

Projektleitung:
Prof. Dr. Peter Heck

Erstellt von:
Dipl.- Bw. (FH) Thomas Anton

In Zusammenarbeit mit:
Tobias Gruben

Forschungsbericht: Solarstadtkonzept Kaiserslautern



Potenzialanalyse für den Einsatz von Photovoltaik-Anlagen in Kaiserslautern, vor dem Hintergrund der im Jahr 2006 stattfindenden Fußballweltmeisterschaft.

Vorwort

Die Kraft der Sonne nutzen – Kaiserslautern auf dem Weg zur Solarstadt



Mit der Kraft der Sonne Strom erzeugen, Warmwasser bereiten und die Heizung unterstützen – das ist nicht nur eine intelligente Antwort auf steigende Energiepreise. Es ist auch ein entscheidender Beitrag zu sauberer Luft und zum Klimaschutz.

Statt 44 Mrd. € - wie noch in 2002 – sind es in 2006 schon 76 Mrd. €, die wir für den Import von Erdöl, Erdgas und Kraftstoffen ausgeben müssen! Das ist ein Mehr von 32 Milliarden € innerhalb von 4 Jahren. Statt 2 % wie noch in 2002 müssen wir 2006 schon 3,4 % des Bruttoinlandsproduktes allein hierfür aufbringen.

Wer zukunftsgerichtet denkt, investiert diese Milliarden vorausschauend in Energieeinsparung, in Energieeffizienz und in den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Denn dies schafft Arbeitsplätze und Wertschöpfung hier bei uns!

Die Sonnenenergie hat von allen Erneuerbaren Energien weltweit die größten Potenziale. Sie steht verlässlich und dauerhaft zur Verfügung. Ihre Nutzung ist konfliktfrei. Jeder kann sie nutzen.

Meine Botschaft heißt: Keine Heizung ohne solarthermische Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung! „Dächer und Fassaden zum solaren Kraftwerk“ entwickeln!

Dank entsprechender politischer Rahmenbedingungen wie dem Erneuerbare Energien Gesetz und den Förderprogrammen der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) und des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) sind wir beim Ausbau der Solarenergie auf einem guten Weg.

Die deutsche Solarbranche hatte von 2003 auf 2004 eine Umsatzsteigerung von 60 %! Mehr als 5.000 neue Arbeitsplätze sind entstanden. Dieser Positivtrend wird sich auch in 2005 fortsetzen.

Im Rahmen des inzwischen abgeschlossenen 100.000 Dächer Programms belegt Rheinland-Pfalz in Bezug auf die pro Einwohner installierte Photovoltaik-Leistung eine Spitzenposition (Platz 3). Es zeigt die hohe Akzeptanz der Sonnenenergie. Und: Es ist ein Hinweis auf ein hohes Engagement der Rheinland-Pfälzer, wenn es um die Übernahme von Verantwortung im Hinblick auf den Klimaschutz im eigenen Bereich geht.

Mit ihrem Konzept „Solarstadt“ und dessen Umsetzung hat sich Kaiserslautern auf den Weg gemacht. Die Stadt Kaiserslautern übernimmt damit eine Vorreiter- und Vorbildfunktion in Rheinland-Pfalz.

Mein Dank gilt der Stadt Kaiserslautern und allen an der Konzeptentwicklung Beteiligten, dem Umwelt-Campus Birkenfeld, dem WM-Büro, der Stadiongesellschaft des 1.FCK, der BauAG Kaiserslautern, dem Zweckverbandes für Abfallwirtschaft (ZAK), der Landesliegenschafts- und BaubetreuungsGmbH des Landes (LBB) und vielen anderen. Ich würde mich freuen, wenn dieses Beispiel in Rheinland-Pfalz Schule macht.

Margit Conrad

Margit Conrad
Staatsministerin für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz

Danksagung

Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) wurde im April des Jahres 2004 seitens der Stadt Kaiserslautern zu einem Koordinierungsgespräch ins Rathaus der Stadt Kaiserslautern eingeladen. Vor dem Hintergrund, umweltfreundliche und regenerative Energien in Kaiserslautern verstärkt zu nutzen, wurden zu diesem Gespräch neben Vertretern des Ministeriums für Umwelt und Forsten die Referate Gebäudewirtschaft, Umweltschutz und WM Organisation der Stadt Kaiserslautern sowie Vertreter der Landesliegenschafts- und BaubetreuungsGmbH (LBB), der gemeinnützigen Baugesellschaft Kaiserslautern (BauAG), der technischen Werke Kaiserslautern (TWK) sowie des Zweckverbandes für Abfallwirtschaft (ZAK) eingeladen.

Als eines der Ergebnisse dieser Auftaktveranstaltung wurde das IfaS vom Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie zum Thema „Solarstadt Kaiserslautern“ beauftragt. Das IfaS sollte relevante Daten für eine Photovoltaiknutzung im Stadtgebiet erheben und die Schnittstelle zwischen den beteiligten Projektpartnern bilden, deren Daten zu diesem Thema bündeln und aufbereiten.

Mit Vorlage dieses Abschlussberichts, und vor dem Hintergrund der Erfahrungen während der Projektarbeit stellt die Kooperation mit den beteiligten Partnern ein sehr gelungenes Beispiel dafür dar, dass durch die Aktivierung und Kooperation der richtigen Akteure ein erfolgreiches Projekt seinen Weg findet.

Im Namen meiner Mitarbeiter möchte ich mich an dieser Stelle für die gelungene Zusammenarbeit bei den beteiligten Partnern bedanken. Besonders hervorheben möchte ich die konstruktive, innovative und flexible Zusammenarbeit mit den Vertretern der Stadt Kaiserslautern (Herrn Dr. Stefan Kremer, Frau Bettina Dech-Pschorn, Herrn Erwin Saile, Frau Brigitte Rottberg und Herrn Arno Schönau). Sie standen uns im Laufe der Arbeiten sowohl mit organisatorischen als auch mit fachlichen Beiträgen zur Seite und unterstützten uns bei notwendigen Abstimmungsgesprächen innerhalb der städtischen Verwaltung.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Herrn Clemens Middendorf von der Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB) bedanken. Durch die von ihm bereitgestellten Unterlagen und durch seine praktische Erfahrung in der Aktivierung von Flächenpotenzialen zur Photovoltaik Nutzung konnte der Ablauf vieler Vorgänge innerhalb der Projektarbeit wesentlich vereinfacht und beschleunigt werden. Somit ist die LBB sozusagen als Vorreiter in der Umsetzung von Photovoltaik in Kaiserslautern zu sehen.

Weiter gilt mein Dank Herrn Knut Geiger, Herrn Alois Wildanger, Herrn Hans-Jürgen Kewitz und Herrn Kurt Schwan. Sie haben durch die zur Verfügung Stellung von Gebäude- und Anlagendaten die Potenzialermittlung von Photovoltaik geeigneten Flächen unterstützt und somit zu einer Komplettierung unserer Ergebnisse beigetragen.

Darüber hinaus gilt unser Dank der Stadiongesellschaft des Fritz Walter Stadions und dem 1. FC Kaiserslautern. Durch die zur Verfügung Stellung einer geeigneten Fläche entlang der Stadiontribüne konnte die Installation einer Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 30 kWp schon vor einigen Jahren erfolgen. Darüber hinaus werden noch vor der Fußball-Weltmeisterschaft 2006 die Dachflächen der Nord- und Süd-Tribüne zur Verfügung gestellt, auf denen Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von ca. 350 kWp installiert werden können. Die Stadiongesellschaft und der 1. FC Kaiserslautern gelten somit als Vorreiter und lokales Vorbild für die Nutzung regenerativer Energien und unterstützen damit direkt die Entwicklungen in Kaiserslautern.

