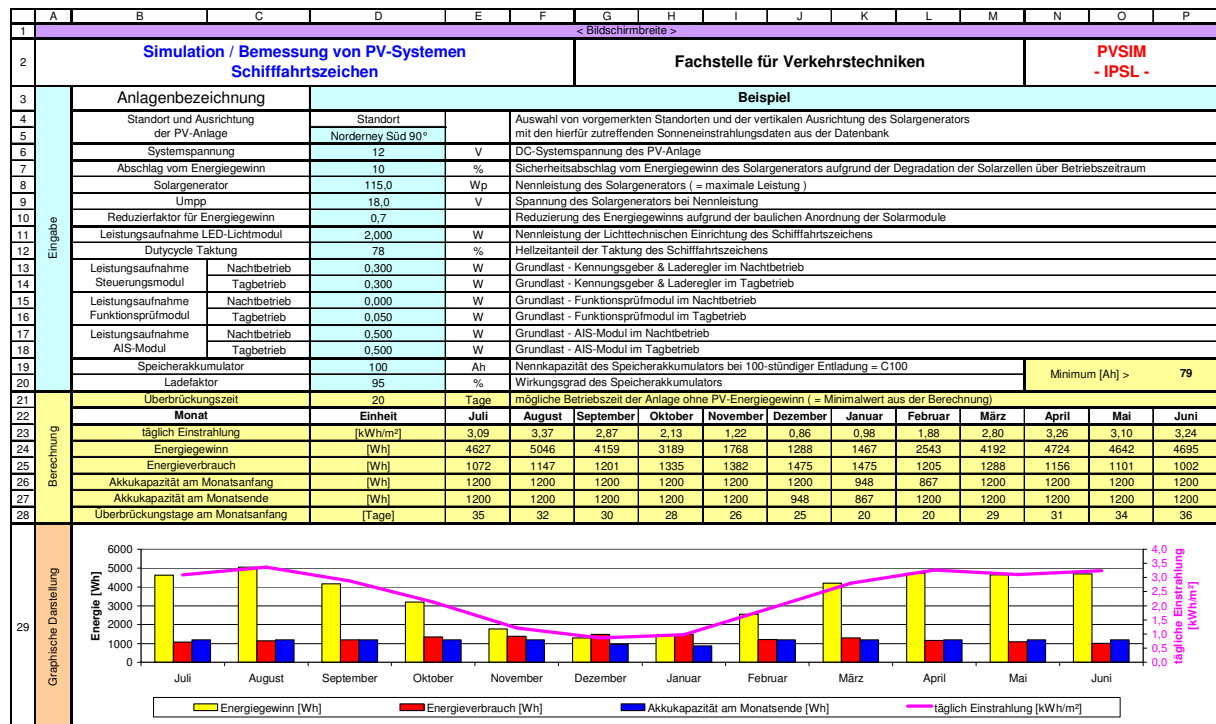
$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) = C_N \cdot 0,99$$

$$C_{\text{Batt}}(0^\circ) \approx C_N = C_{100}$$

Die Berechnungskapazität wird mit der 100-stündigen Nennkapazität angesetzt.

### 3.2.2.2 EXCEL-Berechnungstool – PVSIM

Abbildung 3-7 – EXCEL-Arbeitsblatt PVSIM



➤ Bedienungshinweise siehe Abschnitt 6.1

## **6.1 Simulation und Bemessung von Photovoltaik-Systemen mit PVSIM**

### **6.1.1 Systemvoraussetzungen und Hinweise**

Das Berechnungsverfahren PVSIM wurde mit EXCEL 2003 - SP3 erstellt. Bei Verwendung mit älteren Versionen von EXCEL können u.U. einige Datenbankfunktionen und Kommentare nicht voll verfügbar sein. Besondere Anforderungen an die Hardware und das Betriebssystem bestehen nicht. Für eine optimale Ansicht des Arbeitsblattes ist die Einstellung der Bildschirmauflösung mit 1280 x 1024 Pixel geeignet.

