Heinz Effelsberg

Solaranlagen
an Dach und Fassade

Rudolf Müller

Heinz Effelsberg **Solaranlagen an Dach und Fassade**

Solaranlagen an Dach und Fassade

mit zahlreichen Abbildungen und Arbeitshilfen

Heinz Effelsberg, Dipl.-Ing.

Geschäftsführer der Ingenieurgesellschaft für Umwelt- und regenerative Energiesysteme, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der Industrie- und Handelskammer.

Rudolf Müller

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

© Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2012
Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschließlich seiner Bestandteile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Maßgebend für das Anwenden von Normen ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. Maßgebend für das Anwenden von Regelwerken, Richtlinien, Merkblättern, Hinweisen, Verordnungen usw. ist deren Fassung mit dem neusten Ausgabedatum, die bei der jeweiligen herausgebenden Institution erhältlich ist. Zitate aus Normen, Merkblättern usw. wurden, unabhängig von ihrem Ausgabedatum, in neuer deutscher Rechtschreibung abgedruckt.

Das vorliegende Werk wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Verlag und Autor können dennoch für die inhaltliche und technische Fehlerfreiheit, Aktualität und Vollständigkeit des Werkes und seiner elektronischen Bestandteile (CD-ROM, DVD, Internetseiten) keine Haftung übernehmen.

Wir freuen uns Ihre Meinung über dieses Fachbuch zu erfahren. Bitte teilen Sie uns Ihre Anregungen, Hinweise oder Fragen per E-Mail: fachmedien.dach@rudolf-mueller.de oder Telefax: (02 21) 54 97 6207 mit.

Lektorat: Mona Grosche, Bonn
Umschlaggestaltung: Designbüro Lörzer, Köln
Satz: Satz+Layoutwerkstatt: Sylvia Wienpahl, Köln
Druck und Bindearbeiten: Media-Print Informationstechnologie GmbH, Paderborn
Printed in Germany

ISBN: 978-3-481-02695-0
ISBN: 978-3-481-02997-5 (E-Book)

Vorwort

In den letzten Jahren hat die Photovoltaik technisch und wirtschaftlich eine starke Dynamik erlebt.

Sie hat sich zu einem festen Bestandteil im regenerativen Energiemix neben der Windkraft, der Biomasse, der Umweltwärme und der Wasserkraft entwickelt. Durch die politisch gewollte Energiewende kommen auf die regenerativen Energiearten sowie die Stromnetze in den nächsten Jahren neue Herausforderungen zu.

Der weltweite Markt für Photovoltaik-Anlagen hat sich durch die Vielzahl an Herstellern sowie stetig steigende Produktionskapazitäten in den letzten zwei Jahren stark verändert. Derzeit leiden viele Hersteller von Photovoltaik-Anlagen aufgrund der weltweiten Überkapazitäten unter dem dadurch entstandenen Preisdruck. Dies führt ab sofort sowie in der Zukunft zu einer weltweiten Konsolidierung im Produzentenbereich.

Insbesondere bei privaten Investoren stößt die Photovoltaik aber auf ein ungebremstes Interesse. Diese Klientel gehört traditionell zum Kundenstamm der Dachhandwerker. Die technische Weiterentwicklung sowie die damit verbundene Preisentwicklung der Photovoltaik-Anlagen macht den Solarstrom trotz sinkender Einspeisevergütungen inzwischen auch im Eigenverbrauch wirtschaftlich konkurrenzfähig gegenüber anderen Energiearten.

Der Wandel von der zentralen auf die dezentrale Energieerzeugung macht die Photovoltaik, insbesondere für das Dachhandwerk, zu einem wirtschaftlich interessanten und dauerhaften Geschäftsbereich. Das Dachhandwerk ist aufgrund seiner Kenntnisse, seiner Erfahrungen und seines Know-hows für die sichere und fachgerechte Montage von Photovoltaik-Anlagen prädestiniert. Im Zuge der Wandlung des Photovoltaik-Marktes ist das Qualitätsbewußtsein der Kunden in Bezug auf Material und Dienstleistung sehr gestiegen, was wiederum dem Dachhandwerk durch das dort vorhandene Fachwissen sehr gute Chancen auf dem Markt bietet.

