
I	Abbildungsverzeichnis.....	III
II	Tabellenverzeichnis.....	V
III	Abkürzungsverzeichnis.....	VI
IV	Vorwort.....	VIII
1	Einleitung	1
2	Energieformen und deren Anforderungen	2
2.1	Fossile Energien	5
2.2	Kernenergie	9
2.3	Aktueller Stand der Erneuerbaren Energien	11
2.3.1	Biomasse	16
2.3.2	Wasserkraft.....	18
2.3.3	Windkraft.....	19
2.3.4	Geothermie	20
2.3.5	Photovoltaik	21
3	Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Umwelt und die ökologische Qualität der Erneuerbaren Energien	23
4	Energetische Bewertung der Photovoltaik.....	28
5	Grundlagen und Funktionsweise einer Photovoltaikanlage.....	31
5.1	Anlagensysteme und deren Anwendungsgebiete.....	31
5.1.1	Inselsysteme.....	32
5.1.2	Netzgekoppelte Systeme	33
5.2	Energieertrag in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung.....	34
5.3	Photovoltaischer Effekt und Funktionsweise von Solarzellen	38
5.3.1	Funktionsprinzip einer Solarzelle	39

5.3.2	Aufbau der zur Zeit gebräuchlichen Solarzellen	42
5.4	Bestandteile von PV-Anlagen	47
5.4.1	PV-Module	47
5.4.2	Wechselrichter.....	49
5.4.3	Leitungen und Installationsmaterial	51
5.4.4	Schutz- und Zählereinrichtung	52
5.5	Recycling nicht mehr verwendbarer Module.....	53
6	Photovoltaikanlagen in der Landwirtschaft.....	55
6.1	Planung einer Photovoltaikanlage	57
6.2	Anlagengröße und Modulauswahl	58
6.3	Montagesystem	60
7	Kostenkalkulation einer Photovoltaikanlage.....	70
7.1	Allgemeine Grundlagen	70
7.1.1	Vergütung.....	71
7.1.2	Förderungsmöglichkeit.....	72
7.2	Kostenkalkulation der Photovoltaikanlage am Beispielbetrieb Georg Humpert.....	76
8	Fazit.....	78
9	Anlagen.....	80
10	Literaturverzeichnis.....	85

I Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: .Entwicklung des weltweiten Primärenergieverbrauchs.....	6
Abb. 2: .Verteilung der Reserven von Erdöl und Erdgas auf Ländergruppen.....	8
Abb. 3: Entwicklung der globalen CO ₂ – Emissionen.....	9
Abb. 4: Struktur des Primärenergieverbrauches im Jahre 2003.....	11
Abb. 5: Struktur der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2003.....	16
Abb. 6: Energetisch nutzbare Arten von Biomasse	17
Abb. 7: Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland.....	19
Abb. 8: Reduktionsziele und Co ₂ -Vermeidung	25
Abb. 9: Entwicklung der Erneuerbaren Energien	26
Abb. 10: Energetische Amortisationszeit der verschiedenen Zellenarten.....	27
Abb. 11: Aufteilung der verschiedenen Photovoltaiksysteme.....	31
Abb. 12: Prinzip eines PV-Inselsystems.....	32
Abb. 13: Prinzip einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage	34
Abb. 14: Das Sonnenlicht beim Gang durch die Atmosphäre	35
Abb. 15: Solare Einstrahlungskarte von Deutschland	36
Abb. 16: Prinzip der Aufständigung von Photovoltaikmodulen.....	37
Abb. 17: Kristallstruktur von Silizium und Eigenleitung	38
Abb. 18: Störstellenleitung bei n- und p-dotiertem Silizium.....	39
Abb. 19: Ausbildung einer Raumladungszone am pn-Übergang durch Diffusion von Elektronen und Löchern	40
Abb. 20: Aufteilung der verschiedenen Zellenarten.....	41
Abb. 21: Anordnung der Zellen auf einer Dachfläche.....	47
Abb. 22: Anordnung der Wechselrichter auf der Gebäudeaußenseite	49
Abb. 23: Darstellung einer Photovoltaikanlage auf einem Reitbetrieb.....	54
Abb. 24: Darstellung einer Photovoltaikanlage auf einem landwirtschaftlichen Betrieb	54

Abb. 25: Aufbau des eingesetzten BP4170S Moduls auf dem Betrieb Georg Humpert in Ense-Ruhne	57
Abb. 26: Ausrichtung der Module auf einem Offenfront-Milchviehstall	59
Abb. 27: Verteilung und Installation der Stockschrauben.....	60
Abb. 28: Montage der Photovoltaikmodule auf der Profilschiene.....	60
Abb. 29: Ansicht der Modulrückseite.....	61
Abb. 30: Prinzip der Modulverbindung und Befestigung	62
Abb. 31: Schaltplan der Photovoltaikanlage am Beispielbetrieb Humpert.....	63
Abb. 32: Befestigung und Platzierung der Wechselrichter	64
Abb. 33: Anschluss des Stromzählers.....	65
Abb. 34: Gesamtansicht der Photovoltaikanlage Georg Humpert.....	66

II Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Entwicklung erneuerbarer Energien und CO ₂ -Minderung.....	12
Tab. 2: Vergütungssätze für Solarstrom	13
Tab. 3: Wichtige klimarelevante Spurengase.....	23
Tab. 4: Auswirkungen der Klimaveränderung	24
Tab. 5: Definition der Energiearten	28
Tab. 6: Energetische Amortisationszeit von PV-Modulen in Deutschland.....	30
Tab. 7: Eigenschaften von polykristallinen Siliziumzellen	42
Tab. 8: Eigenschaften von monokristallinen Siliziumzellen.....	43
Tab. 9: Eigenschaften amorpher Siliziumzellen	44
Tab. 10: Eigenschaften Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS).....	44
Tab. 11: Eigenschaften von Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe).....	45
Tab. 12: Anforderungen an Kabel und Leitungen	50
Tab. 13: Prinzip des Recyclings der einzelnen Bestandteile von Photovoltaikmodulen.....	51
Tab. 14: Vergleich zwischen neuwertigen und recycelten Modulen.....	52
Tab. 15: Vergütung pro Kilowattstunde in Cent nach EEG-Novelle	67
Tab. 16: Verlauf der Degression: 5 % jährlich ab 2005, bei Freiflächenanlagen: 6,5 % ab 2006	68
Tab. 17: Kostenkalkulation	74

III Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril / Butadien / Acrylat
AC	Wechselstrom (englisch: AC-alternating current)
AFP	Agrarinvestitionsförderungsprogramm
ALU	Aluminium
AZ	Amortisationszeit
BHKW	Blockheizkraftwerk
CdTe	Cadmium-Tellurid
CO₂	Kohlendioxid
CIS	Kupfer-Indium-Diselenid
ct	Cent
DC	Gleichstrom (englisch: DC-direct current)
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EF	Erntefaktor
EJ	Exa-Joule
EU	Europäische Union
EVA	Ethylen-Vinyl-Acetat
FCKW	FluorChlorKohlenWasserstoffe
GWh	Gigawattstunde
GUS	Gemeinschaft unabhängiger Staaten
Hz	Hertz
IP	Schutzklasse
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEV	Kumulierter Energieverbrauch
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWh/(m²a)	Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
kWh_{el}	Kilowattstunde (elektrisch)
kW_p	Kilowatt peak
LUB	Landwirtschaftliche Unternehmensberatung

Mio	Millionen
MW	Megawatt
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development <i>Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung</i>
OPEG	Organization of Petroleum Exporting Countries <i>Verband der Öl-exportierenden Länder</i>
PC	Polycarbonat
PET	Polyethylenterephthalat, <i>Kunststoff; u.a. für die Verpackung von Lebensmitteln (Flaschen)</i>
PPO	Polyphenylenoxide
PTFE	Polytetrafluorethylen; <i>Teflon, Kunststoff</i>
PU	Polyurethan, <i>Kunststoff</i>
PV	Photovoltaik
RWE	Rheinisch-Westfälische-Elektrizitätswerke
SKE	Steinkohleinheiten
StrEG	Strom-Einspeise-Gesetz
T/a	Tonnen pro Jahr
TPE	Thermoplastic Elastomere, <i>termoplastischer Kunststoff</i>
TWh	Terrawattstunden
UV	ultra-violett
V	Volt

IV Vorwort

Ich möchte mich sehr herzlich bei Prof. Dr. Albert Schlagbauer für das Bereitstellen des interessanten Themas dieser Diplomarbeit und für die Hilfsbereitschaft, die er mir entgegengebracht hat, bedanken.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Prof. Dr. Volker Paul für die Betreuung dieser Arbeit.

Besonders möchte ich an dieser Stelle all jenen danken, die mir in dieser Zeit durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung weiterhelfen konnten und zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren haben sich die erneuerbaren Energien in Deutschland enorm weiterentwickelt. Es ist ein positiver Aufwärtstrend zu verzeichnen. Auch wenn ihr Anteil im Vergleich zum Primärenergieverbrauch auf den ersten Blick recht gering erscheint, stecken dahinter doch tatkräftige Akteure, deren Bemühung es ist, diese Technologien voranzubringen. Wir brauchen eine nachhaltige Energieversorgung, um unser eigenes Wohlergehen und die Lebensgrundlage kommender Generationen zu bewahren. Das novellierte Erneuerbare-Energien-Gesetz schaffte im Strombereich einen optimalen Rahmen um die Dynamik und die Ausweitung der regenerativen Energieformen zu steigern.

In der Sonnenenergiebranche ist gegenwärtig ein regelrechter Boom zu erkennen und ein Ende ist nicht in Sicht. Kaum ein anderer Wirtschaftszweig erlebt momentan einen solch großen Aufschwung wie diese Öko-Energie-Unternehmen. Ursache hierfür ist die Endlichkeit fossiler Energieträger; dementsprechend gewinnt der Ressourcenschutz an Bedeutung. Durch einen entsprechend sparsamen Umgang mit der Energie lässt sich zwar eine deutliche Energieeinsparung erreichen, aber mit der weiteren Verbrennung fossiler Energieträger wächst auch die Gefahr irreversibler Umweltschäden und Klimaveränderungen. Daraus resultiert die Notwendigkeit, umweltverträgliche Energiequellen für die zukünftige Energieversorgung zu schaffen. Eine Chance, diese Aspekte zu verwirklichen, bietet die Photovoltaik und deren umfangreiche Einsatzgebiete. Im Verlauf dieser Arbeit soll diese noch relativ junge Technologie im Bereich der Landwirtschaft vorgestellt und Aufschluss über Technik und Innovation gegeben werden. Ebenso sollen die Seiten der ökologischen Qualitäten sowie die ökonomischen Einflussfaktoren beleuchtet werden.

2 Energieformen und deren Anforderungen

Wenn es um den achtsamen Umgang mit der Umwelt geht, wird immer wieder der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ verwendet. „Nachhaltigkeit“ umfasst ökologische, aber auch ökonomische und soziale Aspekte, die stets in ihrer Wechselwirkung betrachtet werden müssen. Wird der Begriff Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit der Energieversorgung gesehen, lautet dessen Definition: „Nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der heutigen Generationen, ohne die Fähigkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihre eigenen Lebensstile zu wählen“. Energie spielt bei dieser Entwicklung eine große Rolle in ökonomischen, politischen und sozialen Gebieten. Die Energienutzung ist nur nachhaltig, wenn sie eine ausreichende und dauerhafte Verfügbarkeit von geeigneten Energieressourcen sicherstellt und zugleich die negativen Auswirkungen von Energiebereitstellung, -transport und -nutzung begrenzt. (nach BMU, 2004a)

Folglich lassen sich nachstehende Leitlinien der Bundesregierung aufzeigen:

1. Zugang und Verteilungsgerechtigkeit für alle:

Für alle Menschen sind vergleichbare Chancen des Zugangs zu Energieressourcen und zu Energiedienstleistungen zu gewährleisten.

2. Ressourcenschonung:

Kommenden Generationen ist die Nutzungsmöglichkeit für die verschiedenen Energieressourcen offen zu halten oder es müssen vergleichbare Optionen der Bereitstellung von Energiedienstleistungen geschaffen werden.

3. Umwelt-, Klima- und Gesundheitsverträglichkeit:

Die Anpassungs- und Regenerationsfähigkeiten natürlicher Systeme (der „Umwelt“) dürfen durch energiebedingte Emissionen und Abfälle nicht überschritten werden. Gefahren für die menschliche Gesundheit, etwa durch Akkumulation problematischer Schadstoffe, sind zu vermeiden.

4. Soziale Verträglichkeit:

Bei der Gestaltung von Energieversorgungssystemen ist zu gewährleisten, dass allen Betroffenen die Teilhabe an den jeweiligen Entscheidungsprozessen möglich ist. Die Handlungs- und Gestaltungsspielräume von wirtschaftlichen Akteuren bzw. von Gemeinwesen dürfen durch diese Systeme nicht eingeengt werden, sondern sind möglichst zu erweitern.

5. Risikoarmut und Fehlertoleranz:

Die bei der Energieerzeugung und -nutzung unvermeidlich auftretenden Risiken und Gefahren sind zu minimieren sowie in ihrer räumlichen und zeitlichen Ausdehnung zu begrenzen. Bei ihrer Bewertung sind auch fehlerhaftes Verhalten, unsachgemäße Handhabung, mutwillige Zerstörung und Missbrauchsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

6. Umfassende Wirtschaftlichkeit:

Energiedienstleistungen sollen in Relation zu anderen Kosten des Wirtschaftens und des Konsums zu vertretbaren Kosten bereitgestellt werden. Das Kriterium der "Vertretbarkeit" bezieht sich dabei zum einen auf die im Zusammenhang mit der Energieerzeugung oder -nutzung entstehenden einzelwirtschaftlichen Kosten, zum anderen bezieht es sich auch auf die gesamtwirtschaftlichen Kosten unter Berücksichtigung der externen ökologischen und sozialen Kosten.

7. Bedarfsgerechte Nutzungsmöglichkeit und dauerhafte Versorgungssicherheit:

Die zur Befriedigung von Bedürfnissen erforderliche Energie muss dauerhaft, in ausreichender Menge sowie zeitlich und räumlich bedarfsgerecht zur Verfügung stehen. Dies verlangt eine hinreichend diversifizierte Energieversorgung, um auf Krisen reagieren zu können und um Handlungsspielräume für die Zukunft zu erhalten bzw. zu vergrößern. Auch sind leistungsfähige und flexible Versorgungsstrukturen zu schaffen und aufrecht zu halten, die gut mit den bestehenden Siedlungsstrukturen harmonisieren.

8. Internationale Kooperation:

Die Weiterentwicklung von Energiesystemen soll durch Verknappung von Ressourcen bedingte Konfliktpotentiale zwischen Staaten vermindern bzw. beseitigen und ihre friedliche Kooperation durch gemeinsame Nutzung der jeweiligen Fähigkeiten und Potentiale fördern. (nach BMU, 2004a)

Wird die heutige Energieversorgung mit den oben genannten Leitlinien verglichen, so sind einige Differenzen zu erkennen: Der unverhältnismäßige Verbrauch endlicher Energieressourcen, die weltweite Klimaveränderung, die Risiken der Kernenergie und die auffallenden Unterschiede des Energieverbrauches zwischen Industrie- und Entwicklungsländern.

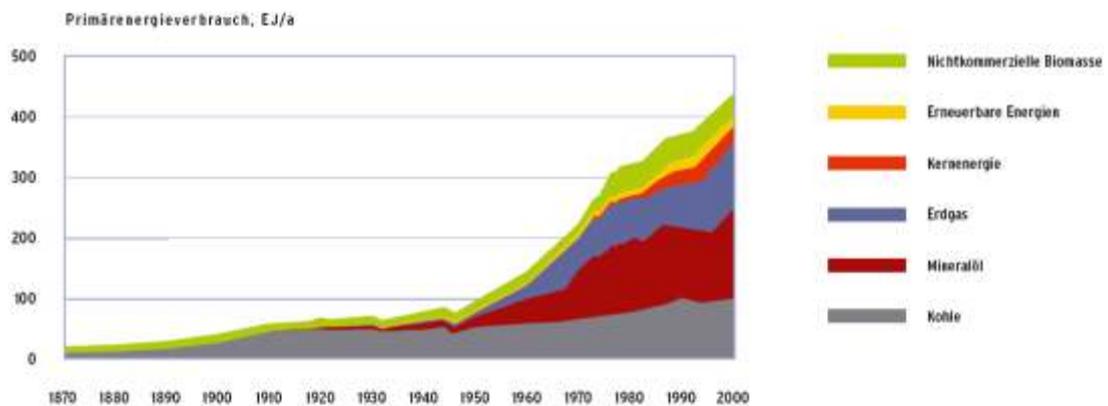
Die zukünftige Energieversorgung sollte sich nicht nur auf fossile und nukleare Energielieferanten berufen, vielmehr müssen Methoden erstellt werden, die es ermöglichen, einer nachhaltigen Energieversorgung im Sinne der benannten Leitlinien nachzukommen. Die Effizienz stellt hier einen Eckpunkt auf, d.h. Energieverluste sollen durch ein fundiertes Energiemanagement vermieden werden. Einige Beispiele hierfür sind: Der Ersatz einer Stromheizung durch Nutzwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung, eine energetisch effiziente Nutzung von Rest- und Abfallstoffen und eine optimierte Wärmedämmung, um so die Gefahr der Verluste zu minimieren. Kreislaufsysteme bzw. „geschlossene“ Systeme sind bei einer nachhaltigen Energiewirtschaft anzustreben. Ziel eines solchen Energiesystems ist es, den Konsum fossiler und nuklearer Produkte zu minimieren und die Energie möglichst mit geringem Rohstoffverbrauch zu produzieren. Die Sonnenenergie, die Windenergie und die Nutzung der Erdwärme sind zu diesem Zweck optimal geeignet. Diese Beispiele fallen unter den Begriff der Konsistenz. (nach BMU, 2004a)

2.1.1 Fossile Energien

Fossile Energie ist nutzbare Energie, die aus Energieträgern stammt und deren Energiegehalt über eine lange Zeitspanne hinweg in eine konzentrierte Form überführt wurde. Durch die Veränderung des Erdinneren sowie den Wandel der Erdoberfläche entstanden über eine lange Zeit fossile Energieträger, d.h. tote Biomasse, die vor Jahrmillionen abgestorben ist und durch geologische Prozesse umgewandelt wurde. Kohle, Erdöl und Erdgas sowie verschiedene Mischprodukte wie Ölsande oder Ölschiefer zählen zu den fossilen Brennstoffen. Erstere können bei hoher Qualität direkt über die Verbrennung in nutzbare Wärmeenergie überführt werden. Letztere müssen zuvor von mineralischen Substanzen abgesondert werden, um sie anschließend nutzen zu können. Dies ist ein zusätzlicher Energieaufwand für die Bereitstellung der Endenergie. (nach BOCKHORST, 2004)

Seit Beginn der Industrialisierung stieg der Energieverbrauch deutlich schneller als das Wachstum der Bevölkerung. Von 1870 bis heute nahm die Anzahl der Weltbevölkerung auf rund 6 Milliarden Menschen zu, dies stellt eine Vervielfachung der Bevölkerung dar. Währenddessen stieg der Energieverbrauch und damit der Verbrauch der fossilen Ressourcen an Kohle, Mineralöl und Erdgas um das Sechszigfache auf 423 EJ/a. Im Durchschnitt wird heute ca. 15 mal mehr Energie als vor 130 Jahren verbraucht. In den Industriestaaten ist diese Entwicklung noch wesentlich deutlicher zu erkennen. Historische Eckpunkte wie der 1. und 2. Weltkrieg, der gravierende Rückgang der Industrieproduktion in den Staaten der früheren Sowjetunion und die Ölpreiskrisen konnten das immense Wachstum nur vorübergehend unterbrechen.

Abb.1: Entwicklung des Weltweiten Primärenergieverbrauchs



BMU, 2004a

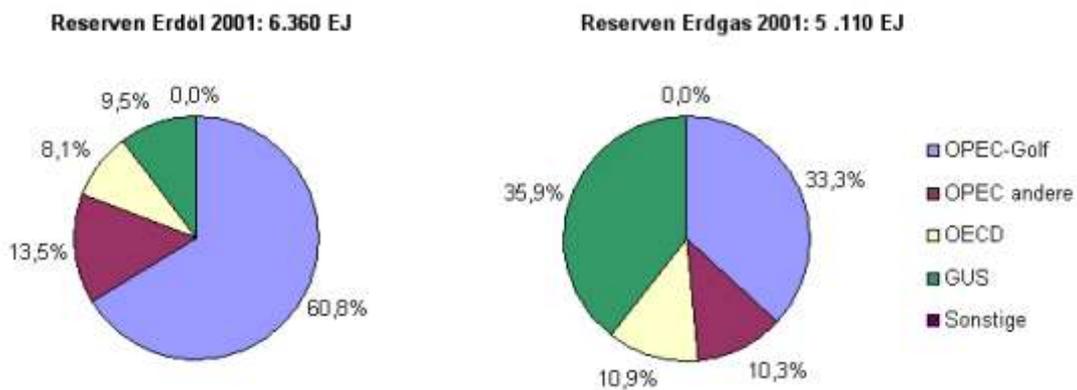
Seit Anfang des 18. Jahrhunderts haben fossile Brennstoffe wie Kohle den Verbrauch von Holz im Wesentlichen eingedämmt, da dies zu dieser Zeit der begrenzende Faktor für den technischen Energiebedarf geworden war. Erst durch große Mengen der energiereichen Kohle konnten technisch wichtige Entwicklungen wie die Dampfmaschine vorangetrieben und die Stahlproduktion ausgedehnt werden. Die Einführung des Automobils weckte das Interesse an Erdöl als Vorstufe für die Treibstoffe Diesel, Benzin und Kerosin zu Beginn dieses Jahrhunderts. Heute richtet sich die Aufmerksamkeit verstärkt auf einen weiteren fossilen Brennstoff, das Erdgas. Im Vergleich zu Kohle, Erdöl sowie Erdölprodukten lässt sich Erdgas nach einer Aufbereitung sauberer verbrennen. Der treibhausrelevante Kohlendioxidgehalt, der bei der Nutzung von Erdgas freigesetzt wird, ist geringer als bei den vorangegangenen Brennstoffen. (nach BOCKHORST, 2004)

Die Brennholznutzung stellt in vielen Entwicklungsländern 9 % des Primärenergieverbrauchs dar. Erneuerbare Energien haben gemeinsam einen Anteil von 4,5 %. Die Kernenergie stellt 6,7 % des Energieverbrauchs. Hieraus ist ersichtlich, dass ca. 80 % der Energieversorgung auf die endlichen fossilen Energien wie Kohle, Erdöl und Erdgas entfallen. Diese momentane Situation verdeutlicht, dass fossile Energien noch Jahrzehnte benötigt werden und eine zentrale Rolle in der Energieversorgung

einnehmen. Somit bekommt die Frage nach den noch verfügbaren Ressourcen und deren Ausschöpfbarkeit eine entscheidende Bedeutung. Bei Reserven handelt es sich um Energiemengen, die sicher nachgewiesen und wirtschaftlich abbaubar sind; hingegen sind Ressourcen Energiemengen, die nicht nachgewiesen werden können, jedoch erwartet werden oder Mengen, die geologisch belegbar, aber derzeit nicht wirtschaftlich förderbar sind. Kohle nimmt momentan den größten Anteil dieser Reserven ein, hingegen wurde Erdöl bisher am stärksten genutzt. Die Ressourcen des Erdgases sind ebenfalls als geringer zu betrachten. Die ständige Verknappung von Erdöl und Erdgas zeigt sich in der Zeit, in der die Reserven bei dem gegenwärtigen Verbrauch vollständig aufgebraucht sein werden.