Die EXCEL-Datei – PVSIM kann sowohl vom Server als auch von anderen Speichermedien direkt oder über eine Verknüpfung gestartet werden. Für die Funktion sind keine weiteren Dateien erforderlich. Ebenso ist die Datei kopierfähig und kann unter anderen Namen, z.B. dem Projektnamen abgespeichert werden. Grundlegend ist ein Abspeichern der PVSIM – Datei nach dem Öffnen unter einem Projektnamen zu empfehlen. Dadurch wird einem versehentlichen Überschreiben von Arbeitsergebnissen vorgebeugt und die Grundeinstellungen bleiben erhalten.

Das Arbeitsblatt ist geschützt, somit können keine für die Funktion relevanten Inhalte versehentlich verändert werden. Lediglich die Text- und Eingabefelder sind für den Nutzer zugänglich.

### 6.1.2 Erste Schritte

Die EXCEL-Datei – PVSIM\_IPSL.XLS wird über eine Verknüpfung, aus einem Explorer oder aus EXCEL geöffnet. Nachfolgend sollte die Datei unter einem frei wählbaren Projektnamen abgespeichert werden.

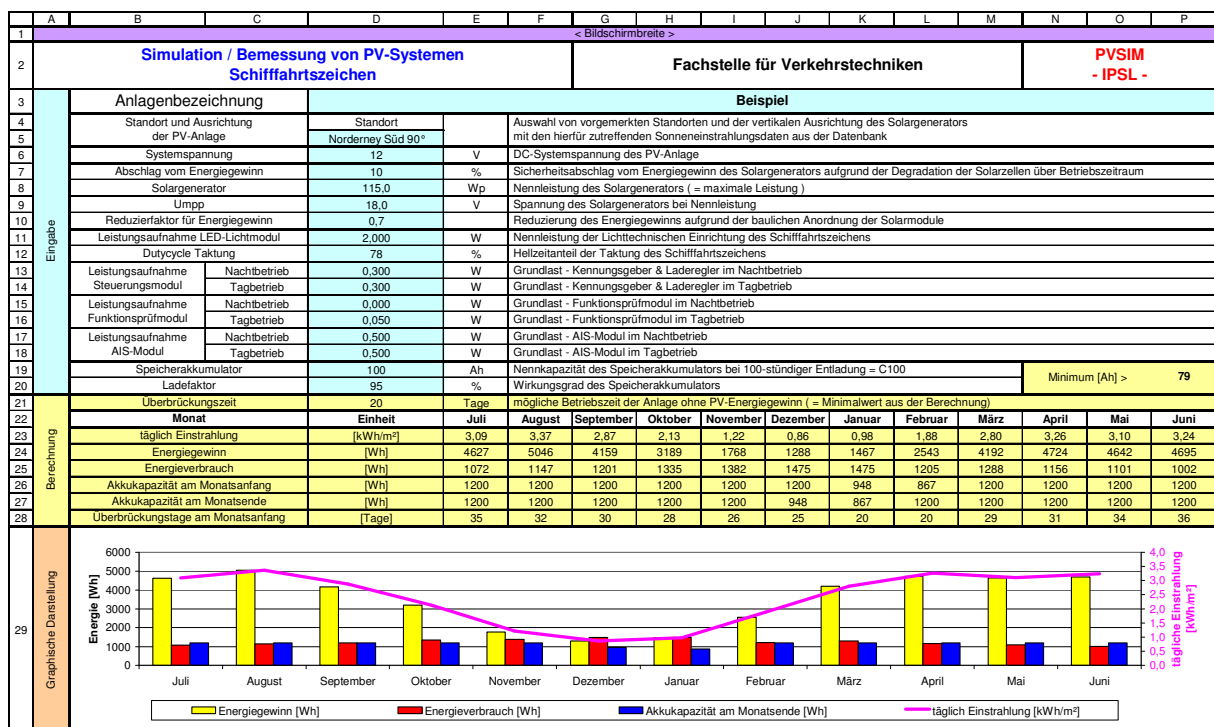
Als erster Arbeitsschritt erfolgt die BildschirmEinstellung über das EXCEL-Standardmenü:

- Ansicht – Zoom – An Markierung anpassen

Das PVSIM-Arbeitsblatt ist in 3 Abschnitte unterteilt:

- Eingabe
- Berechnung
- Grafische Darstellung

Abbildung 6-1 – EXCEL-Arbeitsblatt PVSIM



Im Eingabeteil erfolgen die Eingaben der zur Berechnung und Simulation erforderlichen Daten. Die Berechnung und Ausgabe der Berechnungswerte erfolgen im Abschnitt Berechnung. Die berechneten Werte werden aktuell in der Grafischen Darstellung abgebildet.