Mühlheim, im Januar 2012

Heinz Effelsberg

CENTROSOLAR

CENIQ

Flachdachmontagesystem mit minimaler Dachlast

=> Keine Modulreihenverbinder

- keine Dachdurchdringung
- durch Laschenbefestigung auch ohne Ballastierung montierbar
- geringe Flächenlast ab 8 kg/m²
- keine Modulreihenverbinder
- aerodynamisch getestet
- freie Modulanordnung ohne Einschränkung durch Modulanzahl und Verbund

www.centrosolar.de

Inhalt

1 Einführung 11

1.1 Solarenergie: die stetige Energiezufuhr der Erde 15
1.2 Physikalische Grundlagen der Solartechnik 15
1.3 Umwandlung von Solarenergie in elektrischen Strom. 15
1.4 Umwandlung von Solarenergie in Wärmeenergie 15

2 Grundlagen der Photovoltaik 17

2.1 Sonneneinstrahlung als Grundlage für Erträge nach Standort. . 17
2.1.1 Die Sonneneinstrahlung in Deutschland 18
2.1.2 Vorhandene Wetterdaten als Grundlage 18
2.1.3 Einfluss der Neigung einer Solaranlage. 18
2.1.4 Einfluss der Ausrichtung einer Solaranlage 19

3 Anlagenkomponenten einer Photovoltaik-Anlage 21

3.1 Modulbauweise: Dickschicht-/Dünnschichtsysteme 21
3.1.1 Dickschicht 21
3.1.2 Dünnschicht. 24
3.2 Module – Photovoltaik-Generator. 28
3.2 1 Wie funktioniert ein Wafer? 29
3.2.2 Waferverschaltung in Modulen 29
3.2.3 Modulaufbau 30
3.2 4 Modulkennlinien. 31
3.2.5 Modulkenngrößen. 32
3.2.6 Temperaturverhalten. 33
3.2.7 Verschaltung von Modulen. 34
3.2.8 Rahmen 35
3.2.9 Elektrischer Anschluss 35
3.2.10 Dünnschichtmodulaufbau 35
3.2.11 Verschaltung von Dünnschichtmodulen. 36
3.2.12 Elektrischer Anschluss 36
3.2.13 Qualitätsnachweise für Module 37
3.3 Wechselrichter 38
3.3.1 Funktion. 38
3.3.2 Wechselrichterarten 39
3 3.3 Kenndaten von Wechselrichtern 42
3.3.4 Wirkungsgrade 43
3.3 5 Zertifizierungen. 44
3.3.6 Grundlagen der Auslegung
(Photovoltaik-Generator – Wechselrichter) 47

3.3.7 Berechnungssoftware 47
3.3.8 Kabel/Kabelverluste. 49
3.4 Überwachung von Photovoltaik-Anlagen 49
3.4.1 Lokale Photovoltaik-Fernüberwachung 52
3.4.2 Photovoltaik-Anlagenüberwachung über Webportal. 52
3.5 Netzanschluss 56
3 5.1 Anforderung der Mittelspannungsrichtlinie. 56
3.5.2 Blindstrom 56
3.5.3 Fernwirkanlagen 57
3.5.4 Feuerwehrschalter 57

4 Photovoltaik-Generator-Anbringung 59

4.1 Steildachanlagen 60
4.1.1 Aufdachsysteme. 60
4.1.2 Grundlagen 61
4.1.3 Systeme. 63
4.1.4 Für die Photovoltaik-Montage problematische Dachaufbauten . 65
4.1.5 Worauf bei der Konzeption einer Steildachanlage zu achten ist. 66
4.2 Indachsysteme 71
4.2.1 Grundlagen 71
4.2.2 Systeme. 72
4.3 Flachdachanlagen 74
4.3.1 Flachdachsysteme 75
4.3.2 Grundlagen 76
4.3.3 Systeme. 76
4.3.4 Probleme bei der Befestigung von Photovoltaik-Anlagen auf Dachabdichtungen aus Kunststoff- oder Bitumenbahnen. 82
4.4 Fassadenanlagen 82
4.4.1 Anbringungssysteme. 83
4.4.1.1 Grundlagen 83
4.4.1.2 Systeme. 84

