

# **Untersuchungen zur Planung und Optimierung von Photovoltaikanlagen**

## **Diplomarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur (FH)

eingereicht an der  
Fachhochschule Brandenburg  
Fachbereich Technik

von: Georg Neumann  
geb. am 25.11.1983, in Frankfurt (Oder)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. K. Stephan, FH Brandenburg  
Dipl.-Ing. (FH) S. Cordewinus, IfE Grothe GmbH, Berlin

Brandenburg, am 18. August 2008

Neumann, Georg: Untersuchungen zur Planung und Optimierung von Photovoltaikanlagen, Diplomarbeit FH Brandenburg, Fachbereich Technik, 2008, 56 Seiten, 19 Bilder, 14 Tabellen, 17 Blätter im Anhang, eine CD

## **Referat**

Anhand des netzgekoppelten Photovoltaikkraftwerkes des Wasserwerkes Tegel werden grundsätzliche Problemstellungen bei der Planung und Projektierung von Photovoltaikanlagen untersucht. Der Schwerpunkt liegt hier bei den elektrotechnischen Problemstellungen. Die Leitungen der Wechselstromseite werden hinsichtlich ihrer Belastbarkeit dimensioniert und optimiert, um Spannungsverluste zu vermeiden. Des Weiteren werden die Netzurückwirkungen beurteilt, um sicherzustellen, dass der eingespeiste Drehstrom netzkonform ist und die Netzqualität des Netzbetreibers nicht verschlechtert. Die Photovoltaikanlage wird in das vorhandene Blitzschutzsystem mit eingebunden und der Überspannungsschutz für die Hauptverteilung realisiert. Eine Beispielversicherung für die Photovoltaikanlage wird abgeschlossen und deren Konditionen erläutert. Zum Schluss wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt und geklärt, ob die Photovoltaikanlage wirtschaftlich arbeitet und dem Bauherren Gewinne bringt.

## **Abstract**

With the help of the net-coupled photovoltaic power plant of the water plant Tegel basic problem formulations are examined by the planning and project planning by photovoltaic systems. Besides, the main focus lies with the electric-technical problem formulations. The management of the change electricity side is dimensioned concerning her loading capacity and optimises around tension losses to avoid. Besides the net retroactive effects are assessed to make sure that the fed three-phase current is net-compliant and does not make worse the net quality of the net operating authority. The photovoltaic system is integrated into the available flash protection system with and is realised the surge protection for the main distribution. An example policy for the photovoltaic system is taken out and their conditions is explained. In the end an economic efficiency calculation is carried out and cleared whether the photovoltaic systems work financially and yield to the developer profits.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>4</b>
2.1 Photovoltaikmodule .....	4
2.2 Gleichstromanlagenkonzept.....	5
2.3 Netzgekoppelte Systeme .....	6
<b>3 Netzauslegung .....</b>	<b>10</b>
3.1 Verlustkostenberechnung.....	10
3.2 Auslegung und Dimensionierung der Leitungen .....	15
3.3 Netz- und Schutzeinrichtungsdimensionierung.....	19
3.3.1 Einführung.....	19
3.3.2 Schutz durch Abschaltung.....	21
3.3.3 Schutz bei Kurzschluss .....	24
3.3.4 Schutz bei Überlast .....	26
3.3.5 Spannungsfall .....	27
3.3.6 Selektivität.....	29
<b>4 Netzurückwirkungen.....</b>	<b>31</b>
4.1 Einführung .....	31
4.2 Oberschwingungsanalyse .....	31
4.3 Oberschwingungsdarstellung .....	33
<b>5 Blitz- und Überspannungsschutz.....</b>	<b>36</b>
5.2 Blitzschutzmaßnahmen und Potentialausgleich.....	37
5.3 Überspannungsschutz.....	41
<b>6 Versicherung.....</b>	<b>42</b>

6.1 Einleitung.....	42
6.2 Versicherungsbeispiel .....	42
<b>7 Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>44</b>
7.1 Einführung .....	44
7.2 Ertragsberechnung .....	44
<b>8 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>49</b>
<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>51</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole.....</b>	<b>52</b>
<b>Verzeichnis der Bilder und Tabellen .....</b>	<b>55</b>
<b>Verzeichnis der Anlagen .....</b>	<b>56</b>

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurden grundsätzliche Problemstellungen bei der Planung und Projektierung von Photovoltaikanlagen untersucht.

Dabei standen die elektrotechnischen Problemstellungen im Vordergrund. Es wurden auch die wirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt und stellten bei allen Untersuchungen eine Orientierungshilfe dar.