Konventionelles Erdöl hat die geringste Reichweite mit 43 Jahren; integriert man Schweröle, Ölsand und Ölschiefer, die sogenannten unkonventionellen Erdöle, liegt dieser Zeitraum bei 62 Jahren. Unter gleichbleibendem Konsum von Erdgas wird dieser Vorrat nach ca. 64 Jahren ausgeschöpft sein. Die Reserven der Kohle belaufen sich momentan unter gleichbleibendem Energieverbrauch auf eine Verfügbarkeit von etwa 200 Jahren. Für jeden Einzelnen mag dieser Zeitraum nicht bedrohlich erscheinen, da die Reserven in den meisten Fällen vor Lebensende nicht verbraucht sind, jedoch sollte Folgendes berücksichtigt werden: Das weltweite Fördermaximum, der besagte „mid-depletion-point“, wird schon in 10 bis 20 Jahren erwartet; daraus folgt möglicherweise eine drastische Preissteigerung beim Rohöl. Erdöl und Erdgas sind zudem nicht gleichmäßig über die Erdkugel verteilt. Erdöl- und Erdgasreserven sind hauptsächlich in den Ländern wie Saudi-Arabien, Irak, Iran bis hin nach Russland zu finden. Für Industrieländer sind diese Tatsachen schon heute von großer Bedeutung, da politische oder selbst militärische Konflikte den Zugang zu preisgünstigen Energieressourcen gefährden könnten. (nach BMU, 2004a)

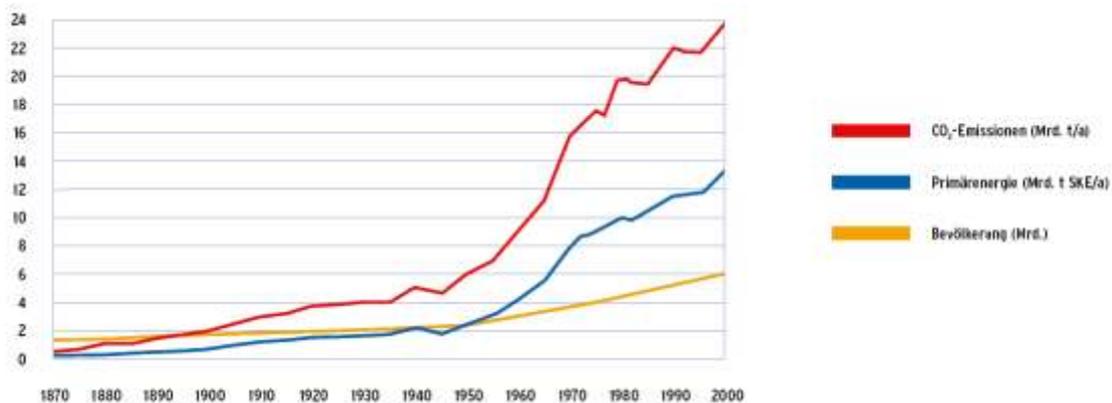
Abb. 2: Verteilung der Reserven von Erdöl und Erdgas auf Ländergruppen



BMU, 2004a

Ein verantwortungsbewusster Umgang mit den fossilen Energien ist zwingend erforderlich, da nicht nur dem Verbrauch der endlichen Energieträger eine wichtige Rolle zukommt, ebenso muss auch der Umweltbelastung Aufmerksamkeit geschenkt werden. Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid und Stickoxide, die zur Bildung des sauren Regens beitragen. Findet die Verbrennung nicht vollständig statt, werden ferner Kohlenmonoxid, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Rußpartikel emittiert. Ebenso besteht die Möglichkeit, dass bei festen Brennstoffen bedeutende Mengen Staub freigesetzt werden. Diese Emissionen und zahlreiche andere Faktoren beeinträchtigen und schädigen die Umwelt und zugleich den Menschen. Der Einsatz von Katalysatoren und Filtern und eine verbesserte Verbrennung kann die Emission der Schadstoffe wesentlich verringern. Durch Abgasnormen bei Neufahrzeugen versucht man, den Anteil der Stickoxidemissionen zu verringern.

Bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern wird immer Kohlendioxid freigesetzt. Es hat eine schädigende Wirkung, welche zur Verstärkung des Treibhauseffektes führt, denn Kohlendioxid ist eines der wichtigsten treibhausrelevanten Gase. Dies bewirkt einen globalen Temperaturanstieg. Neben der Temperaturerhöhung ist mit einer Veränderung der Niederschlagsverteilung, einer Klima- und Vegetationszonenverschiebung und mit einem Wandel der Wetterlage zu rechnen.

Abb. 3: Entwicklung der globalen CO₂ - Emissionen

BMU, 2004a

2.2 Kernenergie

Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts glaubte man an unveränderliche Bausteine der Materie, sprich an das Atom als Unteilbares. Im Jahre 1938 beobachteten HAHN und STRASSMANN, dass durch die Bestrahlung mit langsamen Neutronen aus Uran das Barium entstand. Die Physikerin MEITNER kennzeichnete diese Elementveränderung als ein Resultat der Kernspaltung. Entgegen früherer Hypothesen konnten Atome gespalten werden. Die bei der Kernspaltung des Uran frei werdenden Neutronen können dazu genutzt werden, weitere Atome zu spalten. Da bei jedem Spaltvorgang einige Neutronen entstehen, welche die Reaktion fortsetzen und die Spaltung von weiteren U-Kernen verursachen können, entwickelte sich eine Kettenreaktion. Diese Beobachtung legte den Grundstein zur Gewinnung von Kernenergie.

Unter dem Begriff Kernkraft versteht man die technische Energiegewinnung durch Kernreaktion bzw. die in einem Kernkraftwerk betriebene Spaltung eines Atomkerns, welche zur Energiegewinnung dient. Die Spaltung großer Atomkerne wird als Kernenergie bezeichnet, hingegen bezeichnet man die Verschmelzung kleiner Atomkerne als Kernfusion. Die heute existierenden Kraftwerke, die zur Stromerzeugung dienen, arbeiten nach dem Kernspaltungsprinzip; dabei ist die Energieausbeute außerordentlich groß. (nach KAUFMANN u. HÄDENER 1996)

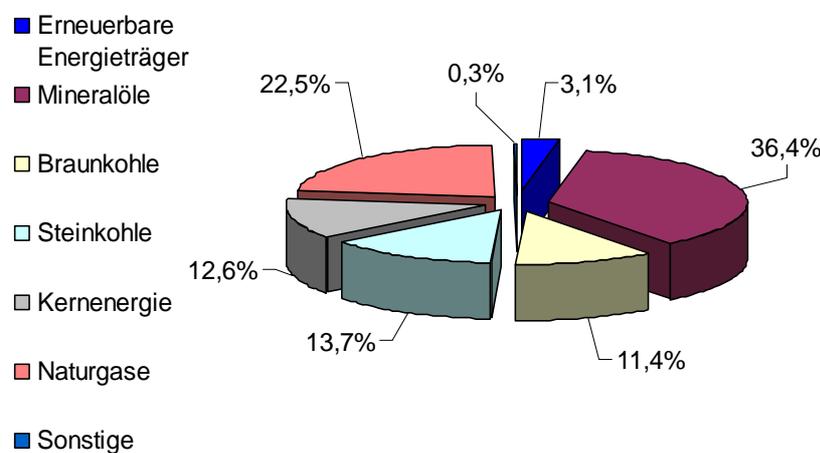
Der entstandene Strom aus der Kernspaltung kann im Wesentlichen ohne Freisetzung von CO₂ hergestellt werden. Demgemäß besteht die Annahme, dass Kernenergie unverzichtbar in Hinblick auf die anzustrebenden CO₂ Reduktionsziele sei. Diese Meinung ist jedoch differenziert zu betrachten. Um dieser Theorie gerecht zu werden, müsste eine globale Steigerung der Nutzung von Kernenergie erfolgen und über Jahre erhalten werden, so dass große Mengen an Kohlendioxid eingespart werden können. Weiterhin ist zu bedenken, dass das preiswerte Uran für Leichtwasserreaktoren schon heute einen Knappheitsfaktor darstellt, dementsprechend wäre der teure und risikoreiche Einstieg in eine Wiederaufbereitungswirtschaft unerlässlich. Derzeit kann der Energiebedarf in Deutschland nicht ohne Kernenergie gedeckt werden, da fossile Alternativen im Bezug auf die Luftbelastung ökologisch problematischer sind. Ein weiteres Argument für die Kernenergie sind die verhältnismäßig geringen Stromerzeugungskosten, welche mit durchschnittlich 2 Cent/kWh zu veranschlagen sind. (nach INFORMATIONSKREIS KERNENERGIE.DE, 2004)

Die erneuerbaren Energien wie Wind- und Sonnenenergie stehen nur unregelmäßig zur Verfügung, ferner ist die Gesamtleistung dieser Anlagen zum jetzigen Zeitpunkt noch verhältnismäßig gering. Wird die Kernenergie mit den schon genannten Leitlinien für eine nachhaltige Energieversorgung verglichen, treten einige Unstimmigkeiten auf. Leitlinie Nr. 3 besagt, dass die menschliche Gesundheit und die natürliche Umwelt erhalten werden müssen. Dagegen kann es in Kernkraftwerken zu Kernschmelzunfällen mit unvermeidbar hohen Gefährdungen für Mensch und Umwelt kommen. Weiterhin können abgebrannte, hoch radioaktive Stoffe bei Transport und Lagerung partiell emittiert werden. Leitlinien Nr. 5 und Nr. 8 fordern Risikoarmut, Fehlertoleranz und eine internationale Kooperation. Es bleibt jedoch ungeachtet, dass ein totaler Schutz gegen Missbrauch von Plutonium nicht zu gewährleisten ist. Eine Sicherung der Kernreaktoren gegen äußere Gewalt und Sabotage führt zu enorm hohen Kosten und soziale Freiräume würden eingeengt. Leitlinien Nr. 4 und Nr. 6 verlangen allerdings eine soziale Verträglichkeit und eine umfassende Wirtschaftlichkeit. (nach LEXIKON-DEFINITION.DE, 2004; BMU, 2004a)

2.3 Aktueller Stand der Erneuerbaren Energien

Erneuerbare Energien, auch regenerative oder alternative Energien genannt, sind Energiequellen, die sich ständig erneuern bzw. nachwachsen und somit nach menschlichem Ermessen unerschöpflich sind. Um zu einer nachhaltigen Energieversorgung zu gelangen, setzt die Bundesregierung auf den Ausstieg aus der Kernenergie, auf den sparsamen Umgang mit der Energie, auf mehr Effizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien. Bezogen auf das Jahr 2000 soll der Beitrag der regenerativen Energien bis zum Jahre 2010 verdoppelt werden, d.h. einen Anteil von mindestens 12,5 % am Stromverbrauch und von mindestens 4,2 % am Primärenergieverbrauch haben. Des Weiteren strebt die Bundesregierung bis 2020 einen Anteil von 20 % am Stromverbrauch und 10 % am Primärenergieverbrauch an. Langfristig gesehen sollen die erneuerbaren Energien mindestens 50 % der gesamten Energieversorgung ausmachen und dies bis zum Jahre 2050. (nach EEG NOVELLE, 2004)

Abb. 4: Struktur des Primärenergieverbrauches im Jahre 2003



BMU Umweltpolitik, 2004

Um die oben genannten Forderungen zu erfüllen, steht das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zur Verfügung. Ziel dieses Gesetzes ist es, im Interesse des Umwelt- und Klimaschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen und den Anteil regenerativer Energien an der Stromerzeugung drastisch zu erhöhen. Das EEG regelt die Abnahme

und die Vergütung von Strom, der ausschließlich aus Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien stammt. Das Bundeskabinett legte am 17. Dezember 2003 auf Vorschlag von Bundesumweltminister Jürgen Trittin einen Regierungsentwurf zu einer EEG-Novelle vor. Das novellierte Gesetz ist zum 1. August 2004 in Kraft getreten. Es ist eines der bedeutsamsten und effizientesten Klimaschutz-Instrumente in der Bundesrepublik Deutschland.

(nach EEG NOVELLE, 2004)

Tab. 1: Entwicklung erneuerbarer Energien und CO₂-Minderung

Gesamt Nutzung Erneuerbare Energien		2003	2010
EE gesamt	TWh	113,8	186,3
CO₂ – Minderung gesamt durch EE	Mio. t CO ₂	52,6	84,6
Strom		2003	2010
Gesamtstrom aus EE	TWh	46,3	72,6
davon: Strom aus EEG	TWh	28,8	52,1
davon: Strom außerhalb EEG	TWh	17,5	20,5
CO₂-Minderung		2003	2010
CO₂-Minderung EE-Strom insgesamt	Mio. t CO ₂	37,0	58,1
davon: CO₂ - Minderung EEG –Strom	Mio. t CO ₂	23,0	41,7
davon: CO₂ - Minderung Strom außerhalb EEG	Mio. t CO ₂	14,0	16,4

EEG Novelle, 2004

Die positiven Erfahrungen mit dem bisherigen Erneuerbare-Energien-Gesetz konnten genutzt werden, um eine Weiterentwicklung der regenerativen Energien zur Stromerzeugung effizienter zu gestalten.

Zum 1. Januar 2004 ist das „Photovoltaik-Vorschaltgesetz“ in Kraft getreten, welches verbesserte Vergütungssätze für den Solarstrom beinhaltet. Dies erfolgte zum Ausgleich für das im Sommer 2003 ausgelaufene 100.000-Dächer-Solarstrom-Programm. Es wurde die vorrangige Abnahme, die Übertragung und die Vergütung des produzierten Stroms geregelt. Durch die Pflicht, den Anlagenanschluss vorrangig gegenüber den konventionellen Stromerzeugungsanlagen vorzunehmen, wird der Anschluss von Anlagen,

die in den Bereich der erneuerbaren Energien fallen, gesichert. Für Anlagen, die ab dem 1. Januar 2004 in Betrieb genommen wurden, gelten folgende Einspeisevergütungen, welche durch den Stromnetzbetreiber gezahlt werden: Erzeuger von Solarstrom erhalten 45,7 Cent pro Kilowattstunde als Grundvergütung, diese erfolgt über einen Zeitraum von 20 Kalenderjahren, zuzüglich des verbleibenden Zeitraums des Inbetriebnahmejahres. In Abhängigkeit von der Leistung einer Anlage werden unterschiedliche Mindestvergütungen erhoben.

Die Degression für neue Anlagen liegt ab dem 1. Januar 2005 bei 5 % pro Jahr. Dies trifft auch für große Freiflächenanlagen zu, sofern sie sich im Gebiet des Bebauungsplanes befinden. Durch diese Maßnahme soll sichergestellt werden, dass ökologisch sensible Flächen nicht überbaut werden.

Tab. 2: Vergütungssätze für Solarstrom

Anlagen an oder auf Gebäuden
57,4 Cent pro kWh bis 30 kW -Leistung
54,6 Cent pro kWh von 30 – 100 KW-Leistung
54,0 Cent pro kWh > 100 kW-Leistung
Anlagen mit Fassadenfunktion erhalten zusätzlich 5 Cent pro kW

Kersting LUB, 2004

Durch die Novelle werden Anreize geschaffen, um Anlagenbetreiber erneuerbarer Energien und Netzbetreiber die Möglichkeit zu einem gemeinsamen Erzeugungsmanagement zu geben. Dadurch können die Gesamtkosten für Stromerzeugung und Verteilung gesenkt werden. Folglich führt dies zu niedrigeren Verbraucherpreisen. Ab einer Anlagenleistung von 500 kW sind die Betreiber verpflichtet, regelmäßige Leistungsprüfungen durchzuführen. Durch diese Maßnahme wird die Planbarkeit für die Netzbetreiber erhöht und die Datenerfassung ermöglicht einen größeren Überblick über die Erzeugung des Stroms aus erneuerbaren Energien.

Die Novelle bezieht sich auf ein Schuldverhältnis, in diesem Fall ist es der Anspruch auf Abnahme und Vergütung des Stroms und besagt, dass der

Netzbetreiber die Erfüllung seiner Pflichten nicht vom Abschluss eines Vertrages abhängig machen darf. In der Novelle wird ein Aufrechnungsverbot aufgegriffen, wodurch verhindert werden soll, dass große Netzbetreiber unverhältnismäßig hohe Mess-, Abrechnungs-, Blindstrom-, und Versorgungskosten gegenüber den Anlagenbetreibern erheben.

Die neue Regelung für einstweiligen Rechtsschutz gestattet es den Stromproduzenten, eine einstweilige Verfügung auf Anschluss, Abnahme und Vergütung unter erleichterten Bedingungen zu erzielen, ohne aber einen Verfügungsgrund angeben zu müssen. Ein maßgeblicher Grund hierfür ist, dass es den Betreibern in der Regel unmöglich war, ihre Rechte durchzusetzen, was in vielen Fällen dazu geführt hat, dass von dem Vorhaben Abstand genommen wurde. Des Weiteren wurde auf mehr Transparenz und Rechtssicherheit bei Anschluss- und Netzkosten geachtet. Um eine unbillige Kostenabwälzung auf den Stromabnehmer zu verhindern, muss der Netzbetreiber die ihm entstandenen Netzausbaukosten darlegen, falls diese bei den Nutzungsentgelten mit einbezogen werden. Diese Dokumentationspflicht dient der geforderten Transparenz. Der Anlagenbetreiber übernimmt die Kostentragungspflicht für alle zum Betrieb notwendigen Messeinrichtungen. Dadurch wird geregelt, dass keine getrennten Messeinrichtungen für die bezogene und gelieferte elektrische Leistung eingerichtet werden und so erheblich höhere Kosten entstehen können.

In der Novelle wird ebenso bestimmt, dass Anlagen mit einer Leistung von insgesamt bis zu 30 Kilowatt als günstiger Verknüpfungspunkt fungieren können. Eine regionale Ungleichbehandlung der Stromverbraucher wird mittels des bundesweiten Ausgleiches nach dem EEG für die abgenommene und vergütete Strommenge erreicht. Die Abwicklung erfolgt über den Netzbetreiber und das Elektrizitätsversorgungsunternehmen. Die Verpflichtung zur Bekanntmachung der Energiemengen aus erneuerbaren Energien und den Vergütungszahlungen schafft mehr Transparenz. Das Bundesumweltministerium ist dazu berechtigt, ein Register über Stromerzeugungsanlagen anzulegen. Es sind alle Betreiber, die Rechte aus

dem EEG ableiten möchten, dazu verpflichtet, ihre Anlage registrieren zu lassen, sofern diese zur Erzeugung von Strom aus erneuerbarer Energie dient. Die EG-Richtlinie 2001/77/EG verlangt einen Herkunftsnachweis für Strom aus erneuerbarer Energie, d.h. es müssen folgende Angaben zur Erfüllung dieser Richtlinie aufgezeigt werden: Art der eingesetzten Energie, Name und Anschrift des Stromproduzenten, Leistung und Zeitpunkt der Inbetriebnahme, produzierte Strommenge, Dauer der Erzeugung und der Standort. Weiterhin müssen Angaben darüber gemacht werden, ob der Strom nach EEG vergütet wurde. Das Doppelvermarktungsverbot der EEG-Novelle sichert, dass der Strom aus regenerativer Energie nicht mehrfach verkauft wird. Probleme sowie Streitigkeiten und die unter Umständen daraus folgende Inanspruchnahme von Rechtskraft können von einer Clearingstelle gelöst werden. Diese Einrichtung dient ebenfalls zur Aufklärung von Fragen, die in den Bereich des EEG fallen.

Das Bundesumweltministerium ist verpflichtet, den Bundestag in regelmäßigen Abständen über die Auswirkung des Gesetzes zu informieren. Diese Maßnahme dient dazu, dass bei Bedarf die dann gegenwärtige Vergütung an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden kann. Demzufolge sind Anlagen- und Netzbetreiber dazu verpflichtet, bei stichprobenartigen Kontrollen bedeutsame Daten für das EEG offenzulegen. (nach EEG NOVELLE, 2004)

Zur Nutzung der einzelnen Erscheinungsformen der erneuerbaren Energien stehen zahlreiche Technologien zur Verfügung, die sich hinsichtlich Kosten, Leistung, Einsatzbereich, Entwicklungsstand und Entwicklungspotential wesentlich voneinander unterscheiden. Seit Jahrzehnten dient die Wasserkraft der Stromerzeugung, ebenso ist die Biomassenutzung eine der „klassischen“ Technologien (neben der neuen Methode wie der Vergasung welche zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ganz ausgereift ist). Die Wasserkraft ist größtenteils unabhängig von meteorologischen Einflüssen. Bei der Sonnen- und Windenergie spielt die Witterung eine enorm große Rolle, da die Energie nur angebotsabhängig aufgrund äußerer Bedingungen und der daraus resultierenden Energieerträge ins Netz eingespeist werden

kann. Die Leistung der einzelnen Anlagen variiert sehr stark. In den meisten Fällen handelt es sich um Technologien, die unmittelbar oder nahe beim Verbraucher eingesetzt werden. Es erfolgt aber auch der Einsatz von großen technischen Anlagen wie den Offshore-Windparks oder den solarthermischen Kraftwerken.