Das Manövrieren im Arbeitsblatt kann mit der Tabulator-Taste, der ↵ - Taste oder der Maus erfolgen. Die Eingabefelder des Arbeitsblattes sind hellblau hinterlegt und werden nebenstehend erklärt. Durch Bewegen des Mauszeigers auf das entsprechende Eingabefeld werden in Kommentarfeldern weitere Informationen angezeigt. Unzulässige Eingaben sind gesperrt. Bei Falscheingaben erfolgt eine Fehlermeldung mit entsprechenden Hinweisen. Des Weiteren stehen bei einigen Eingabefeldern DropDown-Menüs zur Verfügung.

Im unteren, außerhalb der Bildschirmanzeige befindlichen Teil des Arbeitsblattes sind Sonnen-Einstrahlungsdaten von ausgewählten Messstationen, Angaben zur Dauer der Nacht sowie weitere für die Berechnungen und zur Plausibilitätsprüfung von Eingaben benötigte Daten enthalten.

In der nachfolgenden Beschreibung werden die EXCEL – Standard - Zellenbezeichnungen: Buchstaben für Spalten und Zahlen für Zeilen verwendet.

### 6.1.3 Durchführung von Berechnungen – Simulationen

- Die Bemessung – Simulation eines PV-Systems sollte gemäß der nachstehenden Anleitung erfolgen.
- Nach Abschluss der Eingaben kann durch die Veränderung von Parametern das System den Anforderungen und örtlichen Gegebenheiten entsprechend optimiert werden.

Zelle [D3]:	Texteingabe zur Benennung des Systems
Zelle [D5]:	Auswahl des Standortes und der Ausrichtung des Solargenerators
Zelle [D6]:	Auswahl der DC-Systemspannung des PV-Systems
Zelle [D7]:	Auswahl eines Sicherheitsabschlages für den Energiegewinn aufgrund der Degradation der Solarzellen über den Betriebszeitraum
Zelle [D8]:	Eingabe der Nennleistung des Solargenerators
Zelle [D9]:	Eingabe der Spannung - $U_{MPP}$ der eingesetzten Solarmodule im Arbeitspunkt der max. Leistung
Zelle [D10]:	Auswahl eines Reduzierfaktors für den Energiegewinn, wenn der Solar-generator, z.B. auf Leuchttonnen, nicht direkt entsprechend dem in [D5] ausgewählten Einstrahlungsdaten ausgerichtet werden kann
Zelle [D11]:	Eingabe der Nennleistung des LED-Lichtmodul
Zelle [D12]:	Eingabe des Hellzeitanteils der Taktung [%] des LED-Lichtmoduls
Zelle [D13]:	Eingabe der Leistungsaufnahme des Steuerungsmoduls bei Nachtbetrieb
Zelle [D14]:	Eingabe der Leistungsaufnahme des Steuerungsmoduls bei Tagbetrieb
Zelle [D15]:	Eingabe der Leistungsaufnahme für die Funktionsprüfung bei Nachtbetrieb
Zelle [D16]:	Eingabe der Leistungsaufnahme für die Funktionsprüfung bei Tagbetrieb
Zelle [D17]:	Eingabe der Leistungsaufnahme des AIS-Moduls bei Nachtbetrieb
Zelle [D18]:	Eingabe der Leistungsaufnahme des AIS-Moduls bei Tagbetrieb

Zelle [D19]: Eingabe der Akkumulator-Nennkapazität  $C_{100}$  ( Startwert  $\geq$  [P19] )

Zelle [D20]: Eingabe des Ladefaktors des Akkumulators = elektr. Wirkungsgrad [%]

- Eine unzureichende Konfiguration des PV-Systems wird durch rote Felder im Berechnungsteil signalisiert:

Erhöhung der Akkumulator-Nennkapazität  $C_{100}$  und / oder der Nennleistung des Solargenerators, bis die minimale Überbrückungszeit ohne PV-Energiegewinn durch den Akkumulator in [D21]  $\geq 20$  d

Hinweis: Es dürfen keine Felder in roter Schrift oder roter Einfärbung erscheinen!