

# **Machbarkeitsstudie für eine Photovoltaikanlage auf einem Stadiondach**

Untersuchung am Beispiel der  
Brita-Arena des SV Wehen Wiesbaden  
und mit besonderer Betrachtung der  
wirtschaftlichen Risiken

Timo Kaiser

Frank Witte



Nachhaltigkeitsmanagement

**Timo Kaiser**  
**Frank Witte**

**Machbarkeitsstudie für eine Photovoltaikanlage  
auf einem Stadiondach**

Untersuchung am Beispiel der Brita-Arena des SV Wehen Wiesbaden  
und mit besonderer Betrachtung der wirtschaftlichen Risiken

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0723-7

ISSN 2191-5229

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

---

## Inhaltsübersicht

<b>I. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
A. Problemstellung .....	1
B. Gang der Untersuchung.....	2
C. Zielsetzung der Arbeit.....	2
<b>II. Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
A. Funktionsweise einer Solarzelle .....	3
B. Wirtschaftliche Grundlagen.....	5
C. Nachhaltigkeitsaspekte.....	23
<b>III. Untersuchung</b> .....	<b>26</b>
A. Standort-Untersuchung.....	26
B. Technische Machbarkeitsüberprüfung .....	26
C. Ertragssimulation mit PV*SOL .....	30
D. Wirtschaftlichkeitsuntersuchung .....	33
E. Szenario-Erweiterung.....	44
<b>IV. Ergebnis</b> .....	<b>48</b>
A. Zusammenfassung der Untersuchung .....	48
B. Handlungsempfehlung.....	49

**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsübersicht .....	I
Abbildungsverzeichnis .....	V
Tabellenverzeichnis .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
<b>I. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
A. Problemstellung .....	1
B. Gang der Untersuchung .....	2
C. Zielsetzung der Arbeit .....	2
<b>II. Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>3</b>
A. Funktionsweise einer Solarzelle .....	3
B. Wirtschaftliche Grundlagen .....	5
1. Investitionsentscheidung .....	5
2. Die Kapitalwertmethode .....	6
a) Der vollkommene Kapitalmarkt .....	7
b) Der Kalkulationszins .....	7
3. Ansätze zur Ermittlung der Eigenkapitalkosten .....	8
a) Unterschiedliche Typen von Investoren .....	8
b) Capital Asset Pricing Model .....	10
c) Fundamentalzerlegung der Eigenkapitalkosten .....	11
(1) Zins einer sicheren Anlagemöglichkeit .....	12
(2) Zins für das festgebundene Kapital .....	12
(3) Eintreten eines Garantiefalls bei gleichzeitiger Insolvenz des Garantiegebers bzw. Nicht-Durchsetzbarkeit .....	13
(4) Technische Entwicklung .....	15
(5) Zusammensetzung der Eigenkapitalkosten .....	16
(6) Abhängigkeit vom Verschuldungsgrad .....	16
(7) Kritische Betrachtung der ermittelten Eigenkapitalkosten ..	17
4. Weighted average cost of capital (WACC) .....	18
5. Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz .....	19
6. Steuerlicher Hintergrund .....	20
a) Art der Gesellschaft .....	20
b) Steuerpflicht .....	20
7. Finanzierung .....	21
a) Eigenkapital .....	22
b) Fremdkapital .....	22
C. Nachhaltigkeitsaspekte .....	23
Praxisbeispiel .....	25

<b>III. Untersuchung</b> .....	<b>26</b>
A. Standort-Untersuchung.....	26
B. Technische Machbarkeitsüberprüfung .....	26
1. Auswahl geeigneter Module.....	26
2. Moduleigenschaften und -belegung .....	28
a) Anlage 1: Belegung mit „TF Multi Professional“ Modulen.....	29
b) Anlage 2: Belegung mit „UNIFLAT“ Modulen .....	29
C. Ertragssimulation mit PV*SOL .....	30
1. Festlegung der Ausgangswerte.....	30
2. Modul-Belegung und -Verschaltung .....	31
3. Integrierung möglicher Verschattung .....	31
4. Ertragssimulation und -auswertung .....	31
a) Simulation mit TF Multi Professional Modulen.....	33
b) Simulation mit UNIFLAT Modulen.....	33
D. Wirtschaftlichkeitsuntersuchung .....	33
1. Einflussfaktoren.....	34
a) Anschaffungsauszahlung .....	34
b) Strom-Ertrag .....	35
c) Umsatz .....	35
d) Betriebliche Ausgaben.....	36
e) Finanzierung .....	38
f) Abschreibung .....	39
g) Steuern .....	40
h) Cashflow .....	41
2. Auswertung .....	42
a) Kapitalwert nach Laufzeit.....	42
(1) Kapitalwert für die Anlage 1 mit TF Multi Professional Modulen .....	42
(2) Kapitalwert für die Anlage 2 mit UNIFLAT Modulen.....	43
E. Szenario-Erweiterung.....	44
1. Ertrag variieren .....	44
2. Degradation variieren .....	45
3. Maximale Kosten der beiden PV-Anlagen im Jahre 2011 .....	46
4. Modifikation der PV-Anlage 2 durch Nicht-Belegung des Norddaches .....	46
<b>IV. Ergebnis</b> .....	<b>48</b>
A. Zusammenfassung der Untersuchung .....	48
B. Handlungsempfehlung.....	49
1. Investor A.....	49
2. Investor B.....	49
3. Investor C .....	49

