Umsetzungsprojekt: Integrale Planung und Steuerung der nachhaltigen Modernisierung des Gebäudebestands und der Energieversorgung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode

Bericht
PV-Anlagen in Neuerkerode: Elm und Scheune

Der Bericht wurde erstellt von /
Das Projekt wurde bearbeitet von:

Marius Miehe B.Eng., Wolfenbüttel
Dr.-Ing. Kati Jagnow, Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff, Wolfenbüttel

Datenstand: 24.11.2011

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Inhalt

1 Zielsetzung, Ergebnisse und Ausblick 4
1.1 Zielsetzung 4
1.2 Arbeitsschritte 4
1.3 Ergebnisse und Diskussion 4
1.4 Fazit und Ausblick 5
2 Aufgabenstellung und Problematik 6
3 Grundlagen der Photovoltaik 7
3.1 Kurzabriss der Geschichte 7
3.2 Funktionsweise und Arten von Photovoltaikzellen 7
3.3 Aufbau und Arten von Photovoltaikanlagen 9
3.4 Einflüsse auf die Effizienz 11
3.4.1 Ausrichtung und Neigung 11
3.4.2 Modulverschattung 12
3.4.3 Modulverschmutzung 13
3.4.4 Temperatur 15
3.4.5 Degradation bzw. Alterung 15
3.5 Hinweis zum Brandschutz 16
3.6 Fördermittel und EEG 16
4 Anlagen in Neuerkerode 19
4.1 Scheune 19
4.2 Elm 21
5 Erträge 23
5.1 Grundlagen 23
5.2 Scheune 24
5.3 Elm 25
5.4 Einbezug in das Facility Management 26
6 Wirtschaftlichkeitsbewertung 28
6.1 Randdaten der Bewertung 28
6.2 Ergebnisse für die Scheune 31
6.3 Variante: Auswirkung des e.on-Vertrags auf die Scheune 32
6.4 Variante: Installation der Scheuen-Anlage 2011 33
6.5 Ergebnisse für Elm 34
6.6 Variante: kleinere Anlage für Elm 35
6.7 Vergleich der Ergebnisse mit denen in der Angebotsphase 37
7 Ausblick 38
7.1 EEG 38
7.2 Verschwendungspotential 39
7.3 Empfehlung für den Anlagenausbau 40
7.4 Anlage Haus Elm 40
8 Fazit 41
9 Anhang 42
9.1 Quellen 42
9.2 Separate Anhänge 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1- Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung 4
Tabelle 2 - Einspeisevergütung nach EEG für Anlagen auf Gebäuden [4] [8] 17
Tabelle 3 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung. 31
Tabelle 4 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Eigenverbrauch 31
Tabelle 5 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Eigenverbrauch. 32
Tabelle 6 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung. 33
Tabelle 7 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Eigenverbrauch 33
Tabelle 8 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Einspeisung 34
Tabelle 9 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Eigenverbrauch..... 35
Tabelle 10 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Einspeisung..... 36
Tabelle 11 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Eigenverbrauch 36
Tabelle 12 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung37
Tabelle 13- EFH PV-Anlage ohne Verschwendung 39
Tabelle 14- EFH PV- Anlage mit Verschwendung 39

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Funktionsprinzip der Photozelle [4] 8
Bild 2 Poly- und monokristalline PV-Module [www.solar-handelsplattform.de] 8
Bild 3 Schematischer Anlagenaufbau [www.solar-handelsplattform.de] 9
Bild 4 - Solare Einstrahlung [Quelle: Buderus „Heft zur regenerativen Stromerzeugung“] 11
Bild 5 Schematischer Jahresgang der Sonne [www.solar-handelsplattform.de] 12
Bild 6 Schematische Darstellung von Modulverschattung [www.solar-handelsplattform.de] 12
Bild 7 Luftbild Scheune und Elm mit Prinzipskizze der PV-Anlage [Bildquelle: google earth] 13
Bild 8 Reinigung einer PV-Anlage [6] 14
Bild 9 Auszug aus dem Vertrag für die Scheune 18
Bild 10 – Anlagenskizze Scheune 19
Bild 11 – Zwei Wechselrichter und der Stromzähler in der Scheune 20
Bild 12 – Lage der PV-Anlage auf dem Dach der Scheune 20
Bild 13 – Anlagenskizze Haus Elm nur Photovoltaikmodule 21
Bild 14 – Vier Wechselrichter (Dachboden) und nach fehlender Stromzähler (Keller) 21
Bild 15 – Lage der PV-Anlage auf dem Süddache des Gebäudes Elm 22
Bild 16 – Lage der PV-Anlage auf dem Ostdache des Gebäudes Elm 22
Bild 17 – Globalstrahlungskarten [12] 23
Bild 18 – Monatlicher Solarerträge der PV-Anlage 25
Bild 19 – Ertrag der PV-Anlage bei verschiedenen Globalstrahlungen 25

1 Zielsetzung, Ergebnisse und Ausblick

1.1 Zielsetzung

Im Rahmen des DBU- Projekts „Neuerkerode“ wird die Umsetzung der Installation der Photovoltaikanlagen der Scheune und Haus Elm betrachtet und bewertet. Insbesondere sollen die Wirtschaftlichkeit der Anlagen untersucht werden. Das primäre Ziel dieser Ausarbeitung ist die Beantwortung der Frage: „War die Installation der PV- Anlagen in Neuerkerode eine gute Entscheidung und sollte auch in Zukunft auf die alternative Stromerzeugung gesetzt werden, um die Stromkosten zu senken und den Strom regenerativ zu erzeugen?“

Zudem soll dem Baumanagement ein Leitfaden für die Installation neuer Anlagen gegeben werden, um die wirtschaftliche Betriebsweise Ihrer bestehenden und zukünftigen Anlagen zu gewährleisten und möglicherweise zu optimieren.

Auf Grund von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Prognosen, soll eine Handlungsempfehlung für die zukünftige Weiterentwicklung im Bereich der Stromversorgung gegeben werden.

1.2 Arbeitsschritte

Um einen Überblick über diese Thematik zu verschaffen, werden zuerst einzelne Themengebiete rund um die Photovoltaiktechnik aufgegriffen und erläutert. Danach wird anhand von Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die Wirtschaftlichkeit der PV- Anlagen in Neuerkerode überprüft und mit denen der Firma Elektro Wilhelms verglichen.

Darauf aufbauend wird festgestellt, welche Art der Nutzung von PV- Anlagen am sinnvollsten für die Stiftung Neuerkerode ist.

Abschließend wird eine Handlungsempfehlung ausgesprochen, ob in Zukunft ein größerer Teil der Stromversorgung durch PV- Anlagen gedeckt werden soll.

1.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse dieser Ausarbeitung zeigen, dass die beiden bislang in Neuerkerode errichteten PV-Anlagen (Scheune, Elm) die prognostizierten Solarerträge einbringen - Witterungskorrektur einbezogen.

Es kann nachgewiesen werden, dass die Erzeugung von Strom durch PV- Anlagen und die Selbstnutzung eine sehr wirtschaftliche Variante zur Stromerzeugung darstellen. Zudem wird deutlich, dass die Selbstnutzung wirtschaftlicher als die Einspeisung des erzeugten Stromes ist.

Jedoch musste auch festgestellt werden, dass die wirtschaftliche Prognose der Firma Elektro Wilhelms wahrscheinlich nicht erreicht werden kann. Die genauen Daten können der Tabelle 1 entnommen werden.

			bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Scheune	100 % Selbstnutzung	Kapitel 6.2	+100.400	+59.700	+26.700
	100 % Einspeisung		+44.400	+27.400	+10.600
		Wilhelm	+55.870 €		
Elm	100 % Selbstnutzung	Kapitel 6.5	+198.300	+112.500	+43.000
	100 % Einspeisung		+96.300	+60.300	+24.500
		Wilhelm	+128.409 €		

Tabelle 1- Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung

Zudem muss berücksichtigt werden, dass die PV- Anlage auf Haus Elm noch nicht vom Versorger abgenommen und genehmigt wurde und so keine Einspeisevergütung erstattet wird. Eine kurze Schilderung folgt in Kapitel 7.4 Anlage Haus Elm.

1.4 Fazit und Ausblick

Die hier betrachteten PV-Anlagen haben bei einer Solarfläche von 378 m^2 einen jährlichen Stromertrag von knapp 40 MWh/a bei einer Leistung von 52,36 kWp. Dies entspricht etwa 2 % des jährlichen Strombezugs der Stiftung.

Grundlegend ist es für die Stiftung auch weiterhin wirtschaftlich, neue PV- Anlagen zu errichten, da die Rendite deutlich höher ist als bei vergleichbaren regenerativen Energieerzeugern. Allerdings sind – wegen der bereits gesunkenen und auch weiterhin sinkenden Förderung – die Kapitalrückflüsse geringer als bei den bestehenden Anlagen.

Bei neu installierten Anlagen sollte darauf geachtet werden, die bestmöglich ausgerichteten Dachflächen für die Anlagen zu nutzen, um einen Ertrag von ca. 850 kWh/(kWp*a) zu erzielen.

Jedoch sollte eine Gesamtleistung, aller PV- Anlagen in Neuerkerode, von 200 kWp nicht überschritten werden, um eine Selbstnutzungsquote von 90 % … 100 % zu erreichen. Das bedeutet, dass nicht mehr als 150 kWp Anlagenleistung zusätzlich installiert werden. Das entspricht einer Fläche von ca. 1000 m² und einem zusätzlichem jährlichen Ertrag von 130.000 kWh/a.

Dadurch würden pro Jahr ca. 170 MWh/a Strom durch Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Dies entspricht 7 … 8 % des Gesamtenergiebedarfs der Stiftung.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die vorhandenen Dach- und Freiflächen möglichst sinnvoll genutzt werden sollten. Dahingehend kann die Planung bei künftigen Projekten folgendermaßen optimiert werden:

- Möglichkeiten für Wartung schaffen (Abstände der Module von der Dachkante und Zugänglichkeit beachten)
- optimale Winkel wählen (Scheune: zu flach für gute Selbstreinigung und nicht ganz optimal für den Ertrag)
- Luftzirkulation beachten (Scheune: nicht optimal)
- Anlagenleistung so wählen, dass annähernd 100 % Selbstnutzung gewährleistet wird
- Aufnahme der Ertragsdaten in eine kontrollierte Überwachung (Facility Management)

2 Aufgabenstellung und Problematik

Im Rahmen des Projektes "Neuerkerode 2015" zur Energieeinsparung und Emissionsminderung wurden im Jahr 2010 drei Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) auf den Häusern Elm (2 Anlagen) und der Scheune (1 Anlage) errichtet, um einen Beitrag zur regenerativen Stromerzeugung zu leisten und sich teilweise selbst mit Strom zu versorgen.

Im Zuge der Planung wurden mehrere Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die PV-Anlagen angefertigt, welche auch Teil der Investitionsentscheidung waren.

Die Anlagen wurden im Juni 2010 rein technisch in Betrieb genommen und produzieren seitdem Strom. Hinsichtlich der offiziellen vertraglichen Anerkennung der Anlagen im Sinne des EEG und der damit verbundenen Fördermittel bestehen noch Differenzen zwischen dem örtlichen Versorgungsunternehmen und der Stiftung.

Für die Anlage auf der Scheune liegen Verträge vor, welche unterdessen unterschrieben sein dürften. Die beiden Anlagen auf Haus Elm sind aufgrund von Unstimmigkeiten im Zusammenhang mit der installierten Leistung noch nicht vertraglich anerkannt und können demnach noch keinen Strom gegen Vergütung einspeisen.

Ziel der vorliegenden Ausarbeitung ist, einen Überblick über den Aufbau und die Funktionsweise der PV-Anlagen zu verschaffen. Dabei geht es um grundsätzliche Fragen zur Technik und um Faktoren, welche die Wirtschaftlichkeit betreffen.

Außerdem werden die Messungen zu den bislang registrierten Erträgen ausgewertet und die Anlagen wirtschaftlich bewertet. Dazu ist auch ein Vergleich eigener Wirtschaftlichkeitsbewertungen mit denen des ausführenden Unternehmens aus der Angebotsphase durchgeführt.

Ein abschließendes Fazit soll diese Technik im Sinne des Projektes "Neuerkerode 2015" bewerten und einen Weg aufzeigen, der in Zukunft bei dieser Technik eingeschlagen werden könnte.

3 Grundlagen der Photovoltaik

Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die Geschichte dieser Technik, die Funktionsweise und Arten von PV-Zellen und den Aufbau von Gesamtanlagen. Es werden die wesentlichen Einflüsse benannt, die sich positiv und negativ auf die Effizienz dieser Technik auswirken. Der letzte Teil befasst sich mit den derzeit geltenden Förderbedingungen.

Soweit möglich, werden die Anlagen in Neuerkerode hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit bewertet.

3.1 Kurzabriss der Geschichte

Das Wort Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort für Licht „Photon“ und dem Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta zusammen.

Die Solarzelle nutzt den seit über 170 Jahre bekannten photoelektrischen Effekt. Dieser Effekt wurde im 19. Jahrhundert von Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. 1905 wurde er von Albert Einstein erklärt. Dieser erhielt dann 16 Jahre später dafür den Nobelpreis in Physik und nicht, wie oft angenommen, für seine Relativitätstheorie.

Die erste Solarzelle auf Siliziumbasis wurde 1953 von Chapin, Fuller und Pearson in den Bell Laboratories erfunden. Diese Solarzelle bestand aus kristallinem Silizium und hatte einen diffundierten p-n-Übergang. Sie wurde mit Lithium dotiert und der Wirkungsgrad betrug gerade einmal 4 %. Aufgrund des damals noch sehr geringen Preises für fossile Energieträger wurde die Entwicklung nur allmählich vorangetrieben, da man das wirkliche Potential und die vielfältigen Anwendungsgebiete unterschätzte.

Erst seit den 60 Jahren, als die Luft- und Raumfahrt mehr an Bedeutung gewann, wurde eine Weiterentwicklung der Solarzelle interessanter, da Satelliten und Raumschiffe mit Strom versorgt werden konnten. Dabei wurde Wert auf hohe Effizienz, lange Lebensdauer und auf Strahlungsresistenz gelegt. Kosten spielten damals eine untergeordnete Rolle. So wurde der Wirkungsgrad, welcher für eine Zelle bei den Strahlungsbedingungen im Weltraum herrscht, in den folgenden Jahren auf 10,4 % gesteigert [2].

In den folgenden Jahren gewann die Solarzelle immer mehr an Bedeutung. So wurde die Entwicklung von Mandelkorn und Lamneck (1972), Lindmayer und Ellison (1973) und Arndt (1975) weiter vorangetrieben. Der Wirkungsgrad der Solarzelle von Arndt lag bei 16 %. Mittlerweile sind, durch verschiedene Halbleitertechniken, Solarzellen mit einem Wirkungsgrad bis zu 40 % hergestellt worden.

3.2 Funktionsweise und Arten von Photovoltaikzellen

Wie funktioniert eine Solarzelle?

Eine Solarzelle nutzt den photoelektrischen Effekt, um Sonnenstrahlung in elektrische Energie umzuwandeln. Dabei funktioniert die Zelle aus Halbleitermaterialien wie eine Diode, nur umgekehrt.

Trifft elektromagnetische Strahlung auf die Zelle, erzeugt dies freie Ladungsträger. Durch den p-n-Übergang der Zelle wird ein elektrisches Feld erzeugt, welches die verschiedenen Ladungsträger in unterschiedliche Richtungen lenkt. Dieser Übergang wird durch eine gezielte Verunreinigung des Siliziums erzeugt. Für die n-Dotierung werden Atome mit fünf Elektronen, für die p-Dotierung Atome mit drei Elektronen, auf der äußeren Schale verwendet. Fallen nun Photonen auf das n-dotierte Material werden die Löcher in Richtung des p-dotierten Materials beschleunigt und Elektronen von der anderen Seite genau umgekehrt. Dabei werden eine elektrische Spannung und als Nebenprodukt Wärme erzeugt.

