

# **Wirtschaftlichkeitsanalyse des Photovoltaik- Repowering**

Ersatzinvestition einer bestehenden Anlage

Robert Winter  
Frank Witte



Nachhaltigkeitsmanagement

**Robert Winter**  
**Frank Witte**

**Wirtschaftlichkeitsanalyse des Photovoltaik-  
Repowering**

Ersatzinvestition einer bestehenden Anlage

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 978-3-8440-1139-5

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)

## Inhaltsverzeichnis

|   |            |
|---|------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....   | <b>I</b>   |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> .....  | <b>III</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b> .....  | <b>III</b> |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....  | <b>IV</b>  |
| <b>Symbolverzeichnis</b> .....  | <b>V</b>   |
| <br>  |            |
| <b>I. Einleitung</b> .....  | <b>1</b>   |
| A. Problemstellung .....  | 1          |
| B. Gang der Untersuchung .....  | 2          |
| C. Zielsetzung .....  | 3          |
| <br>  |            |
| <b>II. Grundlagen</b> .....   | <b>4</b>   |
| A. Begrifflichkeiten .....  | 4          |
| 1. Photovoltaik .....   | 4          |
| 2. Repowering .....   | 4          |
| 3. Wirtschaftlichkeitsanalyse .....   | 5          |
| 4. Investition .....  | 5          |
| 5. Finanzierung und ihre Irrelevanz für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ..... | 6          |
| B. Technologie .....  | 7          |
| 1. Photovoltaik .....   | 7          |
| 2. Freiflächenanlage .....  | 8          |
| C. Photovoltaik-Recht .....   | 9          |
| <br>  |            |
| <b>III. Investitionstheorie</b> .....   | <b>11</b>  |
| A. Investitionsplanung .....  | 11         |
| B. Investitionsrechnung .....   | 13         |
| 1. Statische Verfahren .....  | 14         |
| 2. Dynamische Verfahren .....   | 15         |
| C. Kapitalwertmethode .....   | 16         |
| D. Kalkulationszinssatz (WACC) .....  | 19         |
| E. Einfluss von Steuern .....   | 20         |
| 1. Änderung des Kalkulationszinssatzes .....                                  | 20         |
| 2. Änderung der Zahlungsreihe .....   | 20         |
| <br>  |            |
| <b>IV. Das Ersatzproblem</b> .....  | <b>22</b>  |
| A. Problemstellung .....  | 22         |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| B.           | Lösungsansätze .....                               | 22        |
| C.           | Abwandlung des gewählten Ansatzes.....             | 30        |
| <b>V.</b>    | <b>Basiswerte der Betrachtungen.....</b>           | <b>32</b> |
| A.           | PV-Anlage.....                                     | 32        |
| B.           | Kosten .....                                       | 34        |
|              | 1. Anschaffungskosten .....                        | 34        |
|              | 2. Betriebskosten und Rückstellungen .....         | 34        |
|              | 3. Preissteigerung .....                           | 35        |
| C.           | Stromertrag .....                                  | 36        |
| D.           | Wirtschaftlichkeit.....                            | 37        |
|              | 1. Steuern.....                                    | 37        |
|              | 2. Kalkulationszinssatz.....                       | 37        |
|              | 3. Abschreibung .....                              | 40        |
|              | 4. Vergütung.....                                  | 42        |
|              | 5. Verkauf der alten Anlage .....                  | 42        |
| <b>VI.</b>   | <b>Wirtschaftlichkeitsberechnung .....</b>         | <b>44</b> |
| A.           | Investitionsrechnungen .....                       | 44        |
| B.           | Zwischenfazit.....                                 | 45        |
| C.           | Sensitivitätsanalyse.....                          | 46        |
| <b>VII.</b>  | <b>Rechtliche Betrachtung des Repowering .....</b> | <b>51</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>Auswertung und Fazit.....</b>                   | <b>53</b> |
|              | <b>Literaturverzeichnis.....</b>                   | <b>55</b> |
|              | <b>Internetquellenverzeichnis .....</b>            | <b>56</b> |
|              | <b>Gesetzestextverzeichnis.....</b>                | <b>58</b> |
|              | <b>Anhangsverzeichnis.....</b>                     | <b>59</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|                         |  |    |
|-------------------------|--|----|
| <b>Abbildung I.1:</b>   | Installierte Photovoltaik-Leistung in Deutschland 2000 bis 2010 .....  | 1  |
| <b>Abbildung III.1:</b> | Phasen des Investitionsplanungsprozesses.....                          | 11 |
| <b>Abbildung III.2:</b> | Verfahren der Investitionsrechnung.....                                | 14 |
| <b>Abbildung III.3:</b> | Bestandteile des Kapitalwertes .....                                   | 18 |
| <b>Abbildung III.4:</b> | Ermittlung des Kapitalwertes.....                                      | 18 |
| <b>Abbildung IV.1:</b>  | Zeitverlauf des ersten Lösungsansatzes .....                           | 23 |
| <b>Abbildung IV.2:</b>  | Zeitverlauf des zweiten Lösungsansatzes .....                          | 24 |
| <b>Abbildung IV.3:</b>  | Zeitverlauf des dritten Lösungsansatzes .....                          | 27 |
| <b>Abbildung IV.4:</b>  | Zeitverlauf des vierten Lösungsansatzes.....                           | 28 |
| <b>Abbildung IV.5:</b>  | Zeitverlauf des fünften Lösungsansatzes .....                          | 29 |
| <b>Abbildung IV.6:</b>  | Zeitverlauf des abgewandelten fünften Lösungsansatzes .....            | 31 |
| <b>Abbildung V.1:</b>   | Zeichnung der alten und neuen Anlage in der Draufsicht .....           | 33 |
| <b>Abbildung V.2:</b>   | Veränderung des Verbraucherpreisindex zum Vorjahr, 1993 bis 2011 ..... | 36 |
| <b>Abbildung V.3:</b>   | Zinsentwicklung börsennotierter Bundeswertpapiere.....                 | 38 |
| <b>Abbildung VI.1:</b>  | Grafische Darstellung der Sensitivitätsanalyse .....                   | 48 |