(nach BMU UMWELTPOLITIK, 2004)

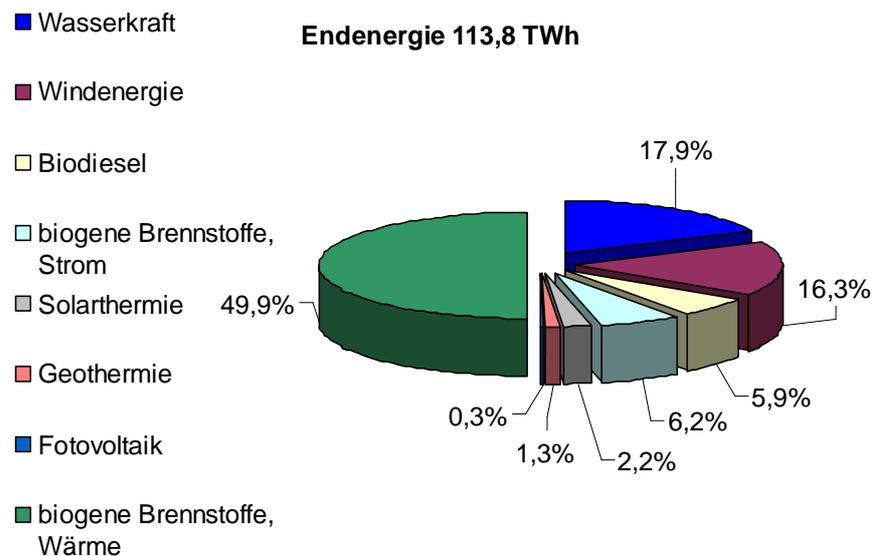


Abb. 5: Struktur der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2003

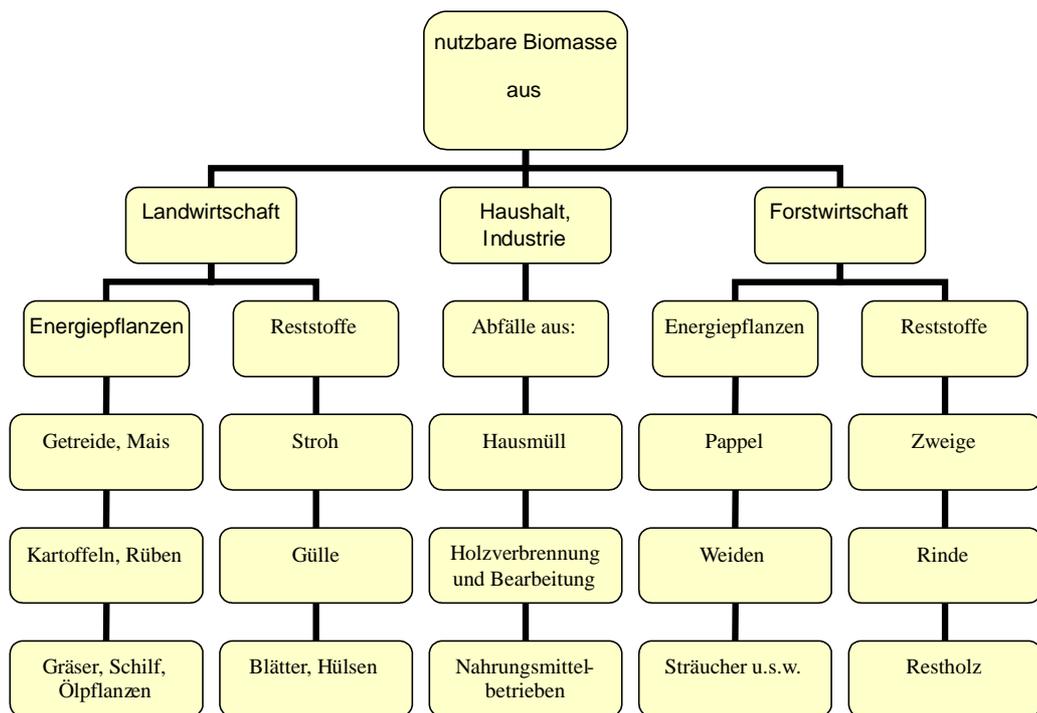
BMU Umweltpolitik, 2004

2.3.1 Biomasse

Zur Biomasse zählen alle Pflanzen und Tiere, ihre Abfall- und Reststoffe sowie im weiteren Sinne durch Umwandlung entstehende Stoffe, wie Papier und Zellstoffe, organische Rückstände der Lebensmittelindustrie sowie organischer Haus- und Industriemüll. Sie werden als Energieträger aus Phyto- u. ■ Photovoltaik e definiert. Die Biomasseverordnung regelt, welche Stoffe als Biomasse für das Erneuerbare-Energien-Gesetz gelten. In der Landwirtschaft wird z.B. die Gülle zur Gewinnung von Biogas verwendet. Die Abgrenzung gegenüber fossilen Energieträgern beginnt beim Torf; dieser ist als ein fossiles Sekundärprodukt der Verrottung anzusehen. Zu den bedeutsamsten biogenen Brennstoffen zählen Holz und Holzreste, die als

Abfallprodukte aus holzverarbeitenden Betrieben, Walddurchforstungen oder als Altholz anfallen. Zur Energieerzeugung eignen sich aber auch Schilfgras, Getreidepflanzen oder Reststroh. Für die Wirtschaftlichkeit der Biomassenutzung übernehmen die Kosten der Einsatzstoffe eine gewichtige Rolle. Dementsprechend groß ist die Bandbreite der resultierenden Energiegestehungskosten.

Abb. 6: Energetisch nutzbare Arten von Biomasse



HEA, 1998

Die Verfeuerung der Biomasse ist die einfachste Methode der energetischen Nutzung und wird überwiegend in Kleinanlagen unter 15 kW betrieben. Diese Anlagen unterliegen dabei den Emissionsgrenzwerten des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Durch die Vergasung fester Biobrennstoffe können weitere Einsatzgebiete erschlossen werden. Dieses Verfahren ist jedoch technisch noch nicht vollkommen, aber dennoch entwicklungsfähig. Weiterhin ist zu bedenken, dass diese Technologie heute noch verhältnismäßig kostenintensiv ist. (nach BMU UMWELTPOLITIK, 2004)

Ein enorm großes Potential für die Nutzung fester Biomasse besteht in Kleinanlagen sowie Heizzentralen und -werken mit Nahwärmenetzen zur Wärmeerzeugung. Im Unterschied zur reinen Stromerzeugung wird hier nicht die entstehende Wärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben, statt dessen wird diese zur Beheizung von Gebäuden genutzt. Biogas kann auch zur Stromerzeugung oder zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden. Biogas (auch Faulgas genannt) ist ein Gasgemisch, das zu zwei Dritteln aus Methan, zu über 30 % aus Kohlendioxid sowie zu geringen Anteilen aus Wasserstoff und Schwefelwasserstoff besteht. Mit Hilfe von verschiedenen Bakterienarten, die unter anaeroben Bedingungen und angepassten Temperaturen lebensfähig sind, werden organische Stoffe z.B. aus der Land- und Forstwirtschaft über mehrere Stufen abgebaut. Endprodukt der Zersetzung sind die Gase Methan und Kohlendioxid. Je nach Methangehalt entspricht ein Kubikmeter Biogas ca. 0,6 Litern Heizöl oder 0,6 m³ Erdgas. Daraus lassen sich je nach Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerkes rund 2 kWh Strom erzeugen. Landwirte haben einen mehrfachen Nutzen durch die Biogasanlagen. Wirtschaftlich gesehen liegt der größte Vorteil bei dem produzierten Strom, der nach dem EEG vergütet wird. Ferner kann die Abwärme zur Beheizung von Gebäuden und Stallungen zur Verfügung gestellt werden. Hinzu kommen Einnahmen für die Abnahme von Abfallstoffen. (nach ENERGIEAGENTUR NRW, 2004)

2.3.2 Wasserkraft

Wasserkraft ist eine der bewährten „klassischen“ Technologien zur Stromerzeugung. Weltweit gesehen steht sie nach der Nutzung der Biomasse, welche einen Anteil von 49,9 % an der Energiebereitstellung aufzeigt. Sie steht also an zweiter Stelle mit 17 % des global produzierten Stroms aus erneuerbaren Energien. In Deutschland liegt der Anteil an durch Wasserkraft erzeugten Strom lediglich bei 3,5 %. Die meisten Anlagen befinden sich im Voralpenraum, da dort das notwendige Gefälle vorhanden ist und optimal genutzt werden kann. In den meisten Fällen werden Wasserkraftanlagen von den örtlichen Energieversorgungsunternehmen betrieben. Je nach Volumenstrom, Fallhöhe und Einsatzbereich können

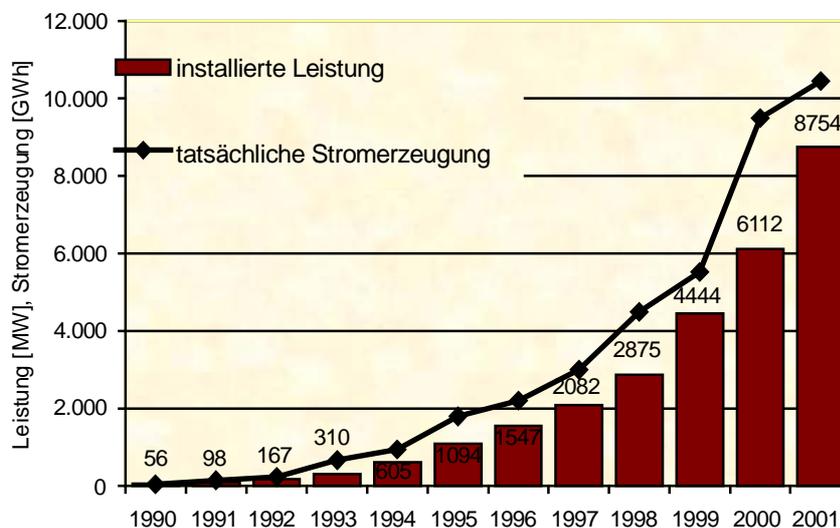
unterschiedliche Turbinenarten eingesetzt werden. Mit einer installierten Leistung von 4.600 MW konnten im Jahr 2003 ca. 20,4 TWh Strom erzeugt werden. Ein weiterer Ausbau dieser Technologie ist sehr gering, da Aspekte des Natur- und Gewässerschutzes stark berücksichtigt werden müssen und mit steigenden Umweltauflagen zu rechnen ist. Durch die Erweiterung und Modernisierung bestehender Anlagen kann das vorhandene Leistungspotential jedoch besser genutzt werden. (nach BMU, 2004b)

2.3.3 Windkraft

In Deutschland wird ein großer Teil der Gebiete mit guten Windverhältnissen zur Windstromerzeugung in Anspruch genommen. In den Küstenregionen ist die Windenergie so stark verbreitet, dass langfristig gesehen ein Ausbau der Windenergienutzung nur mit Hilfe von Offshore-Anlagen möglich ist. Die hierdurch zusätzlich anfallenden Kosten für die Gründung und die Netzanbindung werden durch die höheren Erträge relativiert. So kann dauerhaft mit Stromgestehungskosten von unter 5 ct/kWh kalkuliert werden. Windkraftanlagen in Deutschland dienen vornehmlich der netzgekoppelten Gewinnung von Elektrizität. Die installierte Leistung nahm zwischen 1989 und 2001 beträchtlich zu. (nach BMU, 2004c)

In Deutschland wurde im Jahre 2002 die derzeit leistungsstärkste Windenergieanlage mit einer Leistung von 4,5 MW in Betrieb genommen.

Abb. 7: Ausbau der Windenergienutzung in Deutschland



Staiß, 2003a

Gegenwärtig liegen die Kosten für eine Windkraftanlage bei rund 800 bis 900 Euro/kW. Zu den reinen Anlagekosten kommen zusätzlich Kostenpunkte für Fundament, Netzanbindung, Zuwegung, Grundstückskosten und Planung. Dies bedeutet, dass diese Faktoren rund 30 % der Anlagenkosten in Anspruch nehmen. Unter guten Bedingungen können die Stromgestehungskosten zwischen 5,5 und 13 Cent/kWh liegen; dies konnte durch die technische Weiterentwicklung und den daraus folgenden höheren Erträgen erreicht werden. Wird die Umweltverträglichkeit der Windenergieanlagen betrachtet, so werden folgende Aspekte in Augenschein genommen: Zum einen spielt die Geräuschemission eine große Rolle, welche erheblich durch moderne Anlagen und deren aerodynamische Verbesserungen, Geräuschisolierungen und durch den Verzicht auf bestimmte Baugruppen minimiert werden konnte. Der Einfluss von Windkraftanlagen auf das Landschaftsbild wird differenziert betrachtet, allerdings lässt sich der Konflikt um die unterschiedlichen Wahrnehmungen nicht vermeiden. Die Akzeptanz könnte durch die Darstellung der ökologischen Vorteile erhöht werden. Eine Anlage mit einer Leistung von 1,5 MW und einer Lebensdauer von 20 Jahren kann rund 64.000 t CO₂-Emissionen einsparen. Ebenso könnte der Verbrauch von ca. 80.000 t Braunkohle vermieden werden, hier wird der Beitrag zum Ressourcenschutz verdeutlicht. (nach STAIß 2003a)

2.3.4 Geothermie

Die Natürliche Wärmeenergie der Erde wird als geothermische Energie bezeichnet. Die Wärme aus dem Erdinneren gelangt durch Wärmeleitungen, durch aufsteigendes Magma und die in der Erde zirkulierenden flüssigen und gasförmigen Stoffe zur Erdoberfläche. Durch den radioaktiven Zerfall langlebiger Isotope des Urans und des Thoriums entsteht im Erdkern kontinuierlich Wärme. Die gewonnene Wärme lässt sich unmittelbar zur Beheizung von Gebäuden oder anderen Wärmeverbrauchern einsetzen.

Die Geothermie wird in Deutschland schon lange Zeit zur Bereitstellung von Wärme genutzt. Um die Stromerzeugung aus Geothermie voranzubringen, ist noch eine weitere intensive Forschung und Entwicklung erforderlich. Im November 2003 konnte das erste deutsche Erdwärme-Kraftwerk in Neustadt-Glewe mit einer Leistung von 210 kW in Betrieb genommen werden. (nach STAIß 2003b)

2.3.5 Photovoltaik

Unter Photovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. „Photo“ bezieht sich hierbei auf die Protonen des Sonnenlichtes und lässt sich von „photos“ ableiten. Es stammt aus dem Griechischen und bedeutet „Licht“. Die Wurzeln des Wortes „voltaik“ sind im Italienischen zu finden und verweisen auf die Stromerzeugung bzw. auf „Volta“, einen ital. Elektrizitätsforscher. Solarzellen wandeln Sonnenlicht in elektrische Energie um, es gibt sie in allen Größenordnungen: von Kleinstzellen in Taschenrechnern und Uhren, die im Milliwatt-Bereich arbeiten, über den Kilowatt-Bereich mit dem die Stromversorgung von Häusern gesichert werden kann, bis hin in den Megawatt-Bereich, wobei hier große Solarfelder erforderlich sind.

Die Sonnenstrahlung ist in Deutschland gegenüber den südlichen Ländern nicht so ertragreich, da aber die Solarzellen in der Lage sind, diffuses Licht umzusetzen, ist es möglich, auch in hiesigen Gebieten Photovoltaikanlagen zu betreiben.

Die umweltfreundliche Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen erfreut sich in Deutschland zunehmender Beliebtheit und die Installation neuer Anlagen hat einen rasanten Anstieg erfahren. Die Gründe hierfür sind zahlreich, zweifellos zählt aber dazu, dass Strom aus der Sonne emissions- und lärmfrei ohne zusätzlichen Flächenverbrauch z.B. auf dem eigenen Wohnhausdach oder auf Wirtschaftsgebäuden produziert werden kann. Der Markt wächst derzeit jährlich um ca. 30 %. (nach KREUTZ, 2003)

Ebenso wie in anderen Ländern begann in den 1980er Jahren die Marktentwicklung der Photovoltaik in Leistungsbereichen von 100 kW_p. Im

Jahre 1983 wurden in Pellworm sowie 1988 in Kobern-Gondorf die ersten Anlagen installiert, deren Aufgabe es war, technische Konzeptionen zu entwickeln und zu verbessern.

Die Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf die Verbesserung bestehender Module und Systemkomponenten sowie auf die Erforschung neuer Zelltypen im Dünnschichtbereich. Ein weiteres Forschungspotential findet sich bei den Einsatzmaterialien kristalliner Zellen. Es wird erwartet, dass die Wirkungsgrade kristalliner Siliziumzellen in absehbarer Zeit auf bis zu 20 % ansteigen und dass Dünnschichtzellen mit verringertem Materialeinsatz produziert werden können. Durch die fallenden Herstellungskosten wird vermutet, dass man langfristig mit Stromgestehungskosten um 10 Cent/kWh kalkulieren kann. (nach ZWEIBEL u.a., 2004)

3 Auswirkungen der Klimaveränderung auf die Umwelt und die ökologische Qualität der erneuerbaren Energien

Gegenwärtig lässt sich ein umfangreicher globaler Klimawandel mit erheblichen ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen feststellen. Die Klimaveränderung lässt sich an folgenden Merkmalen charakterisieren:

- ? Zunahme der meteorologischen Extreme (Hochwasser, Dürreperioden und Stürme)
- ? Rückgang der Gletscher
- ? Abnahme der Dicke des Eises in der Arktis, Abschmelzung der Pole
- ? früherer Austrieb der Pflanzen (2 Wochen in letzten 20 Jahren)
- ? Veränderung des Verhaltens der Zugvögel
- ? Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten (z.B. Zecken)

(nach SEILER IMK, 2003)

Die Treibhausgas-Emission ist eine Kennzahl, die die Klimaveränderung auf die Umwelt verdeutlicht. In der anschließenden Tabelle sind die Anteile und die Verweilzeit der klimarelevanten Spurengase zu erkennen.

Tab. 3: Wichtige klimarelevante Spurengase

	Kohlen- dioxid	Methan	Distickstoff- oxid	troposph. Oxid	FCKW
Anteil am Treibhauseffekt in %	50	13	5	7	24
Verweilzeit in Jahren	60-120	10-12	120	variabel	13-130

Seiler IMK, 2003

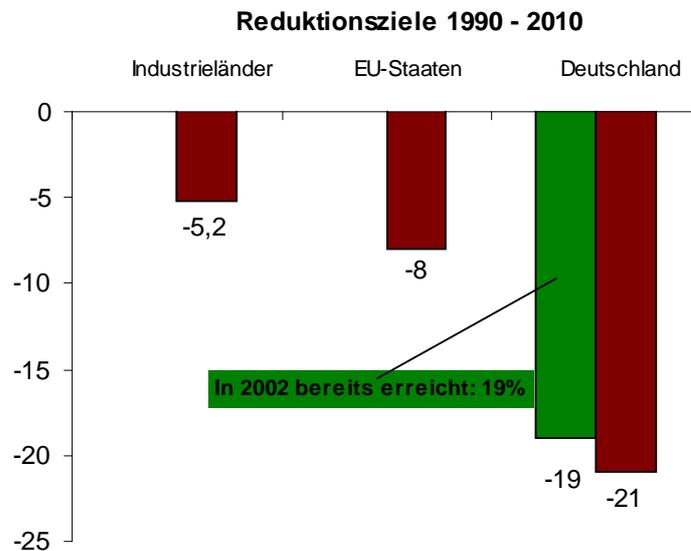
Die Klimaveränderung lässt sich jahreszeitlich differenzieren. Die Auswirkungen sind im Sommer und Winter unterschiedlich, wie sich aus folgender Tabelle entnehmen lässt:

Tab. 4: Auswirkungen der Klimaveränderung

Sommer	Winter
Gefährdung der Waldökosysteme durch Dürren und Waldbrände sowie durch Ausbreitung von Schädlingen und Invasion nicht heimischer Pflanzen- und Baumarten; Zunahme der Bodenerosion durch Veränderung des Wasserabflusses aufgrund intensiverer einzelner Niederschlagsereignisse; Beeinträchtigung von Waldökosystemen durch Intensivierung der meteorologischen Extremereignisse (Gewitter mit Hagel und Sturmböen, Tornados); Gefährdung des Bergwaldes durch vermehrte Abgänge von Muren und Schlammlawinen aufgrund der Verschiebung der Dauerfrostgrenze und extremer Niederschlagsereignisse; Verringerung der Grundwasserbildung (Trinkwasser) und geringere Wasserverfügbarkeit (Wasserkraft, Landwirtschaft); Veränderungen der Zugbahn von Tiefdruckgebieten mit der Folge von regional begrenzten Hochwassersituationen;	Zunahme des Schneebruchs in Waldökosystemen durch intensivere Schneefälle in Form von Nassschnee; Gefährdung großer Waldgebiete durch Intensivierung der Orkantiefs mit veränderten Zugbahnen; Anstieg der Wasserabflüsse (höhere Niederschläge bei niedriger Verdunstung, Schneeschmelze) mit Überschwemmungen und Bodenerosionen; Zunahme der Lawinenabgänge durch intensivere Niederschläge und höhere Windgeschwindigkeiten; Anstieg der Schneefallgrenze um ca.300-400 m und erheblicher Rückgang der Tage mit Schneebedeckung in Höhen < 1200 m;

Seiler IMK, 2003

Bezogen auf den Klimaschutz wird Deutschland seine im Kyoto-Protokoll und innerhalb der EU übernommene Verpflichtung erfüllen können. Voraussetzung hierfür ist die Reduzierung der bedeutenden Treibhausgase um 21 % bis zum Jahre 2008/2012.