Der erzeugte Photostrom kann gespeichert, direkt ins Stromverbundnetz eingespeist oder von Verbrauchern genutzt werden. Für die Einspeisung ins Netz und für die meisten Verbraucher ist der Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln. Hierfür ist ein Wechselrichter erforderlich [4]

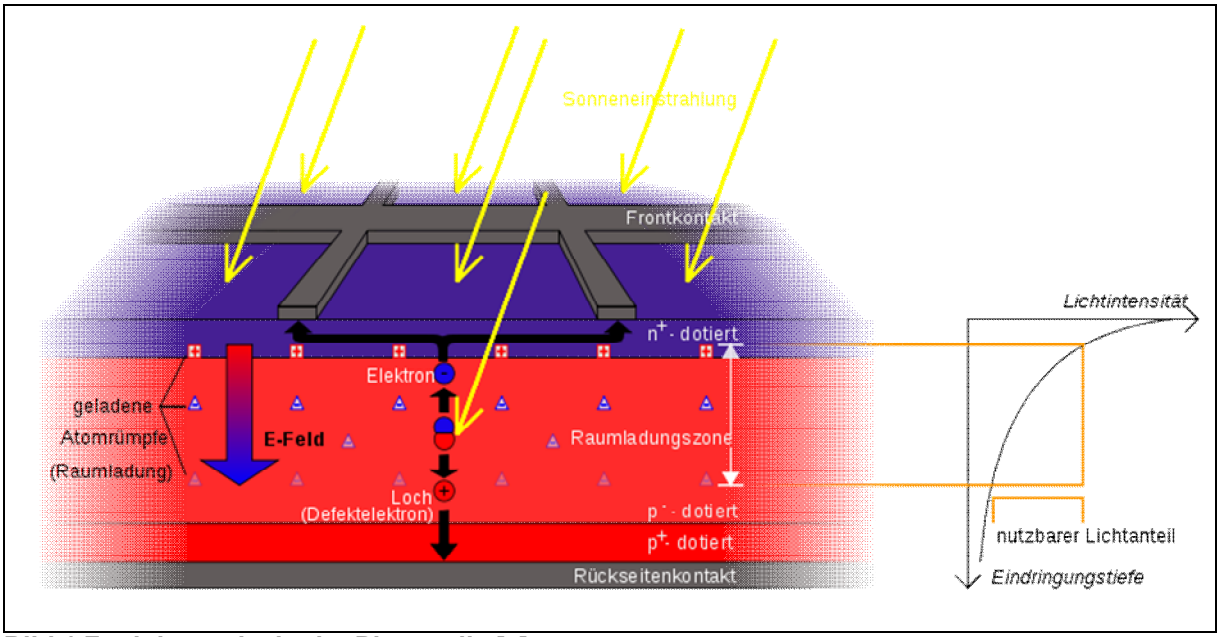


Bild 1 Funktionsprinzip der Photozelle [4]

Welche verschiedenen Arten von Solarzellen gibt es?

Die gebräuchlichste Einteilung von Solarzellen aus Silizium erfolgt über ihre Schichtdicke. Unterschieden wird zwischen dünnschichtigem und dickschichtigem Silizium. Diese Arten von Zellen unterscheiden sich in ihrer Transparenz, in ihrer energetischen Effizienz und im Preis.

Dickschichtiges Silizium:

- monokristallines Silizium; hoher Wirkungsgrad um 20 %; sehr teuer
- polykristallines Silizium; günstiger als monokristallines Silizium; schlechterer Wirkungsgrad (ca. 16 %) als monokristallines Silizium
- für Photovoltaikanlagen-Module, siehe Bild 2

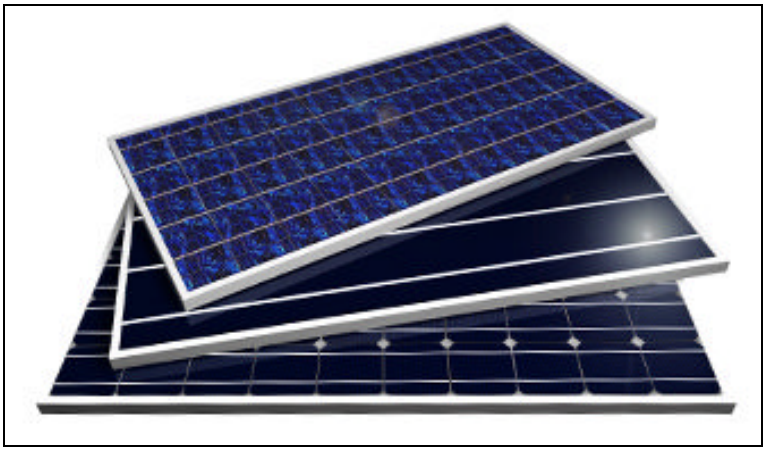


Bild 2 Poly- und monokristalline PV-Module [www.solar-handelsplattform.de]

Dünnschichtiges Silizium:

- Amorphes Silizium; mäßiger Wirkungsgrad 5 - 7 %; hohe Verfügbarkeit
- Kristallines Silizium; in Zusammensetzung mit amorphen Silizium verbessert es den Wirkungsgrad auf bis zu 10 %
- teilweise transparent, daher für die Fassadengestaltung verwendbar

Andere Halbleitersolarzellen, wie Cadmium-Tellurid- und Galium-Arsenid-Solarzellen, weisen die höchsten Wirkungsgrade (ca. 40 %) auf. Diese kommen jedoch nur in der Raumfahrt zum Einsatz, da die Herstellung einer solchen Solarzelle sich für den kommerziellen Markt nicht rechnen würde [2] [5].

Neuerkerode: es wurden polykristalline Module aus Dickschichtsilizium mit ca. 14 % Wirkungsgrad gewählt.

Was bedeutet "kWp"?

Die Einheit kWp (in Worten „kilo-Watt-peak“) ist die maximal mögliche Leistung einer PV-Anlage unter Laborbedingungen (25°C). Das Wort "peak" kommt aus dem englischen und bedeutet Spitze. Diese angegebene Spitzenleistung wird jedoch nur sehr selten erreicht, da die Ausrichtung, der Winkel der Strahlung und die Temperatur den Wirkungsgrad einer Anlage maßgeblich beeinflussen. Deshalb ist bei der Planung einer Anlage auf eine optimale Ausrichtung zu achten, da so die Sonnenenergie am effizientesten genutzt werden kann.

3.3 Aufbau und Arten von Photovoltaikanlagen

Wie ist der grundlegende Aufbau einer Photovoltaikanlage?

Eine PV-Anlage, die nicht für den Inselbetrieb, d.h. unabhängig vom Verbundnetz ein Gebäude oder eine Liegenschaft mit Strom versorgen kann, bestimmt ist, besteht aus folgenden Bestandteilen:

- Solarmodule (auch Generator genannt)
- Generatoranschlusskasten
- Wechselrichter
- Stromzähler für Bezug und Lieferung
- Hausanschlusskasten
- Stromleitungen
- Sicherheitseinrichtungen

Ein vereinfachtes Anlagenschema zeigt Bild 3.

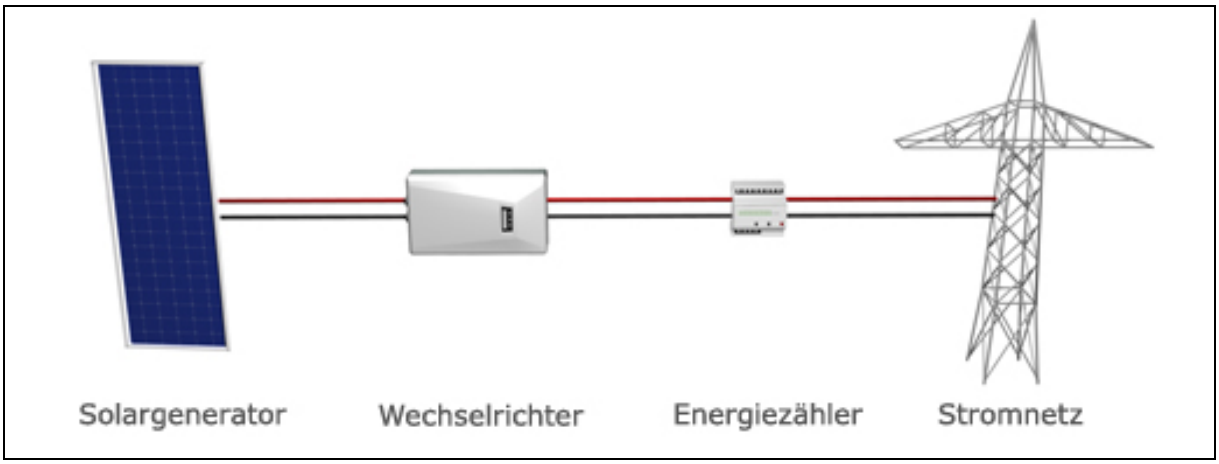


Bild 3 Schematischer Anlagenaufbau [www.solar-handelsplattform.de]

Ein Solarmodul besteht aus mehreren Solarzellen, die in Reihe geschaltet sind. Mehrere Solarmodule werden dann zu Strings zusammengefasst. Diese können weiter zusammengefasst werden oder einzeln an einen Wechselrichter angeschlossen werden.

Der Wechselrichter wandelt den von den Solarmodulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom um. Dabei besteht die Möglichkeit zwischen Ein- und Drei-Phasen Wechselstrom. Erst nach der Umwandlung wird der Strom über Zähler abgerechnet und eingespeist oder selbst verbraucht. Somit sind für den Gesamtwirkungsgrad sowohl die Modulwirkungsgrade, als auch Wechselrichterwirkungsgrad und Leitungsverluste entscheidend.

Für eine Inselanlage werden noch Akkumulator (Batterie) und Laderegler benötigt.

Neuerkerode: die Anlagen entsprechen obigem Schema mit Wechselrichter, Energiezähler und Einspeisung ins Netz.

Welche Arten von Photovoltaikanlagen gibt es?

Grundsätzlich wird zwischen zwei Haupttypen von PV-Anlagen unterschieden. Dies sind zum einen an und auf Gebäuden befestigte und zum anderen freistehende Anlagen. Bei der Montage an und auf Gebäuden gibt es mehrere Möglichkeiten der Installationsart:

- an der Fassade, oder als Fassadenelement
- auf Dächern
    - auf geneigten Dächern
    - auf ungeneigten Dächern mit und ohne Unterkonstruktion

Die gebräuchlichste und auch am weitesten verbreitete Art der Installation ist auf geneigten Dächern mit 30 … 40° Neigung, da hier auch im Regelfall die größten Erträge erzielt werden.

Bei der Planung auf ungeneigten Dächern mit Unterkonstruktion ist auf einen hinreichenden Abstand zwischen den einzelnen Solarstrings zu achten, um eine Verschattung und damit eine Reduzierung des Ertrags, zu vermeiden, um also den Ertrag zu maximieren.

Bei freistehenden Anlagen unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei verschiedenen Installationsarten. Dies sind starr aufgestellte und nachgeführte Anlagen. Der entscheidende Vorteil nachgeführter Anlagen gegenüber allen anderen Arten der Aufstellung ist die maximale Ausnutzung der Sonnenenergie, da diese Anlagen ihre Kollektorflächen in Richtung der Sonne mitdrehen. Dies ermöglicht eine Steigerung des Jahresertrags um bis zu 40 % [3].

Neuerkerode: es sind Aufdachkonstruktionen gewählt worden; im Falle von Elm mit einer Neigung von 30° (Ostdach) und 32° (Süddach); die Anlage auf der Scheune hat eine Neigung von nur 2 – 3 °.

3.4 Einflüsse auf die Effizienz

Wie in bereits erwähnt, gibt es mehrere Randdaten, welche die Effizienz einer PV-Anlage beeinflussen. Diese können teilweise nicht beeinflusst werden, wenn sie aus physikalischen Eigenschaften oder örtlichen Randbedingungen resultieren. Zu den wichtigsten Faktoren zählen:

- die Ausrichtung und der Neigung,
- die Modulverschattung,
- die Modulverschmutzung,
- die Temperatur der Solarmodule,
- die Degradation („Alterung“) von PV- Zellen.

3.4.1 Ausrichtung und Neigung

Die bekanntesten Faktoren für die Effizienz von PV-Anlagen sind Ausrichtung und Neigung der Module gegenüber der Horizontalen. In Deutschland ist davon auszugehen das PV-Anlagen mit einer Neigung von rund 30° und einer Südausrichtung einen größtmöglichen Ertrag erzielen.

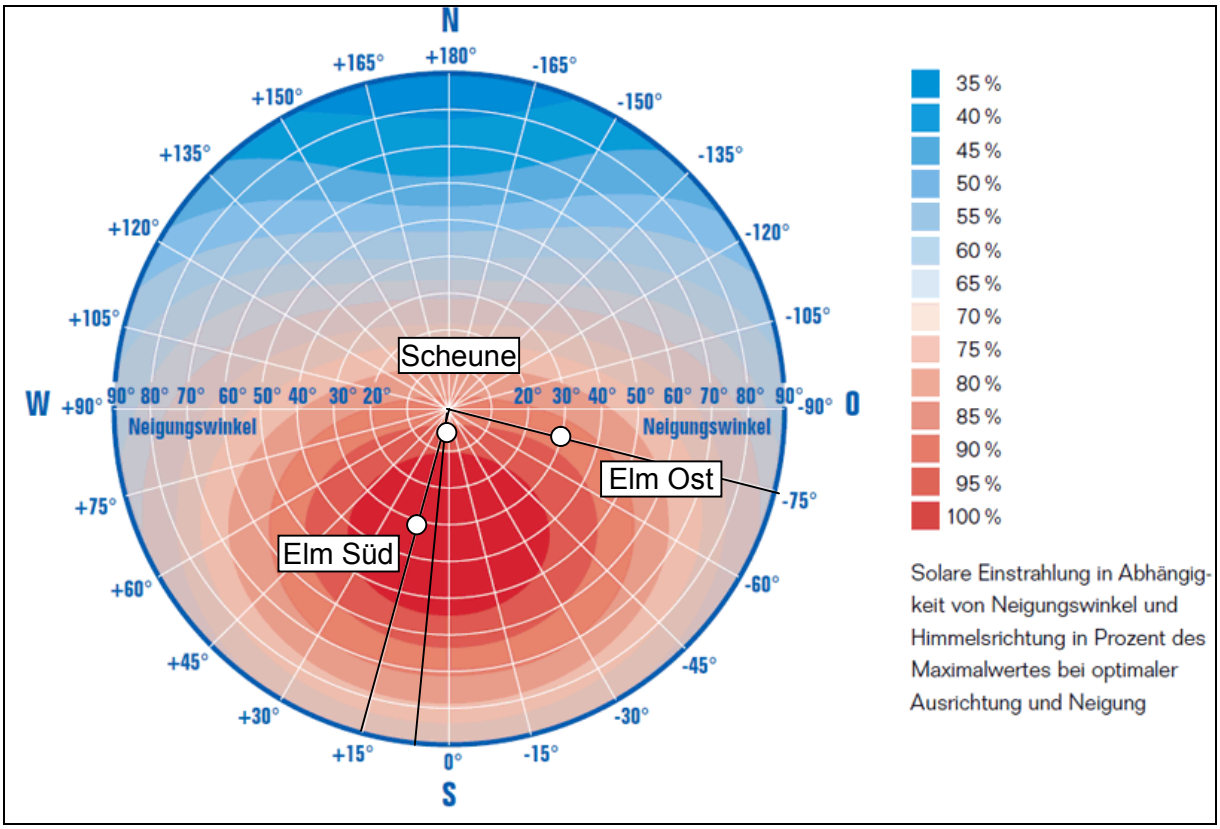


Bild 4 - Solare Einstrahlung [Quelle: Buderus „Heft zur regenerativen Stromerzeugung“]

Wie Bild 4 zu entnehmen ist, erzielen auch Anlagen mit einer Abweichung von bis zu 45° von der Südausrichtung und mit Neigungswinkeln von 10° und 55° eine fast genau so hohe solare Einstrahlung wie das Optimum.