Birkenfeld im Mai 2005



Prof. Dr. Peter Heck

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Danksagung	VI
Einleitung	8
1.1 Konkrete Aufgabenstellung und Ausgangslage	8
1.2 Vorgehen und Methodik	9
2 Grundlagen der Photovoltaik	10
2.1 Photovoltaische Anlagen und ihre Komponenten	10
2.2 Aufbau einer Solaranlage	11
2.3 Photovoltaische Anlagen und ihre Komponenten	13
2.3.1 Die Solarzelle	13
2.3.1.1 Kristalline Solarzellen	14
2.3.1.1.1 Monokristalline Siliziumzellen	14
2.3.1.1.2 Polykristalline Siliziumzellen	16
2.3.2 Dünnschichtsolarzellen	16
2.3.2.1 Amorphe Siliziumzellen	17
2.3.2.2 Solarzellen aus Gallium-Arsenid (GaAs)	18
2.3.2.3 Die Cadmium-Tellurid-Dünnschichtsolarzelle	19
2.3.2.4 CIS-Dünnschicht-Solarzellen	20
2.3.3 Tandemsolarzellen	21
2.3.4 Rückseitenkontaktzellen	22
2.3.5 HIT-Solarzellen	23
2.4 Solarmodule und ihre Verwendungsmöglichkeiten	23
2.4.1 Glas-Folien-Lamine	23
2.4.2 Glas-Glas-Lamine	24
2.4.3 Solardachelemente	25
2.4.4 Solarmodule als Fassadenelemente	28
2.4.5 Modulaufbauten mit Multifunktionsgläsern	29
2.4.5.1 Isolierglas	29
2.4.5.2 Überkopfglas	30
2.4.5.3 Solarmodule zur Modulation des Tageslichtes	32
2.4.6 Montagesysteme für photovoltaische Anlagen	33
2.4.7 Der Wechselrichter	35
3 Wirtschaftliche Aspekte von Photovoltaikanlagen	38
3.1 Finanzierungsmöglichkeiten	40
3.2 Einspeisevergütung	41
3.3 Kredite und Zuschüsse	44
3.4 KfW-Programm „Solarstrom Erzeugen“	44
3.4.1 Kreditlaufzeit	45
3.4.2 Konditionen	46

3.4.3	Antragstellung	46
3.5	Weitere Förderprogramme	47
3.5.1	Weitere Darlehen, Zuschüsse und Zusatzvergütungen	48
3.5.2	Beteiligungsmodelle	49
3.5.3	Rendite	51
3.5.4	Contracting	54
3.6	Solardachbörsen bzw. Dachflächenverpachtung	55
3.6.1	Finanzierung über „Win-Win Effekte“	56
3.6.2	Sponsoring	58
4	Flächenpotenzial in Kaiserslautern	60
4.1	Gebäude der BauAG Kaiserslautern	60
4.2	Gebäude der Stadt Kaiserslautern	62
4.3	Gebäude des Landkreises Kaiserslautern	63
4.4	Landeseigene Gebäude	63
4.5	Eigene Erhebungen entlang der WM Meile und den P&R-Parkplätzen	64
4.6	Weitere Gebäudegruppen aus eigenen Erhebungen	69
4.6.1	Parkhäuser	69
4.6.2	Kulturgebäude	69
4.6.3	Schwimmbäder	70
4.6.4	Kindertagesstätten und Kindergärten	70
4.6.5	Sport- und Freizeiteinrichtungen	71
4.6.6	Kirchengemeinden in Kaiserslautern	72
4.6.7	Erhebung bestehender Anlagen im Stadtgebiet	73
4.7	Zusammenfassung der Potenzialermittlung	74
4.7.1	Szenario 1 (Nutzung aller Flächenpotenziale)	74
4.7.2	Szenario 2 (Realistische Umsetzung bis Ende 2005)	75
4.7.3	Szenario 3 (Mögliche Umsetzung bis zur WM 2006)	75
4.8	Synergien durch Anwendung von Photovoltaik	76
4.8.1	Emission von Treibhausgasen in Kaiserslautern	76
4.8.2	Kaiserslautern und die Solarbundesliga	78
5	Vorschläge für die Umsetzung	79
5.1	Gebäude-Konzept für Photovoltaik Anlagen	79
5.1.1	Fritz-Walter-Stadion	79
5.1.2	Bahnhof und Umgebung	82
5.1.3	Bahnhof	82
5.1.4	PV-Lärmschutzwände am Bahnhof	85
5.1.5	Verkehrsknotenpunkte	86
5.1.6	Justizzentrum	87
5.1.7	Polizeipräsidium	89
5.1.8	Postamt	90
5.1.9	Zollamtstrasse	91
5.1.10	Barbarossastrasse	92
5.1.11	Arbeitsamt	93

5.1.12	DRK	94
5.1.13	Lidl	95
5.1.14	Gebrüder Pfeiffer AG	96
5.1.15	Messeplatz	97
5.1.16	Eisenbahnstrasse	98
5.1.17	Freifläche und C&A Modehaus	99
5.1.18	Modehaus Söllner	101
5.1.19	Stiftsplatz	102
5.1.20	Am Altenhof	105
5.1.21	Schillerplatz	106
5.1.22	Richard-Wagner-Straße	108
5.1.23	Rathaus	109
5.2	Parkplatzflächen Konzept für Photovoltaik	110
5.2.1	Parkbereich Nord (Industriegebiet)	110
5.2.2	Parkbereich Süd (Uni, Barbarossahalle)	110
5.2.2.1	Parkbereich Technische Universität	110
5.2.3	Autobahnausfahrten, Stadtzufahrten	116
5.2.4	Parkbereich West, Einsiedlerhof, Jakob- Pfeiffer-Straße	118
5.2.5	Deponiestandort Siegelbach	120
5.2.6	Opelparkplatz	121
5.2.7	Parkbereich Ost, Schweinsdell, Eselsführth	122
6	Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Photovoltaik	127
6.1	Gewinnspiel	127
6.2	Photovoltaik Logo Wettbewerb	128
6.3	Solarstadt-Säule Kaiserslautern	129
6.4	Tag der Photovoltaik	130
6.5	Telefonhäuser	131
6.6	Beschilderung Fußgängerleitsystem	131
6.7	Präsentationen von Photovoltaikanlagen	133
7	Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse	134

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematischer Aufbau einer netzgekoppelten Solaranlage	12
Abb. 2: Monokristalline Siliziumsolarzelle	15
Abb. 3: Polykristalline Siliziumsolarzelle	16
Abb. 4: Amorphe Siliziumsolarzelle	18
Abb. 5: Cadmium-Tellurid-Dünnschichtsolarzelle.....	20
Abb. 6: CIS-Module von Shell.....	21
Abb. 7: Funktionsprinzip einer Tandem-Solarzelle.....	22
Abb. 8: Schematischer Aufbau einer HIT-Solarzelle	23
Abb. 9: Glas-Folien-Laminat	24
Abb.10: Glas-Glas-Laminat	25
Abb.11: Solardachziegel Typ „Rauenberger“ von Sesol (Nennleistung 48 Watt).....	26
Abb.12: Solarmodule als Überkopfverglasung.....	31
Abb.13: Solarmodule zur Modulation des Tageslichts.....	33
Abb.14: Funktionsprinzip eines netzgekoppelten Wechselrichters	37
Abb.15: Übersicht Fördermöglichkeiten	41
Abb.16: Anzeigetafel mit Werbemöglichkeit für Sponsoren.....	59
Abb.17: Überblick über die „WM-Meile“.....	65
Abb.18: Parkplatzkonzept Kaiserslautern	66
Abb.19: Emittierte treibhauswirksame Gase in t/Einw. der Stadt Kaiserslautern von 1990 – 2010.....	77
Abb.20: Darstellung zur Bewertung in der Solarbundesliga	79
Abb.21: Stadion Westansicht	80
Abb.22 Stadion Südansicht	80
Abb.23: Solare Überdachung	80
Abb.24: Platz Südwest	81
Abb.25: Solare Parkplatz Überdachung	81
Abb.26: Luftbildaufnahme Bahnhof Kaiserslautern.....	82
Abb.27: Vorderansicht Bahnhof (Nordansicht).....	83
Abb.28: Platz gegenüber des Bahnhofs.....	83
Abb.29: Solarglobus.....	83
Abb.30: Bahnsteigüberdachungen.....	84
Abb.31: Bahnsteigüberdachungen.....	84
Abb.32: Innenhof des Bahnhofes (Südansicht)	84
Abb.33: Dach des Bahnhofgebäudes.....	85
Abb.34: PV-Lärmschutzwand	85
Abb.35: PV-Lärmschutzwand	85
Abb.36: Verkehrsknotenpunkt Richtung Ost	86
Abb.37: Verkehrsknotenpunkt	86
Abb.38: Photovoltaik-Baum.....	86
Abb.39: Kreisel mit Spielern.....	87
Abb.40: Kreisel mit Spielern.....	87
Abb.41: Justizzentrum Vorderansicht (Südansicht)	88
Abb.42: Beispiel Fassade mit integrierter PV	88
Abb.43: Luftbildaufnahme Justizzentrum	88
Abb.44: Beispiel Flachdachaufständerungen	89
Abb.45: : Polizeipräsidium Vorderansicht	89
Abb.46: Polizeipräsidium Südwestansicht	89
Abb.47: Luftbildaufnahme Post	90
Abb.48: Postamt (Südostansicht)	90
Abb.49: Wohnhaus.....	91
Abb.50: Beispiel Flachdachaufständerungen	91
Abb.51: Baustellenschild	92
Abb.52: Baustelle Zollamtstrasse.....	92
Abb.53: Baustelle Zollamtstrasse.....	92
Abb.54: Luftbildaufnahme des Arbeitsamtes.....	93
Abb.55: Arbeitsamt (Südostansicht).....	93
Abb.56: Arbeitsamt (Südostansicht).....	94
Abb.57: Luftbildaufnahme DRK.....	94
Abb.58: DRK (Südansicht)	95
Abb.59: Lidl Vorderansicht (Südansicht).....	95
Abb.60: Lidl Vorderansicht (Südansicht).....	96
Abb.61: Luftbild Gebrüder Pfeiffer.....	96
Abb.62: Gebrüder Pfeiffer Vorderansicht (Südansicht)	97