5 Anlagenkomponenten einer Solarthermieanlage 85

5.1 Solarthermiekollektoren. 87
5.1.1 Flachkollektoren 87
5.1.2 Röhrenmodule. 88
5.1.3 Rohrleitungen 88
5.2 Regelungen. 89
5.3 Wärmespeicher 89
5.4 Auslegung und Dimensionierung 91
5.5 Modulanbringung 93
5.6 Fördersystem in Deutschland für die Solarthermie. 93
5.7 Wirtschaftlichkeit 95

6 Auftretende Kräfte auf die Gebäudehülle. 97

6.1 Gewichte einer Photovoltaik-Anlage 97
6.2 Windlasten. 98
6.3 Schneelasten. 98

7 Blitzschutz einer Photovoltaik-Anlage ... 99

8 Erdung von Photovoltaik-Anlagen ... 101

9 Wirtschaftliche Grundlagen ... 103

9.1 Gesetzliche Grundlagen ... 103
9.1.1 Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ... 103
9.1.2 Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ... 105
9.2 Die Photovoltaikanlage – ein langfristiges Investitionsgut? ... 106

10 Garantien ... 109

10.1 Garantie des Verkäufers ... 110
10.2 Garantie der Komponentenhersteller ... 110

11 Versicherungen ... 113

11.1 Solarversicherung ... 113
11.2 Gebäudeversicherung ... 115

12 Wirtschaftliche Betrachtungen ... 117

12.1 Wirtschaftliche Darstellung einer Photovoltaik-Anlage ... 117
12.2 Wirtschaftliche Darstellung bei Selbstnutzung von durch Photovoltaik-Anlagen erzeugtem Strom ... 122
12.3 Gestehungskosten ... 130

13 Speichersysteme von Solarstrom für den Eigenverbrauch ... 133

14 Planung und Aufnahme von Informationen ... 135

14.1 Verfügbare Auslegungs- und Berechnungssoftware ... 135
14.2 Aufnahme der Gegebenheiten vor Ort ... 138
14.2.1 Hilfsmittel für die Aufnahme von Informationen zur Photovoltaik-Anlagenplanung ... 142
14.3 Verschattung ... 146
14.4 Berücksichtigung der Verschattung ... 147
14.5 Leitfaden zur Informationsaufnahme ... 147

15 Vertragliche Grundlagen ... 149

15.1 Angebot ... 149
15.2 Montagevertrag ... 151
15.3 Einspeisevertrag des Kunden mit dem zuständigen EVU ... 152
15.4 Bundesnetzagentur ... 154
15.5 Abnahme ... 154

16 Wartung 157

16.1 Photovoltaik-Anlage 157
16.2 Thermische Solaranlage 157

17 Zu beachtende Vorschriften und Regelwerke 159

Glossar 161

Stichwortverzeichnis 163

Bildnachweis 164

Inserenten

CENTROSOLAR AG 6
SCHOTT Solar AG 20

1 Einführung

Die Entdeckung photovoltaischer Effekte wird Becquerel um 1839 zugeschrieben, der feststellte, dass der Stromfluss zwischen Platinanoden und -kathoden bei Lichteinstrahlung etwas größer war als im Dunkeln. Gegen 1870 entdeckten zudem britische Ingenieure, dass Selen bei Belichtung seinen elektrischen Widerstand verändert. Dies war der eigentliche Beginn der Forschung zu photovoltaischen Effekten unterschiedlicher Metalle. Ungefähr im Jahr 1875 wurde der Beweis erbracht, dass ein Feststoff Licht direkt in elektrische Energie umwandeln kann. In den nächsten Jahrzehnten wurden im Rahmen dieser Forschungen verschiedene Elemente auf diese photovoltaischen Effekte hin untersucht.

Durch die aufkommende Fotografie wurde als Anwendung u. a. der Selen-Belichtungsmesser entwickelt.