## Tabellenverzeichnis

|                      |   |    |
|----------------------|---|----|
| <b>Tabelle V.1:</b>  | Anschaffungskosten (netto) einer PV-Anlage im Januar 2012.....        | 34 |
| <b>Tabelle V.2:</b>  | Betriebskosten (netto) im ersten Jahr.....                            | 35 |
| <b>Tabelle V.3:</b>  | Ergebnisübersicht der Ertragssimulation mit PVSyst.....               | 37 |
| <b>Tabelle V.4:</b>  | Verlauf der Abschreibung der alten und neuen Photovoltaikanlage.....  | 41 |
| <b>Tabelle V.5:</b>  | Vergütungssätze 2000 bis 2012 in ct je kWh.....                       | 42 |
| <b>Tabelle VI.1:</b> | Sensitivitätsanalyse – Einfluss der Inputgrößen auf das Ergebnis..... | 46 |
| <b>Tabelle VI.2:</b> | Sensitivitätsanalyse – Kritische Werte der Inputgrößen .....          | 49 |

**Abkürzungsverzeichnis**

|                |  |
|----------------|--|
| <b>AfA</b>     | Absetzung für Abnutzung  |
| <b>AG</b>      | Aktiengesellschaft   |
| <b>BHO</b>     | Bundeshaushaltsordnung   |
| <b>bspw.</b>   | beispielsweise   |
| <b>CAPM</b>    | Capital Asset Pricing Model  |
| <b>DAX</b>     | Deutscher Aktienindex  |
| <b>EEG</b>     | Erneuerbare-Energien-Gesetz  |
| <b>EStG</b>    | Einkommensteuergesetz  |
| <b>GE</b>      | Geldeinheit(en)  |
| <b>GmbH</b>    | Gesellschaft mit beschränkter Haftung                              |
| <b>GewStG</b>  | Gewerbsteuergesetz   |
| <b>Hrsg.</b>   | Herausgeber  |
| <b>KfW</b>     | Kreditanstalt für Wiederaufbau                                     |
| <b>KStG</b>    | Körperschaftsteuergesetz   |
| <b>o. V.</b>   | ohne Verfasser   |
| <b>PV</b>      | Photovoltaik   |
| <b>PVA</b>     | Photovoltaikanlage   |
| <b>S.</b>      | Seite (Fußnoten und Fließtext); Satz (Zitieren von Gesetzestexten) |
| <b>SolZG</b>   | Solidaritätszuschlaggesetz   |
| <b>spezif.</b> | spezifisch   |
| <b>zzgl.</b>   | zuzüglich  |