Für die **Bestimmung des Kabelquerschnitts** wurden die Übertragungsverluste in Verlustkosten umgerechnet und mit den Kabelkosten verglichen. Es stellte sich heraus, dass Aluminiumkabel wesentlich kostengünstiger ist.

Besondere Probleme entstanden bei der Berechnung des Leistungsverlaufes der Photovoltaikanlage, da diese nicht mit einer konstanten Leistung betrieben wird und sich der für die Verlustkostenberechnung benötigte äquivalente Ersatzstrom  $I_V = 104,85 \text{ mA}$  nur durch komplizierte mathematische Berechnungen bestimmen ließ.

Die **Netz- und Schutzeinrichtungen** wurden dimensioniert und durch Berechnungen überprüft, ob der Schutz durch Abschaltung, der Schutz bei Kurzschluss, der Schutz bei Überlast sowie die Selektivität gegeben ist. Es wurde festgestellt, dass alle diese Schutzmaßnahmen eingehalten werden.

Vom Bauherren wurden besondere Anforderungen in Bezug auf den **Spannungsfall** gestellt. Daher wurden die Kabelquerschnitte sehr groß bemessen, um diese Vorgaben zu erreichen und die Verluste so gering wie möglich zu halten. Die Spannungsfallberechnung ergab, dass der Spannungsfall zwischen den Wechselrichtern und der Hauptverteilung maximal  $\Delta u = 0,87 \%$  beträgt und der Grenzwert des Bauherren nicht überschritten wurde.

Zur Beurteilung der **Netzurückwirkungen** wurden die Oberschwingungsemissionen berechnet und festgestellt, dass die Wechselrichter ausschließlich geringe Oberschwingungsemission erzeugen. In der folgenden Beurteilung mit Hilfe bewährter Verfahren traten jedoch Probleme auf, da die Oberschwingungserzeugenden Lasten nicht hinreichend genau für Geräte mit geringer Oberschwingungsemission ermittelt

werden konnten. Abschließend wurde die Oberschwingungsanalyse grafisch durchgeführt und festgestellt, dass die Emissionsgrenzwerte eingehalten werden.

Die Planung des **Blitz- und Überspannungsschutzes** brachte das Ergebnis, dass die Photovoltaikanlage ausschließlich in das bestehende Blitzschutzsystem eingebunden werden sollte. Kritisch ist zu betrachten, dass die Trennungsabstände zu metallischen Teilen nicht einzuhalten waren. Dies erforderte die Installation eines zusätzlichen Blitzschutzpotentialausgleiches. Der Überspannungsschutz wurde nur für die Hauptverteilung realisiert, um ausschließlich die Einspeisung zu schützen.

Anhand eines Beispiels wurden die Konditionen und Jahresprämien einer **Photovoltaikversicherung** berechnet. Es wurde festgestellt, dass die Bruttojahresprämie für diese Anlage 1.673,74 € beträgt. Dies war im Gegensatz zu einer Blitzschutzanlage günstiger, jedoch ergaben sich dadurch ebenfalls Ertragsminderungen, die durch die hohen jährlichen Prämien hervorgerufen wurden.

Bei der **Ertragsberechnung** bestand das Problem darin, dass diese ebenfalls ohne die tatsächlichen Kosten durchgeführt werden musste. Diese Berechnungen ergaben eine Eigenkapitalrendite von  $EK_R = 52,32 \%$ . Das bedeutet, dass sich das investierte Eigenkapital voraussichtlich ab dem elften Betriebsjahr amortisiert hat. Es stellte sich weiterhin heraus, dass die Renditen sehr stark abhängig von der Hochwertigkeit der Anlage, einer gründlichen Planung sowie von der Finanzierungsart sind.

In **Zukunft** sollte Folgendes noch weiter untersucht werden.

Nach Fertigstellung und Inbetriebnahme der Photovoltaikanlage sollten Messungen der Oberschwingungen durchgeführt werden, um diese endgültig überprüfen zu können und die Berechnungen und Beurteilungen dieser Arbeit zu bestätigen.

Es sollte untersucht werden, welche Mehrkosten und Ertragsverluste durch die Installation einer Blitzschutzanlage entstehen und wie sich dies auf die Eigenkapitalrendite auswirkt. Des Weiteren ist zu klären, wie sich dies auf die Versicherungen und die Bruttojahresprämie auswirkt.

Die Renditen und Energieerträge sollten nach einer mehrjährigen Betriebszeit durch Berechnungen und Zählerstände überprüft werden. Dadurch wäre es möglich, genaue Aussagen über die tatsächlichen Renditen zu machen.