Abb.63: Beispiel Fassadenintegrierte PV	97
Abb.64: Messeplatz Westansicht.....	98
Abb.65: Beispiel solarer Fahrplan.....	98
Abb.66: Beispiel solare Bushaltestelle	98
Abb.67: Eisenbahnstrasse Richtung Bahnhof (links), Richtung City (rechts).....	99
Abb.68: Beispiel Solarsegel	99
Abb.69: Freifläche links neben C&A (Westansicht)	100
Abb.70: Beispiel Nachführsystem.....	100
Abb.71: Beispiel Solarekunst	100
Abb.72: Modehaus C & A (Südansicht).....	101
Abb.73: Beispiel Fassadenintegrierte PV	101
Abb.74: Beispiel Werbung mit PV.....	101
Abb.75: Modehaus Söllner (Südansicht).....	102
Abb.76: Luftbildaufnahme Stiftsplatz	103
Abb.77: Beispiel Solarbaum.....	103
Abb.78: Dachausschnitt mit Photovoltaik Modulen	103
Abb.79: Stiftsplatz mit einem Hotelneubau (Mitte) und einem Bürogebäude links	103
Abb.80: Bürogebäude Ostansicht	104
Abb.81: Sparkasse Nordostansicht	104
Abb.82: LRP Nordostansicht	104
Abb.83: Am Altenhof.....	105
Abb.84: Sparkasse (Am Altenhof)	105
Abb.85: Beispiel Sonnenschutz	106
Abb.86: Bushaltestelle Schillerplatz.....	106
Abb.87: Beispiel solare Bushaltestelle	106
Abb.88: Schillerplatz mit Blick auf Fruchthalle.....	107
Abb.89: Beispiel solarer Brunnen	107
Abb.90: Satteldach der Fruchthalle	107
Abb.91: Beispiel Messtafel Photovoltaik	107
Abb.92: Richard-Wagner-Strasse.....	108
Abb.93: Wohnhaus Südansicht in Richtung Bahnhof	108
Abb.94: Rathaus	109
Abb.95: Rathaus Südansicht.....	109
Abb.96: Beispiel solare Überdachung	109
Abb.97: Brücke Süd (Trippstadter Straße).....	110
Abb.98: Beispiel Brücke mit Photovoltaik.....	111
Abb.99: Straße zum Universitätsgelände	111
Abb.100: Universitätsparkplatz	112
Abb.101: Universitätsparkplatz 1	112
Abb.102: Universitätsparkplatz 1	112
Abb.103: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht).....	113
Abb.104: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht).....	113
Abb.105: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht).....	114
Abb.106: Luftbildaufnahme, Gebäude 47 und 7 ²	114
Abb.107: Gebäude 47.....	115
Abb.108: Gebäude 7 ² (Ost- Ansicht).....	115
Abb.109: Abfahrt KL- Ost	116
Abb.110: Hydraulisch-passives Nachführsystem	116
Abb.111: Beispiel Solarbeleuchtete Informationstafel	117
Abb.112: Ortseinfahrt KL - Kreisel am Möbel-Martin	118
Abb.113: Ortseinfahrt Straßenbahnüberbauung	118
Abb.114: Luftaufnahme der Jakob- Pfeiffer- Straße	119
Abb.115: Von- Miller- Straße	119
Abb.116: Straßenbeleuchtung „Glamorgan 1“	120
Abb.117: Tankstelle für Biodiesel.....	120
Abb.118: Deponie Gelände Siegelbach.....	121
Abb.119: Luftbildaufnahme Opelparkplatz.....	121
Abb.120: Beispiel Carport mit PV	122
Abb.121: Solarbetriebene Informationstafel	122
Abb.122: Luftbildaufnahme Real- Supermarkt (Süd- Ansicht).....	123
Abb.123: Real Fassade	123
Abb.124: Real Parkplatz (Nordansicht).....	124
Abb.125: Real Parkplatz (Süd- Westansicht).....	124
Abb.126: Beispiel Carports mit PV	124
Abb.127: Lichtenanlage des Supermarktes	125
Abb.128: Parkplatzbeschilderung.....	125

Abb.129: Unterstellplatz Einkaufswagen	126
Abb.130: Real- Parkplatz (Fahrradstellen).....	126
Abb.131: Anwendungsbeispiel Pergola	127
Abb.132: Solarauto	127
Abb.133: Solarlampe.....	128
Abb.134: Solaruhr	128
Abb.135: Solarspielzeug	128
Abb.136: Beispiel Solar Logo	129
Abb.137: Solarstadt-Säule.....	129
Abb.138: Werbeschild eines Unternehmens.....	130
Abb.139: Werbeschild eines Unternehmens.....	130
Abb.140: Anzeigetafel Kombination für Erneuerbare Energien und Wasserverbrauch	131
Abb.141: Überwachungssysteme und Zentrale Datenanzeige Möglichkeit	132
Abb.142: Theoretische Anlagenpotenziale in Kaiserslautern.....	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkungsgrade verschiedener Solarzellen.....	14
Tabelle 2: Einspeisevergütung nach EEG	43
Tabelle 3: Einspeisevergütung für Photovoltaikanlagen bis 30 kWh	44
Tabelle 4: Chancen und Risiken einer Beteiligung am SolarKraftWerk Sirius	53
Tabelle 5: Photovoltaiktaugliche Gebäude der BauAG in Kaiserslautern.....	61
Tabelle 6: Photovoltaiktaugliche Gebäude der Stadt Kaiserslautern	62
Tabelle 7: Photovoltaiktaugliche Gebäude des Landes Rheinland-Pfalz in Kaiserslautern.....	63
Tabelle 8: Photovoltaiktaugliche Gebäude in näherer Umgebung des Bahnhofs, WM-Meile und Verkehrsleitsystem	68
Tabelle 9: Photovoltaiktaugliche Parkhäuser in Kaiserslautern.....	69
Tabelle 10: Photovoltaiktaugliche Kulturgebäude in Kaiserslautern.....	70
Tabelle 11: Photovoltaiktaugliche Schwimmbäder in Kaiserslautern	70
Tabelle 12: Photovoltaiktaugliche Kindergärten und Kindertagesstätten in Kaiserslautern	71
Tabelle 13: Photovoltaiktaugliche Sport und Freizeiteinrichtungen in Kaiserslautern	72
Tabelle 14: Kirchengemeinden in Kaiserslautern.....	73
Tabelle 15: Erhebung bestehender Anlagen im Stadtgebiet	74
Tabelle 16: Umsetzung von Photovoltaik nach 3 Szenarien.....	76
Tabelle 17: Darstellung zur Bewertung in der Solarbundesliga,	78
Tabelle 18: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse	136