Die etwas flachere Neigung um 30° führt dazu, dass im Frühjahr und Herbst der Einfallwinkel auf die Kollektoren fast 90° beträgt, was zu einer geringen Reflexion und hoher Absorption führt. Im Sommer und Winter weichen die Winkel von der Senkrechten ab, die Sonne trifft jedoch immer noch den Kollektor.

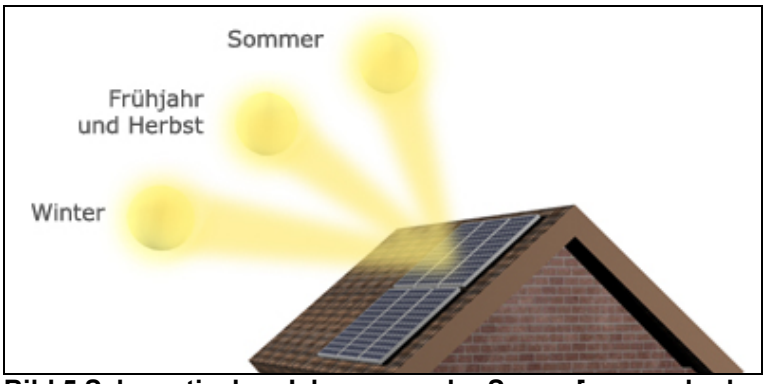


Bild 5 Schematischer Jahresgang der Sonne [www.solar-handelsplattform.de]

Die Dächer der PV-Anlagen des Hauses Elm haben bezüglich der Neigung optimale Winkel für eine Anlage in Deutschland. Die Ausrichtung des Ostdaches (-75°, 30°) ist nicht optimal, aber aus baulichen Gründen nicht vermeidbar. Die des Süddaches (+15°, 32°) ist optimal und weist deshalb einen höheren spezifischen Anlagenertrag auf.

Der Neigungswinkel der PV-Anlage der Scheune (+5°, 3°) ist sehr klein, wobei die Anlage ansonsten fast genau nach Süden ausgerichtet ist. Deshalb ist der spezifische Anlagenertrag etwas kleiner als der des Süddaches auf Elm.

3.4.2 Modulverschattung

Bei der Planung und Installation ist darauf zu achten das keines der Solarmodule verschattet wird, da dies zu hohen Leistungseinbußen führt. Der Grund liegt in der Reihenschaltung der einzelnen Zellen und Module. Bei der Verschattung nimmt die Spannung der einzelnen Zelle ab, das verringert die gesamt erzeugte Spannung.

Ein weiterer Effekt ist, dass die verschattete Zelle wie eine Diode in Sperrrichtung wirkt, sie lässt dadurch nur sehr wenig Strom hindurch. Die aus Strom und Spannung resultierende Leistung wird geringer. Eine verschattete Zelle beeinträchtigt also das gesamte Zellenfeld, welches mit ihr an einen Wechselrichter angeschlossen ist!

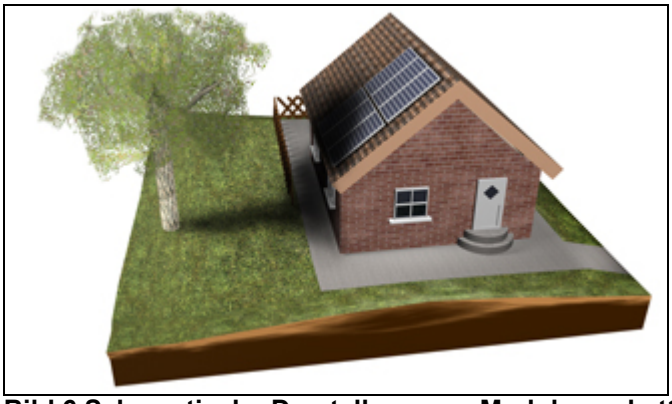


Bild 6 Schematische Darstellung von Modulverschattung [www.solar-handelsplattform.de]

Bei der Art der Verschattung unterscheidet man 3 verschiedene Gruppen [3]:

- Eigenbedingte Verschattung:
  - Bei aufgeständerten Modulen auf Flachdächern
    → Einhalten von berechneten Abständen und Winkeln
- Standortbedingte Verschattung:
  - Gebäude und Bäume im Umkreis
    → Simulation von Sonnenstandsverläufen, Entfernen von Bäumen
- Gebäudebedingte Verschattung:
  - Schornsteine, Antennen usw.
    → Simulation von Sonnenstandsverläufen, Abtragung, Entfernung oder Versetzung von nicht mehr benötigten Objekten

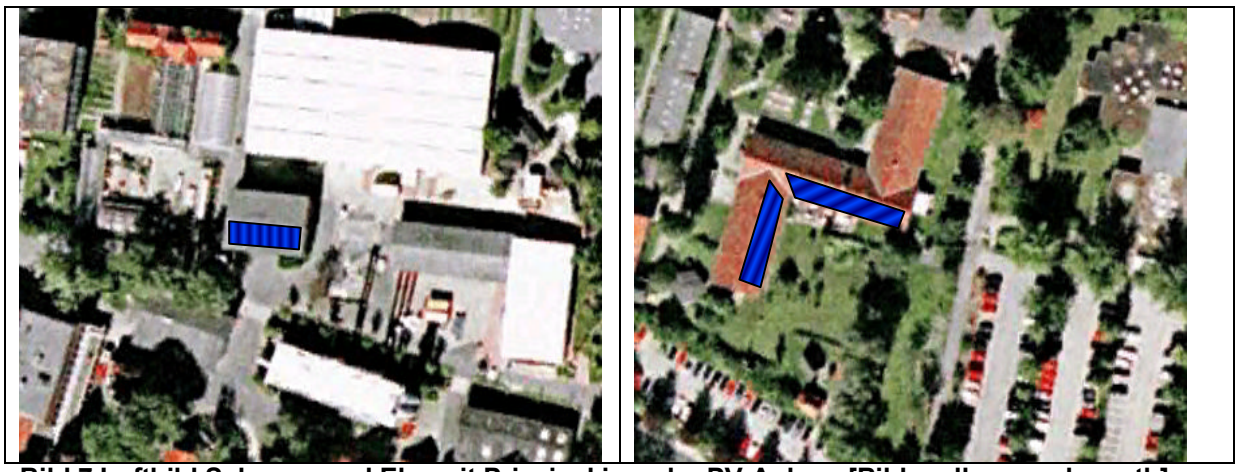


Bild 7 Luftbild Scheune und Elm mit Prinzipskizze der PV-Anlage [Bildquelle: google earth]

Neuerkerode: Beim Gebäude Elm kann der Sonneneinfall auf die Ostanlage bei sehr flach im Osten stehender Sonne durch einige Bäume behindert werden, gleiches gilt für die Südanlage Elm. Beides wird nur im Winter und nur kurzzeitig relevant und ist unkritisch, weil die Strahlungsdichte im Winter gering ist. Die Anlage auf der Scheune ist so flach angeordnet, dass es keine Verschattung umgebender Gebäude geben kann.

Soweit während der Begehung der Anlagen ersichtlich, entstehen keine relevanten Verschattungen, welche die Wirkungsgrade der PV-Anlagen entscheidend verschlechtern würden.

Fa. Wilhelm geht in der Planung bereits bei der Ermittlung des Jahresertrags von 1 % Ertragsminderung für die Scheune und 2 % für Elm aus.

3.4.3 Modulverschmutzung

Die Modulverschmutzung ist streng genommen eine vierte Art der Verschattung [3].

- Temporäre Verschattung:
  - Schmutz, Laub usw.
    → Reinigung der Module

Auf der Oberfläche einer Photovoltaikanlage können sich Blätter, Nadeln, Pollen, Samen, Ruß, Staub, Futtermittelstäube, Vogelkot und anderer organische Substanzen absetzen. Dies hat einen typischen verschmutzungsbedingten Ertragsverlust von im Durchschnitt 6 … 8 % [4] zur Folge.

Neben der Selbstreinigung der Module durch Regen und Schnee müssen Anlagen regelmäßig gereinigt werden. Die Reinigung erfolgt schonend, d.h. möglichst ohne kratzende Reiniger oder Reinigungsmittel, am besten nur mit Wasser (ggf. vollentsalzt oder Regenwasser, um Kalkflecken zu vermeiden). Hilfsmittel sind wasserführende Teleskopstangen.

Bild 8 Reinigung einer PV-Anlage [6]

Neuerkerode: Die Neigung zu einer Modulverschmutzung durch Pflanzen und die Landwirtschaft ist wegen der Lage gegeben, Straßenschmutz dürfte weniger problematisch sein.

Die Reinigungsmöglichkeiten auf der Scheune sind schwierig, weil kein direkter Zugang besteht. Außerdem wurde eine sehr große zusammenhängende Fläche auf dem Dach installiert, die es kaum ermöglicht, von Dach aus Reinigungsarbeiten durchzuführen (kein ausreichender umlaufender Randstreifen). Dies ist ungünstig, weil die Selbstreinigung wegen der flachen Anordnung unterdurchschnittlich sein dürfte.

Die Anlage auf dem Gebäude Elm kann von einer kleinen Malerbühne aus gut gereinigt werden.

Ob eine Reinigung erforderlich und wirtschaftlich sinnvoll ist, ergibt sich aus den Kosten der Reinigung, wobei mit 1 … 3 €/m² Fläche [6] zu rechnen ist und dem Ertragsverlust, der ohne Reinigung aufgetreten wäre.

Beispiel nach [6]:

Eine 30 kWp-Anlage hat 255 m² Fläche und einen Jahresstromertrag von 28.500 kWh. Die Stromvergütung nach dem EEG beträgt 28,74 Cent/kWh.

Die Reinigung kostet zwischen 1 €/m² und 3 €/m². Es werden hier ca. 2 €/m² angenommen, also 500 €. Die PV-Anlage muss zusätzlich 1739 kWh Strom erzeugen, um die Reinigungskosten zu erwirtschaften.

Das Verhältnis von 1739 kWh zu 28.500 kWh beträgt 6,1 %. Wenn der Ertragsverlust durch Verschmutzung höher liegt, ist die Reinigung wirtschaftlich sinnvoll. Der Reinigungszeitpunkt ergibt sich aus der Frage, wann 500 € Ertragsverlust eingetreten sind.

Ob und wieviel eine Anlage an Ertrag verliert, ist nicht einfach zu beurteilen. Es ist ja nicht bekannt, wieviel die saubere Anlage erzeugt hätte. Dies kann nur indirekt eingeschätzt werden, wenn die erzeugte Strommenge über mehrere Jahre verfolgt wird. Der Ertrag ist außerdem zur jährlichen Globalstrahlung ins Verhältnis zu setzen, siehe Kapitel 5.

3.4.4 Temperatur

Einen sehr großen Einfluss auf die Leistung von Solarmodulen hat die Betriebstemperatur der Zellen. Ausgehend von einer Labortesttemperatur von 25° C sinkt die Spannung und damit auch die Leistung um ca. -0,45 % pro Kelvin Temperaturerhöhung bei kristallinem Silizium.

Im Sommer können sich die Solarzellen bis auf ca. 70 … 80° C erhitzen und verringern damit ihre Leistung um rund 25 %. Zur Verringerung dieses Effektes sollten Photovoltaikmodule gut hinterlüftet werden und nicht zu nah an das Dach montiert werden.

Andere Alternativen sind Kühlsysteme, Hybridkollektoren (gleichzeitig Solarwärmenutzung) oder Bewässerung mit Sektorenregnern mit Regenwasser. Der Vorteil des Kühlsystems ist, dass die abgeführte Wärme der Photovoltaikkollektoren dafür genutzt werden kann, um den Wärmebedarf des Hauses zu senken. Jedoch ist dabei zu bedenken, dass während der Sommermonate, in denen viel Wärmeabfuhr notwendig ist, nur wenig Wärmeenergie im Haushalt benötigt wird und sich somit nur eine sehr geringe Einsparung an fossiler Energie ergibt.

Um den optimalen Betriebspunkt (MPP: Maximum Power Point) einer Anlage zu erreichen werden so genannte MPP-Tracker eingesetzt. Dieser reguliert die Spannung, um bei niedriger Stromstärke die Anlage im Maximum Power Point betreiben zu können. Der MPP des Strom-Spannungsdiagramms einer Solarzelle variiert je nach Temperatur und Einstrahlung.

Neuerkerode: Die Installation der Anlage auf dem Elm-Dach ist mit üblicher, ausreichender Hinterlüftung erfolgt. Bei der Scheune kann dies kaum von unten beurteilt werden. Durch eine Unterkonstruktion zur Verbesserung des Winkels der PV-Anlage des Daches der Scheune, hätte sich jedoch auch die Luftzirkulation und damit auch die Aufheizung der Module verringern lassen.

3.4.5 Degradation bzw. Alterung

Unter Degradation versteht man die Alterung von PV- Zellen, die über mehrere Jahre den Wirkungsgrad verringert. Für diesen Effekt sind zwei Ursachen verantwortlich. Zum einen durch Ablagerungen und Fremdschichten und zum anderen durch irreversible interkristalline Rekombinationsvorgänge in den Zellen.

Ablagerungen und Fremdschichten werden durch den Selbstreinigungsprozess zum Teil entfernt. Mit zunehmender Verweildauer nehmen die Beläge zu und verringern den Anlagenertrag. Durch eine regelmäßige manuelle Reinigung können Beläge verringert werden.

Die interkristallinen Rekombinationsvorgänge sind nicht umkehrbar und können nicht verhindert werden. Diese ergeben sich aus Temperaturerhöhungen in den Zellen, lassen diese „altern“ und verschlechtern somit den Wirkungsgrad.

Zur Bestimmung des Prozentsatzes der Ertragsminderung können der garantierte Ertrag des Herstellers oder ein auf Erfahrungswerte basierender Wert gebildet werden. Dieser liegt zwischen -0,5%/a (Abschätzung aus Messwerten) und -1,0 %/a (Garantie des Herstellers) [4] [7].

3.5 Hinweis zum Brandschutz

Hinsichtlich des Brandschutzes erweisen sich Photovoltaikanlagen als potentieller Risikofaktor, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Einerseits kann es an Modulen, Steckkontakten o. ä. zu Schwelbränden kommen. Das bedeutend größere Problem ist, dass die Anlagen selbst im abgeschalteten Zustand Spannungsquellen sind und damit unter Spannung stehen. Das erschwert Löscharbeiten, unabhängig, ob von der PV-Anlage verursacht oder nicht.

Es gibt keine Vorgabe, die Module selbst spannungsfrei zu schalten. "Infolge der Gefährdung der Feuerwehrleute haben diese sich bereits geweigert, Gebäude mit Solaranlagen zu löschen, weil das Löschwasser unter Strom stehen kann. Wenn das Dach vollständig mit Photovoltaikzellen bedeckt ist, kann durch das Dach kein Löschversuch unternommen werden." [6].

Neuerkerode: Welches Gefährdungspotential von den Anlagen in Neuerkerode ausgeht, wurde im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht. Sofern noch nicht erfolgt, sollte dies – präventiv – mit der zuständigen Feuerwehr in nächster Zeit geklärt werden.

3.6 Fördermittel und EEG

Das EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz; Stand Mai 2011) regelt die wichtigsten Bestimmungen zur Erzeugung regenerativ erzeugten Stroms. Dabei gilt das Gesetz nicht ausschließlich für solare Stromerzeugung, sondern auch für die Stromerzeugung mit Windkraft, Geothermie oder Biomasse. Das EEG wurde erlassen, um die Erzeugung durch regenerative Energietechniken zu fördern.

Regenerative Stromerzeugung verringert die CO_2-Emissionen und soll langfristig dazu führen, dass auf Strom aus Kohle- oder Kernkraftwerken verzichtet werden kann. Zudem sind Techniken zur Erzeugung von so genanntem „Ökostrom“ noch relativ teuer und ohne Förderung nur schwer gegen die bereits etablierten Methoden zur Stromerzeugung durchzusetzen. Durch Förderung des regenerativ erzeugten Stroms wird die Entwicklung der Technik beschleunigt, um die Effizienz als auch die Kosten für regenerative Anlagen zu senken und um sie langfristig zu etablieren. Ein gelungenes Beispiel für ein solches Vorgehen ist die Nutzung der Windkraft in Deutschland.