Erst in den Jahren nach 1940 forcierte man jedoch die Entwicklung und man erzielte mit Silizium um 1950 auf kleinen Siliziumwafern Wirkungsgrade von 4 bis 5 %. Den Durchbruch erlangten die photovoltaischen Zellen auf Siliziumbasis durch die Weltraumforschung, die die Photovoltaik als Stromquelle für die ersten Satelliten einsetzte. Der hohe Preis beschränkte deren Anwendung aber auf diesen Einsatzbereich.

Nach der Ölkrise 1973 verstärkte sich das Interesse nach anderen Energiequellen, richtete sich damals allerdings hauptsächlich auf große zentrale Kernkraftwerke. Solarzellen wurden ab 1975 auch für einzelne terrestrische Anwendungen vorgestellt.

Die Entwicklung wurde konstant weitergeführt. In den nächsten 20 Jahren wurden Fertigungstechniken entwickelt, die es zuließen, zu günstigeren Preisen größere Produktionsmengen mit konstanten Qualitäten herzustellen.

Insbesondere Inselanlagen für die Versorgung von Telefon- und Funknetzen in unzugänglichen Regionen wurden forciert. In den Jahren nach 1990 war die Entwicklung so weit fortgeschritten, dass immer mehr netzgekoppelte Photovoltaik-Anlagen zur Stromproduktion eingesetzt wurden. Probleme waren immer noch die hohen Kosten der Photovoltaik-Module und die damit verbundenen hohen Gestehungskosten.

In Deutschland entwickelte sich ab Mitte der 1980er-Jahre die Umweltbewegung. In den 1990er-Jahren beschlossen die ersten Gemeinden auf politischer Ebene, für die Produktion von regenerativem Strom die Gestehungskosten zu vergüten (Freiburg, Aachen). Mit finanziellen Anreizen versuchte auch der Bund, diese Entwicklung zu forcieren (100.000-Dächer-Programm).

Den Durchbruch erzielten die regenerativen Energien im Jahr 2000 durch das beschlossene Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Dieses Gesetz legte die bevorzugte Einspeisung regenerativer Energien in das Stromnetz fest. Außerdem wurde für jede regenerative Energieart ein Einspeisepreis pro produzierter und eingespeister Kilowattstunde (kWh) festgeschrieben.

Das EEG war und ist als Marktanreizprogramm ausgelegt. Durch die erwartete Erhöhung der Produktionsmengen und eine damit verbundene Preisreduzierung der Anlagen wurde im Gesetz eine jährliche Degression der Einspeisevergütung festgelegt. Ziel dieses Gesetzes ist es, in einer überschaubaren Zeitspanne marktgerechte Stromgestehungskosten zu erreichen.

Die deutsche gesetzliche Regelung hat sich inzwischen in dieser oder in leicht abgewandelter Form weltweit durchgesetzt und war der Start in das Zeitalter der regenerativen Energiegewinnung. In Deutschland ist die Stromproduktion aus regenerativen Energien von 4 % im Jahr 2000 (hauptsächlich aus Wasserkraft) auf über 20 % im Jahr 2010 gestiegen.

Parallel zur Gewinnung von regenerativem Strom entwickelte sich nach der Ölkrise 1973 weltweit die Gewinnung von Wärmeenergie aus regenerativen Energiequellen. Die Art der Wärmegewinnung, insbesondere aus Solarstrahlung, war in südlichen Ländern bereits seit Jahrzehnten mit niedrigen Wirkungsgraden üblich (schwarze Wasserfässer auf dem Dach für die Warmwasserversorgung der Gebäude).

Die Entwicklung von Solarthermiemodulen mit hohen Wirkungsgraden auch für Länder mit mittleren Energieeinstrahlungen wurde forciert. Dies ging überein mit der Entwicklung der Heiztechnik auf Niedertemperatursysteme, die sich sowohl im Heizkesselbau als auch in der Art der Kollektortechnik mit Fußbodenheizungen bzw. Niedertemperaturkollektoren durchsetzte.