Einleitung

1.1 Konkrete Aufgabenstellung und Ausgangslage

Hinter dem Begriff „Solarstadt“ stehen typischerweise Städte, die einen hohen Anteil an Solarenergie nutzen. Diese kann entweder passiv oder aktiv genutzt werden. Bei einer passiven Nutzung der Sonnenenergie zur Wärmeerzeugung sind z.B. städtebauliche Planungen und entsprechende Südausrichtung von Neubauten oder der Einsatz transparenter Wärmedämmsysteme zu nennen. Zur aktiven Sonnenenergienutzung zählen vor Allem die Wärmeerzeugung auf Basis von Holz (Holz ist gespeicherte Sonnenenergie) oder der Einsatz von Solarkollektoranlagen zur Warmwassererzeugung. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die photovoltaische Stromerzeugung mit Solarstromanlagen.

Ziel der vorliegenden Studie war es, für die Stadt Kaiserslautern ein Solarstadtkonzept zu entwickeln, welches im Besonderen auf die Aspekte der Solarstromerzeugung mit Photovoltaikanlagen eingehen sollte. Dabei galt es die im Jahr 2006 stattfindende Fußballweltmeisterschaft zu berücksichtigen und markante Punkte im Stadtgebiet zu erfassen, um kreative Vorschläge für deren photovoltaische Nutzung zu entwickeln.

Ein besonderes Augenmerk sollte darauf liegen geeignete Standorte zur Visualisierung des Themas, durch gut sichtbare Photovoltaik (PV) Anlagen mit entsprechender Öffentlichkeitswirkung, zu identifizieren. Die Zusammenführung der ermittelten Daten in diesem Abschlussbericht soll den Verantwortlichen der Stadt Kaiserslautern dazu dienen, photovoltaisch nutzbare Flächen zu aktivieren und damit die Photovoltaik als Zukunftstechnologie in ihren vielfältigen Einsatzbereichen für Einwohner und Besucher der WM erfahrbar zu machen. Gleichzeitig will das Konzept Wege aufzeigen, wie die Stadt Kaiserslautern ein Image als „Solarstadt“ aufbauen kann.

Die Standortvorschläge, die innerhalb dieser Studie aufgeführt sind, spiegeln den Entwicklungsstand im Februar 2005 wieder. Die viel versprechenden Ergebnisse haben das Umweltministerium dazu veranlasst eine weitere Studie in Auftrag zu geben, welche darauf abzielt die bisher ermittelten Flächenpotenziale, soweit dies für sinnvoll erachtet wurde, in Umsetzung zu bringen. In diesem Rahmen werden vor allem Gewerbebetriebe und andere Einrich-

tungen, wie z.B. Kirchengemeinden, dabei unterstützt, die vorhandenen Flächen einer photovoltaischen Nutzung zu führen.

1.2 Vorgehen und Methodik

Das Solarstadtkonzept Kaiserslautern gliedert sich in 7 Kapitel.

In Kapitel eins ist die Aufgabenstellung und die Methodik der vorliegenden Studie erläutert.

Im zweiten Kapitel werden die zur Zeit am Markt verfügbaren photovoltaischen Techniken vorgestellt und deren typische Einsatzgebiete aufgezeigt. Dies ist notwendig da sich nicht alle PV – Anlagen für den gleichen Einsatzbereich eignen. Auch werden hier einige grundsätzliche Dinge angeführt, welche bei der Installation der Anlagen zu beachten sind.

In Kapitel drei werden wirtschaftliche Aspekte der Photovoltaiknutzung erläutert. Neben der Darstellung von Finanzierungsmethoden, wird auf Kredite und Förderprogramme sowie auf innovative Finanzierungsmodelle auf Contracting Basis eingegangen.

Grundlage für Kapitel vier bildet eine Potenzialanalyse für Photovoltaik geeignete Flächen, wie z.B. Dach- und sonstige Gebäudeflächen, Parkplatzflächen und Freiflächen. Die im Rahmen der Datenerhebung ermittelten Flächenpotenziale sind dabei tabellarisch dargestellt. Neben den Gebäudedaten, welche die Projektpartner zur Verfügung gestellt haben, wurden weitere Flächen durch Begehungen der in Frage kommenden Standorte identifiziert. Eine Auswertung von Luftbildern des Stadtgebietes führte ebenfalls zu ersten Ergebnissen.

In Kapitel fünf erfolgt eine durch Bildmaterial gestützte Darstellung derjenigen Flächen, die von uns als öffentlichkeitswirksam eingestuft wurden. Gleichzeitig werden konkrete Umsetzungsbeispiele für eine photovoltaische Anwendung gegeben. Die Auswahl der Flächen basiert auf verschiedenen Gesichtspunkten. Zum Einen erfolgte eine Orientierung an dem für die WM entwickelten Verkehrskonzept. Zum Anderen wurden markante Punkte im Stadtgebiet ausgewählt, die entlang der so genannten „WM Meile“ orientiert sind. Die WM Meile wird durch den Stadtkern gebildet, in dem große Eventveranstaltungen für die Besucher der WM stattfinden.

Das Kapitel sechs geht auf allgemeine Vorschläge zur Umsetzung eines Solarstadtkonzepts ein. Es werden vorrangig öffentlichkeitswirksame Maßnahmen erläutert, mit denen die Stadt Kaiserslautern auf die Technik aufmerksam machen kann, um bei den Bürgern und Besuchern der Stadt das Bewusstsein für Photovoltaik auszubauen. Darüber hinaus sind die Grundlagen für die Teilnahme an der Solarbundesliga dargestellt.

In Kapitel 7 erfolgt eine Zusammenfassung und abschließende Bewertung der Untersuchungsergebnisse.

2 Grundlagen der Photovoltaik

Das Ziel dieses Kapitels ist, die wesentlichen Anlagenkomponenten einer Photovoltaikanlage darzustellen, einen Überblick über die verschiedenen derzeit verfügbaren Solarzellen, Modularten und Montagesysteme zu geben und die Funktionsweise des Wechselrichters zu beschreiben.

Dazu soll zunächst eine Einführung in die Grundlagen der Photovoltaik erfolgen. Dabei werden die historische Entwicklung und die physikalischen Grundlagen des photovoltaischen Effekts kurz erläutert. Im Anschluss daran beschreiben wir die Technik und Verwendungsmöglichkeiten von Solarzellen und Solarmodulen näher. Dabei geht es im Wesentlichen darum aufzuzeigen, was derzeit auf dem Markt erhältlich ist und welche Einsatzmöglichkeiten es für die verschiedenen Systeme gibt. Danach wird kurz auf die Themen Montagesysteme und Wechselrichter eingegangen.

2.1 Photovoltaische Anlagen und ihre Komponenten

Der physikalische Effekt, der der Photovoltaik (PV) zugrunde liegt, wird als photovoltaischer Effekt bezeichnet und wurde erstmals von dem französischen Physiker Alexandre Edmond Becquerel im Jahre 1839 beobachtet. Becquerel hatte in eine alkalische Flüssigkeit, die durch eine Membran in zwei Bereiche unterteilt war, je eine Gold- bzw. Platinplatte eingetaucht und die Platten mit einem Galvanometer verbunden. Es stellte sich bei seinem Versuch her-

aus, dass bei der Bestrahlung einer Platte ein elektrischer Strom floss.¹ Eine wirkliche technische Bedeutung erlangte die Photovoltaik jedoch erst Mitte des 20. Jahrhunderts, als das Zeitalter der Halbleiterbauelemente eingeläutet wurde. Im Jahr 1954 wurde von den Amerikanern Chapin, Fuller und Pearson an den Bell-Laboratorien die erste Solarzelle entwickelt. Wichtige Triebfeder für die Weiterentwicklung der Photovoltaik war in erster Linie die Raumfahrt, denn die Nutzung der Solarenergie stellte eine Möglichkeit der autonomen Energieversorgung von Satelliten, Sonden und Raumstationen dar. Die ersten in der Raumfahrt eingesetzten Silizium-Solarzellen, hatten einen Wirkungsgrad von 5%, heutige Systeme erreichen schon mehr als 20%.²

Der eigentliche Impuls für eine terrestrische Nutzung der Solarenergie wurde durch die Ölkrise 1973/74 hervorgerufen. Bei der weltweiten Suche nach alternativen Energieformen, entdeckten die Wissenschaftler auch die Photovoltaik als potentielle Energiequelle und Instrument zur Lösung energiewirtschaftlicher und ökologischer Probleme.