Literatur .....	50
Elektronische Informationen .....	51
Anhangsverzeichnis .....	54

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Solarzelle.....	3
Abbildung 2: Nutzenfunktionen der Investoren mit unterschiedlicher Risikoaversion...9	
Abbildung 3: Zusammensetzung der Eigenkapitalkosten .....	12
Abbildung 4: Auswirkungen des FK-Anteils auf $iEK_{VG}$ .....	17
Abbildung 5: Mögliche Auswirkungen von CSR .....	24
Abbildung 6: TF Multi Professional .....	29
Abbildung 7: UNIFLAT .....	29
Abbildung 8: Betriebliche Ausgaben .....	36
Abbildung 9: Entwicklung des Verbraucherpreisindexes in Jahresdurchschnitten.....	37
Abbildung 10: Abschreibungsvarianten .....	39
Abbildung 11: Berechnung der Steuerlast.....	40
Abbildung 12: Anlage 1 kumulierter, diskontierter Cashflow 2010.....	41

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zinsaufschlag für Garantiefall.....	15
Tabelle 2: Zinsaufschlag für technische Entwicklung .....	15
Tabelle 3: Zusammensetzung der Eigenkapitalkosten.....	16
Tabelle 4 : Eigenkapitalkosten Verschuldungsgradabhängig.....	17
Tabelle 5 : WACC.....	18
Tabelle 6: Vergütungssätze .....	19
Tabelle 7: Kreditkonditionen der Umweltbank .....	22
Tabelle 8: Dachparameter.....	26
Tabelle 9: PVL-144 technische Details.....	28
Tabelle 10: Leistungsverluste .....	30
Tabelle 11: Modul-Belegung und -Verschaltung.....	31
Tabelle 12 : Performance Ratio für netzgekoppelte PV-Anlagen .....	32
Tabelle 13: Simulationsergebnisse TF Multi Prof. Modulen .....	33
Tabelle 14: Simulationsergebnisse mit UNIFLAT Modulen .....	33
Tabelle 15: Investitionskosten .....	34
Tabelle 16: Vergütungssätze der Anlagen.....	36
Tabelle 17: Tilgungsplan .....	38
Tabelle 18: Kapitalwerte Anlage 1 .....	42
Tabelle 19: Kapitalwerte Anlage 2 .....	43
Tabelle 20: Szenario Ertragsvariation.....	44
Tabelle 21: Szenario Degradationsvariation.....	45
Tabelle 22: Maximale Kosten/kWp 2011 .....	46
Tabelle 23: Modifikation PV-Anlage 2.....	46

---

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AfA	Absetzung für Abnutzung
BMF	Bundesministerium der Finanzen
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CSR	Corporate Social Responsibility
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
Ebd.	Ebenda
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EK	Eigenkapital
EstG	Einkommenssteuergesetz
FK	Fremdkapital
GewStG	Gewerbsteuergesetz
GmbHG	GmbH-Gesetz
i. d. R.	in der Regel
i. e. S.	im engeren Sinn(e)
iKalk	Kalkulationszins
IRR	Internal Rate of Return
i. w. S.	im weiteren Sinn(e)
insb.	insbesondere
KOM	Kommission der Europäischen Gemeinschaften
KStG	Körperschaftsteuergesetz
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt peak
MPP	Maximum Power Point
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OK	Organisationskomitee
o. g.	oben genannt(e)
UStG	Umsatzsteuergesetz
o. V.	ohne Verfasser
PV	Photovoltaik
Spez. Ertrag	spezifischer Ertrag
Tab.	Tabelle
UStG	Umsatzsteuergesetz
WACC	Weighted average cost of capital
WM	Weltmeisterschaft
WR	Wechselrichter