In Deutschland wurde dieser Entwicklung im Jahr 2009 durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) Rechnung getragen. Dies bedeutet, dass im Neubaubereich bestimmte Prozentsätze des Wärmebedarfs aus regenerativen Energien gewonnen werden müssen.

Weltweit wird diese Entwicklung des Ausbaus der regenerativen Energiegewinnung durch unterschiedliche Problematiken, die in der Diskussion stehen, forciert:

- Erwärmung der Erdatmosphäre durch Erhöhung des CO_2-Gehaltes,
- steigender Energiebedarf der Schwellen- und Entwicklungsländer,
- Endlichkeit der fossilen Energieträger,
- Sicherheit der Kernenergie,
- Endlichkeit des atomaren Energieträgers Uran,
- weltweites Umweltbewusstsein der Bevölkerung.

Die Industriestaaten, insbesondere auch Deutschland, sind hier speziell gefordert. Durch Entwicklung entsprechender Strategien, Techniken und Anlagen werden die Industriestaaten eine Vorreiterrolle spielen müssen.

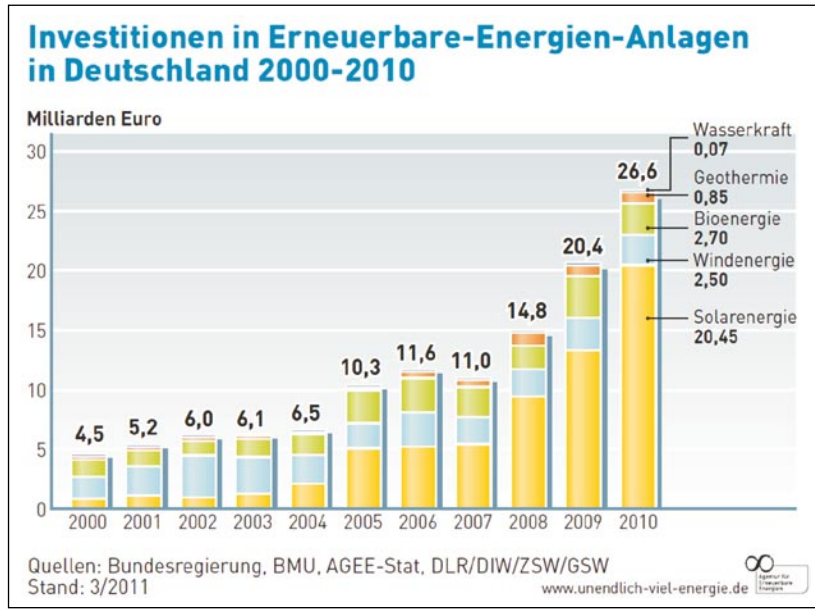

Abb. 1.1: Investitionen in Erneuerbare-Energien-Anlagen

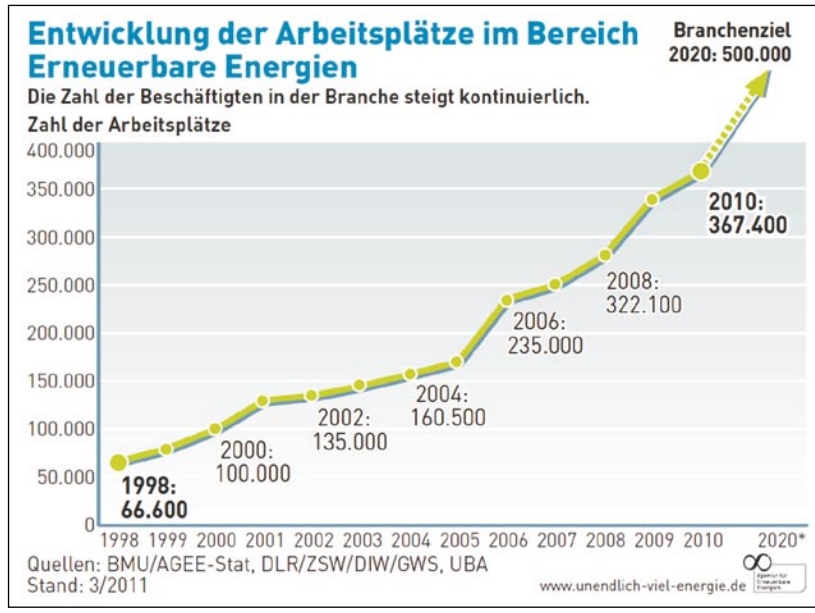

Abb. 1.2: Entwicklung der Arbeitsplätze im Bereich erneuerbare Energien

Betrachtet man den Willen der internationalen Politik, die Erderwärmung auf maximal 2 °C zu begrenzen und die damit erforderliche Reduzierung der jährlichen CO_2-Produktion um 50 bis 80 % bis zum Jahr 2050, so ist zu sehen, welche Anstrengungen weltweit erforderlich sein werden.