Bis zum heutigen Tag wird weltweit geforscht und experimentiert, um die Photovoltaik voranzutreiben. Die Forschung strebt dabei vor allem die Verbesserung der Wirkungsgrade und die Reduktion der Herstellkosten an, die nach wie vor entscheidende Hemmfaktoren für die Wirtschaftlichkeit photovoltaischer Anlagen darstellen.

2.2 *Aufbau einer Solaranlage*

Photovoltaik-Systeme werden grundsätzlich in netzgekoppelte Systeme und Inselsysteme eingeteilt. Bei Inselsystemen muss der solare Energieertrag mit dem Energiebedarf genau abgestimmt werden. Sie spielen auf dem deutschen Markt praktisch keine Rolle. Bei netzgekoppelten Systemen ist die Solaranlage mit dem öffentlichen Netz verbunden. In Deutschland werden die meisten PV-Anlagen netzgekoppelt betrieben. Der Grund dafür ist die kostendeckende Vergütung des eingespeisten Stroms, auf Basis des Gesetzes zum Vorrang erneuerbarer Energien. Die folgende Abbildung macht den schematischen Aufbau einer netzgekoppelten Anlage deutlich.

¹ vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 11ff.

² vgl. Informationsschriften der VDI-Gesellschaft (1993): Photovoltaik, S. 1

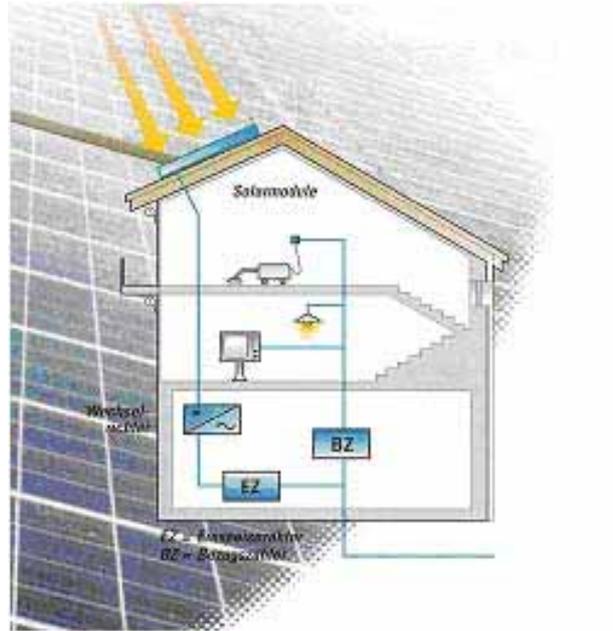


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer netzgekoppelten Solaranlage

Quelle: URL: www.dgs.de, 13/10/2004

Eine Solaranlage zur Einspeisung des Solarstroms in das öffentliche Stromnetz besteht im Wesentlichen aus einem Solarmodul, einem Wechselrichter, der elektrischen Verkabelung und dem Einspeisezähler. Dabei wird die elektrische Energie vom Solarmodul, mit Hilfe geeigneter Halbleitermaterialien, generiert und liefert einen Gleichstrom. Es entsteht ein Gleichstrom, der entweder zum Betrieb elektrischer Geräte oder zur Speicherung in geeigneten Batterien genutzt werden kann. Soll dieser Strom in das öffentliche Netz eingespeist werden, so muss er mittels eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt werden. Der Wechselrichter muss den Strom absolut phasengerecht in das Netz einspeisen. Zudem muss er auch im Schwachlastbetrieb einen möglichst hohen Wirkungsgrad erzielen. Die Energieversorgungsunternehmen sind verpflichtet den eingespeisten Solarstrom nach den im "Gesetz zum Vorrang erneuerbarer Energien" garantierten Sätzen zu vergüten. Der Einspeisezähler dient zur Dokumentation der Einspeisung.³

³ vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 221ff.

2.3 Photovoltaische Anlagen und ihre Komponenten

2.3.1 Die Solarzelle

Auf dem Markt sind verschiedenste Arten von Solarzellen erhältlich. Dabei werden Unterschiede in der Wahl der verwendeten Materialien sowie im Nutzungskonzept dieser Materialien deutlich. Die Auswahl photovoltaischer Materialien richtet sich nach verschiedenen Gesichtspunkten. Man unterscheidet im Wesentlichen physikalische, technische und wirtschaftliche Eignungskriterien.

Für netzgekoppelte Anlagen werden in der Regel Solarzellen aus monokristallinem und polykristallinem Silizium verwendet. Der geringere Wirkungsgrad der polykristallinen Zellen wird dabei durch den Preisvorteil ausgeglichen. Module aus amorphem Silizium werden hauptsächlich im Freizeitbereich (z.B. auf Booten) oder bei dachintegrierten Systemen eingesetzt. Die CIS- und CdTe-Zellen werden bislang nur für Kleinanwendungen eingesetzt. Gallium-Arsenid erweist sich noch als zu teuer in der Herstellung, so dass es nur in der Raumfahrt und bei Konzentratorsystemen verwendet wird. Die Farbstoffzelle ist noch zu wenig entwickelt, in Zukunft kann diese Technologie aber eine interessante Alternative zu den herkömmlichen Zellenarten darstellen. Besonders Tandemzellen stellen insbesondere wegen ihres hohen Wirkungsgrades ernstzunehmende Entwicklungen dar. Die folgende Tabelle soll einen kurzen Überblick über die Wirkungsgrade verschiedener Zellen geben.

Solarzellenmaterial	Zellwirkungsgrad (Labor)	Zellwirkungs-grad (Produktion)
monokristallines Silizium	28,0%	17,0%
polykristallines Silizium	19,8%	15,0%
amorphes Silizium	12,7%	8,0%
CIS	18,8%	14,0%
Cadmium-Tellurid	14,0%	10,0%
Gallium-Arsenid	30,2%	27,4%
Farbstoffzelle	12,0%	5,0%
Tandemzelle (GaAs/GaSb)	43,0%	-
HIT-Zelle	-	17,3%
Rückseitenkontaktzellen	-	22,0%

Tabelle 1: Wirkungsgrade verschiedener Solarzellen

Quelle: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (2000): Photovoltaische Anlagen, 2-35, verändert

Im Folgenden sollen die verschiedenen Arten von Solarzellen und die Technik näher erläutert werden.

2.3.1.1 Kristalline Solarzellen

2.3.1.1.1 Monokristalline Siliziumzellen

Das am häufigsten für den Bau von Solarzellen verwendete Material ist Silizium. Monokristallines Silizium ist aufgrund seines aufwendigen Herstellungsprozesses sehr teuer, es weist aber auch bessere Wirkungsgrade als polykristallines oder amorphes Silizium auf. Ausgangsmaterial für die Zellen ist hochreines und deshalb relativ teures Silizium.

Die großen Erfolge der Solargeneratoren in der Raumfahrt, die dort zu einer nahezu monopolartigen Stellung der Photovoltaik geführt haben, wurden unter nahezu ausschließlicher Verwendung von monokristallinem Silizium erzielt. Der Grundstoff, aus dem das Silizium gewonnen werden kann, ist Quarzsand (SiO_2), welcher in großen Mengen verfügbar ist.⁴

⁴ vgl. Raudszus et al. (1992): Das Solarenergie Buch, S. 34ff.