Zudem wird durch die Degression versucht die Netze zu entlasten und die Selbstnutzung zu steigern. Seit der Einführung der vergüteten Selbstnutzung ab dem Jahr 2010 ist eine 100-prozentige Selbstnutzung des Stroms wirtschaftlicher als den Strom ganz oder zu Teilen einzuspeisen.

Vorreiter des EEG war das Stromeinspeisungsgesetz (Dezember 2000), welches erstmals die Vergütung und eine Regelung zur garantierten Einspeisung vorschrieb. Weiter ausgebaut wurde das Gesetz mit dem erstmals im April 2004 erlassenen EEG, indem auch Techniken zur Erzeugung von Strom durch Geothermie aufgenommen wurden und die Förderung für solare Stromerzeugung angehoben wurde. Daraus entwickelte sich der Photovoltaikboom in Deutschland, der bis heute anhält und Deutschland zur führenden Solarnation der Welt gemacht hat, was sowohl die Nutzung als auch die Entwicklung der Solartechnik betrifft.

Nach einer Novellierung des EEG (Juli 2004) ist seit 1. Januar 2009 die neueste Fassung des Gesetzes in Kraft getreten. Mittlerweile wurde das deutsche EEG in rund 50 andere Länder übernommen.

Die Höhe der Vergütung richtet sich nach Erstellungsdatum und Größe der Anlage, siehe Tabelle 2. Für die beiden Anlagen in Neuerkerode gilt der hervorgehobene Wert.

Jahr	100 % Einspeisung		100 % Eigenverbrauch	
	unter 30 kWp	30 … 100 kWp	unter 30 kWp	30 … 100 kWp
2004	57,4	54,6		
2006	51,8	49,28		
2008	46,75	44,48		
1.2010	**39,14**	**37,23**	**22,76**	**0,00**
7.2010	34,05	32,39	17,67	16,01
10.2010	33,03	31,42	16,65	15,04
2011	28,74	27,33	12,36	10,95

Tabelle 2 - Einspeisevergütung nach EEG für Anlagen auf Gebäuden [4] [8]

Seit der Novellierung im Jahr 2004 wurde die Einspeisevergütung von damals 57,40 ct/kWh sukzessive verringert und beträgt momentan (Stand Juli 2011) bei Anlagen unter 30 kWp auf Gebäuden 28,74 ct/kWh. Die Vergütung wird auf einen Zeitraum von 20 Jahren und die restlichen Monate des angefangenen Jahres gezahlt.
Seit 2009 ist es möglich, den erzeugten Strom nicht nur direkt ins Verbundnetz einzuspeisen sondern auch selbst zu nutzen. Dieses Modell wird umso profitabler, je höher der aktuelle Strompreis und je höher die zu erwartende Preissteigerung des Stroms in den nächsten Jahren ist, da dann die durch Selbstverbrauch eingesparte Kilowattstunde mehr wert ist.

Die in Tabelle 2 dargestellten Werte können ggf. abweichen, wenn der Stromversorger eine höhere Vergütung für Selbstverbrauch bezahlen möchte, um große Abnehmer zu dezentralisieren [5] [8].

Beispiel:

Das Beispiel aus dem EEG für eine PV-Anlage mit einer Leistung von 40 kW soll verdeutlichen, wie eine Anlage mit einer Leistung >30 kW zu vergüten ist.

Photovoltaikanlage auf dem Dach eines Gewerbebaus mit einer Leistung von 40 kW; Inbetriebnahme im August des Jahres 2010:

Leistungsanteil bis 30 kW: 75 % von 40 kW
Leistungsanteil ab 30 kW bis 100 kW: 25 %

Vergütung	**EEG 2009**
Leistungsanteil bis 30 kW	0,75 · 34,05 Ct/kWh
Leistungsanteil ab 30 kW bis 100 kW	0,25 · 32,39 Ct/kWh
Vergütung	= **33,64 Ct/ kWh**

Neuerkerode: Die Vergütungssätze bei der Scheune (16,72 kWp) betragen 0,3914 €/kWh bei 100 % Einspeisung und 0,2276 €/kWh bei 100 % Selbstnutzung. Bei Zwischenwerten kann mit Hilfe des EEG gemittelt werden.

Die Anlage auf dem Gebäude Elm (35,64 kWp) erhält eine Vergütung von 0,3884 €/kWh bei Einspeisung und 0,1916 €/kWh bei Selbstnutzung

Wichtiger Hinweis! In der Vertragsvorlage für die Scheune wurde eine falsche Kombination aus Vergütungssätzen im Vertrag bzw. Vertragsentwurf angesetzt. Hier sollte unbedingt der Vergütungssatz für Eigenverbrauch von 17,67 auf 22,76 Cent/kWh korrigiert werden!

e·on | Avacon

Anlage 2 Aufstellung Bestandsanlage und Erweiterungen

Stand 10.03.2011

Anlagen-nummer Access	Anschluss-objekt-Nr. IS-U	Baujahr der Anlage	Inbetrieb-nahme-datum	EEG-Vergütungs-zahlung bis zum	Leistung in kWp	Vergütungs-satz in ct/kWh
58562	5200359432	2010	29.06.2010	31.12.2030	17,22	39,14 / 17,67

Da die gemessene Einspeisemenge nur über einen Zähler erfasst wird, wird die Vergütung nach der im jeweiligen Jahr installierten Leistung anteilig berechnet.

Bei Änderung und Erweiterung der jeweiligen Erzeugungsanlage gemäß Ziffer 2.2 des Vertrages wird diese **Anlage 2** ungültig und wird durch eine neue **Anlage 2** ersetzt.

In Ergänzung zu Ziffer 8 des Vertrages verlängert sich die Vertragslaufzeit bis zum Zeitpunkt des Ablaufs der Vergütungszahlung der zuletzt in Betrieb genommenen Anlage.

Der Vergütungssatz (Spalte 7 erster Eintrag) gilt für die gesamte EEG-Vergütungsdauer in unveränderter Höhe. Sofern der PV-Selbstverbrauch gem. EEG 2009 §33 Absatz 2 genutzt wird, gilt für diesen Anteil der Strommenge der verringerte Vergütungssatz (Spalte 7 letzter Eintrag).

Bild 9 Auszug aus dem Vertrag für die Scheune

4 Anlagen in Neuerkerode

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die in Neuerkerode installierten Anlagen mit Skizzen zur Lage der Module, der Wechselrichter und Stromzähler. Es werden die technischen Randdaten gezeigt.

4.1 Scheune

Die PV-Anlage Scheune der Stiftung Neuerkerode hat eine Gesamtleistung von **16,72 kWp**.

Eingebaut wurden von der Firma Elektro Wilhelm **76 Module** von Samsung S-Energy des Typ SM-220PLO mit jeweils 220 W maximaler Leistung sowie **zwei Wechselrichter** der Marke Kostal Piko 8.3. An jeden der Wechselrichter sind jeweils 2 x 19 Module angeschlossen. Die Gesamtfläche (PV-Brutto) beträgt **120,66 m².**

In Bild 10 ist die Scheune der Stiftung Neuerkerode schematisch dargestellt und die Anbringung der Wechselrichter und des Sicherungskastens mit Stromzähler angedeutet.

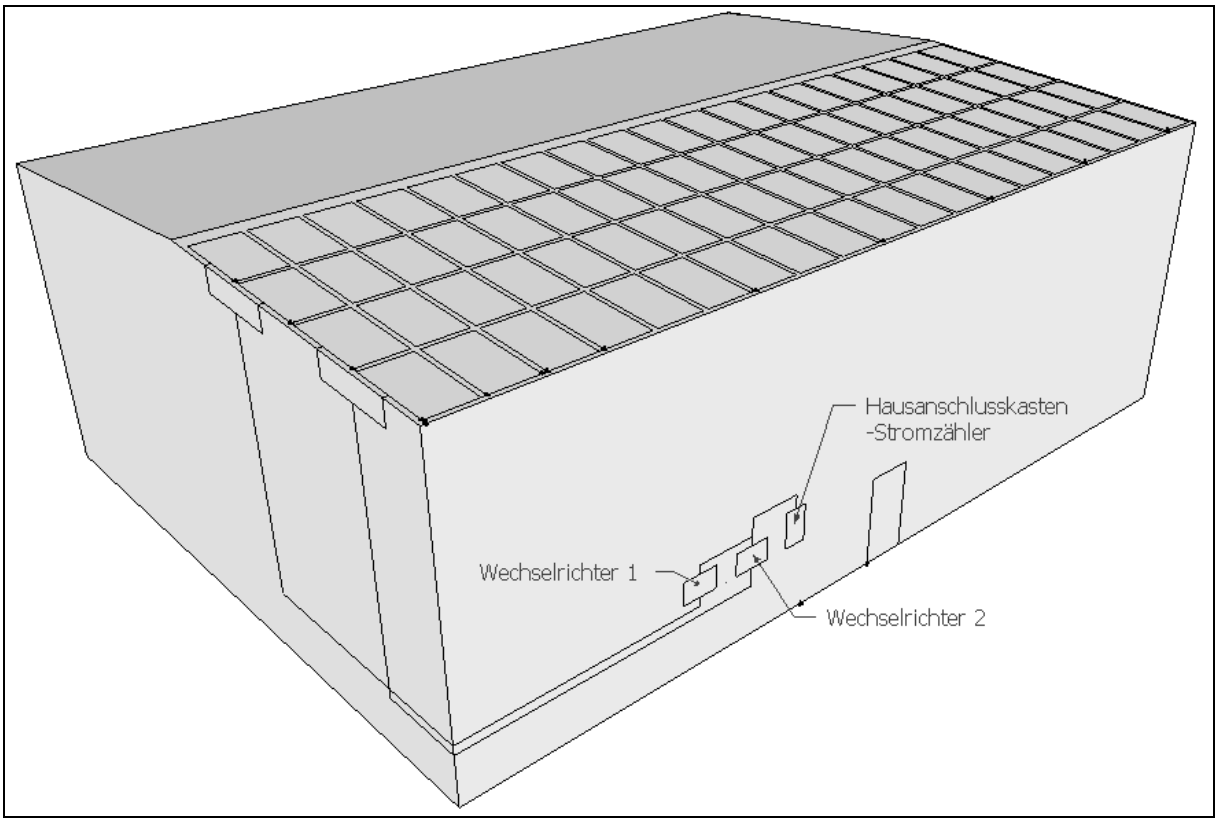


Bild 10 – Anlagenskizze Scheune

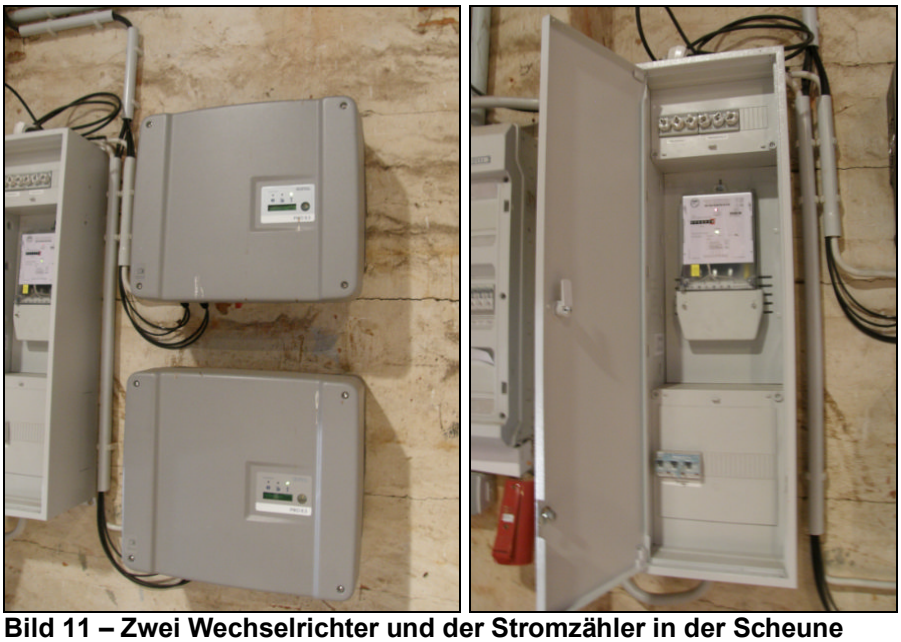


Bild 11 – Zwei Wechselrichter und der Stromzähler in der Scheune

Die Dachfläche der Scheune ist nach Süden (mit einer sehr leichten Westabweichung +5°) gerichtet und hat eine ungefähre Neigung von 3 % zur Horizontalen. Es gibt keine Verschattung der PV-Fläche.

Bild 12 – Lage der PV-Anlage auf dem Dach der Scheune

Inbetriebnahmedatum ist der 29.06.2010. Die Anlage könnte demzufolge seit Juni 2010 einspeisen, jedoch ist die Vertragssituation mit dem Versorgungsunternehmen noch nicht vollständig geklärt.

Eingespeister Strom würde mit 0,3914 €/kWh und selbstgenutzter Strom mit 0,2276 €/kWh vergütet werden.

Der Einspeisezähler wird regelmäßig innerhalb der Stiftung ausgelesen. Im Zeitraum vom Juni 2010 bis April 2011 wurden 10.284 kWh erzeugt.

4.2 Elm

Das Haus Elm wird in die zwei Dachflächenbereiche Süd und Ost geteilt. Die PV-Anlage Haus Elm Süddach hat eine Gesamtleistung von 14,74 kWp und die Anlage Haus Elm Ostdach eine Leistung von 20,90 kWp. Dies entspricht einer Gesamtleistung von **35,64 kWp**.

Eingebaut wurden von der Firma Elektro Wilhelm **162 Module** (Ost: 96 und Süd: 67) von Samsung S-Energy des Typ SM-220PLO mit jeweils 220 W maximaler Leistung sowie **vier Wechselrichter** (2 x Kostal Piko 10.1, 1 x Power One Aurora 10.0 und 1 x Power One Aurora 3.0). Die Gesamtfläche (PV-Brutto) beträgt **257,19 m².**

In Bild 13 ist das Gebäude Elm der Stiftung Neuerkerode schematisch mit seiner PV-Fläche dargestellt.

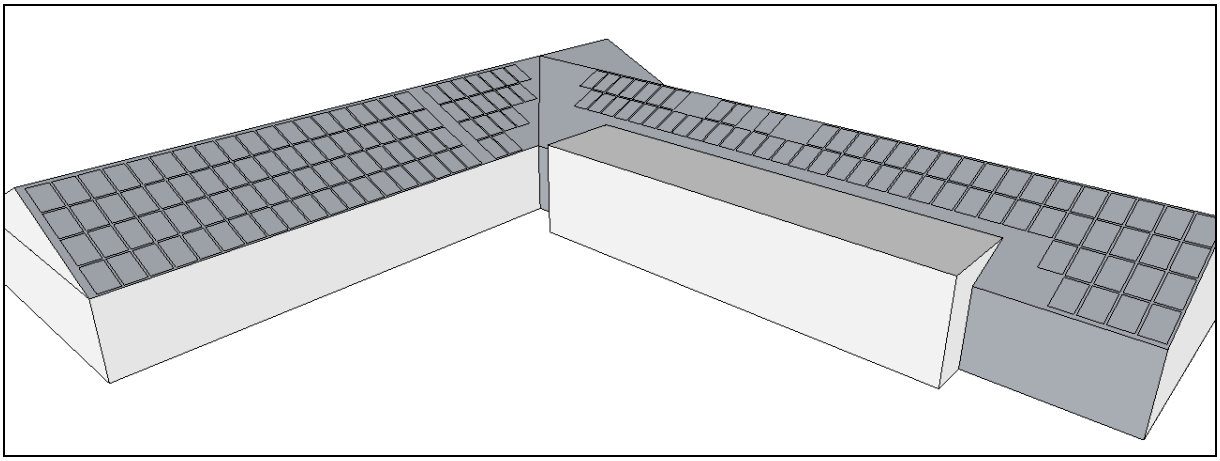


Bild 13 – Anlagenskizze Haus Elm nur Photovoltaikmodule

Bild 14 zeigt die Lage der Wechselrichter schematisch sowie ein Foto der Hauptkomponenten aus dem Dachraum von Elm. Der Sicherungskasten mit Stromzähler im Keller enthält noch keinen Einspeisezähler des Versorgers e.on. Das führt dazu, dass eingespeister Strom nicht vom Stromzähler erfasst werden kann, sondern lediglich über die internen Zähler der Wechselrichter. Eine Nachvergütung ist in der Regel nicht möglich.