Abb. 8: Reduktionsziele und CO₂-Vermeidung

RWE Schott Solar SG Consulting, 2004

Um eine ausreichende CO₂ Emissionsminderung zu erreichen, kommen nachstehende Aspekte zur Geltung:

Energieeinsparung

- ? persönliches Verhalten (Verkehr, Haushalt)
- ? Kaufverhalten (Fahrzeug, Haushaltsgeräte)
- ? technische Maßnahmen (Isolation, Kraft-Wärme-Kopplung, Steigerung der Effizienz)

Substitution / Austausch von CO₂-emittierenden Prozessen

- ? Austausch Kohle / Öl durch Gas
- ? Einsatz CO₂-freier Energie (erneuerbare Energien, Kernenergie)
- ? Entwicklung und Einsatz neuer CO₂-freier Technologie

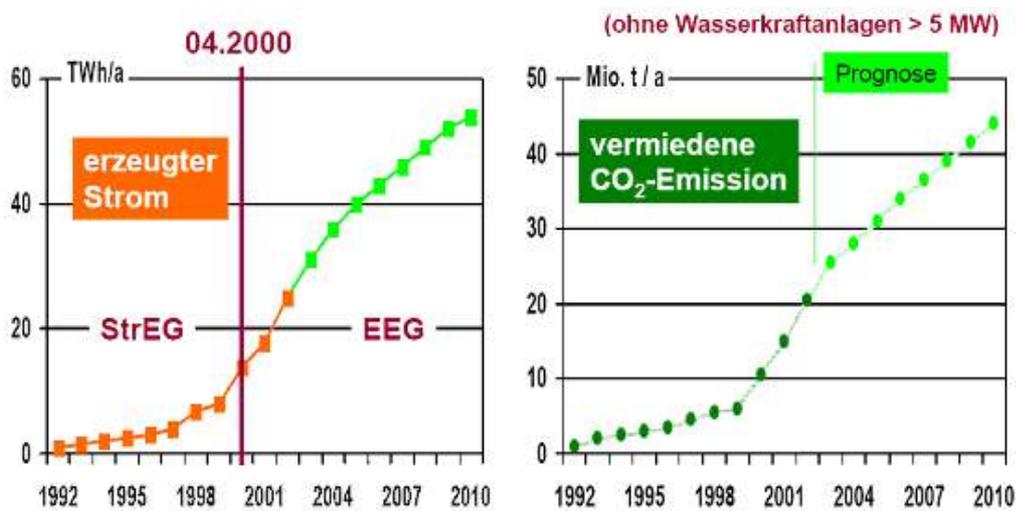
Ordnungspolitische Rahmenbedingungen

- ? Änderung der Raumordnung (Verkehrsvermeidung)
- ? Erneuerbare-Energien-Gesetz

(nach SEILER IMK 2003)

Seit der Einführung des Strom-Einspeisegesetzes (StrEG) gab es eine verhaltene Aufwärtsbewegung im Bereich der regenerativen Energien. Aufgrund des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) ist ein enorm großer Anstieg der Stromproduktion aus alternativen Energien zu verzeichnen, der unter den gesetzlich vorgegebenen Bedingungen auch in Zukunft anhalten wird. Diese Entwicklung zeigt einen direkten Einfluss auf die vermiedene CO₂-Emission.

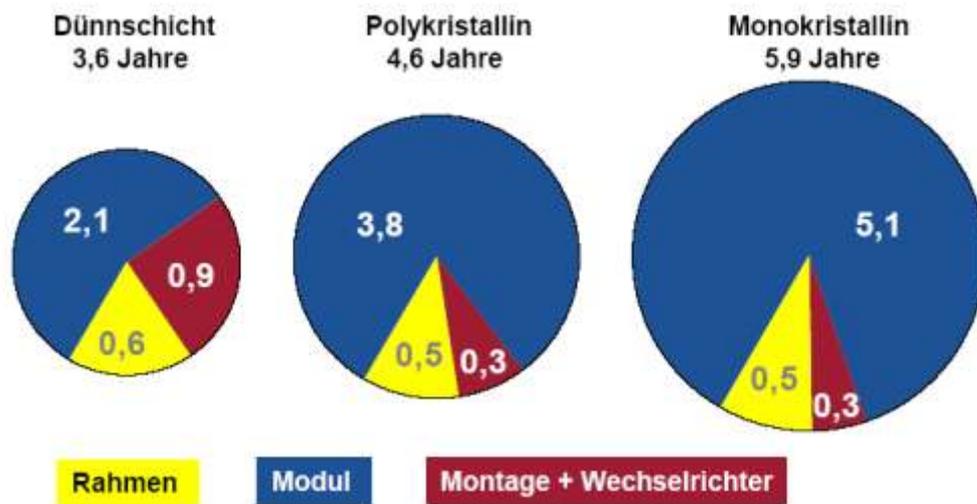
Abb. 9: Entwicklung der erneuerbaren Energien



RWE Schott Solar SG Consulting, 2004

Mit der Nutzung der erneuerbaren Energien, so auch im Bereich der Photovoltaik, wird der Verbrauch von fossilen oder nuklearen Energievorräten verringert. Solarzellen sondern keine Luftschadstoffe ab, verursachen keinen Lärm und dienen dennoch der Stromerzeugung. Die Herstellung der Solarzellen ist derzeit noch sehr energieintensiv d.h. jede technologische Aktivität, so auch die Nutzung erneuerbarer Energieträger, ist mit Umweltauswirkungen verbunden. Ihre energetische Amortisationszeit beträgt in Deutschland durchschnittlich drei bis fünf Jahre.

Abb. 10: Energetische Amortisationszeit der verschiedenen Zellenarten



RWE Schott Solar SG Consulting, 2004

4 Energetische Bewertung der Photovoltaik

Photovoltaikanlagen benötigen im Betrieb keine Brennstoffe und setzen keine schädlichen Stoffe frei. Dennoch müssen die Fragen nach dem Energieaufwand bei der Herstellung, nach den umgesetzten Stoffströmen und nach den Möglichkeiten eines Recyclings der Module beantwortet werden.

Bei den Herstellungsprozessen von Photovoltaikanlagen wird Energie in unterschiedlichen Formen eingesetzt. Um hochwertige Formen von Energie wie z.B. die elektrische Energie zur Verfügung zu stellen, kann bis zu der dreifachen Menge an Primärenergie in Form von Kohle, Gas oder Uran verbraucht werden. Bei der Nutzung von Energie gibt es demzufolge unterschiedliche Klassen der Energiewandlung, die als Primärenergie, Endenergie oder Nutzungsenergie charakterisiert werden. Unter Primärenergie versteht man die Energie in ursprünglicher und noch nicht technisch aufbereiteter Form. Hierzu zählen: Rohöl, Kohle, Uran, Solarstrahlung und Wind. Energie in der Form, wie sie dem Endverbraucher zugeführt wird, bezeichnet man als Endenergie. Hierunter fallen: Erdgas, Heizöl, Kraftstoffe, Elektrizität und Erdwärme. Die Nutzungsenergie stellt den Bereich der Art von Energie dar, in der sie vom Endverbraucher genutzt wird. Einige Beispiele hierfür sind: Licht zur Beleuchtung, Wärme zur Beheizung oder auch Antriebsenergie für Maschinen und Fahrzeuge. (nach GENENNIG u.a., 2004)

Tab. 5 : Definition der Energiearten

Begriff	Definition	Beispiele
Primärenergie	Energie in ursprünglicher Form, noch nicht technisch aufbereitet	Rohöl, Kohle, Uran Solarstrahlung, Wind
Endenergie	Energie in der Form, wie sie dem Endverbraucher zugeführt wird	Erdgas, Heizöl, Kraftstoffe, Elektrizität, Fernwärme
Nutzenergie	Energie in der Form, wie sie vom Endverbraucher genutzt wird	Licht zur Beleuchtung, Wärme zur Beheizung, Antriebsenergie für Maschinen und Fahrzeuge

DGS, 2003

Bei der energetischen Betrachtung ist es sinnvoll, sich immer auf die Primärenergie zu beziehen. Für die Bewertung des Energieaufwandes werden unterschiedliche Begriffsbestimmungen verwendet.

Die Summe der energetischen Aufwendungen von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung, die für ein Produkt benötigt wird, bezeichnet man als kumulierten Energieverbrauch (KEV) bzw. -aufwand (KEA). Bei der energetischen Amortisationszeit (AZ) handelt es sich um die Betriebsdauer, in der ein Energiesystem soviel nutzbare Energie produzieren muss, wie sein kumulierter Energieaufwand angibt. Eine weitere Definition ist der Energetische Erntefaktor (EF); er beschreibt den Quotient aus der gesamten Nettoenergieerzeugung einer Anlage während ihrer gesamten Betriebsdauer und ihrem kumulierten Energieaufwand.

Bei der energetischen Bewertung einer Photovoltaikanlage nimmt nicht nur der Energieaufwand für die Produktion eine große Rolle ein, ebenso ist auch der Ertrag einer Anlage ein wichtiger Aspekt, der nicht außer Acht gelassen werden darf. Deutlich wird dies am Vergleich zwischen südeuropäischen Ländern und hiesigen Regionen. Erstere weisen eine erkennbar höhere solare Einstrahlung auf. Dies bewirkt, dass die energetische Amortisationszeit in südeuropäischen Ländern geringer ausfällt bzw. im Vergleich zu Deutschland sinkt.

Mit einem Anteil von rund 25 Prozent ist Silizium nach Sauerstoff das zweithäufigste Element der Erdkruste. Der Herstellungsprozess des Rohsiliziums ist sehr energieintensiv, denn um das Fabrikationsgut aus Sand oder Quarz zu gewinnen, ist eine aufwändige Aufbereitung notwendig. Es stellt sich heute schon die Frage, ob der kostengünstige Rohstoff auch zukünftig noch in ausreichender Menge für die Produktion von Solarzellen zur Verfügung steht. Gegenwärtig greifen daher die meisten Hersteller von Solarzellen auf Abfälle aus der Halbleiterindustrie zurück. Die Computerindustrie benötigt monokristallines Material in hochwertiger Form. Die hier anfallenden und für die Chipproduktion nicht brauchbaren Abfälle können eingeschmolzen und wiederum zu mono- oder polykristallinen Wafern verarbeitet werden. Durch die große Nachfrage nach

Photovoltaikmodulen reicht das Angebot dieser Sekundärverwertung nicht mehr aus. Für die energetische Bewertung ist es daher ausschlaggebend, ob Silizium für die Photovoltaikindustrie als Abfall betrachtet wird oder ob man den Herstellungsprozess des Siliziums vollständig mit berücksichtigt.

Zukünftig ist insbesondere bei Dünnschichtzellen mit einer erheblich geringeren Amortisationszeit zu rechnen, da hier noch ein großes Entwicklungspotential vorhanden ist. Diese Werte können sich dann weiter mittels günstiger Standortverhältnisse mit vorteilhaften Klimabedingungen positiv verbessern. (nach SIEMER u. KRAPITZ, 2004)

Tab. 6: Energetische Amortisationszeit von PV-Modulen in Deutschland

PV – Anlage	Energetische Amortisationszeit
monokristallines Silizium	5,1
polykristallines Silizium	3,8
Dünnschicht	2,1

RWE Schott Solar SG Consulting, 2004

5 Grundlagen und Funktionsweise einer Photovoltaikanlage

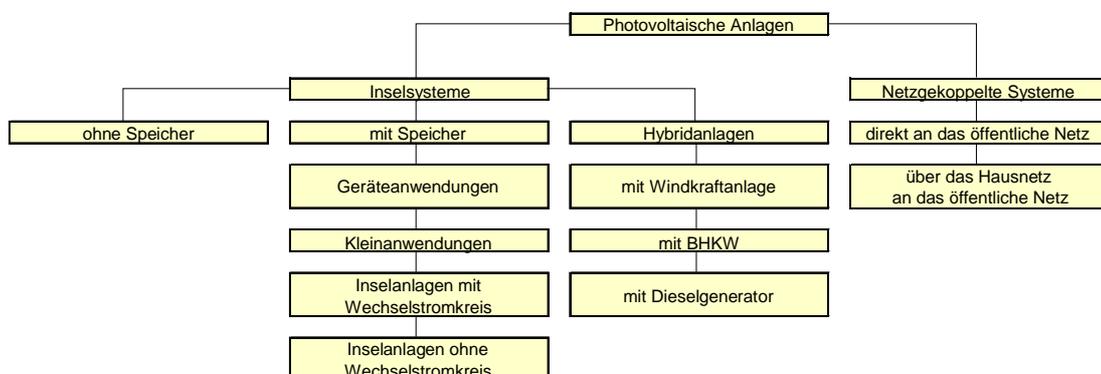
Bei Photovoltaikanlagen handelt es sich um komplexe technische Systeme, welche die Sonnenenergie in elektrische Energie umwandeln. Der Aufbau und die Funktionsweise werden im folgenden Kapitel erläutert.

5.1 Anlagensysteme und deren Anwendungsgebiete

Photovoltaische Anlagensysteme werden in Inselssysteme und netzgekoppelte Systeme eingeteilt. Bei den Inselssystemen wird der solare Energieertrag auf den Energiebedarf des Verbrauchers abgestimmt. Zusätzlich werden in den meisten Fällen Speicher, die sogenannten Akkumulatoren oder weitere Energiequellen (Hybridsysteme) eingebaut. Der Grund hierfür ist, dass der solare Energieertrag oft zeitlich nicht mit dem Energiebedarf der angeschlossenen Verbraucher übereinstimmt.

In Deutschland ist der größte Teil der Photovoltaikanlagen netzgekoppelt d.h. das öffentliche Stromnetz fungiert als Energieüberträger. Durch die erhöhte Einspeisevergütung für solaren Strom wird die gesamte erzeugte Energie in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Während in den kommenden Jahren in Europa verstärkt netzgekoppelte PV-Anlagen in Betrieb genommen werden, ist zu erwarten, dass immer mehr Inselssysteme vorwiegend in den Entwicklungsländern eingesetzt werden.

Abb. 11: Aufteilung der verschiedenen Photovoltaiksysteme



5.1.1 Inselsysteme

Inselsysteme waren die ersten wirtschaftlichen Einsatzbereiche der Photovoltaik. Überall dort, wo eine Stromversorgung über das Energieversorgungs-Verbundnetz nicht möglich, nicht rentabel oder nicht willkommen war, konnten Photovoltaikanlagen im Inselbetrieb eingesetzt werden. Ein großes Potential für diese Inselsysteme ist in den Entwicklungsländern zu finden, da es hier oft nicht möglich ist, ein Energieversorgungsnetz wie beispielsweise in Deutschland aufzubauen und diese Regionen meist ohne die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz auskommen müssen. Im Bereich der Kleinanwendung ist die solare Stromversorgung nicht mehr zu entbehren. Taschenrechner, Uhren, Taschenlampen bis hin zu modernen Parkscheinautomaten und Verkehrsleitsystemen, deren elektrische Versorgung durch Solarmodule gesichert wird, sind bekannte Beispiele für den erfolgreichen Einsatz von Solarzellen im Inselbetrieb. Diese Inselsysteme benötigen einen Energiespeicher, um die zeitliche Unstimmigkeit von Energiegewinnung und Energiebedarf auszugleichen. Um dies zu gewährleisten, werden zur Stromspeicherung Akkumulatoren (Akkus) eingesetzt. Bei ausreichender Sonneneinstrahlung werden die Verbraucher direkt von der Sonne versorgt. (nach QUITMANN u. KRÜGER 1993a)

Ein typisches Inselsystem besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

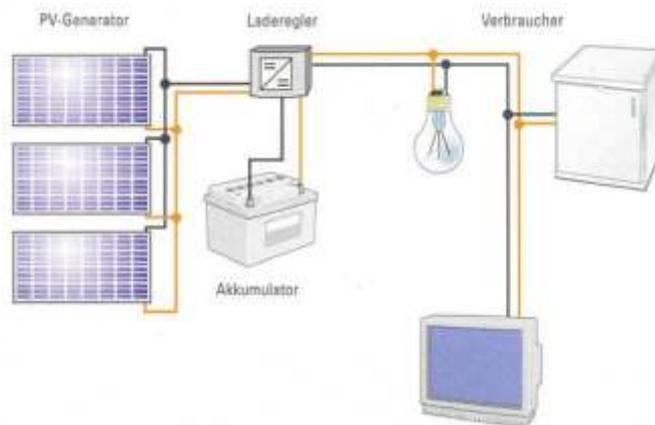
Abb. 12: Prinzip eines PV-Inselsystems

? PV – Generator

? Akkumulator

? Laderegler

? Verbraucher



DGS, 2003

Im Rahmen dieser Arbeit werden weiterhin netzgekoppelte Anlagen betrachtet, da diese ein großes Potential für landwirtschaftliche Betriebe aufweisen.

5.1.2 Netzgekoppelte Systeme

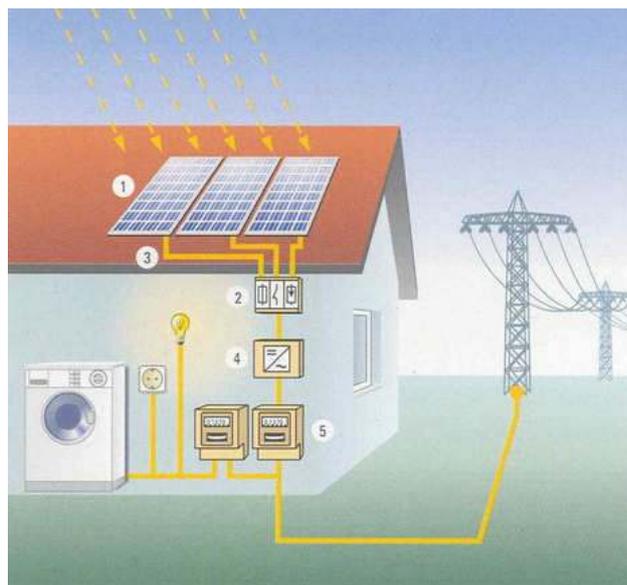
Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen speisen den produzierten Strom in das öffentliche Stromversorgungsnetz ein. Seit dem 100.000-Dächer-Förderprogramm (1991 bis 1995) wurden verstärkt netzgekoppelte PV-Anlagen in Deutschland errichtet. Mit dem 100.000-Dächerprogramm (seit 1999) und dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, seit 2000) hat die Bundesregierung erfolgreiche Markteinführungsprogramme für die Solarstromproduktion geschaffen. Der Solargenerator besteht aus mehreren zusammengeschalteten Solarmodulen und befindet sich meist auf Dächern von Wohnhäusern, Stallgebäuden oder Maschinenhallen. Das Sonnenlicht wird in den installierten Modulen umgehend in elektrische Energie umgewandelt. Kabel leiten die gewonnene Energie zum Wechselrichter. Gleichstrom und Gleichspannung werden in Wechselgrößen umgewandelt, auf die übliche Netzspannung hochtransformiert und phasenrichtig in das elektrische Netz eingespeist. Der größte Vorteil von netzgekoppelten Anlagen ist die Unabhängigkeit von Verbrauch und Erzeugung. Es werden weder Akkumulatoren benötigt, es bestehen keine Verbrauchsbeschränkungen, noch muss der Tagesablauf an die produzierte

Strommenge angepasst werden, so wie es bei den Inselanlagen der Fall ist. (nach QUITMANN u. KRÜGER 1993b)

Eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage besteht im Wesentlichen aus den folgenden Hauptkomponenten:

1. PV-Generator (mehrere PV-Module in Reihen- und Parallelschaltung mit Montagegestell)
2. Generatoranschlusskasten (Schutztechnik und Hauptschalter)
3. Gleich- und Wechselstromverkabelung
4. Wechselrichter
5. Schutz- und Zähleinrichtung

Abb. 13: Prinzip einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage



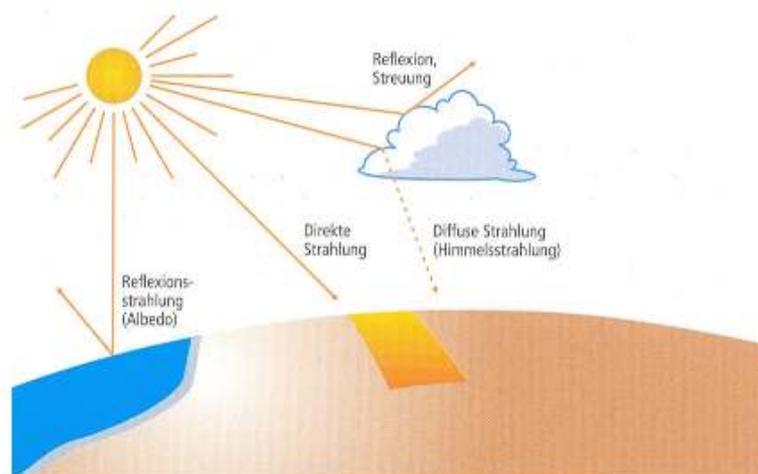
DGS, 2003

5.2 Energieertrag in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung

Die Intensität der Sonnenstrahlung außerhalb der Erdatmosphäre ist abhängig von dem Abstand zwischen Sonne und Erde. Im Bundesdurchschnitt fallen auf einen Quadratmeter jährlich 1.125 Kilowattstunden Sonnenenergie, was dem Energiegehalt von über 100 Litern

Öl entspricht. Die Erdatmosphäre reduziert die Sonneneinstrahlung durch Reflektion, Absorption (durch Ozon, Wasserdampf, Sauerstoff oder Kohlendioxid) und Streuung (durch Moleküle, Staubteilchen oder Verunreinigungen). Im weltweiten Mittel erreicht daher nur etwa ein Anteil von 50 % der extraterrestrischen Sonnenenergie als diffuse (gestreute) und direkte (unbeeinflusste) Strahlung die Erdoberfläche, wovon 6 % durch Reflektion wiederum abgestrahlt werden. Die Unterschiede der solaren Strahlung sind auf klimaspezifische Faktoren und die geographische Lage zurückzuführen. Das Sonnenlicht besteht aus einem direkten und einem diffusen Anteil. Die direkte Sonneneinstrahlung trifft ungehindert von der Sonne auf die Erde, hingegen hat die diffuse Strahlung keine vorgegebene Richtung, wie dies im nachfolgenden Schaubild zu erkennen ist.