Monokristalline Solarzellen werden aus runden Einkristallen mit 30 cm Durchmesser und mehreren Metern Länge hergestellt. Durch Abfasen der Einkristalle, entstehen quadratische bzw. semiquadratische Stangen, die in ca. 0,3 mm dicke Scheiben (Wafer) geschnitten werden. Hier geht ein großer Teil des Siliziums verloren. Die Dotierung der Wafer geschieht bei hohen Temperaturen durch Diffusion. Nach Aufbringen der Rückkontaktschicht werden die Wafer mit Stromabnahmenlinien auf der Vorderseite und mit einer Antireflexschicht versehen.



Abb. 2: Monokristalline Siliziumsolarzelle

Quelle: URL: http://www.solarintegration.de/index.php?id=23&produkt_id=8, 20/09/2004

Monokristalline Solarzellen sind dunkelblau bis schwarz (mit Antireflexschicht) oder grau (ohne Antireflexschicht) und in verschiedenen Formen erhältlich. Runde Zellen sind preiswerter als quadratische oder semi-quadratische Zellen, da bei ihrer Herstellung weniger Abfall entsteht. Allerdings haben sie eine schlechtere Flächenausnutzung als die beiden anderen Formen und werden demzufolge nur in Sondermodulen, z.B. für Gebäudeintegration, bei denen eine Teiltransparenz erwünscht ist, eingesetzt.⁵

Zwischen dem theoretischen Wirkungsgrad einer Si-Solarzelle von nahezu 30% und dem praktisch realisierten, besteht eine erhebliche Differenz. Mit sehr aufwendigen Laborverfahren werden derzeit Wirkungsgrade von etwa 24% für einfaches und 28% für konzentriertes Sonnenlicht erreicht. In industriellem Maßstab gefertigte Zellen für den terrestrischen Einsatz erreichen Wirkungsgrade bis zu 17%.⁶

⁵ vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

⁶ vgl. Informationsschriften der VDI-Gesellschaft (1993): Photovoltaik, S. 18

2.3.1.1.2 Polykristalline Siliziumzellen

Die Herstellung polykristalliner Siliziumzellen ist einfacher und kostengünstiger in der Herstellung als das vorangehend beschriebene Verfahren zur Herstellung monokristalliner Siliziumzellen und erfolgt meist über das so genannte Blockgießverfahren. Dabei wird Rohmaterial im Vakuum auf 1.500 °C erhitzt und in Richtung des kälteren Tiegelbodens wieder abgekühlt. Dabei entstehen Siliziumblöcke von 40 cm x 40 cm Fläche und 30 cm Höhe. Die Blöcke werden erst in Stangen und dann in 0,3 mm dicke Wafer gesägt, wobei ein Teil des Siliziums als Abfall verloren geht. Nach der Dotierung erfolgt das Aufbringen der Rückkontaktschicht. Anschließend werden die Wafer mit Stromabnahmelinien auf der Vorderseite und mit einer Antireflexschicht (AR) versehen. Bei dem Blockgießverfahren bilden sich Kristalle unterschiedlicher Orientierung aus. Diese lassen sich an der Oberfläche gut erkennen.⁷ Die geringere Reinheit des verwendeten Materials führt allerdings im Vergleich zu den monokristallinen Siliziumzellen auch zu schlechteren Wirkungsgraden, welche im Bereich von 13 bis 15% liegen. Aufgrund der günstigen Herstellkosten hat sich die polykristalline Solarzelle jedoch mittlerweile große Marktanteile erobert.⁸



Abb. 3: Polykristalline Siliziumsolarzelle

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=362>, 20/09/2004

2.3.2 Dünnschichtsolarzellen

Weltweit sind kristalline Solarzellen, aufgrund ihrer hohen Leistungsausbeute und guten Langzeitstabilität, am meisten verbreitet. Ihr Nachteil liegt im großen Verbrauch an teurem Rohsilizium und den hohen Energiekosten, die durch die beim Herstellungsprozess benötigten Temperaturen anfallen. Die wichtigste Möglichkeit zur Reduktion der Kosten bei der Herstellung von Solarzellen, bietet die Dünnschichttechnologie. Voraussetzung ist hierbei die Aus-

⁷ vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 144ff.

⁸ vgl. Raudszus et al. (1992): Das Solarenergie Buch, S. 38

wahl geeigneter Materialien, wobei amorphes Silizium eine wichtige Rolle spielt. Bei der Herstellung von Dünnschichtzellen werden photoaktive Halbleiter als dünne Schichten auf ein Trägermaterial aufgebracht. Die Schichtdicken betragen hierbei nur etwa 0,001 mm.

Der geringe Material- und Energieverbrauch bei der Herstellung sowie der mögliche hohe Automatisierungsgrad, bieten beträchtliche Einsparpotenziale gegenüber der kristallinen Siliziumtechnologie. Das Trägermaterial für Dünnschichtzellen kann theoretisch beliebig zugeschnitten werden. So können Maßanfertigungen in der Größe noch freier variiert werden.

Die Art der Verschaltung unterscheidet sich ebenfalls von den kristallinen Zellen. Während bei diesen Zelle für Zelle miteinander verlötet werden, sind Dünnschicht-Zellen intern verbunden. Dies geschieht durch spezielle Strukturierungsschritte zwischen den einzelnen Herstellungsschritten. Mit dem bloßen Auge sind die Verbindungen kaum zu erkennen, so dass die Zelle sehr homogen aussieht. Die Farben von Dünnschichtzellen sind rötlichbraun über schwarz bis dunkelgrün.

Der größte Nachteil der Dünnschichtzellen ist in ihrem, im Vergleich zu kristallinen Zellen, geringen Wirkungsgrad zu sehen. Gleichwohl finden auch Dünnschichtsolarzellen ihren Markt, nämlich dort, wo der geringere Wirkungsgrad durch einen günstigen spezifischen Flächenpreis kompensiert wird. Bei photovoltaischen Anlagen mit großem Flächenpotential können Dünnschichtzellen sich gegenüber kristallinen Zellen, aufgrund ihres günstigeren „Preis-pro-Watt_{peak}-Verhältnisses“, als vorteilhaft erweisen.⁹ Im Folgenden werden Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium, Cadmium-Tellurid, Gallium-Arsenid und Kupfer-Indium-Diselenid näher beschrieben.

2.3.2.1 Amorphe Siliziumzellen

Amorphe Strukturen unterscheiden sich von den kristallinen dadurch, dass sie keine strenge Gitterstruktur aufweisen. Das amorphe Silizium stellt eine Verbindung aus Silizium- und Wasserstoffatomen dar. Der Bandabstand dieses Halbleiters beträgt ca. 1,7 eV, lässt sich jedoch in gewissen Grenzen durch den Wasserstoffgehalt variieren. Amorphe Siliziumzellen gehören zur Familie der Dünnschichtzellen und bieten die Aussicht auf eine erhebliche Kostensenkung. Der photoaktive Halbleiter ist in diesem Fall amorphes Silizium, das als dünne

⁹ Iken (2003): Dünne liegt im Trend, S. 44ff.

Schicht auf das Trägermaterial, in den meisten Fällen Glas, aufgebracht wird. Aufgrund der hohen Lichtabsorption sind Schichtdicken kleiner als 0,001 mm für die Umwandlung des Sonnenlichts theoretisch ausreichend.

Nachteil der amorphen Zellen ist der geringe Wirkungsgrad von 5% bis 8%. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurden die so genannten Stapelsolarzellen entwickelt, die unter 4.1.3. als Tandemzellen näher beschrieben werden. Ein weiteres kritisches Problem ist die Stabilität dieser Zellen. Mit der Zeit degradiert ihr Wirkungsgrad, das heißt er nimmt ab. Die Degradation lässt sich wieder rückgängig machen, indem man die Zellen einer Temperatur von 160°C aussetzt.¹⁰

Die Form der amorphen Siliziumzellen ist frei wählbar. Als großer Vorteil dieser Solarzellen ist anzuführen, dass sie aufgrund ihrer Eigenschaften, die Herstellung flexibler Solarmodule auf Metall- oder Kunststofffolien ermöglichen. Die Farbe variiert von rötlichbraun bis schwarz.¹¹ Amorphe Siliziumzellen beherrschen den Markt der niedrigen Leistungsbereiche (Uhren, Taschenrechner...) fast vollständig.