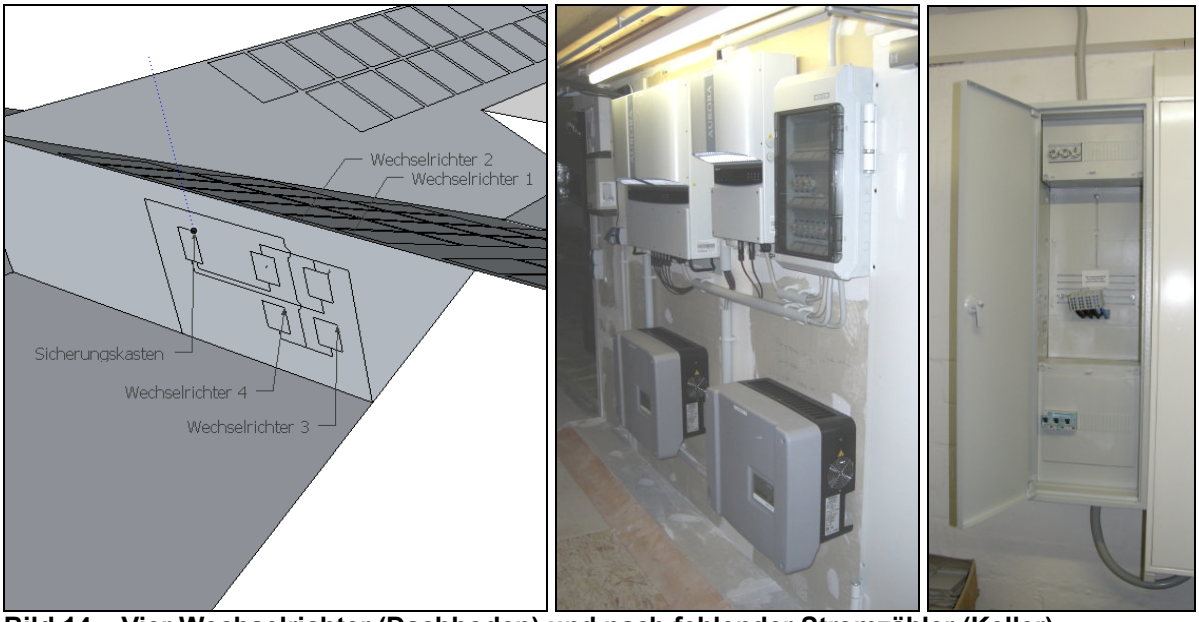


Bild 14 – Vier Wechselrichter (Dachboden) und nach fehlender Stromzähler (Keller)

Die Dachfläche nach Süden (mit einer leichten Westabweichung +15°) hat eine ungefähre Neigung von 32°. Die Dachfläche nach Osten (mit einer leichten Südabweichung -75°) ist 30 ° geneigt. Es gibt bei sehr flach stehender Sonne jeweils kleinere Verschattungen der PV-Flächen.

Bild 15 – Lage der PV-Anlage auf dem Süddache des Gebäudes Elm

Bild 16 – Lage der PV-Anlage auf dem Ostdache des Gebäudes Elm

Inbetriebnahmedatum ist der 29.06.2010. Die Anlage könnte demzufolge seit Juni 2010 einspeisen. **Dieses Datum wurde bislang noch nicht vom Versorger eon bestätigt.**

Nach dem EEG hat die Anlage folgende Leistungsanteile:

bis 30 kW:	84,2% (≙	30,0 kW)
30 und mehr kW:	15,8 %(≙	5,64 kW)

Der erzeugte Strom wird bis 30 kW mit einem höheren Satz vergütet als darüber. Gemittelt ergibt sich eine Einspeisevergütung von 0,3884 €/kWh. Bei Selbstnutzung liegt der Vergütungssatz bei 0,1916 €/kWh.

5 Erträge

Nachfolgend werden die bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung bzw. Anlagenaufnahme aufgelaufenen Ertragsdaten für die Scheune und das Gebäude Elm ausgewertet. Es wird eine Einschätzung abgegeben, ob die Erträge sich in einer akzeptablen Bandbreite – verglichen mit den Prognosewerten – befinden.

5.1 Grundlagen

Die Solarstrahlung auf eine geneigte Fläche wird normalerweise über Sonnenstrahlungsmodelle mit vergleichsweise komplizierten Berechnungen oder durch Messinstrumente ermittelt. Zur exakten Berechnung wird die Globalstrahlung in deren Anteile von Direkt- und Diffusstrahlung aufgeteilt. Hinzu kommt noch der Anteil aus Reflexion, der bei geneigten Flächen auftritt. Dabei hängt die Direktstrahlung stark von der Orientierung der Fläche ab und ist nur mit komplexen Winkelfunktionen zu berechnen.

Auf diese Berechnungen wird im Rahmen dieses Berichtes verzichtet. Es wird näherungsweise angenommen, dass die Globalstrahlung repräsentativ ist als Strahlung auf die PV-Flächen. Globalstrahlungsdaten sind über den deutschen Wetterdienst frei verfügbar [12]. Das Zahlenwerk ist in Karten abgedruckt, die manuell ausgelesen werden müssen, siehe Bild 17.

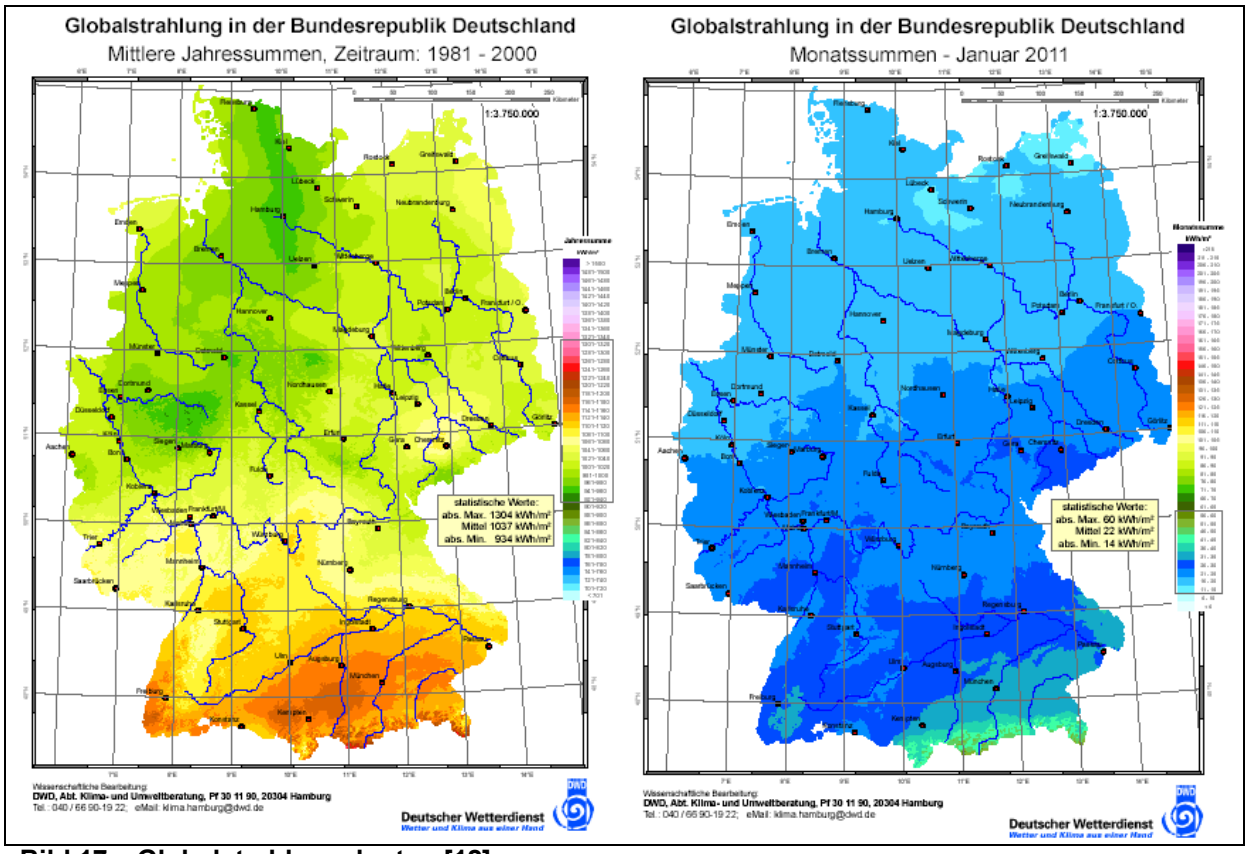


Bild 17 – Globalstrahlungskarten [12]

Die Strahlungsdaten gibt es in 3 Ausführungen: Monatssummenkarten, Jahressummenkarten, Mittelwerte für den Zeitraum 1981 bis 2000.

Die in einem Messzeitraum aufgetroffene Globalstrahlung wird nachfolgend verwendet, um auf ein komplettes Jahr zu schließen.

5.2 Scheune

Die Wechselrichter bzw. Zähler der Scheune werden regelmäßig ausgelesen. Zwischen dem 1.10.2010 und 1.10.2011 ergibt sich ein Ertrag aus Zählerdifferenz von 16.101 kWh. Dies entspricht etwa dem Durchschnittsverbrauch an Strom für 16 Personen.

Laut den Globalstrahlungskarten des DWD [12] traf in dem o. g. Zeitraum von 12 Monaten eine Globalstrahlung von 1086 kWh/m² in der Region von Neuerkerode auf (der jeweilige Monatswert wird aus der Karte abgelesen). In einem Durchschnittsjahr wären es 1011 kWh/m² gewesen [12].

Der strahlungsbereinigte Jahresverbrauch beträgt:

$$Q_{El,korr} = Q_{El,mess} \cdot \frac{GS_{korr}}{GS_{mess}} = 16.101 kWh/a \cdot \frac{1011 kWh/a}{1086 kWh/a} = 14.982 kWh/a$$

Die eingespeiste Energiemenge sollte laut Berechnung der Fa. Wilhelm 13.378 kWh/a betragen. Der prognostizierte Gesamtertrag wurde erreicht und sogar leicht überschritten (die Abweichung von 11 % sollte nicht überinterpretiert werden).

Damit kann festgestellt werden, dass die Anlage bestimmungsgemäß läuft.

Hinweis! Anhand dieses Korrekturansatzes sollte am Ende eines jeden Jahres überprüft werden, ob der Ertrag verglichen mit dem Vorjahr und verglichen mit der Prognose zurückgeht. Falls das der Fall ist, wird eine Reinigung empfohlen, siehe Kapitel 3.4. Zudem können versteckte Defekte oder Minderungsgründe in Auswertungen erkannt werden. Diese müssen dann lokalisiert und behoben werden, um den maximal möglichen Ertrag zu erzielen und so keine Gewinneinbußen hinnehmen zu müssen.

Monatswerte

In der Scheune wird monatlich der Einspeisezähler ausgelesen. Bild 18 zeigt die Auftragung der Erträge über der Zeit. Fehlende Messwerte sind anhand von Hochrechnungen (auf Basis der Globalstrahlung) ergänzt. Die Auftragung zeigt einen auffällig geringen Ertrag im August, der im Rahmen der Untersuchung nicht geklärt wurde. Es ist zu vermuten, dass dieser Ausreißer mit dem Beginn der Messung (nicht exakt am 1.8.) zu tun hat.

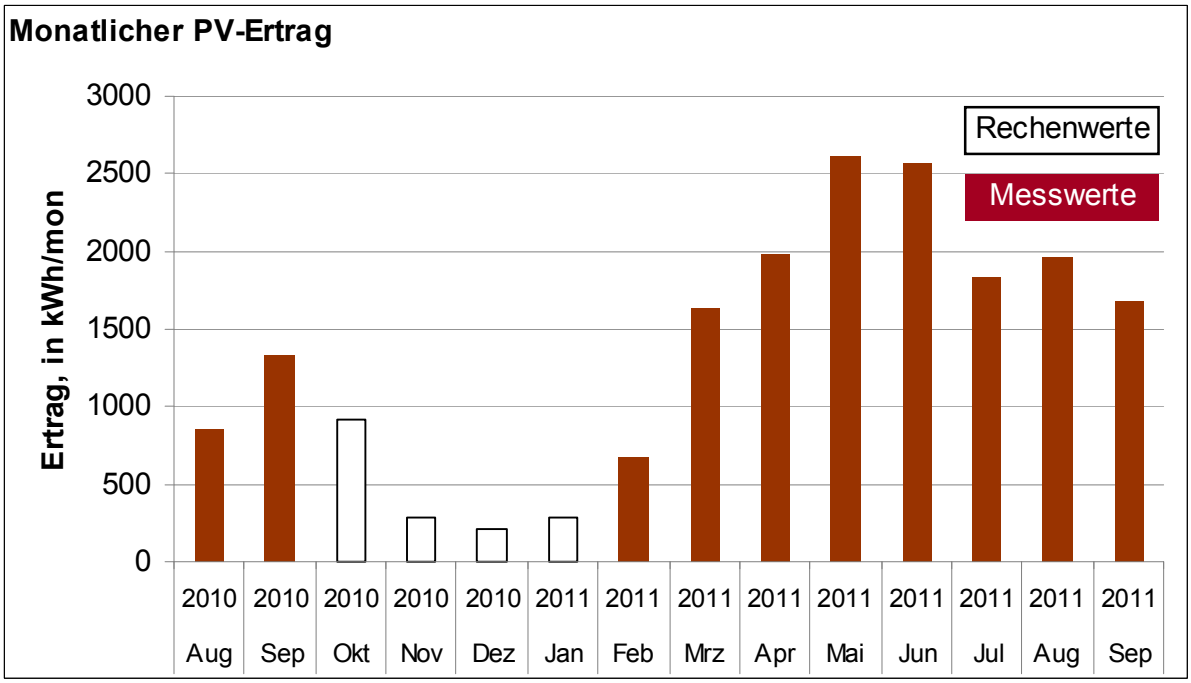


Bild 18 – Monatlicher Solarerträge der PV-Anlage

Die Auftragung der Solarerträge über der Globalstrahlung zeigt Bild 19.

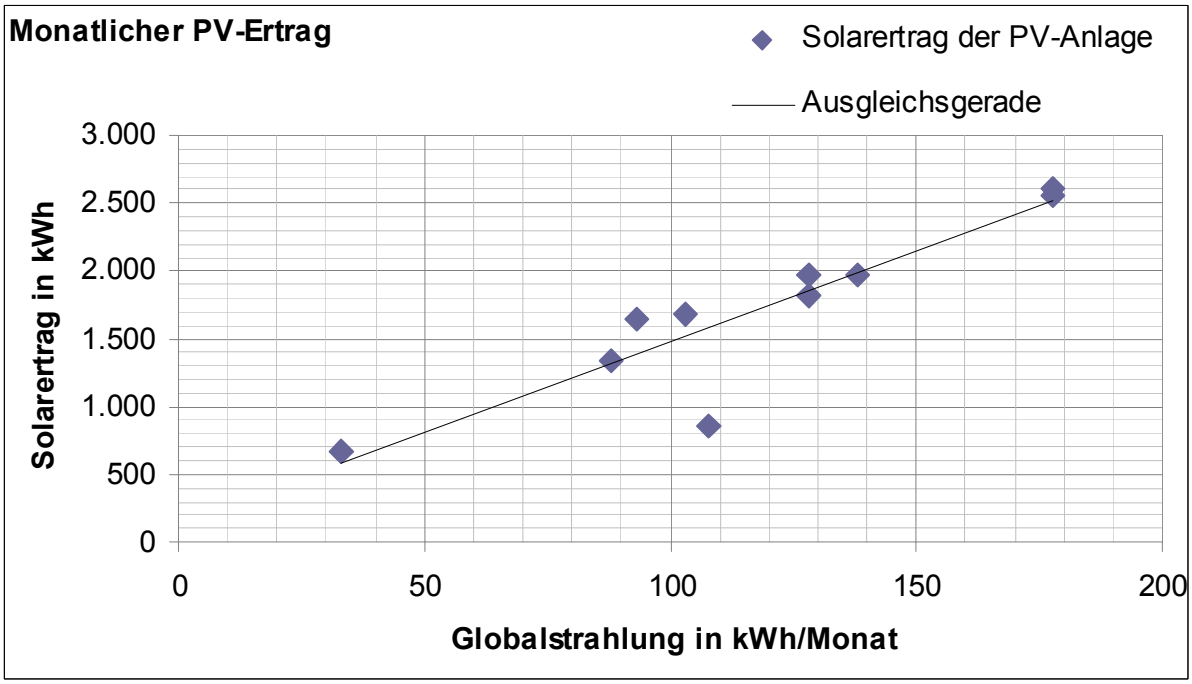


Bild 19 – Ertrag der PV-Anlage bei verschiedenen Globalstrahlungen

Die monatlichen Zählerdaten der Scheune zwischen Oktober und Januar (kWh/Monat)) können aufgrund von Monatswerten vergleichbarer Anlagen nicht korrekt sein und wurden deshalb in die Einzelauswertung der Monate nicht einbezogen. In Summe erscheinen diese vier Monate jedoch stimmig.