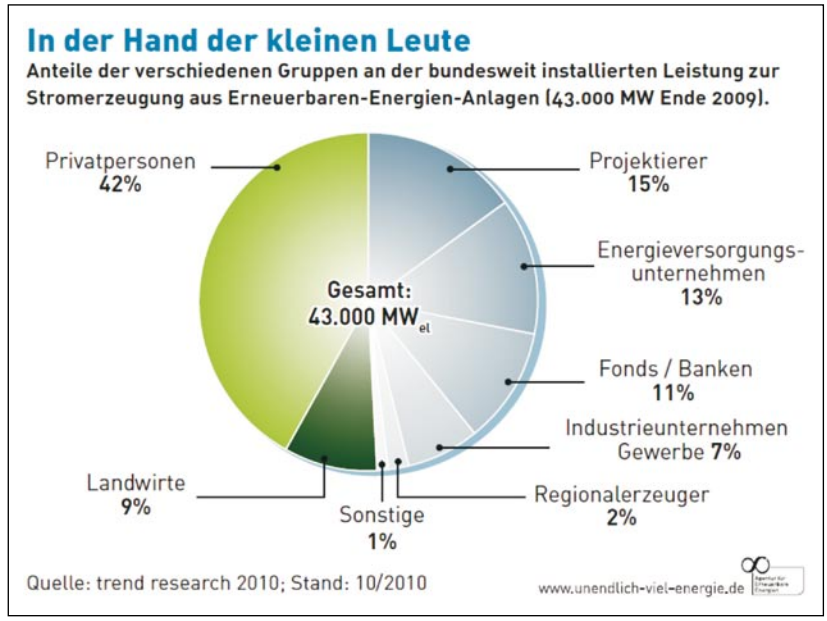

Abb. 1.3: Anteile verschiedener Gruppen an der Stromerzeugung

Richtet man den Blick in Deutschland auf die Entwicklung der Investitionen in Erneuerbare-Energien-Anlagen in den Jahren 2000 bis 2010, so ist erkennbar, welche Wirtschaftskraft die Branche mit ca. 27 Mrd. Euro in Deutschland inzwischen erreicht hat.

Für ein Land wie Deutschland, das von technischer Entwicklung und in hohem Maße von der Exportindustrie lebt, ist die Entwicklung der Arbeitsplätze sehr wichtig. Auch hier ist aus den Statistiken zu sehen, welchen Stellenwert der Bereich der erneuerbaren Energien inzwischen erreicht hat.

Durch den Einsatz der regenerativen Energien zur Stromgewinnung ändert sich auch die Struktur der Eigentümer der Stromgewinnungsanlagen. Die regenerative Energieerzeugung bewirkt eine dezentrale Struktur der Stromerzeugung im Gegensatz zu den bisherigen Strukturen in zentralen Großkraftwerken.

Mit Stand 2010 befinden sich ca. 50 % der Anlagen im Eigentum von Privatpersonen. Nur ca. 15 % sind Eigentum der bisherigen Energieversorgungsindustrie.

Diese Entwicklung des Streubesitzes wird sich durch den weiteren Ausbau der regenerativen Energien noch verstärken.

Die dezentrale Stromerzeugung erfordert ein Umdenken in der Netzstruktur Deutschlands, was zu erforderlichen technischen Änderungen sowohl im Netzbetrieb als auch in den Einspeisebedingungen von Strom aus regenerativen Energiequellen führen wird.