Abb. 4: Amorphe Siliziumsolarzelle

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=284>, 20/09/2004

2.3.2.2 Solarzellen aus Gallium-Arsenid (GaAs)

Der Halbleiterwerkstoff GaAs wird in der Elektronik in großem Maße verwendet und findet auch in der Photovoltaik ein wichtiges Anwendungsgebiet. Der Bandabstand dieses Halbleiters beträgt 1,42 eV und verspricht eine nahezu optimale Anpassung an die Solarstrahlung,

¹⁰ vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 177ff.

¹¹ vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

weshalb schon frühzeitig Zellen mit höheren Wirkungsgraden (bis 25%) als bei Silizium hergestellt werden konnten.¹²

Die Vorteile der GaAs-Zellen liegen in ihren Materialeigenschaften. Aufgrund des größeren Bandabstands und des direkten Übergangs hat GaAs eine höhere Lichtabsorption für das Sonnenlicht, was zur Folge hat, dass die Zellen nur wenige μm dick sein müssen. Weiterhin liegt das Maximum der spektralen Empfindlichkeit mehr im kurzwelligeren und damit energiereicheren Spektralbereich. Die größere Bandlücke macht GaAs weniger empfindlich gegenüber Temperaturerhöhungen, weshalb es für höhere Strahlungsbelastungen, wie zum Beispiel bei Konzentratorsystemen, besser geeignet ist als Silizium. Zusätzlich können die Zellen leicht durch den Einbau von Elementen der II. und V. Hauptgruppe des Periodensystems für Mehrschichtenanwendungen optimiert werden. Nachteile dieser Zellen sind vor allem in der aufwendigen Zelltechnologie und den hohen Materialkosten zu sehen.¹³

2.3.2.3 Die Cadmium-Tellurid-Dünnschichtsolarzelle

Cadmium-Tellurid ist, ähnlich wie das vorher behandelte GaAs, mit einer Bandlücke von 1,45 eV ein für die energetische Umwandlung des Sonnenlichts fast optimaler Halbleiter. Auch CdTe ist ein direkter Halbleiter, und somit reicht auch eine sehr dünne Schicht aus, um das Sonnenlicht vollständig zu absorbieren. Die Solarzellen aus diesem Material besitzen eine äußerst hohe Stabilität. Die besten Laborzellen erreichen derzeit Wirkungsgrade von 10-14%. Vorteil dieser Technologie ist, dass auf relativ kostengünstige Art und Weise Wirkungsgrade von ca. 10% erreicht werden können.¹⁴

Bei der CdTe-Zelle befindet sich das Trägerglas auf der lichtzugewandten Seite und wird rückseitig erst mit einer transparenten Leitschicht (meist Indium-Zinnoxid), dann einer dünnen CdS-Fensterschicht und darauf mit einer Cadmium-Tellurid-Absorberschicht versehen. Die Abscheidung der beiden letztgenannten Schichten erfolgt im Vakuumverfahren. Anschließend wird der metallische Rückkontakt aufgebracht. Wird die Abscheidungstechnik korrekt ausgeführt, tritt auch bei CdTe-Modulen keine Degradation der Leistung auf.“¹⁵

¹² vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 180

¹³ vgl. Hadamovsky, Jonas (1996): Solarstrom, Solarwärme, S. 46ff.

¹⁴ vgl. Goetzberger et al. (1994): Sonnenenergie: Photovoltaik, S. 185

¹⁵ Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

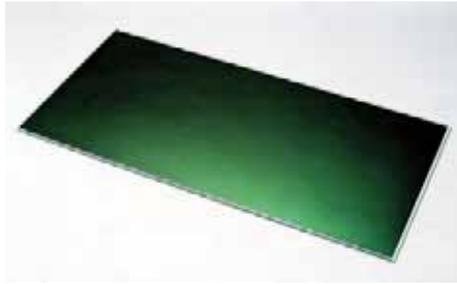


Abb. 5: Cadmium-Tellurid-Dünnschichtsolarzelle

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=285>, 20/09/2004

2.3.2.4 CIS-Dünnschicht-Solarzellen

Das aktive Halbleitermaterial bei CIS-Solarzellen ist Kupfer-Indium-Diselenid. Die CIS-Schicht wird in einer Vakuumkammer erzeugt und auf eine dünne Molybdänschicht aufgedampft. Diese wirkt als Rückkontakt auf dem Trägermaterial Glas. Als transparenter Frontkontakt dient aluminiumdotiertes Zinkoxid.

Entscheidender Vorteil der CIS-Solarzellen sind die relativ niedrigen Herstellungskosten. Gründe dafür sind die mit maximal 600°C niedrigen Temperaturen, die den Energieeinsatz in der Fertigung reduzieren und den Einsatz von billigem Floatglas als Trägermaterial erlauben. Weiterhin weisen diese Zellen einen sehr geringen Materialbedarf auf, welcher bei 1 bis 2% von dem einer kristallinen Zelle liegt.¹⁶

CIS-Solarzellen sind keiner lichtinduzierten Alterung unterworfen. Allerdings muss auf eine sehr gute Versiegelung geachtet werden, da sie Stabilitätsprobleme in heißer und feuchter Umgebung haben. Die Zellen weisen einen Bandabstand von 1 eV auf, welcher eine relativ schlechte Ausnutzung des Sonnenlichts zur Folge hat. Letzterer lässt sich jedoch vergrößern, wenn statt Indium Gallium verwendet wird.¹⁷ Der Wirkungsgrad der Zellen beträgt ca. 14%.¹⁸

¹⁶ vgl. Iken (2003): Die Dünnen vom Neckar, S. 53

¹⁷ vgl. Hadamovsky, Jonas (1996): Solarstrom, Solarwärme, S. 48

¹⁸ vgl. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (2000): Photovoltaische Anlagen, 2-35



Abb. 6: CIS-Module von Shell

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=285>, 20/09/2004

2.3.3 Tandemsolarzellen

„Tandemsolarzellen bestehen aus zwei (oder mehreren) übereinander liegenden Solarzellen, die aus Halbleitermaterialien mit spektral unterschiedlichen Absorptionskanten (energetisch verschiedenen Bandabständen) hergestellt sind, wodurch das angebotene Sonnenspektrum besser ausgenutzt werden kann. Von besonderem Interesse sind dabei die integriert verschalteten Dünnschicht-Tandemsolarzellen mit nur zwei elektrischen Anschlüssen.“¹⁹ Während die einfache Solarzelle am besten an das Sonnenspektrum angepasst ist, wenn der verwendete Halbleiter einen Bandabstand von etwa 1,4 eV besitzt, ist eine Tandemsolarzelle am besten angepasst, wenn die obere Solarzelle aus einem Halbleitermaterial mit einer Energielücke von 1,9 eV angefertigt ist und die untere aus einem Material mit einer Bandlücke von 1,2 eV. Bei dieser Anordnung wandelt die obere Zelle den kurzwelligen Bereich des Sonnenlichts und die untere Zelle den langwelligen Bereich in elektrische Energie um. In beiden Tandemzellen fließt bei optimaler Anpassung von Bandabständen und Absorberschichtdicken ein maximal gleich hoher Strom.