5.3 Elm

Bei der Anlagenaufnahme am 20.04.2011 wurden die 4 Wechselrichter des Gebäudes Elm ausgelesen. Es ergaben sich folgende produzierte Strommengen seit der Inbetriebnahme:

- Wechselrichter 1: 7223 kWh
- Wechselrichter 2: 2074 kWh
- Wechselrichter 3: 6095 kWh
- Wechselrichter 4: 5592 kWh

Die Gesamtproduktion im Zeitraum von Juli 2010 bis einschließlich April 2011 (ca. 6+4 Monate) beträgt demnach 20.984 kWh. Damit erzeugt die Anlage Elm doppelt soviel Energie, wie die Anlage der Scheune. In einem Jahr kann die Anlage auf Haus Elm 6 EFH mit Strom versorgen. Würde die entsprechende Leistung auf den einzelnen EFH installiert werden, würden deutlich höhere Kosten anfallen. Die Preise von Photovoltaikanlagen richten sich nach der Größe der installierten Leistung. Umso größer eine Anlage, desto geringer wird der Preis je installierten kWp.

Laut den Globalstrahlungskarten des DWD [12] traf in dem o. g. Zeitraum von 10 Monaten eine Globalstrahlung von 755 kWh/m² auf die Erdoberfläche auf. In einem Durchschnittsjahr wären es 1031 kWh/m² gewesen [12].

Der strahlungsbereinigte Jahresverbrauch beträgt:

$$Q_{El,korr} = Q_{El,mess} \cdot \frac{GS_{korr}}{GS_{mess}} = 20.984 kWh/a \cdot \frac{1031 kWh/a}{755 kWh/a} = 28.641 kWh/a$$

Die eingespeiste Energiemenge sollte laut Berechnung der Fa. Wilhelm betragen:

- 16.292 kWh für die Ostanlage
- 12.576 kWh für die Südanlage

Der prognostizierte Gesamtertrag von 28.868 kWh/a wurde fast genau erreicht (Abweichung unter 1 %, kann auch bedingt sein durch den nicht ganz 10 Monate umfassenden Messzeitraum).

Hinweis! Anhand dieses Korrekturansatzes sollte am Ende eines jeden Jahres überprüft werden, ob der Ertrag zurückgeht. Falls das der Fall ist, wird eine Reinigung empfohlen, siehe Kapitel 3.4.

5.4 Einbezug in das Facility Management

Nach Abschluss des Projekts soll das Facility Management in der Lage sein, die Auswertungen bezüglich der PV- Anlagen selbst durchzuführen. Dazu werden in diesem Kapitel einige Grundlagen erläutert.

Eine Auswertung, wie in Kapitel 5.2 und 5.3, kann durch das Facility Management der Stiftung durchgeführt werden, um den Ertrag der Anlagen zu überwachen. Dies erfordert folgende Arbeitsschritte:

(a) Ablesen der Einspeisezähler, mindestens jährlich zum 31.12., besser monatlich
(b) Beschaffung der Globalstrahlungsdaten für ein Jahr vom Deutschen Wetterdienst als PDF-Datei, siehe Bild 17.
(c) Manuelles Auslesen der jährlichen Globalstrahlung GS_{mess} aus der Datei und übertragen in Excel oder ein FM-Programm bzw. Berechnung mit Taschenrechner
(d) Korrektur der abgelesenen Messwerte $Q_{El,mess}$ nach folgender Formel:

$$Q_{El,korr} = Q_{El,mess} \cdot \frac{1031 kWh/a}{GS_{mess}}$$

(e) Die Formel wird auf den Ganzjahresmesswert angewendet. Das Ergebnis dieser Gleichung ist der korrigierte Ertrag; bereinigt um den Einfluss schwankender Globalstrahlung.
(f) Vergleich mit Zielwerten für die betreffende Anlage (siehe Planungsunterlagen) und mit den Ergebnissen des Vorjahres. Sofern der Ertrag eines Jahres um etwa 6 % unter dem Vorjahreswert liegt, ist eine Reinigung vorzusehen.

Anhand der Monatswerte (monatlich erzeugter Strom, monatliche Globalstrahlung lt. DWD) kann auch eine Grafik analog Bild 19 erzeugt werden. Sie zeigt das Verhältnis zwischen Solarertrag und Globalstrahlung an. Aus den Daten des ersten Betriebsjahres ergibt sich die Referenzgerade.

Ab dem zweiten Betriebsjahr kann anhand dieser Geraden abgeschätzt werden, ob Solarerträge und Globalstrahlung im geplanten Verhältnis stehen. Punkte oberhalb der Geraden sind positiv zu bewerten. Punkte unterhalb bedeuten, dass der Wirkungsgrad im Vergleich zum Vergleichszeitraum zurückgegangen ist. Falls mehrere aufeinander folgende Punkte unterhalb der Geraden liegen, sollten die PV- Module gereinigt werden.

6 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Dieser Abschnitt gibt Aufschluss über die wirtschaftliche Bewertung der Anlagen. Zu Beginn werden die unterschiedlichen Arten von wirtschaftlicher Bewertung erläutert. Anschließend werden Randdaten genannt, die für eine solche Auswertung zugrunde gelegt werden können. Dabei werden Annahmen aus der Planungsphase (Fa. Wilhelm) verglichen mit typischen Annahmen.

6.1 Randdaten der Bewertung

Eine PV-Anlage ist dann wirtschaftlich, wenn die Einnahmen aus der Vergütung für den erzeugten Strom (eingespeister Strom oder selbst verbrauchter Strom) höher sind, als die Ausgaben über den Lebenszeitraum der Anlage. Dieses Kriterium ist bei den Anlagen in Neuerkerode unter normalen Randbedingungen erfüllt, sodass diese im Zeitraum der angedachten Nutzung von ca. 20 Jahren einen Gewinn erzielen werden.

Um die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage beurteilen zu können, wird in der Regel eine Amortisationsrechnung erstellt. Sie ist die gebräuchlichste Form die Wirtschaftlichkeit einer Anlage zu be- oder widerlegen.

Zur Erstellung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer PV-Anlage werden Angaben zur Erträgen, Kosten, Zinsen und Laufzeiten benötigt. Die Herkunft der Daten soll nachfolgend erläutert werden.

Betrachtungszeitraum

Es wird im Allgemeinen eine Lebensdauer der Anlage von etwa 20 Jahren festgelegt. Das liegt zum einen daran, dass eine garantierte Einspeisevergütung besteht und die Lebensdauer von PV-Anlagen meist auch nicht weit über die 20 Jahre hinausgeht.

Der Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsbewertungen in diesem Bericht beträgt 20 Jahre und 6 Monate, weil dies der Zeitraum der Zahlung der Einspeisevergütung ist. Die 6 Monate ergeben sich aus der Inbetriebnahme zum Juli des Jahres 2010.

Ertrag

Die Werte für den PV-Ertrag in Neuerkerode werden dem Angebot bzw. der Wirtschaftlichkeitsbewertung Fa. Elektro Wilhelm entnommen. Dieser Annahmewert hat sich aus den Messwerten gut bestätigt. Ertrag incl. Berücksichtigung von Verschattung für den Zeitraum bis Ende 2011:

- Scheune: 13.378 kWh/a (incl. 1 % Verschattung)
- Elm Süd: 12.576 kWh/a (incl. 2 % Verschattung)
- Elm Ost: 16.292 kWh/a (incl. 2 % Verschattung)

Mit diesen Werten werden alle Berechnungen durchgeführt.

Ertragsverlust durch Alterung

Die Fa. Elektro Wilhelms geht in ihrer Wirtschaftlichkeitsbewertung von einer Verschlechterung von etwa -0,3 %/a aus. Es ist zu vermuten, dass der Prozentsatz aus Erfahrungswerten der von Fa. Wilhelm verbauten PV- Module stammen kann. Jedoch ist bei den nachfolgenden Berechnungen eine eher konservativere Herangehensweise gewählt worden.

Laut Herstellerangaben haben Samsung S-Energy Module eine Leistungsgarantie von 90 % nach 10 Jahren und von 80 % nach 25 Jahren. Dabei handelt es sich um die maximal zu erwartende Reduzierung des Anlagenertrags. Mit der Zinsformel berechnet entspricht dies folgenden Ertragseinbußen:

- 10 Jahre: -1,048 %/a
- 25 Jahre: -0,880 %/a.

Zwischen den beiden Werten: um 1 %/a (Hersteller) und 0,3 %/a (Anlagenbauer) wird der Wert vermutlich liegen. In Anlehnung an Erfahrungswerte anderer Messungen wird hier von **0,5 %/a** ausgegangen [4].

Zu Vergleichszwecken wird für die Scheune zwischen 0,3 %/a und 0,9 %/a variiert.

Kosten der Wartung

Die Kosten der Wartung schätzt Fa. Wilhelm mit jährlich 0,5 % der Anlagenkosten, wobei die ersten 2 Jahre nach der Inbetriebnahme wartungsfrei sind.

In den restlichen 18,5 Jahren mit Wartung ergeben sich damit beispielsweise ca. 4100 € für die Wartung der Anlage auf der Scheune. Der Jahreswert liegt bei etwa 220 €/a.

Alternativ kann die Wartung auch mit typischen Kostensätzen je installierter PV-Fläche geschätzt werden, siehe Kapitel 3.4.3. Nimmt man als typischen Wert 2 €/m² an [6], ergeben sich für die einmalige Reinigung der Anlage auf der Scheune Wartungskosten von ca. 240 €.

Im Vergleich der beiden Quellen kann davon ausgegangen werden, dass Fa. Wilhelm für die Scheune (und auch die Anlage auf Elm) etwa ein jährliches Wartungsintervall unterstellt hat.

Dies wird in allen Wirtschaftlichkeitsbewertungen ebenso unterstellt. Die jährlichen Wartungskosten werden mit 0,5 % der Anlagenkosten ab dem 2. Jahr nach Inbetriebnahme angesetzt.

Ertragsverlust durch Verschmutzung

In die Betrachtungen der Fa. Wilhelm ist kein zusätzlicher Ertragsverlust aufgrund von Verschmutzung eingerechnet. Trotz Aufwendungen für die Reinigung der Module muss jedoch davon ausgegangen werden, dass eine Ertragsminderung für Verschmutzung auftritt. Wie hoch diese ist, hängt von der Einbausituation und dem Wartungsintervall ab.

Im Schnitt sollte von 6 … 8 % Ertragsverlust durch Verschmutzung ausgegangen werden [4], siehe Kapitel 3.4.3. Diese Annahme passt auch gut mit der Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit der Wartung zusammen. Eine Wartung wird wirtschaftlich sinnvoll durchgeführt, wenn im zurückliegenden Zeitraum seit der letzten Wartung etwa 6 % Ertragsminderung erreicht sind.

Im Folgenden wird von einem mittleren Ertragsverlust von **6 %** zwischen zwei Wartungsintervallen ausgegangen, der sich **trotz regelmäßiger Wartung** einstellt.

Zu Vergleichszwecken wird für die Scheune zwischen 0 %/a und 10 %/a variiert.

Anlagenkosten und Kapitalherkunft

Die Anlagenkosten ergeben sich aus den Angeboten und Rechungen der Fa. Elektro Wilhelm. Sie belaufen sich für die PV-Anlage inklusive Montage ohne Umsatzsteuer auf:

- Scheune: **45.209,93 €**
- Elm Süd: **39.277,79 €**
- Elm Ost: **54.500,33 €**

Fa. Wilhelm geht von einer Finanzierung zu 96 % aus Fremdkapital und zu 4 % aus Eigenkapital aus. Hiervon wird bei den weiteren Betrachtungen abgewichen. Es wird von **100 % Fremdfinanzierung** ausgegangen.

Kreditzins, Laufzeit und Tilgung

Die Fa. Wilhelm geht von einem Kreditzins von 3,4 %/a aus, wobei das erste Jahr tilgungsfrei ist. Der Zins ist fest über die 15 Jahre Kreditlaufzeit angenommen.

Konservativ gerechnet wird der Kredit ab dem 1. vollständigen Jahr getilgt und läuft dann über 20 Jahre (höhere Zinslast). Außerdem wird – zum Ausgleich der Unsicherheit der Zinsentwicklung nach den 10 Jahren Zinsbindung ein Zins von 5 %/a angenommen.

Zu Vergleichszwecken wird für die Scheune zwischen 3,4 %/a mit 10 Jahren Laufzeit und 4,5 %/a mit 20 Jahren Laufzeit variiert. Mit diesen Variationen soll gezeigt werden, dass diese sich erheblich auf die Gewinne einer PV- Anlage auswirken. Der realistische Wert wird mit 4,5 %/a [13] und 15 Jahren Laufzeit angesehen. Das bedeutet, dass das geliehene Geld über einen Zeitraum von 15 Jahren mit einem Zins von 4,5 %/a zurückgezahlt wird.

Einspeisevergütung

Die Sätze für die Einspeisevergütung betragen:

- Scheune: 0,3914 €/kWh (100 % Einspeisung) oder 0,2276 €/kWh (100 % Selbstnutzung)
- Elm: 0,3884 €/kWh (100 % Einspeisung) oder 0,1916 €/kWh (100 % Selbstnutzung)

Preis und Preissteigerung für Strom

Da sowohl Varianten mit und ohne selbst genutzten Strom interessant für den Kunden sein können, muss die Preissteigerung des Stroms der nächsten 20 Jahre berechnet werden.

Der **heutige Preis** für Strom wird mit **0,155 €/kWh** (Mittelwert des Jahres 2010) angesetzt. Der Preissteigerungsindex lag in den letzten 10 Jahren in Neuerkerode bei 7,6 %/a [10].

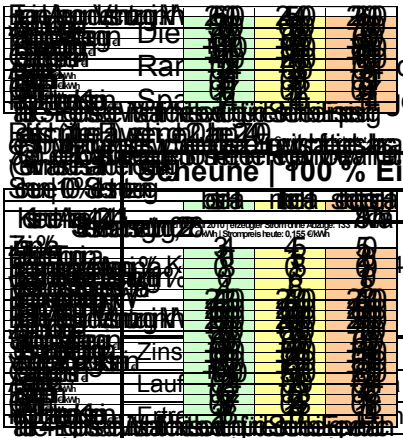
Je nach Quelle liegt die prognostizierte Preissteigerung für Strom in den nächsten 20 Jahren zwischen 3 und 9 %/a. Angesichts der immer stärker ansteigenden Energiepreise, aufgrund der Subventionierung von regenerativen Energien, wäre eine Berechnung mit 3 % Preissteigerung recht konservativ.

Deshalb werden für die weiteren Betrachtungen drei verschiedene Szenarien – **mit 4, 6 und 8 %/a** – gerechnet, um deutlich zu machen, welche Auswirkungen der Strompreis auf die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage mit Selbstnutzung hat.