Abb. 14: Das Sonnenlicht beim Gang durch die Atmosphäre

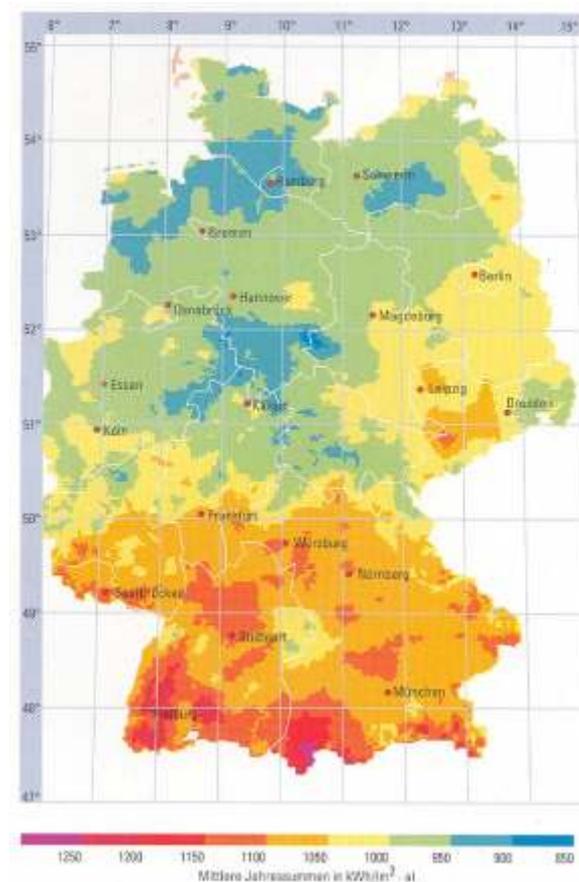


DGS, 2003

In Äquatornähe werden die höchsten Einstrahlungssummen mit ca. 2.400 kWh/(m²a) registriert. Bevorzugte Regionen finden sich in Südamerika, Zentralafrika, Südostasien und in Nordafrika. In der Bundesrepublik Deutschland werden auf den vorgelagerten Nordseeinseln Werte bis zu 1.100 kWh/(m²a), in der norddeutschen Tiefebene zwischen ca. 950 und ca. 1.050 kWh/(m²a) und in Mitteldeutschland zwischen ca. 930 und 1.000 kWh/(m²a) im Mittel registriert. Die höchsten Jahressummen der Globalstrahlung (bis zu ca. 1.200 kWh/(m²a) werden bereichsweise in

Süddeutschland erreicht. Insgesamt kann das jährliche Strahlungsangebot in der Bundesrepublik Deutschland im räumlichen und zeitlichen Mittel mit ca. 1.075 kWh/(m²a) angegeben werden.

Abb. 15: Solare Einstrahlungskarte von Deutschland



Deutscher Wetterdienst, 2003

In Nordrhein-Westfalen richtet sich die solare Einstrahlung im Wesentlichen nach den geographischen Merkmalen der Region. Im Hochsauerland ist im Gegensatz zum Flachland (Münsterland und Niederrheinische Tiefebene) ein deutlicher Unterschied in den Jahressummen erkennbar. Der Grund hierfür liegt darin, dass sich die Bewölkungsdichte aufgrund der Abkühlung aufsteigender Luftmassen in den Mittelgebirgslagen (Rothaargebirge) insbesondere in den Sommermonaten stark erhöht. Dies führt in der Folge zu einer niedrigeren Sonnenscheindauer, verbunden mit einer geringeren Einstrahlung. Für eine Abschätzung, ob sich eine Fläche für die solare Nutzung eignet, ist eine Betrachtung des jährlichen Strahlungsangebotes hilfreich.

Je nach Ausrichtung einer Photovoltaikanlage ergibt sich eine unterschiedliche Einstrahlung. Das Optimum liegt in Deutschland bei

Südausrichtung und 30 Grad Neigung. Bei diesem Neigungswinkel ist die Einstrahlung ca. 10 % höher als auf horizontalen Flächen (Neigungswinkel 0 Grad). Werden Solaranlagen auf Dächern montiert, die in Ausrichtung und Neigung vom Optimum abweichen, ist aufgrund der geringeren Einstrahlung mit niedrigeren Erträgen zu rechnen. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, die Solarmodule mit einem entsprechenden Unterbau (Aufständering) in eine optimalere Position auszurichten. (nach SOLARATLAS NRW, 2004)

Abb. 16: Prinzip der Aufständeringung von Photovoltaikmodulen



Eigene Darstellung, 2004

Die Nachteile der Aufständeringung bei einer Photovoltaikanlage liegen darin, dass der optimale Einstrahlungswinkel zwar erreicht wird, jedoch Einbußen bei der nutzbaren Dachfläche (durch mögliche gegenseitige Beschattung) akzeptiert werden müssen. Des Weiteren entstehen zusätzliche Kosten für das entsprechende Untergestell.

5.3 Photovoltaischer Effekt und Funktionsweise von Solarzellen

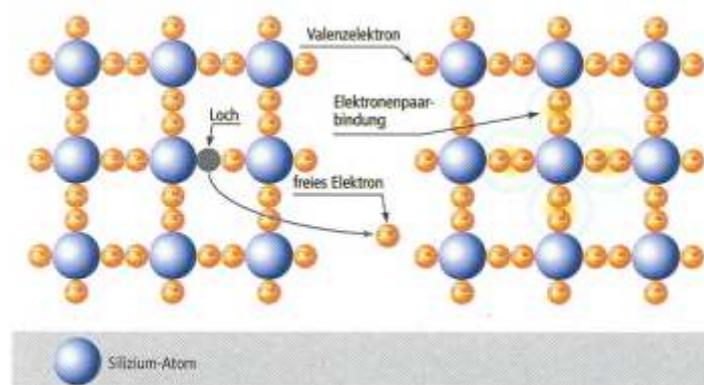
Die von der Natur angebotene Energie liegt nicht immer in der Form vor, in der sie vom Menschen benötigt wird. Die Sonne bietet ihre Energie als Licht- bzw. Wärmestrahlung an. Unter Photovoltaik versteht man die direkte Umwandlung von Licht in elektrische Energie mit Hilfe von Solarzellen. Obwohl der photovoltaische Effekt schon seit seiner Entdeckung von BECQUEREL im Jahre 1839 bekannt ist, folgte die erste Nutzung zur Energieerzeugung erst mit dem Satellitenzeitalter. Bisher wurden

unterschiedliche Halbleitermaterialien wie Silizium, Gallium-Arsenid, Cadmium-Tellurid oder Kupfer-Indium-Diselenid untersucht und eingesetzt. Am weitesten verbreitet ist die kristalline Siliziumsolarzelle. Weltweit werden derzeit etwa 95 % der Solarzellen aus Silizium hergestellt. Es ist nach Sauerstoff das zweithäufigste chemische Element der Erde und liegt in Verbindung mit Sauerstoff im Quarzsand vor. Dies hat zur Folge, dass der Herstellungsprozess sehr aufwendig ist. Das Silizium, welches für die Herstellung von Solarzellen benötigt wird, muss ein möglichst reines Material sein. Dies lässt sich durch die chemischen Produktionsschritte erreichen. Derzeit greifen Hersteller aus der Solarindustrie vorwiegend auf Silizium zurück, welches in der Halbleiterindustrie als Abfallprodukt anfällt. (nach MELIß, 1994)

5.3.1 Funktionsprinzip einer Solarzelle

Das Funktionsprinzip wird am Beispiel einer kristallinen Siliziumsolarzelle erläutert. Die Siliziumatome bilden ein stabiles Kristallgitter. Jedes Siliziumatom verfügt über vier Bindungselektronen (Valenzelektronen) in seiner äußeren Elektronenschale. Um auf eine beständige Elektronenkonfiguration zu kommen, bilden sich Elektronenpaarbindungen. Durch diese Bindung mit vier Nachbarn erhält Silizium eine stabile Edelgaskonfiguration mit acht Valenzelektronen. Durch den Einfluss von Licht oder Wärme kann eine Elektronenbindung aufgebrochen werden. Das Elektron kann sich anschließend frei bewegen und hinterlässt im Kristallgitter einen freien Platz. Dieses Phänomen wird als Eigenleitung bezeichnet.

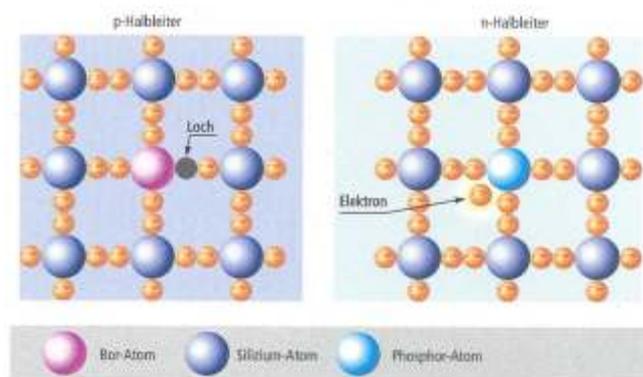
Abb. 17: Kristallstruktur von Silizium und Eigenleitung



DGS, 2003

Durch das entstandene „Elektronenloch“ gibt es nun einen positiv geladenen Atomkern und ein negativ geladenes freies Elektron. Dies allein würde für einen dauerhaften Elektronenfluss jedoch noch nicht ausreichen, denn die ziellosen Elektronen würden in das nächste „Elektronenloch“ zurückfallen. Damit die Siliziumscheibe (Wafer) als Energieerzeuger tätig sein kann, werden in das Kristallgitter Verunreinigungen, sogenannte Dotieratome eingebaut, die etwa genau so groß sind wie Siliziumatome. Dies sind Atome, die ein Elektron mehr (Phosphor) oder ein Elektron weniger (Bor) als Silizium in ihrer äußeren Schale besitzen. Im Kristallgitter entsteht dann durch diese Atome eine Störung. Bei der Dotierung mit Phosphor (n-Dotierung) steht nun ein überflüssiges Elektron zur Verfügung. Dieses kann sich im Kristallgitter frei bewegen und so elektrische Ladung transportieren. Bei der Dotierung mit Bor (p-Dotierung) steht dann ein freier Platz (fehlendes Bindungselektron) zur Verfügung und so können Elektronen von einem benachbarten Siliziumatom dieses Loch ausfüllen, wodurch an nächster Stelle eine weitere Lücke entsteht.

Abb. 18: Störstellenleitung bei n- und p-dotiertem Silizium

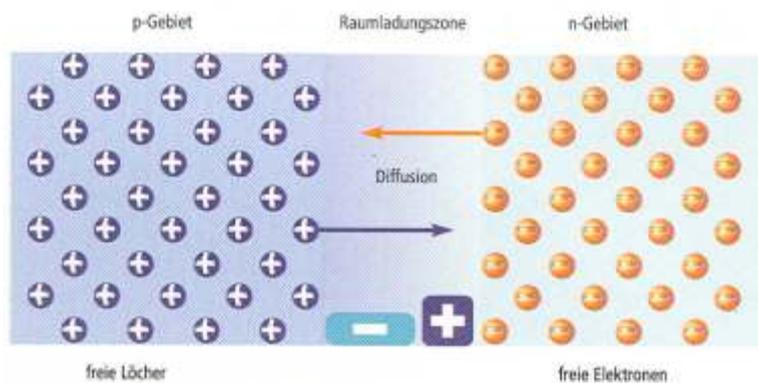


DGS, 2003

Werden n- und p-dotierte Halbleiterschichten in Verbindung gebracht, so entsteht ein pn-Übergang sowie ein Gebiet mit wenigen freien Ladungsträgern. Dieses Gebiet wird als Raumladungszone bezeichnet. Im n-Gebiet befinden sich positiv geladene, im p-Gebiet negativ geladene

Dotieratome und es entsteht ein elektrisches Feld. Wird die Solarzelle nun dem Licht ausgesetzt, werden Photonen von den Elektronen absorbiert und durch diese Energiezufuhr werden die Elektronenbindungen aufgebrochen. Die freigesetzten Elektronen werden durch das elektrische Feld in das n-Gebiet transportiert. Die entstandenen Lücken wandern in die entgegengesetzte Richtung, sprich in das p-Gebiet. Es bewirkt, dass eine Spannung an der Solarzelle anliegt. (nach REISMAYR u. STARK, 2003)

Abb. 19: Ausbildung einer Raumladungszone am pn – Übergang durch Diffusion von Elektronen und Löchern



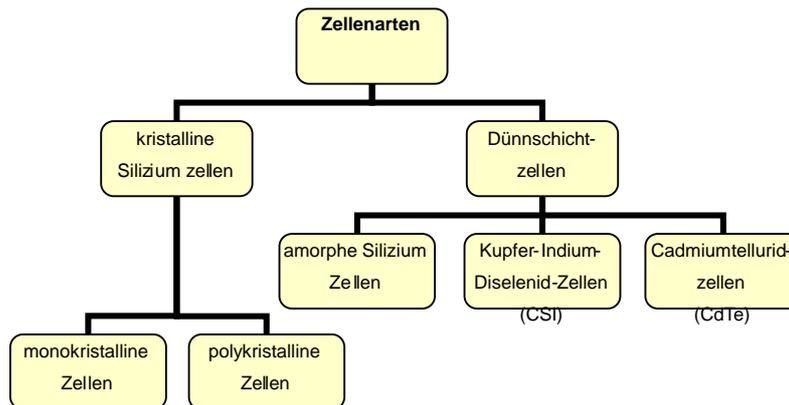
DGS, 2003

Dieser beschriebene Vorgang wird Photovoltaischer Effekt genannt. Die Siliziumsolarzelle setzt sich aus zwei unterschiedlich dotierten Schichten zusammen. Die dem Sonnenlicht zugewandte Seite ist mit Phosphor negativ dotiert, die dem Sonnenlicht abgewandte Seite mit Bor positiv. An den Grenzschichten entwickelt sich ein elektrisches Feld, das zur Trennung der freigewordenen Ladung führt. Auf der Vorder- und Rückseite einer Solarzelle sind metallische Kontakte angebracht, die es ermöglichen, den Strom abzuführen. Die Vorderseite ist weitgehend lichtdurchlässig und mit einer Antireflexschicht versehen. Hingegen wird auf der Rückseite eine Kontaktschicht aus Aluminium aufgebracht. Durch diese Maßnahmen kann jedoch die Sonnenenergie immer noch nicht zu 100 % genutzt werden. Es entstehen Verluste durch Reflektion, Abschattung, Stromwärmeverluste und durch zu geringe oder überschüssige Photonen-Energie.

5.3.2 Aufbau der zur Zeit gebräuchlichen Solarzellen

In der Photovoltaikindustrie gibt es zahlreiche Unterschiede zwischen den verschiedenen Solarzellenarten. Nachfolgend sollen die wichtigsten Arten vorgestellt werden.

Abb. 20: Aufteilung der verschiedenen Zellenarten



Eigene Darstellung, 2004

Um kristalline Siliziumzellen herzustellen, muss das Siliziumoxid zunächst vom Sauerstoff getrennt werden. Dazu wird der Quarzsand zusammen mit Kohlepulver in einem Schmelztiegel hoch erhitzt. Dabei entsteht metallurgisches Silizium mit einer Reinheit von ca. 98 %. Für die Elektronikanwendung ist jedoch eine 2 %ige-Verunreinigung nicht akzeptabel. Zulässig sind nur wesentlich geringere Werte. Das Rohsilizium wird deswegen weiterhin durch einen chemischen Prozess gereinigt. Es wird fein gemahlen und in einen Ofen mit gasförmigem Chlorwasserstoff gegeben. Eine Flüssigkeit aus Wasserstoff und Trichlorsilan entsteht und siedet bei einer Temperatur von 31 Grad Celsius. Nach mehrmaliger Destillation wird der Anteil der Verunreinigungen vermindert. Bei anschließender Erhitzung auf 1000 Grad Celsius werden die zuvor genannten Stoffe wieder zu Silizium reduziert. Das auf diese Weise entstandene Produkt kann zu monokristallinen oder polykristallinen Zellen weiterverarbeitet werden.

Die am meisten verwendeten Solarzellen sind polykristalline. Sie werden hergestellt, indem geschmolzenes Silizium kontrolliert abkühlt und der entstandene Kristallblock in quadratische Scheiben gesägt wird. Beim Sägen der Wafer geht ein Teil des Siliziums als Sägeabfall verloren. Polykristalline Siliziumscheiben lassen sich schneller herstellen wie monokristalline Scheiben. Sie bestehen aus vielen kleinen Kristallen mit Abmessungen von bis zu einigen Zentimetern, die durch die unterschiedliche Reflektion des Lichtes gut an der Oberfläche erkennbar sind. Nach der Phosphor-Dotierung erfolgt das Aufbringen der Rückkontaktschicht und das Versehen der Vorderseite mit den Stromabnahmelinien und der Antireflexschicht. In der nachfolgenden Tabelle werden kurz die Eigenschaften der polykristallinen Solarzelle erläutert.

Tab. 7: Eigenschaften von polykristallinen Siliziumzellen

Polykristalline Siliziumzellen	
Wirkungsgrad	13 bis 15 % mit Antireflexschicht
Form	quadratisch
Größe	10 x 10 cm ² , 12,5 x 12,5 cm ² , 15 x 15 cm ²
Dicke	0,3 mm
Struktur	Blockgießverfahren: Bildung unterschiedlicher Kristalle, gut an der Oberfläche zu erkennen (Eisblumenstruktur)
Farbe	Blau (Antireflexschicht), silbergrau ohne Antireflexschicht

Eigene Darstellung, 2004

Bessere elektronische Eigenschaften als das polykristalline Silizium besitzt das monokristalline Material. Aus diesem Grund haben diese Solarmodule in den meisten Fällen den höheren Zellwirkungsgrad. Bei der Herstellung hat sich der Czochralski-Prozess (Tiegelziehprozess) bewährt. Bei diesem Verfahren wird ein Kristallkeim in eine Siliziumschmelze getaucht und unter einer langsamen Drehbewegung aus der Schmelze gezogen. Dabei wird ein zylinderförmiger Einkristall mit 30 cm Durchmesser produziert. Die runden

Einkristalle werden zu semiquadratischen Stangen (mit abgeschrägten Ecken) angefast und in 0,3 mm dicke Scheiben (Wafer) geschnitten.

Ebenso wie bei den polykristallinen Zellen wird auch hier eine Dotierung, also das Aufbringen von einer Rückkontaktschicht und einer Antireflexschicht, vorgenommen. Das Flüssigphasen-Verfahren ist eine weitere Methode zur Herstellung von monokristallinen Siliziumzellen. Dieses Verfahren benötigt teures Rohmaterial, aber es entsteht hochreines Silizium und daraus resultiert ein 1 bis 2 % höherer Wirkungsgrad. Der hohe Preis von Solarzellen aus dieser Herstellung rechnet sich bisher nur, wenn eine hohe Leistung benötigt wird und nur eine geringe Fläche zur Verfügung steht. (nach HERRMANN u. KREUTZMANN, 2003)

Tab. 8: Eigenschaften von monokristallinen Siliziumzellen

Monokristalline (einkristalline) Siliziumzellen	
Wirkungsgrad	15 bis 18 % (Czochralski-Silizium)
Form	runde, semiquadratische oder quadratische Zellen
Größe	10 x 10 cm ² , 12,5 x 12,5 cm ² , Durchmesser : 10, 12,5, oder 15 cm
Dicke	0,3 mm
Struktur	homogen
Farbe	dunkelblau bis schwarz mit Antireflexschicht, grau ohne Antireflexschicht

Eigene Darstellung, 2004

Seit einigen Jahren werden verstärkt Dünnschichtverfahren zur Herstellung von Solarzellen entwickelt. Hierbei werden photoaktive Halbleiter als dünne Schichten auf ein geeignetes Trägermaterial wie z.B. Glas aufgebracht. Als Halbleitermaterialien werden amorphes Silizium, Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) und Cadmium-Tellurid (CdTe) benötigt. Diese Materialien weisen eine hohe Lichtabsorption auf. Beim Herstellungsprozess entstehen wesentlich geringere Abscheidungstemperaturen. Während kristalline Zellen miteinander verlötet werden, werden Dünnschichtzellen intern verschaltet. Der elektrische Kontakt wird auf der Rückseite durch eine nicht durchsichtige

Metallschicht hergestellt. Auf der Vorderseite befindet sich eine hochtransparente und leitfähige Metalloxidschicht. Auch wenn diese Zellen einen relativ geringen Wirkungsgrad haben, kann die Energieausbeute unter bestimmten Bedingungen sehr hoch sein. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn diffuses oder schwaches Licht ausgenutzt werden soll. Ebenfalls zeigen diese Zellen eine geringere Leistungsabnahme bei höheren Betriebstemperaturen und aufgrund ihrer Zellformen verursachen sie wesentlich weniger Abschattung. (nach ZWEIBEL u. ROEDERN, 2004)

Tab. 9: Eigenschaften von amorphen Siliziumzellen

Amorphe Siliziumzellen	
Wirkungsgrad	5 bis 8 %
Form	variabel
Größe	0,77 x 2,44 m ² , Sondermodule max. 2 x 3 m ²
Dicke	1 bis 3 mm Trägermaterial z.B. Glas
Struktur	homogen
Farbe	rötlichbraun bis schwarz

Eigene Darstellung, 2004

Tab. 10: Eigenschaften Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)

Kupfer-Indium-Diselenid-Zellen (CIS)	
Wirkungsgrad	7,5 bis 9,5 %
Form	variabel
Größe	1,20 x 0,60 m ²
Dicke	3 mm Trägermaterial z.B. Glas
Struktur	homogen
Farbe	schwarz

Eigene Darstellung, 2004

Tab. 11: Eigenschaften von Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)

Cadmium-Tellurid-Zellen (CdTe)	
Wirkungsgrad	6 bis 9 %
Form	variabel
Größe	1,20 x 0,60 m ²
Dicke	3 mm Trägermaterial z.B. Glas
Struktur	homogen
Farbe	dunkelgrün bis schwarz

Eigene Darstellung, 2004

5.4 Bestandteile von PV-Anlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus vielen Einzelkomponenten, die aufeinander abgestimmt sein müssen, denn nur so kann ein maximaler Energieertrag gewährleistet werden. Die wichtigsten Bestandteile werden nachfolgend kurz erläutert.

5.4.1 PV-Module

Kristalline Zellen werden aufgrund ihrer unbedeutenden Einzelleistung in Reihe (Zellversträngung) und parallel geschaltet. Um Leistungsverluste im Gesamtsystem zu vermeiden, verschaltet man ausschließlich gleiche Modultypen. Bei netzgekoppelten Anlagen werden dann mehrere Stränge parallel geschaltet. Die Frontseitenkontakte sind mit den Rückseitenkontakten der nächsten Zelle zu verlöten. Es wird jeweils der Minuspol der Vorderseite mit dem Pluspol der Rückseite der nachfolgenden Zelle verbunden. Der Anfang und das Ende des Strings werden so konzipiert, dass ein elektrischer Anschluss herausgeführt werden kann. Anders ist es bei den Dünnschicht-zellen: Hier wird die elektrische Verbindung bereits schon bei der Zellherstellung integriert.