## Symbolverzeichnis

|                 |   |
|-----------------|---|
| $i$             | Zinssatz; Kalkulationszinssatz  |
| $i_s$           | Kalkulationszinssatz nach Steuern                                       |
| $i_{EK}$        | Eigenkapitalzins; Eigenkapitalkostensatz der Unternehmung               |
| $i_{FK}$        | Fremdkapitalzins; Fremdkapitalkostensatz der Unternehmung               |
| $n$             | Verzinsungsdauer; Nutzungsdauer eines Investitionsobjektes              |
| $n_A$           | Nutzungsdauer der alten Anlage  |
| $n_{\bar{N}}$   | Nutzungsdauer der variierten neuen Anlage                               |
| $n^*$           | optimale Nutzungsdauer eines Investitionsobjektes                       |
| $n_A^*$         | optimale Nutzungsdauer der alten Anlage                                 |
| $n_N^*$         | optimale Nutzungsdauer der neuen Anlage                                 |
| $n_{\bar{N}}^*$ | optimale Nutzungsdauer der variierten neuen Anlage                      |
| $\bar{n}$       | maximale (Rest-) Lebensdauer  |
| $\bar{n}_A$     | maximale (Rest-) Lebensdauer der alten Anlage                           |
| $q$             | Zinsfaktor ( $i + 1$ )  |
| $s$             | Steuersatz  |
| $t$             | Zeitpunkt   |
| $z_t$           | Zahlungsüberschuss im Zeitpunkt $t$                                     |
| $z'_{A,1}$      | Grenzeinzahlungsüberschuss der alten Anlage in der ersten Periode       |
| $A_t$           | Auszahlungen im Zeitpunkt $t$   |
| $AfA_t$         | Abschreibung (Absetzung für Abnutzung) im Zeitpunkt $t$                 |
| $AN$            | Annuität  |
| $AN(n)$         | Annuität in Abhängigkeit der Nutzungsdauer einer Anlage                 |
| $AN_A(n_A^*)$   | Annuität der alten Anlage in Abhängigkeit ihrer optimalen Nutzungsdauer |
| $AN_N(n_N^*)$   | Annuität der neuen Anlage in Abhängigkeit ihrer optimalen Nutzungsdauer |
| $ANF$           | Annuitätenfaktor  |
| $B_t$           | Bemessungsgrundlage   |
| $BW$            | Barwert   |
| $E$             | Ergebnis der Investitionsrechnung                                       |
| $E_t$           | Einzahlungen im Zeitpunkt $t$   |
| $EK$            | Eigenkapital  |
| $FK$            | Fremdkapital  |
| $GK$            | Gesamtkapital ( $EK + FK$ )   |

---

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| $K_0$                             | Kapitalwert im Zeitpunkt $t = 0$   |
| $K_0(n)$                          | Kapitalwert in Abhängigkeit der Nutzungsdauer  |
| $K_0(n^*)$                        | Kapitalwert bei optimaler Nutzungsdauer  |
| $K_{0,A}(n_A^*)$                  | Kapitalwert der alten Anlage bei optimaler Nutzungsdauer   |
| $K_{0,E}$                         | Kapitalwert einer Ergänzungsinvestition (ist Null)   |
| $K_{0,N}(n_N^*)$                  | Kapitalwert der neuen Anlage bei optimaler Nutzungsdauer   |
| $K_{0,\bar{N}}(n_{\bar{N}})$      | Kapitalwert der variierten neuen Anlage in Abhängigkeit ihrer Nutzungsdauer  |
| $K_{0,KN}(n_N^*)$                 | Kapitalwert der Investitionskette neuer Anlagen bei optimaler Nutzungsdauer des einzelnen Kettengliedes                                  |
| $K_{0,A,KN}(n_A)$                 | Kapitalwert der alten Anlage in Abhängigkeit ihrer Nutzungsdauer, wenn sie um die unendliche Kette neuer Anlagen ergänzt wird            |
| $K_{0,A,KN}(n_A^*)$               | Kapitalwert der alten Anlage bei optimaler Nutzungsdauer, wenn sie um die unendliche Kette neuer Anlagen ergänzt wird                    |
| $K_{0,\bar{N},KN}(n_{\bar{N}})$   | Kapitalwert der variierten neuen Anlage in Abhängigkeit ihrer Nutzungsdauer, wenn sie um die unendliche Kette neuer Anlagen ergänzt wird |
| $K_{0,\bar{N},KN}(n_{\bar{N}}^*)$ | Kapitalwert der variierten neuen Anlage bei optimaler Nutzungsdauer, wenn sie um die unendliche Kette neuer Anlagen ergänzt wird         |
| $K_S$                             | Kapitalwert nach Steuern   |
| $L_n$                             | Liquidationserlös eines Investitionsobjektes am Ende der Nutzungsdauer   |
| $L_{A,0}$                         | Liquidationserlös der alten Anlage im Zeitpunkt $t = 0$  |
| $L_A(n_A)$                        | Liquidationserlös der alten Anlage in Abhängigkeit ihrer Nutzungsdauer   |
| $L_N(n_{\bar{N}})$                | Liquidationserlös der variierten neuen Anlage in Abhängigkeit ihrer Nutzungsdauer  |
| $NBW$                             | Nettobarwert (entspricht Kapitalwert)  |
| $R_n$                             | Restwerterlös eines Investitionsobjektes am Ende der Nutzungsdauer   |
| $RBF$                             | Rentenbarwertfaktor  |
| $RBW$                             | Restbuchwert   |
| $RLZ$                             | Restlaufzeit   |
| $S_t$                             | Gewinnsteuerbelastung  |
| $WACC$                            | Weighted Average Cost of Capital (gewichteter Durchschnittskapitalkostensatz)  |
| $WF$                              | Wiedergewinnungsfaktor   |
| $\beta$                           | Beta-Faktor  |