Weitere Kosten und Versicherungen

Die Fa. Elektro Wilhelm setzt zusätzlich Versicherungskosten in Höhe von 0,3 % der Anlagenkosten an. Diese Kosten werden in allen weiteren Betrachtungen so angenommen und auch nicht variiert.

6.2 Ergebnisse für die Scheune



beiden Tabellen zeigen die Gesamtergebnisse unter verschiedenen den jeweils 3 Varianten geänderten Parameter sind in den 3 farbigen estellt.

Scheune | 100 % Einspeisung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
.241,41 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 13378 kWh/a Einspeisevergütung 0,3914 €/kWh			
Zins	3,4	4,5	5,0
Lauf	10	15	20
n Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	274.200	274.200	274.200
Ertrag incl. Alterung, in kWh	266.000		

Der Fall der Selbstnutzung des Stroms schneidet deutlich besser ab als die Einspeisung. Es muss jedoch die Einspeisevergütung erreicht werden, die sich nach dem EEG für eine vor 1.7.2010 installierte Anlage ergibt. Außerdem wurde 100 % Selbstnutzung unterstellt. Dieser Umstand ist in Neuerkerode möglich, da nur über einen großen Hauptzähler abgerechnet wird. Solange die installierten PV- Anlagen nicht mehr als den kompletten Verbrauch der Stiftung decken, kann von 100% Selbstnutzung ausgegangen werden. So ergeben sich realistisch fast 60.000 € Gewinn für die Anlage auf der Scheune. Jede Kilowattstunde erzeugten Stroms liefert langfristig einen mittleren Reingewinn von etwa 24 Cent (Gewinn aus der staatlichen Förderung und der vermiedenen Strombezugskosten).

6.3 Variante: Auswirkung des e.on-Vertrags auf die Scheune

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamtergebnisse unter der Annahme der von e.on vertraglich vorgeschlagenen Vergütung bei Selbstverbrauch von 0,1767 €/kWh. Dieser Wert ist zu niedrig und entspricht nicht dem EEG für Anlagen mit Installation und Inbetriebnahme vor dem 1.7.2010.

Scheune | 100 % Selbstnutzung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 44.241,41 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 13378 kWh/a Selbstverbrauchsvergütung: **0,1767 €/kWh** | Strompreis heute: 0,155 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Verteuerung des Strompreises, in %/a	4	6	8
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	274.200	274.200	274.200
Ertrag incl. Alterung, in kWh	266.000	260.600	250.300
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	266.000	245.400	226.000
Zins und Tilgung, in €	-52.900	-61.800	-71.000
Wartung und Versicherung, in €	-6.800	-6.800	-6.800
Selbstnutzungsvergütung, in €	+47.000	+43.400	+39.900
vermiedene Strombezugskosten, in €	+99.600	+72.500	+53.100
Gesamtergebnis, in €	**+86.900**	**+47.200**	**+15.200**
Ausgaben in €/kWh	-0,224	-0,280	-0,344
Einnahmen in €/kWh	0,551	0,472	0,412
Gewinn in €/kWh	0,327	0,192	0,067
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	2,46	1,69	1,20

Tabelle 5 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Eigenverbrauch

Unter ansonsten mittleren Bedingungen würde man bei 100 % Selbstnutzung des Stroms eine Vergütung von ca. 12.500 € verlieren. Jede Kilowattstunde erzeugten Stroms liefert langfristig einen mittleren Reingewinn von etwa 19 statt 24 Cent (Gewinn aus der staatlichen Förderung und der vermiedenen Strombezugskosten).

Es ist zwar im Moment keine Selbstnutzung vorgesehen, dies kann sich aber ggf. nach Nutzungsänderung der Scheune oder Umbau des Einspeisepunktes noch ändern. Daher sollte der Vertrag geändert werden, siehe Kapitel 3.6.

6.4 Variante: Installation der Scheuen-Anlage 2011

Die nachfolgenden beiden Tabellen zeigen die Gesamtergebnisse für die Scheune, wenn sie zu den verminderten Fördersätzen erst 2011 ans Netz gegangen wäre. Diese Voraussetzung würde erhebliche Vergütungseinbußen zur Folge haben und im schlechtesten Fall die betrachtete Anlage unwirtschaftlich machen.

Scheune 2011 | 100 % Einspeisung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 44.241,41 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 13378 kWh/a Einspeisevergütung **0,2874 €/kWh**			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	274.200	274.200	274.200
Ertrag incl. Alterung, in kWh	266.000	260.600	250.300
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	266.000	245.400	226.000
Zins und Tilgung, in €	-52.900	-61.800	-71.000
Wartung und Versicherung, in €	-6.800	-6.800	-6.800
Einspeisevergütung, in €	+76.400	+70.500	+64.900
Gesamtergebnis, in €	**+16.700**	**+1.900**	**-12.900**
Ausgaben in €/kWh	-0,224	-0,280	-0,344
Einnahmen in €/kWh	0,287	0,287	0,287
Gewinn in €/kWh	0,063	0,008	-0,057
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	1,28	1,03	0,83

Tabelle 6 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung

Realistisch ergibt sich bei 100 % Einspeisung dann ein Nullsummenspiel. Wie in Kapitel 3.6 Fördermittel und EEG bereits erläutert, wird seit 2010 versucht, die Betreiber zur Selbstnutzung anzuregen und die Anzahl der Anlagen die zu 100% einspeisen zu verringern.

Scheune 2011 | 100 % Selbstnutzung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 44.241,41 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 13378 kWh/a Selbstverbrauchsvergütung: **0,1543 €/kWh** | Strompreis heute: 0,155 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Verteuerung des Strompreises, in %/a	4	6	8
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	274.200	274.200	274.200
Ertrag incl. Alterung, in kWh	266.000	260.600	250.300
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	266.000	245.400	226.000
Zins und Tilgung, in €	-52.900	-61.800	-71.000
Wartung und Versicherung, in €	-6.800	-6.800	-6.800
Selbstnutzungsvergütung, in €	+41.000	+37.900	+34,900
vermiedene Strombezugskosten, in €	+99.600	+72.500	+53.100
Gesamtergebnis, in €	**+80.900**	**+41.700**	**+10.100**
Ausgaben in €/kWh	-0,224	-0,280	-0,344
Einnahmen in €/kWh	0,529	0,450	0,389
Gewinn in €/kWh	0,304	0,17	0,045
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	2,36	1,61	1,13

Tabelle 7 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Eigenverbrauch

Der Fall der Selbstnutzung des Stroms schneidet deutlich besser ab als die Einspeisung, wenn auch nicht ganz so gut wie bei Inbetriebnahme 2010. Es ist trotz derzeit bereits verminderter staatlicher Zuschüsse wesentlicher Gewinn zu verzeichnen. Jede Kilowattstunde erzeugten Stroms würde langfristig einen mittleren Reingewinn von etwa 17 Cent (Gewinn aus der staatlichen Förderung und der vermiedenen Strombezugskosten) liefern.

6.5 Ergebnisse für Elm

Die nachfolgenden beiden Tabellen zeigen die Gesamtergebnisse unter verschiedenen Randdaten für die Anlagen auf dem Dach des Gebäudes Elm. Die in den jeweils 3 Varianten geänderten Parameter sind in 3 farbigen Spalten gegenübergestellt.

Elm | 100 % Einspeisung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 93.778,12 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 28868 kWh/a Einspeisevergütung 0,3884 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	591.800	591.800	591.800
Ertrag incl. Alterung, in kWh	573.900	562.400	540.200
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	573.900	529.500	487.600
Zins und Tilgung, in €	-112.200	-131.000	-150.500
Wartung und Versicherung, in €	-14.500	-14.500	-14.500
Einspeisevergütung, in €	+222.900	+205.700	+189.400
Gesamtergebnis, in €	**+96.300**	**+60.300**	**+24.500**
Ausgaben in €/kWh	-0,221	-0,275	-0338
Einnahmen in €/kWh	0,388	0,388	0,388
Gewinn in €/kWh	0,168	0,114	0,05
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	1,76	1,41	1,15

Tabelle 8 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Einspeisung

Realistisch werden in den 20 Jahren 60.300 € Gewinn erwirtschaftet, wenn der Strom vollständig eingespeist wird, wovon in Neuerkerode aber nicht auszugehen ist.

Der Fall der Selbstnutzung des Stroms schneidet auch bei diesem Gebäude deutlich besser ab als die Einspeisung, als Installationsdatum der Anlage wird Ende Juni 2010 vertraglich von eon akzeptiert. Es ergeben sich dann realistisch etwa 112.500 € Gewinn über den Gesamtzeitraum.

Jede Kilowattstunde erzeugten Stroms liefert langfristig einen mittleren Reingewinn von etwa 21 Cent (Gewinn aus der staatlichen Förderung und der vermiedenen Strombezugskosten). Der Gewinn liegt etwa 3 Cent unter dem Ergebnis für die Scheune.

Elm | 100 % Selbstnutzung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 93.778,12 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 28868 kWh/a Selbstverbrauchsvergütung: 0,1916 €/kWh | Strompreis heute: 0,155 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Verteuerung des Strompreises, in %/a	4	6	8
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	591.800	591.800	591.800
Ertrag incl. Alterung, in kWh	573.900	562.400	540.200
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	573.900	529.500	487.600
Zins und Tilgung, in €	-112.200	-131.000	-150.500
Wartung und Versicherung, in €	-14.500	-14.500	-14.500
Selbstnutzungsvergütung, in €	+110.000	+101.500	+93.400
vermiedene Strombezugskosten, in €	+215.000	+156.400	+114.500
Gesamtergebnis, in €	**+198.300**	**+112.500**	**+43.000**
Ausgaben in €/kWh	-0,221	-0,275	-0,338
Einnahmen in €/kWh	0,566	0,487	0,426
Gewinn in €/kWh	0,346	0,212	0,088
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	2,57	1,77	1,26

Tabelle 9 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Eigenverbrauch

6.6 Variante: kleinere Anlage für Elm

Um für den gesamten Ertrag eine Einspeisevergütung von 0,3914 €/kWh zu bekommen, hätte die PV-Anlage kleiner gewählt werden können. Zu diesem Zweck wird eine Variante mit modifizierter Anlagengröße berechnet.

Die Leistung des Ostdaches wird reduziert, da diese einen geringeren spezifischen Ertrag hat als die des Süddaches. Mit nur 69 (statt 96) installierten Modulen würde eine Leistung von 15,18 kWp erreicht werden. Zusammen erreichen so beide Anlagen eine Leistung von 29,92 kWp.

Die Kosten der Investition für die Ostanlage werden nun genauso hoch angesetzt wie für die Südanlage, weil beide etwa gleich groß sind. Der Ertrag wird flächenanteilig gemindert.

Elm mit kleinerer Anlage | 100 % Einspeisung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 78.555,58 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 23946 kWh/a Einspeisevergütung 0,3914 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	490.900	490.900	490.900
Ertrag incl. Alterung, in kWh	476.100	466.500	439.300
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	476.100	448.100	404.500
Zins und Tilgung, in €	-94.000	-109.700	-126.100
Wartung und Versicherung, in €	-12.100	-12.100	-12.100
Einspeisevergütung, in €	+186.300	+171.900	+158.300
Gesamtergebnis, in €	**+80.300**	**+50.100**	**+20.200**
Ausgaben in €/kWh	-0,223	-0,277	-0,342
Einnahmen in €/kWh	0,391	0,391	0,391
Gewinn in €/kWh	0,169	0,114	0,05
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	1,76	1,41	1,15

Tabelle 10 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Einspeisung

Elm mit kleinerer Anlage | 100 % Selbstnutzung			
	bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Kosten der Anlage: 78.555,58 € | Installation Ende Juni 2010 | erzeugter Strom ohne Abzüge: 23946 kWh/a Selbstverbrauchsvergütung: 0,2276 €/kWh | Strompreis heute: 0,155 €/kWh			
Zins, in %/a	3,4	4,5	5,0
Laufzeit der Tilgung, in a	10	15	20
Ertragsminderung wegen Alterung, in %/a	0,3	0,5	0,9
Ertragsminderung wegen Verschmutzung, in %	0	6	10
Verteuerung des Strompreises, in %/a	4	6	8
Ertrag ohne Abminderung, in kWh	490.900	490.900	490.900
Ertrag incl. Alterung, in kWh	476.100	466.500	439.300
Ertrag incl. Alterung und Verschmutzung, in kWh	476.100	448.100	404.500
Zins und Tilgung, in €	-94.000	-109.700	-126.100
Wartung und Versicherung, in €	-12.100	-12.100	-12.100
Selbstnutzungsvergütung, in €	+108.400	+100.000	+92.100
vermiedene Strombezugskosten, in €	+178.300	+129.800	+95.000
Gesamtergebnis, in €	**+180.600**	**+107.900**	**+48.900**
Ausgaben in €/kWh	-0,223	-0,277	-0,342
Einnahmen in €/kWh	0,602	0,523	0,463
Gewinn in €/kWh	0,379	0,246	0,121
Faktor Einnahmen/Kosten in €/€	2,7	1,89	1,35

Tabelle 11 – modifizierte Wirtschaftlichkeitsbewertung für Elm bei Eigenverbrauch

Die Aussage der Wirtschaftlichkeitsbewertung bleibt bestehen: Eigenverbrauch ist günstiger als Einspeisung. Bei mittleren Randdaten ergibt sich im Vergleich zu der real ausgeführten Anlage kaum ein wirtschaftlicher Nachteil.

Jede Kilowattstunde erzeugten Stroms würde langfristig einen mittleren Reingewinn von knapp 25 Cent (Gewinn aus der staatlichen Förderung und der vermiedenen Strombezugskosten) bringen. Das wären knapp 4 Cent/kWh mehr als bei der – real vorhandenen – großen Anlage. Der Gewinn wäre vergleichbar mit dem der Scheune.

6.7 Vergleich der Ergebnisse mit denen in der Angebotsphase

Im Zuge der Planung der PV-Anlagen in Neuerkerode hat Firma Elektro Wilhelms drei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Gebäude Scheune und Elm erstellt und den Zuschlag für den Bau dieser Anlagen bekommen.

Die in diesen Berechnungen getroffenen Annahmen wurden in Kapitel 6.1 kommentiert.

Es fällt auf, dass insbesondere die Berechnung von Zins und Tilgung nicht linear erfolgt, wie dies bei einem Kredit der Fall ist. Außerdem werden die Überschüsse der Vorjahre rechnerisch mit 3 % verzinst, wovon in Neuerkerode nicht ausgegangen wird. Auch wird der Berechnung nur 96 % der Investitionssumme tatsächlich zugrunde gelegt, die 4 % Eigenanteil sind in der Berechnung nicht wirksam. Eine genaue Auseinandersetzung mit der Berechnung ist im Anhang zu finden. Zukünftige Angebote und Wirtschaftlichkeitsberechnungen sollten besser auf die Anforderungen und Umstände in Neuerkerode abgepasst werden.

Daneben weichen die tatsächlichen Anlagenkosten etwas von denen der Wirtschaftlichkeitsbewertung zugrunde gelegten ab und es entfällt rechnerisch für das erste Jahr wegen der späteren Inbetriebnahme die Vergütung für 5 Monate (Februar bis Juni).

			bester Fall	mittlerer Fall	schlechtester Fall
Scheune	100 % Selbstnutzung	Kapitel 6.2	+100.400	+59.700	+26.700
	100 % Einspeisung		+44.400	+27.400	+10.600
		Wilhelm	+55.870 €		
Elm	100 % Selbstnutzung	Kapitel 6.5	+198.300	+112.500	+43.000
	100 % Einspeisung		+96.300	+60.300	+24.500
		Wilhelm	+128.409 €		

Tabelle 12 – Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung für die Scheune bei Einspeisung

Fazit des Vergleichs: bei der Scheune wird der Gewinn vermutlich ähnlich dem prognostizierten liegen. Die Anlage kann die Prognose ggf. sogar übertreffen. Dies ist abhängig, wie stark die Verschmutzung und die Alterung der Module den Ertrag vermindert.

Bei Elm kann die Prognose vielleicht knapp erreicht werden. Das wird aber erst durch die **Selbstnutzungsquote von 100%** machbar, die in der **Angebotsphase nicht unterstellt** wurde.