Um die Zellstränge gegen mechanische Beanspruchung, Witterungseinflüsse und Feuchtigkeit zu schützen, werden sie in ein lichtdurchlässiges Verbundmaterial eingebettet, das darüber hinaus auch der elektrischen Isolierung dient. Zur Stabilisierung wird das Verbundmaterial auf eine

Trägerschicht aufgebracht (Glas, Metall, Kunststofffolien). Hierbei ist es wichtig, dass die Abdeckung der sonnenzugewandten Seite hochtransparent ist, um mögliche Einstrahlungsverluste zu vermeiden. Aus diesem Grund wird auf der Vorderseite der Solarzelle eisenoxidarmes Solarglas verwendet, welches bis zu 91 % des Lichtes durchlässt. Um die Energieausbeute weiter zu steigern, kann noch eine zusätzliche Antireflexschicht aufgebracht werden. Eine Ertragssteigerung um 3,5 % ist zu erwarten. Man unterscheidet Standardmodule, Spezialmodule und Sondermodule. Standardmodule sind Module, die mit dem Ziel hergestellt werden, möglichst geringe Kosten pro Quadratmeter bei einer maximalen Energieausbeute zu verursachen. Man vermarktet sie mit einer festen Abmessung und einer bestimmten Leistung. Diese Module produziert man mit oder ohne Rahmen und setzt sie dort ein, wo keine speziellen Anforderungen an Form und Größe gestellt werden. Sie können aufgeständert oder auch dachintegriert sein. Ein typisches Modul besteht aus 36 bis 72 Zellen und hat eine Leistung von 50 bis 170 W_p. In der Regel sind diese Module rechteckig und die Zellen sind in vier bis sechs Reihen nebeneinander angeordnet, mit einer Abmessung von z.B. 644 mm x 1.282 mm. Aber auch hier gibt es unterschiedliche Bauarten. (nach RWE SCHOTT SOLAR, 2004)

Abb. 21: Anordnung der Zellen auf einer Dachfläche



Betreiber:	Hubertus Henne Gut Wicheln, Arnsberg
Modul:	Shell SP 140 Watt
Gesamtleistung:	77 kWp
Inbetriebnahme:	August 2003

Eigene Darstellung, 2004

Spezialmodule werden serienmäßig für eine bestimmte Anwendung hergestellt. Ihre Einsatzbereiche sind zahlreiche Kleinanwendungen wie z.B. Taschenrechner, Uhren, Taschenlampen usw. .

Sondermodule werden individuell für einen bestimmten Einsatzbereich gefertigt. In Abhängigkeit hiervon werden Größe und Form spezifisch bestimmt.

5.4.2 Wechselrichter

Der Wechselrichter ist das Verbindungsstück zwischen PV-Modulfeld und Wechselstromnetz bzw. Wechselstromverbraucher und somit unverzichtbar für eine Photovoltaikanlage. Seine Aufgabe ist es, den erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umzuformen und an die Frequenz (50 Hz) und Höhe der Netzspannung (230V) anzupassen. Dies geschieht durch schnelles Ein- und Ausschalten eines elektronischen Schalters, der den Gleichstrom „zerhackt“ und Wechselstrom erzeugt. In kurzen Zeitintervallen ändert sich

regelmäßig die Spannung von Plus nach Minus. Ebenfalls ändert sich die Höhe der Spannung und die Stromstärke, so dass man den Vorgang als sinusförmigen Verlauf bezeichnen kann. Da der Wechselrichter den Strom nur in Phasen mit der Netzspannung einspeisen kann, speichert ein Kondensator den produzierten Strom kurzzeitig. Bei Photovoltaik-Anlagen bis 5 kW_p ist eine einphasige Einspeisung zulässig. Anlagen mit einer höheren Leistung müssen dreiphasig fungieren. Dadurch kann der produzierte Solarstrom fast kontinuierlich in das Netz abgegeben werden. Bei Ausfall des Gerätes kann keine Energie an das Stromnetz abgegeben werden. (nach BÖHRNSEN, 2004)

Die Lebensdauer von Solarmodulen (meist 20 Jahre vom Hersteller garantiert) erreichen die heutigen Wechselrichter in der Regel nicht. Oft erfolgt ein Tausch nach etwa sieben bis zehn Jahren. Die größte Schwachstelle ist bei den Kondensatoren zu suchen. (Krügermann 2004, mündliche Mitteilung)

Die Kenngröße für Solaranlagen ist das Leistungsverhältnis, worunter man den Zusammenhang zwischen tatsächlichem und theoretisch möglichem Ertrag versteht. Dies muss bei der Auswahl des Wechselrichters beachtet werden. Eine ungünstige Modulausrichtung, hohe Temperaturen, schlechte Verkabelung, Verschattungen, Verschmutzungen oder die ungünstige Positionierung des Wechselrichters können zu enormen Energieeinbußen führen. Der Wechselrichter ist an die Leistung der Anlage anzupassen und darf nicht zu stark überlastet werden. In den meisten Fällen wird ein kleineres Gerät ausgewählt, das nicht für die Spitzenleistung der PV-Anlage ausgelegt ist. Somit befindet sich der Wechselrichter über das Jahr gesehen weniger im Teillastbereich. Der Wirkungsgrad des Gerätes ist lastenabhängig. Die Photovoltaikmodule erreichen ihre Spitzenleistung auch nur unter Laborbedingungen, d.h. bei Bewölkung oder bei diffusem Licht vor allem in den Wintermonaten produzieren die Module wesentlich weniger Strom. Dies bedeutet, der Wechselrichter würde weniger effizient arbeiten. Aus diesem Grund werden vom Installateur kleinere Wechselrichter angeschlossen. Bei der Montage von Wechselrichtern in landwirtschaftlichen Gebäuden ist zu

beachten, dass das Gerätegehäuse mindestens der Schutzart IP 54 entspricht, denn nur so ist es vor Staub und Spritzwasser geschützt.

In Scheunen oder Getreidelagern sollten keine Geräte mit Lüfter eingebaut werden, da sonst Fremdkörper eingesaugt werden können, welche Schäden verursachen. In Deutschland müssen aus Sicherheitsgründen Einrichtungen zur Netzüberwachung mit Schaltorgan installiert werden, welche bei Netzausfall den Wechselrichter vom Stromnetz trennen.

(nach UMWELTTECHNIK HAßLER u. BÄTZEL 2004, mündliche Mitteilung u. SMA, 2004)

Abb. 22: Anordnung der Wechselrichter auf der Gebäudeaußenseite



Betreiber:	Anton Hollmann Ense-Lüttringen
Modul:	BP 170 Watt
Gesamtleistung:	29,7 kWp
Inbetriebnahme:	Mai 2001

Umwelttechnik Haßler u. Bätzel, 2004

5.4.3 Leitungen und Installationsmaterial

Für die elektrische Installation sind nur solche Leitungen zugelassen, die den Anforderungen des Verwendungszweckes standhalten. Es werden Gleichstromleitungen (Modulleitungen) und Wechselstromleitungen voneinander unterschieden. Die Modulleitungen werden meistens im Außenbereich verwendet. Um eine erd- und kurzschluss sichere Verlegung zu gewährleisten, darf der positive und der negative Pol nicht in einer Leitung

zusammen verlegt werden. Einadrige Kabel mit doppelter Isolierung sind empfehlenswert. Im Außenbereich werden sogenannte Solarleitungen verwendet, die UV- und witterungsbeständig sind und eine hohe Temperaturtoleranz aufweisen. Sie sollten so verlegt werden, dass eine Beschädigung auch durch Nagetiere nicht erfolgen kann. Mit der Wechselstromleitung wird der Wechselrichter über eine Schutzeinrichtung mit dem Stromnetz verbunden. In der folgenden Tabelle wird deutlich, welchen Anforderungen die Leitungen einer PV-Anlage standhalten müssen.

Tab. 12: Anforderungen an Kabel und Leitungen

Anforderungen an Kabel und Leitungen	
mechanische Festigkeit	Druck-, Zug-, Biege- und Scherbeanspruchung
Witterungsbeständigkeit	UV- und Ozonbeständigkeit bei ungeschützter Verlegung im Freien, Wärme- und Kältebeständigkeit (70 °C auf dem Dach, 55 °C im Dachboden)
erd- und kurzschluss-sichere Installation	Einzelleitung mit doppelter Isolierung

Eigene Darstellung, 2004

Das Verlegen der Leitungen sollte sachgemäß und durch fachkundige Personen ausgeführt werden. (nach UMWELTTECHNIK HÄBLER u. BÄTZEL, 2004)

5.4.4 Schutz- und Zählereinrichtung

Ein Leistungsschutzschalter trennt die Photovoltaikanlage selbstständig vom Stromnetz, wenn eine Überlastung oder ein Kurzschluss eingetreten ist. Hingegen überwacht der Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter) den fließenden Strom des Stromkreises im Hin- und Rückleiter. Treten hier

Differenzen auf, wird der Stromkreis umgehend getrennt. Der gesamte Strom wird über den Einspeisezähler in das öffentliche Netz eingespeist.

5.5 Recycling nicht mehr verwendbarer Module

Aufgrund der beschriebenen energetischen Bewertung stellt sich die Frage des Recyclings von defekten oder ausgedienten Photovoltaikanlagen. Hierbei fällt das Augenmerk vor allem auf den Anteil des Siliziums. Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die Recyclingfähigkeit der verschiedenen Bestandteile einer Photovoltaikanlage:

Tab. 13: Prinzip des Recyclings der einzelnen Bestandteile von Photovoltaikmodulen

Modul – Komponente	Materialien	Relativer Massenanteil	Recyclingfähigkeit
Glas	Natron Kalkgläser	30 – 65 %	Flachglas, Gussglas, Hohlglas, Fasern
Verbundmittel	EVA, Acrylate, PU u.a.	5 – 10 %	thermisch
Rückseiten- abdeckung	Polyester, Alu., Glas, Fluor- polymere, Glas	0 – 10 % ohne Glas	thermisch, Metallkreislauf, Glasrecycling
Rahmen	Alu., Stahl, PU, PC u.a.		Metallkreislauf, Kunststoffrecycling, thermisch
Anschlussdosen	ABS, PC, PPO, PET u.a.	0 – 5 %	Kunststoffrecycling, thermisch
Kabel	Kupfer, Polyolefine, synthetische Kautschuke, TPE, PTFE	1 %	Elektronikschrottreycling, Metallrecycling
Dichtmassen	Silikone, Acrylate, PU, Polysulfide, PE- Schäume, Kautschuke, Polyisobutylene	0 – 10 %	thermisch
Füllstoffe	Al ₂ O ₃ , TiO, C, CaCO ₃ , SiO ₃ , u.a.	1 %	Füllstoffe
Zellen aus kristallinem Silizium	Si, Ti, Ag, Sn, Pb, Cu, Ni, Pd u.a.	5 – 10 %	Keramikerstellung, Legierungszuschläge
Dünnschichtzellen	amorphes Si,	< 1 %	chemisch,

	Al, Sn, Cu, Pb, CdTe, S, Cul- nSe ₂ , Mo u.a.		Metallkreislauf
Elektrische Verbinder	Cu, Sn, Pb, Al, Ag	1 %	Metallkreislauf

Wambach, 2003

Die Wiederverwertung hat einen hohen Einfluss auf die energetische Amortisationszeit. Dazu wurden von einigen Firmen wie BP, RWE Solar u.a. unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt. Es wurden Verfahren konzipiert, die eine nochmalige Verwendung des Rohmaterials, der Siliziumscheibe oder der fertigen Solarzelle erlauben. Bei einer einmaligen Wiederverwertung kann die energetische Amortisationszeit schon um bis zu 20 bis 25 % reduziert werden. In der unten aufgeführten Tabelle spiegelt sich der Energieeinsatz für die Herstellung eines normalen sowie eines aus recycelten Komponenten hergestellten PV-Moduls wieder; es lässt sich erkennen, dass das Recycling-PV-Modul nur ca. ein Fünftel des Energieeinsatzes erfordert.

(nach WAMBACH, 2003)

Tab. 14: Vergleich zwischen neuwertigen und recycelten Modulen

	Neues PV-Modul	Recycling PV-Modul
Silizium – Scheibe	7,55 kWh _{el} /Scheibe	-
Recycling	-	0,1 kWh _{el} /Scheibe
Solarzelle	0,65 kWh _{el} /Scheibe	0,65 kWh _{el} /Scheibe
Modulherstellung	1,12 kWh _{el} /Scheibe	1,12 kWh _{el} /Scheibe
Gesamtenergie	9,32 kWh _{el} /Scheibe	1,87 kWh _{el} /Scheibe
spezifischer Energieeinsatz	4,26 kWh _{el} /kW _p	0,85 kWh _{el} /kW _p

DGS, 2003

6 Photovoltaikanlagen in der Landwirtschaft

Photovoltaik ist ein wichtiges Thema für die landwirtschaftlichen Betriebe. Es bietet sich die Möglichkeit, dank großer Dachflächen auf Wohnhäusern, Stallungen, Maschinenhallen oder nicht genutzten Einzelflächen unter Berücksichtigung der aktuellen Förderangebote eine Photovoltaikanlage zu errichten. Bisher lag der Schwerpunkt der regenerativen Energien bei der Windkraft, so spricht aber für Photovoltaikanlagen gegenwärtig die hohe garantierte Einspeisevergütung nach dem Gesetz über Erneuerbare Energien (EEG). Sonnenstrom von landwirtschaftlichen Dächern kann dem Landwirt unter den jetzigen Rahmenbedingungen ein zusätzliches Einkommen liefern, ohne dass die Arbeitskraft des landwirtschaftlichen Unternehmers erheblich gebunden wird.

Haus und Hof gehören in der Landwirtschaft meist zusammen. Die Energieberatung für die Landwirte prüft deshalb, welche Energiesparmaßnahmen bei Wohngebäuden Sinn machen und umgesetzt werden sollten. Auch hier stehen neben ökologischen Gesichtspunkten die Ökonomie ebenso wie die steuerlichen Aspekte solcher Maßnahmen im Zentrum der Überlegungen.

Die Investition in eine Solarstromanlage ist nicht nur ein aktiver Beitrag zum Umweltschutz, sondern sichert ein zweites Einkommen. Die Finanzierung einer netzgekoppelten Solarstromanlage ist derzeit selbst mit geringem Eigenkapitalanteil möglich.

Die Energiewende zur Nachhaltigkeit hat den Grundstein für die große Nachfrage nach der Photovoltaik in der Landwirtschaft geliefert. Die Solarenergie ist eine der wenigen Möglichkeiten, die in den Bereich der regenerativen Energien fällt, die im „laufenden“ Betrieb verhältnismäßig wenig Zeit in Anspruch nimmt. Dennoch ist der Zeitaufwand in der Planungs- und Investitionsphase sehr hoch, da entsprechende Angebote von Anlagen und Finanzierungsmöglichkeiten gut geprüft werden müssen.

Ein besonderes Marktpotential für die Photovoltaik ist in der Landwirtschaft zu finden. In den meisten Fällen sind die Beweggründe die oft ungenutzten Dach- und Einzelflächen, die sich für eine optimale wirtschaftliche Nutzung

der Photovoltaik eignen. Des Weiteren können die Anlagen einfach aufgebaut werden, Eigenleistungen sind ebenfalls möglich. Geringer Arbeitsaufwand für Unterhalt und Wartung sind weitere Motive der Entscheidung für eine Photovoltaikanlage.

Der Bau und Betrieb von Photovoltaikanlagen, welche im oder am Gebäude integriert sind, ist aus der Umweltschutzsicht problemlos und akzeptabel. Hingegen wird der Bau von Freiflächenanlagen differenziert bewertet. Der Grund liegt darin, dass diese Art von Anlagen zusätzliche Fläche benötigt, dies ist aus der Sicht des Naturschutzes möglichst zu vermeiden, um das Landschaftsbild zu erhalten.

Abb. 23: Darstellung einer Photovoltaikanlage auf einem Reitbetrieb



Betreiber:	Hubertus Henne Gut Wicheln, Arnsberg
Modul:	Shell SP 140 Watt
Gesamtleistung:	77 kWp
Inbetriebnahme:	August 2003

Umwelttechnik Haßler u. Bätzel, 2004

Abb. 24: Darstellung einer Photovoltaikanlage auf einem landwirtschaftlichen Betrieb

Betreiber:	Georg Muth-Köhne Ebbinghof 3; 57392 Schmellenberg-Ebbinghof
Modul:	RWE Schott ASE 285/275
Gesamtleistung:	161,555 kW _p
Inbetriebnahme:	2003



Umwelttechnik Haßler u. Bätzel, 2004

Im nachfolgenden Teil dieser Arbeit wird die Planung, der Aufbau sowie eine Kostenkalkulation am Beispiel eines landwirtschaftlichen Betriebes vorgestellt. Dank der Firma Solar- und Umwelttechnik Haßer und Bätzel, Ringstraße 1 aus Bad Berleburg und dem landwirtschaftlichen Betrieb Georg Humpert, Erdbeerweg 2 aus Ense-Ruhne wurde es mir ermöglicht, bei dem Aufbau einer Anlage anwesend zu sein. So wurde mir an einem Beispiel aus der Praxis ein Einblick in die Energieerzeugung durch Photovoltaik ermöglicht.

6.1 Planung einer Photovoltaikanlage

Um eine optimale Planung einer Photovoltaikanlage zu gewährleisten, ist eine Ortsbesichtigung zwingend erforderlich. Vorab muss festgestellt werden, ob das vorgesehene Bauwerk zu Installation einer Solaranlage geeignet ist. Hierzu eignen sich Unterlagen wie z.B. der Lageplan des Objektes zur Ermittlung der Ausrichtung und Baupläne des Gebäudes zur Bestimmung der Dachfläche sowie des Neigungswinkels.

Vor Beginn der Planung sollten auch finanzielle Vorstellungen und Fördermöglichkeiten in die Überlegung integriert werden. Bei der Ortsbesichtigung stellt sich die Frage nach der möglichen Verschattung der Module. Verschattungen lassen sich in temporäre, standortbedingte und in gebäudebedingte Verschattungen einteilen. Typisch temporäre Verschattungen sind z.B. Laub, Schnee, Ruß, Staub und Vogelexkrementen. Diese Dinge fallen ungehindert auf die Modulfläche, verschmutzen diese und verursachen so eine Verschattung mit anschließender Energieeinbuße. Den Verschmutzungen kann man in gewissem Maße vorbeugen, indem der Neigungswinkel mindestens 12° aufweist und so eine Selbstreinigung durch abfließendes Regenwasser stattfindet. Größere Neigungswinkel erhöhen die Fließgeschwindigkeit, folglich auch die Selbstreinigung und erreichen eine verminderte Verschattung. Bei einem normalen Standort und ausreichender Neigung ist damit zu rechnen, dass die Energieverluste durch die Verschmutzung bei 2 bis 5 % liegen. Unter standortbedingter Verschattung versteht man die Verschattung, die durch Nachbargebäude oder Bäume verursacht wird. Gebäudebedingte Verschattungen entstehen durch

Schornsteine, Antennen, Blitzableiter oder andere versetzte Baukörper. (siehe Anlage 1)

Hat sich der Landwirt nun für den Bau einer Photovoltaikanlage entschieden, muss umgehend ein Antrag beim Netzbetreiber wie z.B. RWE gestellt werden. (siehe Anlage 2) Das Stromversorgungsunternehmen prüft nun, ob die Leistung der Photovoltaikanlage in das Netz aufgenommen werden kann. Falls es hier zu Komplikationen kommt (z.B. durch einen nicht ausreichend großen Netzeinspeisepunkt) ist der Netzbetreiber laut EEG dazu verpflichtet, diesen so auszurüsten, dass die Abnahme des Solarstroms gesichert ist. Ist das Antragsverfahren genehmigt worden, steht dem Bau der Photovoltaikanlage nichts mehr im Wege und der Auftrag kann an den Installateur weitergegeben werden. Bevor mit der Montage begonnen wird, wird ein sogenannter I-Antrag gestellt. Dieser dient dazu, dass vom Stromversorgungsunternehmen der zwingend erforderliche Stromzähler an den Landwirt ausgehändigt wird. Sind diese gesamten Belange geklärt, kann mit der Montage der PV-Anlage begonnen werden.

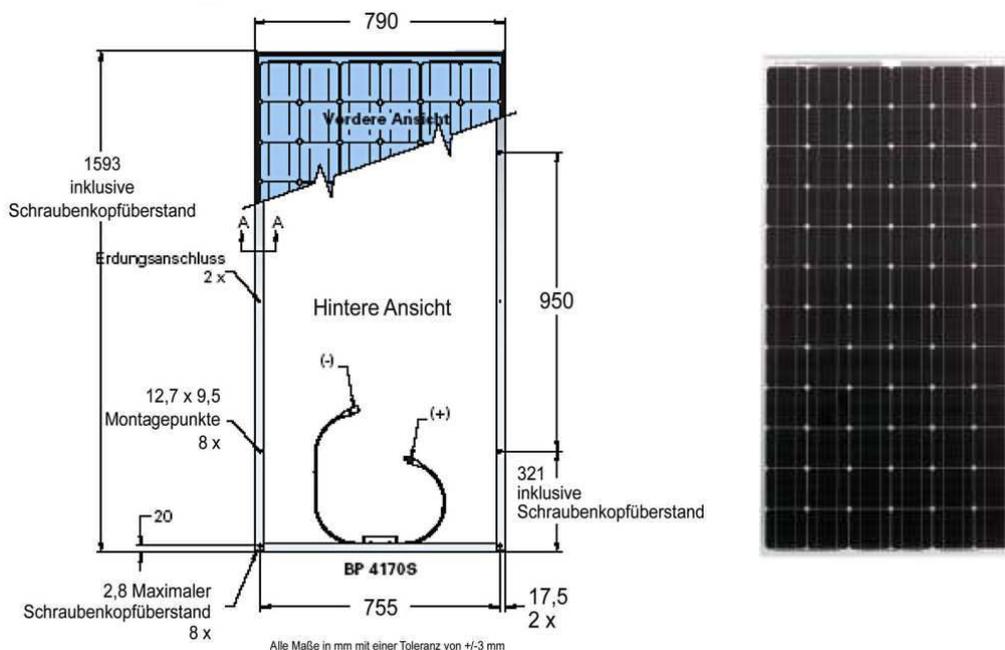
6.2 Anlagengröße und Modulauswahl

In Absprache mit dem Bauherren wird bei der Ortsbesichtigung die geeignete Dachfläche für eine PV-Anlage ausgesucht. Die Anlagengröße richtet sich nach der Ausrichtung, Neigung, Verschattung, Modulart und natürlich auch nach der verfügbaren Dachfläche. Die Auswahl der Module erfolgt zum einem nach Zellmaterial (mono- oder polykristallin, amorph, CdTe, CIS oder Dünnschicht) und zum anderen nach Modulart (Standartmodul mit/ohne Rahmen usw.). Im Anschluss daran wird die ungefähre Anzahl der Module, die auf der Fläche untergebracht werden können, ermittelt. Dieser Wert gibt nun schon eine Auskunft über die Gesamtleistung der Photovoltaikanlage. Anhand der Faustformel: $1 \text{ kW}_p = \text{ca. } 10 \text{ m}^2 \text{ PV-Fläche}$ kann die ungefähre Leistung vorab anhand der Größe der Dachfläche bestimmt werden. Es empfiehlt sich, die Module vor der Installation einzeln durchzumessen, denn so können solche mit ähnlicher Leistung in einem Strang zusammengeschaltet werden. Leistungsverluste werden so minimiert.