1.1 Solarenergie: die stetige Energiezufuhr der Erde

Die Sonne strahlt pro Jahr eine Energiemenge von etwa $3{,}9 \times 10^{24}$ J auf die Erdatmosphäre, das entspricht $1{,}08 \times 10^{18}$ kWh. Diese Energiemenge umfasst mehr als das 15.000-Fache des Weltprimärenergiebedarfs. Diese auf die Erdoberfläche auftretende Energiemenge wird durch die Wetterbedingungen, z. B. Wolkenbildung, reduziert. Trotzdem ist die Solarenergie von allen möglichen regenerativen Energiequellen diejenige, die am langfristigsten verfügbar ist.

1.2 Physikalische Grundlagen der Solartechnik

Bei einfallendem Licht auf eine Solarzelle werden Elektronen freigesetzt. Dabei werden auf der Vor- und Rückseite der in Schichten eingebrachten Fremdionen positive Ladungsträger gebildet, die sich zu einer Seite der Solarzelle bewegen und somit eine positive und eine negative Waferoberfläche erzeugen. Auf diese Weise wird ein Plus- und Minuspol erzeugt. Jetzt kann durch Anschluss eines Verbrauchers elektrischer Strom fließen. Um größere Strommengen zu erzeugen, ist es notwendig, mehrere Solarzellen miteinander zu verbinden.

1.3 Umwandlung von Solarenergie in elektrischen Strom

Halbleiter verfügen aufgrund ihrer Kristallstruktur in sehr niedrigen Temperaturbereichen nicht über freie Elektronen, sind somit nicht elektrisch leitend und verhalten sich wie Isolatoren. Im Unterschied zu Isolatoren entsteht mit steigenden Temperaturen und einsetzenden Schwingungen (Brown'sche Molekularbewegung) ein Anteil an freien Elektronen im Kristallgitter (Leitungselektronen) und es entsteht eine schwache elektrische Leitfähigkeit. Die im Atomgitter fixierten Elektronen (Valenzelektronen) im Halbleiter sind also anregbar. Dies kann auch durch die Absorption von Photonen durch Elektronen erfolgen, die so auf ein höheres Niveau gehoben werden.

Diese führt, z. B. bei Belichtung, zu einem konstanten Elektronenfluss, der sich in einem konstant zu entnehmenden Strom nutzen lässt.

1.4 Umwandlung von Solarenergie in Wärmeenergie

Lichtenergie der Sonne (Sonnenstrahlung) ist eine elektromagnetische Strahlung mit einer Energie von 8 J/(cm^2 × min.) bzw. 1,35 kW/m^2 (Solarkonstante). Die Strahlung umfasst ein Spektrum von 10^{-16} m bis 10^{6} m Wellenlänge. Sie wird unterteilt in ionisierende Strahlung, optische Strahlung und Hochfrequenzstrahlung. Die Strahlung wird verursacht durch die Reaktion von Wasserstoffatomkernen (Protonen) zu Heliumatomkernen (Kernfusion) mit über 10 Mio. °C im Kern der Sonne. Die Strahlung, die die Erde erreicht, stammt aus einem äußeren Bereich der Sonne, die Temperatur an der Sonnenoberfläche beträgt nur noch ca. 5.000 bis 6.000 °C.

Tabelle 1.1: Wellenlängen des sichtbaren Lichtes

UV-Strahlung	10^{-7} bis $3{,}8 \times 10^{-7}$ m
sichtbares Licht	$3{,}8 \times 10^{-7}$ bis $7{,}8 \times 10^{-7}$ m
Infrarotstrahlung	$7{,}8 \times 10^{-7}$ bis 10^{-3} m

Die optische Strahlung setzt sich aus der UV-Strahlung, dem sichtbaren Bereich und der Infrarotstrahlung zusammen. Der langwellige Bereich der sichtbaren Strahlung und die Infrarotstrahlung werden beim Auftreffen auf Flächen in Wärme umgesetzt.

Diese langwelligen Strahlungen werden für die Solarthermie ausgenutzt.