Vergleicht man die **Angebotsprognose mit den Gewinnen für 100% Einspeisung**, stellt sich heraus, dass bei einer solchen Konstellation die **Gewinne weit unter der Prognose** gelegen hätten.

7 Ausblick

Das folgende Kapitel soll einen Überblick darüber geben, wie die zukünftige Stromversorgung mit PV- Anlagen aussehen könnte und was dabei zu beachten ist. Zudem sollen einige Fragen zum EEG und der Erstellung neuer PV- Anlagen geklärt werden.

7.1 EEG

Im Jahr 2009 wurde das EEG mit dem Hintergrund der Entlastung der Netze novelliert. Dazu wurde verstärkt auf die Selbstnutzung des durch PV- Anlagen erzeugten Stroms gesetzt. Anders als in den Jahren zuvor, wird seit Januar 2010 der selbstgenutzte Strom vergütet. Zudem muss die selbstgenutzte Kilowattstunde nicht bezahlt werden. So ergibt sich durch Einsparung und Vergütung ein höherer Gewinn, als bei der Einspeisung in das Stromnetz.

Dies tritt jedoch nur für Kleinabnehmer ein, da diese i. d. R. einen höheren Strompreis bezahlen müssen. Großabnehmer mit niedrigeren Strompreisen (ca. 13 Ct/kWh) sollten lieber zu 100% einspeisen, da der Gewinn dort größer ist. Dieser Fakt steht im Widerspruch zu den Zielen des EEG.

Das folgende Beispiel zeigt eine solche Konstellation:

Kleinverbraucher (Strompreis 20 Ct/kWh; unter 30 kW PV-Anlage; Errichtung 2011):

Einspeisevergütung:		= 28,74 Ct/kWh
100% Eigenverbrauch:	15,43 Ct/kWh + 20 Ct/kWh	= 35,43 Ct/kWh
		➔ **Selbstnutzung!**

Großverbraucher (Strompreis 13 Ct/kWh; unter 30 kW PV-Anlage; Errichtung 2011):

Einspeisevergütung:		= 28,74 Ct/kWh
100% Eigenverbrauch:	15,43 Ct/kWh + 13 Ct/kWh	= 28,43 Ct/kWh
		➔ **Einspeisung!**

Das Beispiel zeigt, dass es für Großabnehmer mit Stromtarifen unter 13,31 Ct/kWh (=Einspeisevergütung Eigenverbrauch – Einspeisevergütung Selbstnutzung) uninteressant ist, den Strom selbst zu nutzen.

Können weniger als 100% des Stroms selbst genutzt werden, liegt die Grenze des Strompreises sogar höher, da die Vergütung geringer wird. Äquivalent gilt dieses Beispiel auch für PV- Anlagen bis 500 kW.

Da die Stiftung Neuerkerode einen Strompreis von 15,5 Ct/kWh zahlen muss, zählt sie im Sinne dieser Überlegungen nicht als "Großverbraucher". Sie sollte der Strom der PV- Anlagen vollständig selbst nutzen.

7.2 Verschwendungspotential

Aufgrund der höheren Vergütung bei 100% Eigenverbrauch stellte sich im Laufe der Ausarbeitung die Frage, ob sich eine Verschwendung des erzeugten Stromes lohne, um eine höhere Eigenverbrauchsquote zu erzielen.

Um dieses zu verdeutlichen wurde eine PV- Anlage auf einem EFH betrachtet. Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen die Nutzung eine PV- Anlage im EFH- Bereich. Zur Verbesserung der Selbstnutzung von 25 % auf 50 % wird tagsüber Strom (2000 kWh) verschwendet. Das Beispiel zeigt, dass es sich nicht lohnt selbst erzeugten Strom zu verschwenden, um den Prozentsatz der Selbstnutzung zu steigern und um die Gewinne zu erhöhen.

EFH	gesamt	tagsüber	Verschwendung	abends
Verbrauch	5000	2000	0	3000
Erzeugung PV		8000		

25 % Eigennutzung

Strommenge	Preis/Fördersatz	Vergütung	Einsparung	Kosten	Summe
kWh	€/kWh	€	€	€	€
2000	0,1236	247	400	0	647
6000	0,2874	1724	0	0	1724
-3000	0,2000	0	0	-600	-600
					1772

Tabelle 13- EFH PV-Anlage ohne Verschwendung

EFH	gesamt	tagsüber	Verschwendung	abends
Verbrauch	7000	2000	2000	3000
Erzeugung PV		8000		

50 % Eigennutzung

Strommenge	Preis/Fördersatz	Vergütung	Einsparung	Kosten	Summe
kWh	€/kWh	€	€	€	€
2000	0,1411	282	400	0	682
2000	0,1411	282	0	0	282
4000	0,2874	1150	0	0	1150
-3000	0,2000	0	0	-600	-600
					1514

Tabelle 14- EFH PV- Anlage mit Verschwendung

Jedoch ist zu erkennen, dass der Gewinn (fett gedruckt) des zweiten Beispiels geringer ist als der Gewinn des ersten Beispiels. Das liegt daran, dass der verschwendete Strom keinen Nutzen hat.

Würde der „verschwendete“ Strom für einen Nachtspeicherofen oder einen Akku genutzt werden, der sich tagsüber auflädt und später wieder sinnvoll entlädt, würde das zweite Beispiel mehr Gewinn erzielen. Jedoch kann man hier nicht von „Verschwendung“ ausgehen.

Stromverschwendung, nur um die Selbstnutzung zu erhöhen, ist sowohl aus **wirtschaftlicher** als auch aus **ökologischer Sicht nicht sinnvoll**.

7.3 Empfehlung für den Anlagenausbau

Aufgrund der hohen Rendite der bestehenden PV-Anlagen und der wirtschaftlichen Erzeugung von Strom zum Eigenverbrauch, stellt sich die Frage, ob weitere Anlagen auf den Dächern der Stiftung installiert werden sollen.

Betrachtet man die Degression des EEG und die steigenden Strompreise in den nächsten Jahren, wird es weiterhin lohnenswert bleiben, eine PV- Anlage zu betreiben. Dies ist vor allem dann gegeben, wenn der erzeugte Strom selbst genutzt werden kann, am besten zu 100 %.

Deshalb sollte es Ziel der Stiftung sein, eine Selbstnutzung von 90 … 100 % nicht zu unterschreiten. Laut Bericht „Elektroverbraucher“ [14] des Grundlagenprojektes liegt die Minimallast bei 140 kW Leistung. Da PV- Anlagen mit einer Peak Leistung von 1 kWp nur unter Laborbedingungen 1 kW Strom erzeugen können, sollte die Leistung aller PV-Anlagen in Neuerkerode eine Peak Leistung von ca. 200 kW nicht überschreiten, um eine Einspeisung des Stroms zu vermeiden.

Bei neu installierten Anlagen sollte darauf geachtet werden, die bestmöglich ausgerichteten Dachflächen für die Anlagen zu nutzen, um einen Ertrag von ca. 850 kWh/(kWp*a) zu erzielen. Würden die gleichen Module verwendet werden, wie bei Haus Elm, würden zu den bereits ca. 50 kWp noch 150 kWp installiert werden können. Das entspricht einer Fläche von ca. 1000 m² und einem zusätzlichem jährlichen Ertrag von 130.000 kWh/a.

Zusammen mit den beiden Anlagen von Haus Elm und der Scheune würden pro Jahr ca. 170 MWh/a Strom durch Photovoltaikanlagen erzeugt werden. Das entspricht 7 … 8 % des Gesamtenergiebedarfs der Stiftung.

Grundlegend ist es für die Stiftung auch weiterhin wirtschaftlich, neue PV- Anlagen zu errichten, da die Rendite deutlich höher ist als bei vergleichbaren regenerativen Energieerzeugern. Jedoch sollte eine Leistung von 200 kW nicht überschritten werden, um eine Selbstnutzungsquote von 90 % … 100 % nicht zu unterschreiten.

Die komplette Deckung der Grundlast durch PV-Anlagen ist ohne Zusatzaufwand nicht möglich. Hierzu müssten große Akkumulatoren (Akkus) durch den PV- Strom geladen werden. Dabei entstehen Verluste, die die Wirtschaftlichkeit verschlechtern würden. Deshalb sollte weiter auf einen Energiemix gesetzt werden und „nur“ einen Teil der benötigten Energie (Strom) durch PV- Anlagen decken.

7.4 Anlage Haus Elm

Da aufgrund von zeitlichen und terminlichen Schwierigkeiten seitens des Energieversorgers bisher zu keiner Abnahme der Anlage Haus Elm gekommen ist, wird der seit 2010 erzeugte Strom nicht vergütet. Zudem ist der Energieversorger seit kurzem zu keiner Stellungnahme mehr bereit. Deshalb wird seitens der Stiftung auf eine baldige Entscheidung, im schlechtesten Fall durch juristische Hilfe, gedrängt.

Vor der Installation neuer Anlagen sollte der Ausgang dieser Sachlage abgewartet werden, um eine erneute Verzögerung bei der Vergütung zu vermeiden.

8 Fazit

Das Ziel des Projekts der Stiftung Neuerkerode ist es, bis zum Jahre 2050 den Bedarf an Energie zu 80 … 100 % aus regenerativen Energien zu decken. Für den Bereich der Stromerzeugung bedeutet dies, dass ein Bedarf von über 2.000 MWh/a gedeckt werden müsste. Ein Teil dieses Bedarfes kann mittel- und langfristig über die Erzeugung von Strom durch Photovoltaikanlagen gedeckt werden.

Die hier betrachteten PV-Anlagen auf dem Dach des Gebäudes Elm und der Scheune haben bei einer Solarfläche von 378 m^2 einen jährlichen Stromertrag von knapp 40 MWh/a. Dies entspricht einem Prozentsatz von etwa 2 % am Gesamtverbrauch.

Hinsichtlich der Anlagen ist zu bemerken: der messtechnisch nachgewiesene Ertrag liegt in etwa bei dem der Planung, was als sehr gut zu bewerten ist!

Um den gesamten Bedarf zu decken, müsste eine Modulfläche von knapp 20.000 m^2 aufgestellt werden. Dies erscheint aufgrund der begrenzten Dachflächen in Neuerkerode als nicht realisierbar. Realistisch könnten langfristig 7 … 8 % des Jahresbedarfs an Strom mit einer viermal so großen Fläche wie heute erreicht werden, ohne dass Speichertechnologien eingesetzt werden müssen.

Deshalb müssen auch andere Technologien zur regenerativen Stromerzeugung, wie zum Beispiel die Nutzung der Windkraft oder BHKWs einen Teil zur Verwirklichung der gesteckten Ziele beitragen. Zudem sollte weiter darauf gesetzt werden, den Bedarf an Strom - entgegen dem normalen Trend - konstant zu halten oder zu reduzieren.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die vorhandenen Dach- und Freiflächen möglichst sinnvoll genutzt werden sollten. Dahingehend kann die Planung bei künftigen Projekten folgendermaßen optimiert werden:

- Möglichkeiten für Wartung schaffen (Abstände der Module und Zugänglichkeit beachten)
- optimale Winkel wählen (Scheune: zu flach für gute Selbstreinigung und nicht ganz optimal für den Ertrag)
- Luftzirkulation beachten (Scheune: nicht optimal)
- Anlagenleistung so wählen, dass 100 % Selbstnutzung gewährleistet wird
- Aufnahme der Ertragsdaten in eine kontrollierte Überwachung (Facility Management)

Allerdings kann der Ertrag nur auf diesem Niveau bleiben, wenn die Anlagen gereinigt werden. Wann der richtige Zeitpunkt gekommen ist, ergibt sich aus der Messung von Ertragsverlusten. Eine jährliche oder zweijährliche Reinigung erscheint aus heutiger Sicht realistisch.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen ist nicht so hoch, wie bei der Planung unterstellt, aber dennoch gegeben. Abweichungen zwischen den Prognosen ergeben sich durch andere Herangehensweisen bei der Berechnung von Tilgungs- und Zinskosten sowie bei der unterschiedlichen Berücksichtigung der Verschmutzung.

Für künftige Projekte muss von einer deutlich geringeren Vergütung des Stroms ausgegangen werden. Eine Anlage mit vollständiger Einspeisung ins öffentliche Netz ist bereits zu den heutigen Fördersätzen für die Stiftung keine wirtschaftlich sinnvolle Lösung mehr.

Durch steigende Strompreise und fallende Vergütungssätze wird die Variante des selbst genutzten Stroms immer interessanter. Es wird eine Selbstnutzung des Stroms eindeutig angeraten! Das heißt, kleine Anlagen auf Dächern großer Verbraucher zu installieren.

Aus jetziger Sicht, sollte eine PV-Anlage geprüft werden, wenn die nächste Dachsanierung ansteht. Von einer verallgemeinerbaren Wirtschaftlichkeit ist nicht auszugehen.

9 Anhang

9.1 Quellen

[1] Wolff / Jagnow; „Antrag des Grundlagenprojektes 2006“ (www.delta-q.de); 2006

[2] Prof. Dr. H. – J. Lewerenz, Dr. H. Jungblut; „Photovoltaik Grundlagen und Anwendungen“; 1995; Springer Verlag Berlin Heidelberg New York

[3] Hans- Joachim Geist; „Photovoltaik- Anlagen planen, montieren, prüfen, warten“; 2007; Elektro Verlag GmbH Aachen

[4] Internetquelle: www.wikipedia.de ;
Link: http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle;
Datum: 20.05.2011; Uhrzeit:17:10 Uhr ;
Link: http://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Degradation;
Datum: 15.06.2011; Uhrzeit: 10:15 Uhr

[5] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie Landesverband Berlin Brandenburg; Sammelmappe; „Photovoltaische Anlagen“, 2011

[6] Internetquelle: http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/betrieb/reinigung
Datum: 25.07.2011; Uhrzeit: 18:00 Uhr

[7] Internetquelle: www.thermovolt.de;
Link: http://www.thermovolt.de/files/alterung_von_pva-modulen.pdf;
Datum: 14.06.2011; Uhrzeit: 12:30 Uhr

[8] EEG; „Vergütungssätze und Degressionsbeispiele nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).vom 31. Oktober 2008 mit Änderungen vom 11. August 2010“; Link: http://www.erneuerbare-energien.de/ files/ pdfs/ allgemein/ application/ pdf/eeg_2009_verguetungsdegression_bf.pdf
Datum: 07.06.2011; Uhrzeit: 11:30 Uhr

[9] BMU; „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz- EEG)“; 25.10.2008;
Link: http://bundesrecht.juris.de/eeg_2009/BJNR207410008.html;
Datum: 31.05.2011; Uhrzeit: 11:30 Uhr

[10] Jagnow/Wolff; „Mediengrunddaten 2010“ (interner Bericht); DBU-gefördertes Umsetzungsprojekt Neuerkerode; Wolfenbüttel, 2011.

[11] Internetquelle: www.sonnen-ertrag.de;
Link: http://www.sonnen-ertrag.de/index.php?entry=globalstrahlung;
Datum: 15.06.2011; Uhrzeit: 15:00 Uhr

[12] Strahlungskarten des DWD; Internetquelle: www.dwd.de

[13] Jagnow/Wolff, „Energiekonzept Neuerkerode“ (interner Bericht); DBU-gefördertes Umsetzungsprojekt Neuerkerode; Wolfenbüttel, 2011.

[14] Jagnow/Deymann/Schmidt/Wolff; „Elektroverbraucher"; DBU-gefördertes Grundlagenprojekt Neuerkerode; Abschlussbericht; Wolfenbüttel 2008.

9.2 Separate Anhänge

1. Unterlagen der Photovoltaikmodule und Wechselrichter, Anlagenaufbau
2. Angebote und Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Firma Elektro Wilhelms
3. Wirtschaftlichkeitsberechnungen (Excel-Dateien)
4. Auswertung der Erträge (Excel-Datei)
5. Erläuterung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Firma Elektro Wilhelm
6. Vergütungssätze EEG
7. Vertragsauszug eon
8. Strahlungsdaten DWD
9. Berechnung des Verschwendungspotentials