Der Landwirt Georg Humpert hat sich für folgendes Modul entschieden:

Das BP 4170S-Modul ist ein optimiertes 170 Watt-Modul aus monokristallinen Zellen mit einer Antireflex-Schicht, welches speziell für netzgekoppelte Anwendungen entwickelt wurde. Es ist besonders für Anlagen auf Dächern gewerblich genutzter Gebäude und Einfamilienhäuser sowie für Freilandanlagen geeignet. Mit 72 in Reihe geschalteten Zellen zeichnet sich das Modul durch hohe Leistung, große Zuverlässigkeit und konstant gute Erträge aus.

Abb. 25: Aufbau des eingesetzten BP4170S Moduls auf dem Betrieb Georg Humpert in Ense-Ruhne



BP Solar, 2004

Das Modul besitzt nachstehende Leistungsdaten: Die Nennleistung beträgt 170 W, wobei der Hersteller eine Leistungstoleranz von +/- 5 % angibt. Der Modulwirkungsgrad liegt bei 13,5 %. Eine Garantieleistung gibt BP-Solar über min. 90 % der Leistung in einem Zeitraum von 12 Jahren. Ist das Modul älter als 25 Jahre, sinkt diese Gewährleistung auf 80 %. Stellt der Anlagenbetreiber innerhalb von 5 Jahren Fertigungs- oder Materialmängel fest, werden diese auch durch Garantieleistungen des Herstellers übernommen. Das Modul hat eine Abmessung von ca. 160 x 80 x 5 cm

(Toleranz +/-3 mm) mit einem Gewicht von 15,4 kg und es ist von einem Aluminiumrahmen umgeben. (nach BP-SOLAR, 2004)

Für den Betrieb von Georg Humpert wurde eine Anlagenleistung von 27,03 kW ermittelt. Von dem oben beschriebenen Modultyp konnten 159 Exemplare montiert werden.

6.3 Montagesystem

Auf dem Hof Humpert in Ense-Ruhne wurden die Photovoltaikmodule mit einer Metallkonstruktion auf dem Dach befestigt. Somit ist die PV-Anlage ein zusätzlicher Baukörper des Gebäudes geworden und dient allein der Erzeugung von Solarstrom. Der Landwirt hat sich dafür entschieden, die Solaranlage auf dem Sauenstall, der zur Hälfte auch als Maschinenhalle genutzt wird, zu montieren. Dieses Gebäude ist zu 100 % nach Süden ausgerichtet. Hier ist ein flach geneigtes Dach (5q22q) mit einem Neigungswinkel von ca. 22q zu finden. Georg Humpert hat sich für die Aufdachmontage entschieden, da die vorhandene Dacheindeckung sich noch in einem guten Zustand befindet, und sie der erwarteten Nutzungsdauer (20 Jahre und mehr) der Anlage voraussichtlich standhalten wird. Schräge Dächer, so auch in diesem Beispiel, geben die Ausrichtung und Neigung für die Module vor. Bei der Aufdachmontage werden die Module mit einer Metallunterkonstruktion oberhalb der bestehenden Dacheindeckung befestigt, die Dacheindeckung bleibt erhalten. Im Vergleich zu der dachintegrierten Lösung ist die Aufdachmontage preiswerter. Das Montagegestell muss dazu fähig sein, den auftretenden Kräften (Modulgewicht, Wind, Wärme, Schnee, Regen usw.) standzuhalten, ohne die Dacheindeckung dabei zu beschädigen. Diese Belastungen (z.B. Sogkräfte) können enorm große Schäden an der PV-Anlage und am Gebäude verursachen. Um diesen Gefahren vorzubeugen, sollten folgende Aspekte bei der Montage beachtet werden:

- ? Der Abstand zwischen der Modulfläche und der Dacheindeckung sollte nicht zu groß sein, jedoch muss er so groß sein, dass eine ausreichende Lüftung in diesem Bereich stattfinden kann.

- ? First, Traufe und Giebel sollten nicht überschritten oder überbaut werden.
- ? Die Modulfläche sollte sich an die Dachneigung anpassen.
- ? Ziel ist es, eine möglichst geschlossene Anlagenfläche zu schaffen, welche sich gut in die Dachlandschaft einfügt.

Abb. 26: Ausrichtung der Module auf einem Offenfront-Milchviehstall



Betreiber	Alexander Schulte Ense-Höingen
Modul	Siemens 150 Watt; 198 Stück
Gesamtleistung:	29,7 kW _p
Inbetriebnahme	November 2001

Umwelttechnik Haßler u. Bätzel, 2004

Je nach Modulart und Anzahl sind unterschiedlich viele Befestigungspunkte auf dem Dach anzubringen. Der Abstand zwischen den Modulen ist je nach Hersteller zu variieren. In der Dachfläche müssen für die Aufnahme der Module Befestigungspunkte angebracht werden. Je nach Dacheindeckung ist die Verbindung unterschiedlich. Auf dem Dach des Beispielbetriebes wurden spezielle Dachschrrauben aus Edelstahl montiert, die sich besonders gut für Well- oder Trapezprofile eignen. Das nachfolgende Bild gibt Aufschluss über die Verteilung der Dachschrrauben.

Abb. 27: Verteilung und Installation der Stockschrauben



Eigene Darstellung, 2004

Auf diesen Dachbefestigungspunkten montiert man nun Schienen, welche die Module im späteren Arbeitsverlauf aufnehmen können. Hier wurden zunächst alle Alu-Profile senkrecht auf die Dachbefestigung geschraubt. Auf diesen Vertikalen müssen dann die waagerechten Profile befestigt werden. Dabei handelt es sich um Alu-Profile, in welche die Module lediglich noch hineingelegt und zum besseren Halt miteinander verklemmt werden. Nach erfolgter Montage der Modulprofile werden die Module von unten beginnend Reihe für Reihe in diese eingelegt. Somit kann gewährleistet werden, dass keine Vibrationen und Unstimmigkeiten bei der Montage und bei der späteren Inbetriebnahme auftreten.

Abb. 28: Montage der Photovoltaikmodule auf der Profilschiene



Eigene Darstellung, 2004

Wie im unteren Bild zu erkennen ist, erfolgt die elektrische Verbindung der Module untereinander durch die integrierten Leitungen (Steckverbindungen) schon während des Einlegens. Um die Steckverbindungen vor Witterungseinflüssen zu schützen, fixiert man diese an den Profilen.

Abb. 29: Ansicht der Modulrückseite



Eigene Darstellung, 2004

Durch das Fixieren der Leitungen wird sichergestellt, dass keine Behinderungen für das Abfließen von Regen- und Schneewasser entsteht. Ebenso wird gewährleistet, dass kein Tropfwasser in die Steckverbindungen oder in Modulanschlüsse laufen kann. Die Leitungen müssen so verlegt werden, dass es zu keiner mechanischen Beschädigung der Isolierung kommen kann.

Die Fixierung der Module an den Enden der Halteprofile kann mit Hilfe eines Befestigungswinkels vorgenommen werden. Durch diesen Winkel wird eine ausreichend große Spannung innerhalb der Modulreihen erzeugt, so dass unerwünschten Vibrationen vorgebeugt wird.

Abb. 30: Prinzip der Modulverbindung und Befestigung

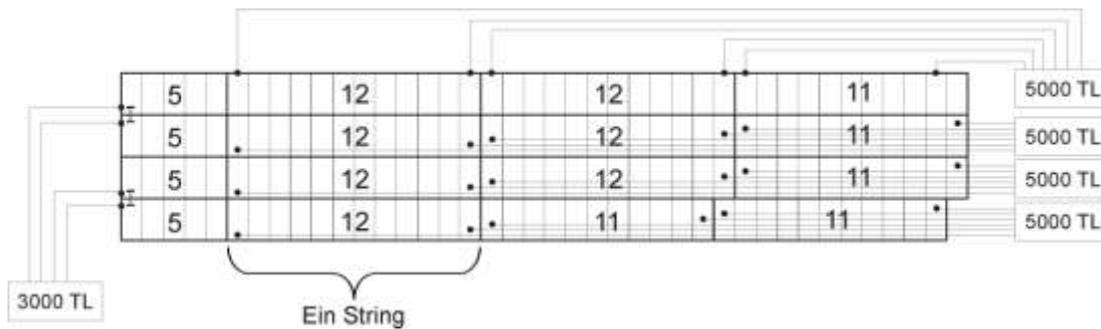


Eigene Darstellung, 2004

Innerhalb der Modulreihen werden ebenfalls Klemmplatten benutzt, um eine ausreichende Stabilität zu erlangen.

Bei der Verlegung der Leitungen darf z.B. die Wärmedämmung des Daches nicht negativ beeinflusst werden. Auch hier muss auf kurzschluss- und erdschlussichere Verlegung geachtet werden. Um dies möglichst sicher zu gestalten, sollte man die Leitungen mit Schutzverkleidungen versehen. Schließlich werden die Leitungen durch das Dach in das Innere des Gebäudes geführt. Die Strangleitungen werden an der Profilhalterung fixiert und an die entsprechenden Module (erstes und letztes Modul eines Stranges) angeschlossen. Bei Georg Humpert wurden die 159 Module wie folgt miteinander verschaltet:

Abb. 31: Schaltplan der Photovoltaikanlage am Beispielbetrieb Humpert



Eigene Darstellung, 2004

Wie in der vorhergehenden Zeichnung zu erkennen ist, wurde bei der 27,03 kW_p-Anlage lediglich eine Wechselrichterkapazität mit einer Nennleistung von 21 kW installiert. Der Grund hierfür ist, dass die Wechselrichter möglichst immer im Volllastbereich arbeiten sollen, da dort der Wirkungsgrad des Gerätes am besten ist. Da die Spitzenleistung der Photovoltaikanlage über das Jahr gesehen nur selten erreicht wird, hat es sich bewährt, Wechselrichter mit einer geringeren Leistung zu installieren. Als Kenngröße für Solaranlagen gilt das Leistungsverhältnis, das den Zusammenhang zwischen tatsächlichem und theoretisch möglichem Energieertrag beschreibt. Für gut geplante Anlagen sollte dieser Faktor über 0,75 liegen. In diesem Beispiel wird es wie folgt berechnet:

$$27,03 \text{ kW Anlagenleistung} \times 0,75 \text{ Faktor} = 20,27 \text{ kW}$$

Dieser Wert gibt Aufschluss darüber, wie die Wechselrichter dimensioniert werden müssen. Die Strangleitungen sollten im Inneren des Gebäudes auf einem möglichst kurzen Weg zum Anschlusskasten verlegt werden, um Verluste zu vermeiden. Hier handelt es sich immer noch um eine Gleichstromleitung. Vom Anschlusskasten werden nun die entsprechenden Verbindungen zu den Wechselrichtern gelegt und an den DC-Eingang (englisch: DC-direct current; Gleichstrom) angeschlossen. Wechselrichter sollten an einer optimalen Stelle installiert und es muss unbedingt auf die Umgebungstemperatur sowie auf die Luftfeuchtigkeit geachtet werden. Nur bei guten Bedingungen können die Wechselrichter die optimale Leistung

erbringen. Auf dem landwirtschaftlichen Betrieb Humpert wurden fünf Wechselrichter „Sunny Boy Multi-String“ von SMA montiert. Vier „5.000TL“ mit einer Nennleistung von 4.600W sowie ein „3.000TL“ mit einer Nennleistung von 2.600W. Es können bis zu drei unabhängige Strings des PV-Generators angeschlossen werden. Die in allen drei Eingangsteilen umgesetzte Energie wird durch den Wechselrichter an das angeschlossene Netz abgegeben. Der Betreiber der Anlage sollte, besonders im ersten Jahr nach der Installation, den Kontrollanzeigen zu verschiedenen Tageszeiten und bei unterschiedlichen solaren Einstrahlungsbedingungen regelmäßig Aufmerksamkeit schenken. So können verborgene Fehler, die sich bei der Auslegung oder der Installation der Anlage eingeschlichen haben, erkannt und ein ordnungsgemäßer Betrieb der PV-Anlage sichergestellt werden. Um einen ordnungsgemäßen Betrieb zu gewährleisten, reicht es in der Regel aus, das Gerät in Abständen von etwa zwei Monaten auf sichtbare Beschädigungen zu kontrollieren. Die Wechselrichter wurden an der Außenwand (Norden) des Sauenstalls angebracht und mit einem Holzschutz versehen um sie vor Witterungseinflüssen zu schützen.

Abb. 32: Befestigung und Platzierung der Wechselrichter



Eigene Darstellung, 2004

Die Wechselrichterausgänge sind über Sicherungen im Zählerschrank und über den Einspeisezähler mit dem öffentlichen Netz verbunden. Der Platz für den Stromzähler befindet sich bei diesem Beispiel im Inneren des Gebäudes. Mit der Zählerinstallation erfolgt die Inbetriebnahme der Photovoltaikanlage. Von der Firma Haßler und Bätzel wurden nun alle notwendigen Messungen durchgeführt, die bei der Inbetriebnahme erforderlich sind. Im unteren Bild ist der Zählerschrank mit dem Einspeisezähler zu erkennen.

Abb. 33: Anschluss des Stromzählers



Eigene Darstellung, 2004

Die Photovoltaikanlage von Georg Humpert konnte im Dezember 2004 fertig gestellt und an das öffentliche Stromnetz angeschlossen werden. Um einen Gesamteindruck von der Anlage zu bekommen, geben die nachfolgenden Bilder einen Aufschluss darüber.

Abb. 34: Gesamtansicht der Photovoltaikanlage Georg Humpert



Eigene Darstellung, 2004

7 Kostenkalkulation einer Photovoltaikanlage

Nach dem Inkrafttreten des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) und aufgrund der erhöhten Einspeisevergütung für Solarstrom ist der Betrieb von netzgekoppelten PV-Anlagen auch in Deutschland betriebswirtschaftlich sinnvoll. Im folgenden Teil werden die allgemeinen Grundlagen, die Vergütung, die Förderungsmöglichkeiten sowie die Kostenkalkulation einer PV-Anlage erläutert.

7.1 Allgemeine Grundlagen

Für die unterschiedlichen Arten von Photovoltaikanlagen wie z.B. Dachanlagen, Fassadenanlagen und Freiflächenanlagen werden unterschiedliche Vergütungssätze erhoben. Um eine ausreichende Verbreitung der unterschiedlichen Anlagentypen zu erreichen, wurden aus diesem Grund die verschiedenartigen Vergütungssätze für solaren Strom ausgewählt. Bei den Dachanlagen können optimale Stromerträge erzielt werden; sie fügen sich gut in die Dachlandschaft ein und stellen somit keinen störenden Faktor dar. Sie werden je nach Größe mit dem mittelmäßigen Vergütungssatz abgerechnet. Für Fassadenanlagen gibt es einen zusätzlichen Bonus von 5 Cent/kWh, um eine Wirtschaftlichkeit auch bei einem geringeren Wirkungsgrad zu erreichen. Die Freiflächenanlagen bekommen die geringste Vergütung, um eine übermäßige Ausbreitung dieser Form der Photovoltaik aus umwelttechnischen Gesichtspunkten zu vermeiden. Die Senkung der Mindestvergütung für neue Anlagen beträgt 5 % pro Jahr ab 2005, bei Freiflächenanlagen 6,5 % ab dem Jahre 2006.

Tab. 15: Vergütung pro Kilowattstunde in Cent nach EEG-Novelle

Anlage	bis 30 kW	30 bis 100 kW	über 100 kW
Dachanlagen:	57,4 ct	54,6 ct	54,0 ct
Fassadenanlagen:	62,4 ct	59,6 ct	59,0 ct
Freiflächenanlagen:		45,7 ct	

EEG Novelle, 2004

Tab. 16: Verlauf der Degression: 5 % jährlich ab 2005, bei Freiflächenanlagen: 6,5 % ab 2006

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008
Dachanlagen					
bis 30 kW:	57,4 ct	54,53 ct	51,80 ct	49,21 ct	46,75 ct
ab 30kW:	54,6 ct	51,87 ct	49,28 ct	46,82 ct	44,48 ct
ab 100 kW:	54,0 ct	51,30 ct	48,74 ct	46,30 ct	43,99 ct
Fassadenbonus:	5,00 ct	5,00 ct	5,00 ct	5,00 ct	5,00 ct
Freiflächenanlagen:	45,7 ct	43,42 ct	40,60 ct	37,96 ct	35,49 ct

EEG Novelle, 2004

7.1.1 Vergütung

Durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wird die Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien festgelegt. Das Gesetz verpflichtet die Netzbetreiber, alle Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien anzuschließen und deren Strom bevorzugt abzunehmen. Somit ist jeder berechtigt, Solarstromanlagen zu installieren und es besteht ein Rechtsanspruch auf die Vergütung des eingespeisten Stroms. Die Basisvergütung beträgt derzeit 45,7 Cent/kWh. Für Anlagen, die sich an oder auf Gebäuden befinden, beträgt die Mindestvergütung für die ersten 30 kW_p: 57,4 Cent/kWh. Von 30 kW_p bis 100 kW_p beträgt die Vergütung 54,6 Cent/kWh. Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von mehr als 100 kW_p erhalten ein Entgelt von 54,0 Cent/kWh. Für die Vergütung von PV-Anlagen, die größer als 30 kW_p sind, wird ein Mischwert errechnet. Dies lässt sich an folgendem Beispiel erläutern: Bei einer 150 kW_p-Anlage wird 20 % des erzeugten Stroms mit 57,4 Cent/kWh, 46,7 % mit 54,6 Cent/kWh und 33,3 % mit 54 Cent/kWh entlohnt. Die Degression beträgt 5 % pro Jahr d.h., die Mindestvergütung für neue Anlagen wird jedes Jahr um 5 % reduziert; dies gilt ab dem 01.01.2005. Die Anfangsvergütung wird über 20 Jahre plus die Monate ab Inbetriebnahme bis zum Jahresende bezahlt. (nach EEG NOVELLE, 2004)

7.1.2 Förderungsmöglichkeit

Es gibt verschiedene Finanzierungsmöglichkeiten für Solaranlagen. Um einen Einblick zu bekommen, werden die aktuell wichtigsten Finanzierungsmöglichkeiten bzw. Förderprogramme vorgestellt. Welches davon das Günstigste ist, muss für jeden einzelnen Betrieb durchkalkuliert werden.

1. KfW-Programm zur CO₂-Minderung: zinsverbilligtes Darlehen:

Gefördert werden alle Träger von Klimaschutzinvestitionsmaßnahmen an selbstgenutzten oder vermieteten Wohngebäuden (z.B. Privatpersonen, Wohnungsunternehmen, Gemeinden, Kreise). Dies bedeutet, dass Maßnahmen an bestehenden Wohngebäuden zum Zwecke der CO₂-Minderung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gefördert werden. Es wird ein langfristiges, zinsgünstiges Darlehen (10-30 Jahre Laufzeit) mit Festzinssätzen und tilgungsfreien Anlaufjahren für den Bau einer Solaranlage gewährt. Der Kreditantrag muss vor Beginn des Vorhabens eingereicht werden. Der Antragsteller erhält eine Förderung in Form eines zinsverbilligten Darlehen zur Deckung der Investitionskosten über maximal 20 Jahre, mit höchstens 3 tilgungsfreien Anlaufjahren. Während der tilgungsfreien Jahre sind lediglich die Zinsen auf den bewilligten Kreditbetrag zu bezahlen. Die Laufzeit kann auf bis zu 30 Jahre angehoben werden, wobei sich hier die tilgungsfreie Anlaufzeit auf 5 Jahre beläuft. Der Kredithöchstbetrag liegt bei 5 Millionen Euro und der Förderungsanteil beträgt max. 100 % der Investition. Der Zinssatz wird durch die KfW für die ersten 10 Jahre festgelegt und nach Ablauf erneut bestimmt. Die Förderanträge stellt man bei den entsprechenden Hausbanken, welche diesen dann zur Kreditanstalt für Wiederaufbau weiterleiten. (nach KfW, 2004)

2. KfW-Umweltprogramm

Dieses Programm richtet sich an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft (z.B. produzierendes Gewerbe, Handwerk, Handel u.a.). Gefördert werden alle Investitionen, die zu einer Verbesserung der

Umweltsituation beitragen wie z.B. der Einsatz regenerativer Energien. Der Finanzierungsanteil beträgt bei dem KfW-Umweltprogramm max. 75 % der Investitionskosten und dies bis zu 5 Millionen Euro pro Vorhaben. Die Kreditlaufzeit liegt zwischen 10 und 20 Jahren und ist max. 3 Jahre tilgungsfrei. Der Zinssatz wird von der KfW bei Kreditzusage festgelegt und es kann eine Zinsfestschreibung von 10 oder 20 Jahren ausgewählt werden. Der KfW-Kredit wird über die Hausbank beantragt und muss immer vor Beginn des Vorhabens gestellt werden. (nach KfW, 2004)

3. ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm

Bei diesem Programm werden private gewerbliche Unternehmen (z.B. produzierendes Gewerbe, Handwerk, Handel sonstige Dienstleistungsgewerbe, freiberufliche Tätige u.a.) gefördert. Unterstützt werden Investitionen im Bereich Umweltschutz, Energieeinsparung und die Nutzung der erneuerbaren Energien. Der Anlagenbetreiber erhält ein besonders zinsgünstiges Darlehen. Der Höchstbetrag liegt bei 1 Million Euro in den neuen Bundesländern und 500.000 Euro in den alten Bundesländern. Die Kreditlaufzeit dauert 10 bis 15 Jahre, davon können max. 5 Jahre tilgungsfrei bleiben. Die Zinssätze liegen am unteren Rand des Kapitalmarktniveaus und werden für die ersten 10 Jahre der Laufzeit durch die KfW festgeschrieben. Der Kredit für eine Investition wird über die Hausbank und vor Baubeginn gestellt. (nach KfW, 2004)

4. Sonderkreditprogramme Landwirtschaft und Junglandwirte

Das Junglandwirteprogramm kann von Einzelunternehmern (das Höchstalter der Antragsteller darf 40 Jahre nicht überschreiten) sowie von landwirtschaftlichen Unternehmen in der Rechtsform GbR in Anspruch genommen werden. Gefördert werden Investitionen in landwirtschaftlichen Betrieben einschließlich Wohngebäuden und Flächenerwerb. Maßnahmen zur Rationalisierung und zur Verbesserung der Produktions- und Arbeitsbedingungen stehen im

Vordergrund. Hierunter fallen auch Maßnahmen zur Energieeinspeisung oder Projekte des Umweltschutzes. Die Finanzierung von Photovoltaikanlagen ist für Antragsberechtigte möglich, wenn die Anlagen auf Wirtschafts- bzw. Wohngebäuden oder ggf. auch Freiflächen installiert werden. Die Kredite sollen je Betrieb und Jahr 1.000.000 Euro nicht überschreiten.

Das Darlehen wird von der landwirtschaftlichen Rentenbank zu 100 % ausgezahlt und wird von der ausgewählten Hausbank des Landwirtes vergeben. Die Konditionen werden von der Rentenbank festgelegt. Die Kreditlaufzeit umfasst 10 bis 20 Jahre. (nach LANDWIRTSCHAFTLICHE RENTENBANK. 2004)

5. Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP)

Das Förderprogramm dient der Unterstützung einer wettbewerbsfähigen, nachhaltigen, umweltschonenden tiergerechten und multifunktionalen Landwirtschaft. Es umfasst die Verbesserung und Stabilisierung der landwirtschaftlichen Einkommen, der Lebens-, Arbeits- und Produktionsbedingungen. Es werden Haupt- und Nebenerwerbslandwirte gefördert. Um das Programm in Anspruch nehmen zu können, darf die Summe der positiven Einkünfte im Durchschnitt der letzten drei Steuerbescheide nicht höher als 90.000 Euro sein. Das förderfähige Investitionsvolumen muss bei der kleinen Investition mindestens bei 10.000 Euro, bei der großen Investition bei mindestens 50.000 Euro liegen. Bei dem Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP) unterscheidet man die kleine Investition und die große Investition.

Kleine Investition

- ? möglich ab einer förderfähigen Investitionssumme von 10.000 Euro bis 100.000 Euro
- ? Nachweis über berufliche Fähigkeiten zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung eines landwirtschaftlichen Betriebes

- ? Nachweis über die Rentabilität der geplanten Maßnahme (Investitionskonzept)
- ? Förderungsart: Zuschuss für die Erfüllung besonderer Anforderungen (24-30 %, Photovoltaik 8-10 %) oder Zinszuschuss (12-18 %, Photovoltaik 4-6 %)

Große Investition

- ? möglich ab einer förderfähigen Investitionssumme von 50.000 Euro bis 510.000 Euro
- ? bestandene Abschlussprüfung in einem Agrarberuf und erfolgreicher Abschluss einer landwirtschaftlichen Fachschule oder gleichwertige Berufsausbildung
- ? Buchführungspflicht für 10 Jahre (BMVEL-Abschluss)
- ? mindestens 2 betriebswirtschaftliche Buchführungsabschlüsse müssen bis zur Bewilligung vorliegen
- ? Nachweis über eine angemessene Eigenkapitalbildung in den vergangenen Jahren
- ? Nachweis, dass die Maßnahme für den Betrieb sinnvoll und der Kapitaldienst unter Berücksichtigung angemessener Lebenshaltungskosten tragbar ist
- ? Förderungsart: Zuschuss für die Erfüllung besonderer Anforderungen (9 %, Photovoltaik 3 %, max. 27.000 Euro) und Zinszuschuss (21-27 %, Photovoltaik 7-9 %)

Um das Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP) in Anspruch nehmen zu können, muss die Antragstellung über die Kreisstelle erfolgen. Die Bewilligung erfolgt erst, wenn die notwendigen Unterlagen vollständig vorliegen. (nach LUB,2004)

7.2 Kostenkalkulation der Photovoltaikanlage am Beispielbetrieb

Georg Humpert

Die unten aufgeführte Berechnung zeigt, wie sich bei Fremdfinanzierung unter derzeitigen Bedingungen eine 27,03 kW Anlage ohne AFP-Zuschuss rechnet. Für eine solche Anlage werden ca. 270 m² Dachfläche benötigt. Die Investitionskosten belaufen sich auf 118.690,89 Euro. Bei einer Auszahlung von 96 % ist dafür ein Darlehen von 123.636,34 Euro aufzunehmen. Durch die geschätzte Stromproduktion von jährlich 840 kWh pro kW_p wird so ein Stromerlös von 13.032,78 Euro/Jahr erzielt. Nachdem im 10. Jahr das Darlehen getilgt ist, wird vom Betreiber ein Überschuss von 12.085,51 Euro/Jahr erzielt. Eine positive Ertragssumme wird ab dem 13. Jahr erreicht. Die Kalkulation dient der Orientierung. Da mit den Zuschüssen über das AFP oder nach anderen Programmen, wie sie in der Vergangenheit viele Landwirte erhalten haben, in Zukunft nicht mehr zu rechnen ist, sollte der Bau einer PV-Anlage jetzt besser ohne diese geplant werden.

Wird die Anlage mit mehr Eigenkapitalanteil finanziert, so sieht die Rechnung anders aus und es können schon in den ersten Jahren Überschüsse erzielt werden. Besonders bei hohen Einkommen in den landwirtschaftlichen Betrieben, die zu erheblichen Steuerzahlungen führen, sollten die steuerlichen Gesichtspunkte bei der Finanzierungsfrage stets berücksichtigt werden.

8 Fazit

Die Berechnung zeigt, dass sich die Investition in eine Photovoltaikanlage unter den derzeitigen Rahmenbedingungen lohnt. Fachberater sind jedoch der Meinung, dass der Bau einer Solaranlage nur dann wirtschaftlich sinnvoll ist, wenn dem Betrieb keine weiteren bzw. andere Investitionen bevorstehen. Dies sollte gut überlegt sein, da die Liquiditätsminderung besonders in den ersten Betriebsjahren hoch ist. Aus steuerlicher Sicht heraus kann man deuten, dass Landwirte bei vorhandener Liquidität durchaus in eine Photovoltaikanlage investieren können. Das hohe Abschreibungsvolumen in der Anfangszeit kann möglicherweise hohe Gewinne, die durch eine günstige Ertragslage entstanden sind, kompensieren.

Es sollte hervorgehoben werden, dass diese Form der erneuerbaren Energie umweltfreundlich erzeugt werden kann. Landwirte verfügen über ein großes Volumen an freier und ungenutzter Dachfläche auf Wohngebäuden, Maschinenhallen oder an bzw. auf anderen Wirtschaftsgebäuden. Die zum 1. Januar 2004 erhöhte Einspeisevergütung für Solarstrom hat somit auch eine weitere Käufergruppe im Bereich der Landwirtschaft geschaffen und durch „Großbestellungen“ wurde ein derzeitiger Nachfrageschub entfacht.

Gegenwärtig führt die Marktlage in der Photovoltaikindustrie zu Verknappungen und zu Auslieferungsschwierigkeiten. Der Grund hierfür ist die anhaltend hohe Nachfrage. Folglich ist auch weiterhin mit Preissteigerungen zu rechnen. Bei steigenden Investitionskosten ist davon auszugehen, dass auch die Rendite sinkt. Im Jahr 2005 wird die Einspeisevergütung um 5 % von 57,4 Cent je kWh auf 54,5 Cent je kWh gekürzt. Um nun aber eine gleichbleibende Rentabilität erzielen zu können, müssen die Investitionskosten gesenkt werden. Niedrige Zinsen am Kapitalmarkt tragen dazu bei. Die zukünftige Preissituation wird von Händlern und Anlagenbetreibern unterschiedlich betrachtet. In der Vergangenheit zeigte der Markt Preissenkungen im Jahr 2001 von 5.200 Euro je kW auf 3.965 Euro je kW im Jahr 2003. 2004 lagen die Kosten durchschnittlich bei

4.200 Euro. Diese Situation ist auf die außergewöhnlich hohe Nachfrage zurückzuführen.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist anzumerken, dass die Vergütung für solaren Strom unter den jetzigen Bedingungen um ein vielfaches höher ist, als die Vergütung für konventionell erzeugten Strom (z.B. Kernenergie, Erdöl u.a.). Dies steht volkswirtschaftlich gesehen in keinem Verhältnis, da die Kosten für den Endverbraucher bei Strom egal welcher Herkunft gleich sind, d.h. der Preis für die Vergütung einer kWh Solarstrom ist wesentlich höher oder teurer als der einer kWh konventionell erzeugten Stroms, den der Endverbraucher bezieht und kaufen kann.

Durch den Aufbau dieses Industriezweiges und den Nachfrageboom konnten weiterhin zahlreiche Arbeitsplätze in der Photovoltaikindustrie geschaffen werden wie z.B. in der Produktion (Siliziumaufbereitung), in der Planung, Beratung und dem Verkauf, im Bereich der Montage und der Wartung und - nicht zu vergessen - in der Aufbereitung und Wiederverwertung (Recycling).

9 Anlagen

Anlage 1

Checkliste für eine PV-Anlage

Name des Auftraggebers _____

Straße, Hausnummer _____

PLZ, Ort _____

Telefon (privat) _____

Telefon (dienstlich) _____ vnr: _____ Iris: _____

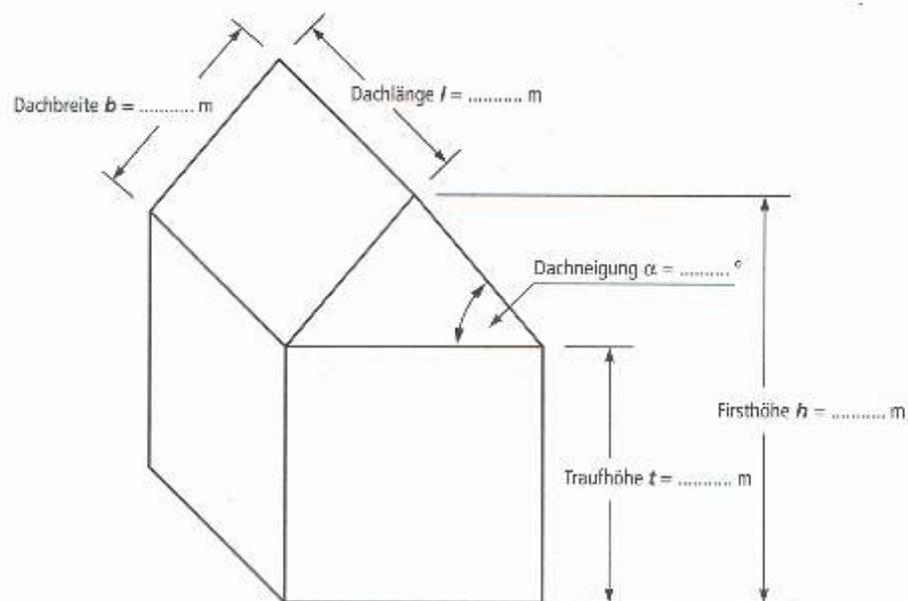
Telefax _____

Anschrift Baustelle (falls abweichend): _____

ggf.: Architekt _____

Elektriker _____

Dachdecker _____



Zur Verfügung stehende Dachfläche: Länge = _____ m x Breite = _____ m _____ m²

- mit folgenden Dachelementen:
- | | |
|--------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Schornstein | <input type="checkbox"/> Antenne |
| <input type="checkbox"/> Dachfenster | <input type="checkbox"/> Blitzableiter |
| <input type="checkbox"/> Gaube | <input type="checkbox"/> Sonstige: _____ |

Nützliche Unterlagen

Baupläne Lageplan Grundriss Dachaufsicht
 Seitenansicht Schnitt Baubeschreibung

Fotografien Dach Hausansicht mit gewählter Dachfläche
 Zählerplatz bei Verschattung: Verschattungssituation

Kundenwünsche

Aufdachmontage Indachmontage Sonstige

PV-Modultyp Monokristallin Polykristallin Amorph
 Dünnschicht

PV-Leistung ca. _____ kW_p

Maximale Investition _____ Euro

Erwünschter Energieertrag _____ kWh/a

Maximale Fläche _____ m²

Sonstiges _____

Dach

Dachform Satteldach Flachdach Pultdach
 Walmdach Zeltdach Mansarddach
 Sheddach Satteldach mit Krüppelwalm
 Sonstige: _____

Dachdeckung Schiefer Welleternit Dachpappe
 Ziegel Kies Bitumen
 Frankfurter Biberschwanz Römer
 Sonstiges: _____

Dachaufbau Wärmedämmung? ja nein

Dachunterkonstruktion _____

Sparrenabstand = _____ m

Zugänglichkeit des Daches Kran notwendig Gerüst notwendig

Zufahrtmöglichkeit ja nein

Für Kabeltrasse benutzbare Dachdurchführungen? ja nein

Lüfterziegel sonstige Dachdurchdringung:

PV-Generator, Wechselrichter und ZählerAusrichtung des PV-Generators von -90° (Ost) über 0° (Süd) bis $+90^\circ$ (West): _____ $^\circ$ Neigung des PV-Generators von 0° (waagrecht) bis 90° (senkrecht): _____ $^\circ$ Blitzschutz vorhanden? ja nein

Wo kann PV-Generator geerdet werden? _____

Ort für Generatoranschlusskasten? _____

Wo befindet sich der Stromzähler? Keller Flur Wohnraum
 Abstellraum außerhalb des Gebäudes: Entfernung = ____m
 sonstiger Ort: _____

Anschluss des Zählers? _____

Ist noch ein Zählerplatz frei? ja neinIst dort Platz für den Wechselrichter? ja nein

Ort für Wechselrichter? _____

Ort für DC-Hauptschalter? _____

Leitungen und Installation

Ungefähre einfache Leitungslänge Entfernung PV-Generator und Generatoranschlusskasten: _____m

Entfernung PV-Generator und Potentialausgleichschiene: _____m

Entfernung Generatoranschlusskasten und Wechselrichter: _____m

Entfernung Wechselrichter und Netzanschluss: _____m

Verlegungsort und -art der Gleichspannungshauptleitung: _____

Verlegungsort und -art der Wechselstromanschlussleitung: _____

Dachdurchbrüche erforderlich? ja nein Anzahl: _____**Sonstiges**

Wie hoch ist der jährliche Stromverbrauch? _____ kWh/a

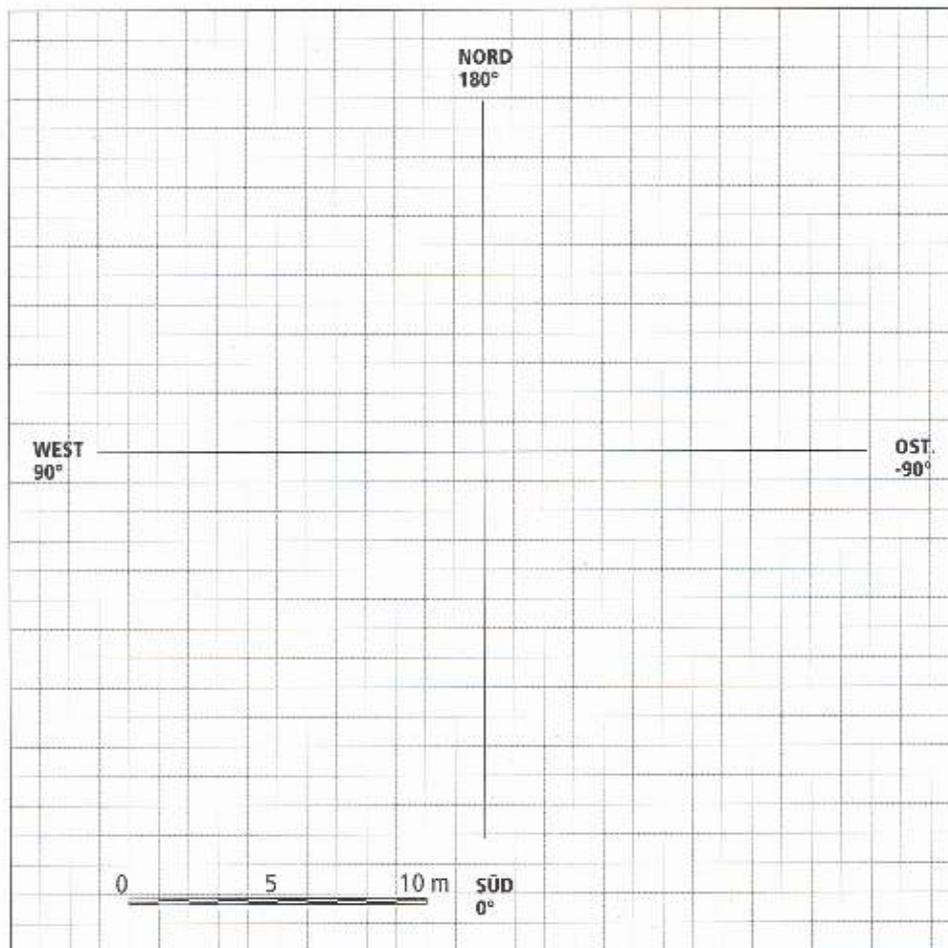
Bei Neubau Zukünftige Bepflanzung und Neubauten in der unmittelbaren Nachbarschaft erfragen.

Bei Verschattungen Verschattungscheckliste verwenden!

Steht das Haus unter Denkmal- oder Ensembleschutz? ja nein

Checkliste für Verschattung

- Einzeichnen (ggf. zusätzlich Fotografien)
- ▷ Dachfläche (Ausrichtung beachten)
 - ▷ Für die PV-Anlage nutzbare Fläche (Mitte der PV-Anlage in Koordinatenursprung legen)
 - ▷ Schornsteine, Antennen, Satellitenanlage
 - ▷ In der Nähe stehende Gebäude (ungefähre Entfernung und Höhe)
 - ▷ Bäume (ungefähre Entfernung und Höhe):
Kennzeichnung Laubbaum (L) und Nadelbaum (N)
 - ▷ Freileitung (Strom/Telefon)
 - ▷ Sonstige Verschattungen: Gebäudevorsprünge ...



- | | | |
|--------------|----|--------------------------|
| Kennzeichnen | PV | = nutzbare Fläche für PV |
| | S | = Schornstein |
| | P | = Dachfenster |
| | N | = Nadelbaum |
| | A | = Antenne |
| | L | = Laubbaum |

10 Literaturverzeichnis

1. Agroservice Deimel C. Unter den Eichen 2, 59597 Erwitte (2004): Gespräch vom 15.12.2004
2. BMU, 2004a: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft
3. BMU, 2004b: BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Wasserkraft - bewährt und trotzdem aktuell
4. BMU, 2004c: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2004): Erneuerbare Energien Innovation für die Zukunft, Windenergie
5. BMU Umweltpolitik (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland
6. Bockhorst M. (November 2004): online unter: www.energieinfo.de
7. Böhrnsen A. (2004): Wechselrichter ohne sie kommt kein Strom ins Netz
8. BP Solar (2004): Produktinformation, BP4170S
9. Deutscher Wetterdienst (2003): Klimakarten von Deutschland, Mittlere Jahressummen
10. DGS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (2003): Der Leitfaden Photovoltaische Anlagen

11. Energieagentur NRW (2004): Energie ernten - Biomasse nutzen
12. Energieagentur NRW (2004): online unter: www.ea-nrw.de
13. Genennig B. u.a. (2004): Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Der Leitfaden Photovoltaische Anlagen
14. Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung - HEA - e.V. (1998): Regenerative Energien Technik – Daten – Zahlen – Fakten
15. Herrmann W. u. Kreuzmann A. (2003): Komponenten Solarmodule in Photon Spezial
16. Informationskreis Kernenergie (2004): online unter: www.infokreis-kernenergie.org/informationskreis/de/index.php?navid=0
17. Kaufmann H. u. Hädener A. (1996): Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie
18. Kersting LUB (2004): Landwirtschaftliche Unternehmensberatung Meschede
19. KfW Kreditanstalt für Wiederaufbau (2004): Förderbank, Solarförderungsmöglichkeiten
20. Kreuz G. (2003): Photovoltaik: Aus dem Sonnenlicht Strom erzeugen, Neue Energie vom Bauernhof
21. Krügermann R. Solartechnik Haarenweg 9, 59199 Bönen (2004): Gespräch vom 24.11.2004
22. Landwirtschaftliche Rentenbank (2004): Kreditprogramme & Finanzierungsangebote

23. lexikon-definition.de (2004): online unter: www.lexikon-definition.de/Kernenergie.
24. LUB Landwirtschaftliche Unternehmensberatung (2004): Agrarinvestitionsförderungsprogramm
25. Meliß M. (1994): Photovoltaische Energiewandlung, Lexikon Energietechnik
26. Novelle des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG), 21.July 2004
27. Quitmann u. Krüger (1993a), Quitmann E. u. Krüger U. (1993): Sonne und Wind konkret genutzt, S. 47 ff
28. Quitmann u. Krüger (1993b), Quitmann E. u. Krüger U. (1993): Sonne und Wind konkret genutzt, S. 45 ff
29. Reismayr D. u. Stark T. (2003), Der Photovoltaische Effekt in Photon Spezial 2003
30. RWE Shott Solar, SG Consulting (2004): Schulungsunterlagen
31. Seiler W. (2003): Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Garmisch-Partenkirchen
32. Siemer J. u. Krapitz I. (2004): Wie eine Solarzelle entsteht, in Photon Spezial 2004
33. SMA Regelsysteme GmbH (2004): Sunny Boy 5000TL Multi-String
34. Solaratlas NRW (2004), Energieagentur für Nordrhein-Westfalen

-
35. Solar- und Umwelttechnik Haßler & Bätzel (2004) Ringstraße 1, 57319 Bad Berleburg
 36. Staiß 2003a, Staiß F. (2003): Jahrbuch Erneuerbare Energien, Windenergie
 37. Staiß 2003b, Staiß F. (2003): Jahrbuch Erneuerbare Energien, Geothermie
 38. Wambach K. (2003): Recycling von Solarmodulen, Deutsche Gesellschaft für Solarenergie
 39. Zweibel K. u. Roedern B. (2004): Die Marktlücke des Jahrhunderts in Photon 11

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen und bei Zitaten kenntlich gemachten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Unna-Hemmerde, den 14. Januar 2005