Der gesamte Wirkungsgrad einer Tandemsolarzelle setzt sich annähernd aus dem Wirkungsgrad der oberen Solarzelle, welche dem gesamten Spektrum ausgesetzt ist, und dem halben Wirkungsgrad der unteren Solarzelle, welche nur das von oben durchgelassenen Licht empfängt, zusammen. Die obere Zelle, und damit auch ihr Rückseitenkontakt, muss also für langwellige Strahlung transparent sein. Der theoretische Gesamtwirkungsgrad von Tandemso-

¹⁹ Krühler (1993): Die Tandem-Solarzelle S. 129

larzellen liegt bei Verwendung von einkristallinen Halbleitern bei ca. 43%. Bei Einsatz polykristalliner und amorpher Halbleiter werden hingegen nur 24% erreicht.²⁰

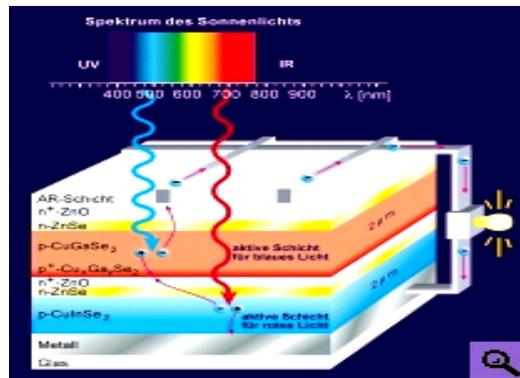


Abb. 7: Funktionsprinzip einer Tandem-Solarzelle

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

2.3.4 Rückseitenkontaktzellen

Solarzellen mit Rückseitenkontakt und texturierter Oberfläche stellen eine interessante und viel versprechende Innovation dar. Der Hersteller dieses Zellentyps ist das amerikanische Unternehmen Sunpower Corp. Die von diesem Unternehmen hergestellten Hochleistungsprodukte 200 F und 210 F erreichen nach eigener Aussage Zellwirkungsgrade von 20 – 22% und einen Modulwirkungsgrad von 17%. Die in diesem Modul verwendete Solarzelle stellt die erste, in Großserie gefertigte, Rückseitenkontaktzelle der Welt dar. Das Prinzip dieser Zelle beruht darauf, dass höhere Lichtausbeuten erzielt werden können, da sich auf der Vorderseite keinerlei Kontakte mehr befinden. Ein weiterer Vorteil des Rückseitenkontaktes ist, dass die Leiterbahnen im Hinblick auf ihre elektrische Leistung optimiert werden können, da man diese im Gegensatz zu Vorderseitenkontakten nicht so schmal wie möglich ausführen muss. Da die Elektronen aufgrund der Rückseitenverlegung den Weg durch die ganze Zelle nehmen müssen, um abfließen zu können, wird als Material hochreines, monokristallines Silizium verwendet, dessen Oberfläche texturiert ist. Weiterhin wurde die Rückseite mit einer hochreflektierenden Beschichtung ausgestattet, die für Elektronen leicht durchlässig ist. Im Gegensatz zu anderen Zellen wird bei den Rückseitenkontaktzellen von Sunpower Corp. n-dotiertes

²⁰ Krühler (1993): Die Tandem-Solarzelle S. 129

Silizium verwendet. Diese Maßnahme soll die Zahl der Störfelder verringern. Die Leistung der Module entspricht 200 bzw. 210 Wp.²¹

2.3.5 HIT-Solarzellen

„Die „HIT-Zelle“ ist eine Kombination aus einer kristallinen und einer Dünnschicht-Solarzelle (HIT - Heterojunction with Intrinsic Thin Layer). Gegenüber kristallinen Solarzellen zeichnet sich die HIT-Zelle durch eine höhere Energieausbeute bei hohen Temperaturen aus. Bei der Herstellung spart die HIT-Zelle Energie und Material durch geringere Abscheidetemperaturen und eine geringere Dicke (0,2 mm). Der Wirkungsgrad beträgt 17,3 %. Die Struktur ist homogen, die Farbe dunkelblau bis schwarz.“²²



Abb. 8: Schematischer Aufbau einer HIT-Solarzelle

Quelle: <http://www.solarintegration.de/?id=282>, 20/09/2004

2.4 Solarmodule und ihre Verwendungsmöglichkeiten

2.4.1 Glas-Folien-Lamine

Glas-Folien-Lamine gehören zu den am meisten verwendeten Solarmodultypen. Nahezu alle Standard-Solarmodule - ob gerahmt oder ungerahmt - werden in dieser Technologie erstellt.

²¹ vgl. Iken (8/2004): Hochleistungszelle von Sunpower am Markt, S.54ff.

²² vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

Aber auch bei der PV-Gebäudeintegration spielen sie eine wichtige Rolle. Sie zeichnen sich durch ein relativ geringes Gewicht und eine hohe Belastbarkeit aus.

Glas-Folien-Lamine bestehen aus einer Frontglasscheibe und einer rückseitigen Kunststofffolie, zwischen denen die Solarzellen in EVA (Ethyl-Vinyl-Acetat) eingebettet sind. Für die Frontglasscheibe wird in den meisten Fällen ein Einscheiben-Sicherheitsglas (ESG) aus Weißglas gewählt, welches durch einen geringen Eisenoxydanteil besonders lichtdurchlässig ist. Die Rückseitenfolie besteht aus einer hochbelastbaren Kunststoffverbundfolie, dem sogenannten "Tedlar". Die Folie ist mehrschichtig und beinhaltet zum Teil eine Aluminium-Schicht, welche ähnlich wie Glas die Diffusion von Sauerstoff stoppt und somit eine Oxidation der Zellen verhindert.

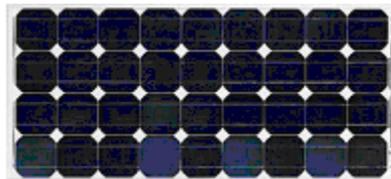


Abb. 9: Glas-Folien-Laminat

Quelle: URL: http://www.solarintegration.de/?id=23&produkt_id=5, 20/09/2004

Glas-Folien-Lamine sind hoch beanspruchbar, jedoch aufgrund des Folienverbunds als Rückseite nicht so ansehnlich wie Glas-Glas-Module. Deshalb werden sie meist dann verwendet, wenn die Rückseite für den Betrachter nicht sichtbar ist. Ihr Aufbau macht die Module besonders leicht. Durch Einbau eines Kunststoffrahmens und durch das Einlegen eines Glasfasergewebes zwischen Solarzellen und Rückseitenfolie ist es möglich, die Belastbarkeit der Glas-Folien-Lamine nochmals zu erhöhen und die Einsetzbarkeit als Überkopfverglasung zu verbessern. Weiterhin eignen sich die Module als Fassadenverkleidungen von Kaltfassaden, Sonnenschutzelemente und Solardach-Systeme zur Eindeckung von Schrägdächern.²³

2.4.2 Glas-Glas-Lamine

Glas-Glas-Module werden zum Beispiel durch das Aufbringen von amorphen a-Si-Solarzellen auf Glassubstraten hergestellt. Dabei wird das Silizium in einem mehrstufigen Beschichtungsprozess direkt und hauchdünn auf eine Glasscheibe, die als Substrat bezeichnet wird,

²³ Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

aufgebracht. Im Laufe des automatisierten Produktionsprozesses entstehen schrittweise die metallene Rückseitenkontaktschicht, die Zellbeschichtung und die Frontseitenkontakte. Es entsteht eine Glasplatte mit bereits fertig verschalteten Dünnschichtzellen. Durch das Aufbringen einer Frontglasscheibe entsteht das Glas-Glas-Laminat.

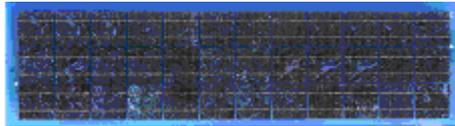


Abb.10: Glas-Glas-Laminat

Quelle: http://www.solarintegration.de/?id=23&produkt_id=5, 20/09/2004

Module mit amorphem Silizium sind von schwarz-violett bis anthrazit erhältlich. Bei sehr dünner Beschichtung entsteht eine semitransparente Wirkung, was zur Reduktion des Wirkungsgrades führt. In Verbindung mit den relativ hohen Herstellkosten führt dies zu Nachteilen, welche dazu geführt haben, dass sich transparent beschichtete Module bislang nicht durchsetzen konnten.

Eine andere Möglichkeit amorphe Solarzellen semitransparent zu machen besteht darin, einen Teil der Beschichtung im Laserverfahren wieder abzunehmen. Der Effekt ähnelt dem von, zum Zwecke des Sonnenschutzes, bedruckten Gläsern.

Glas-Glas-Lamine mit amorphem Silizium weisen einen Wirkungsgrad von ca. 5% auf und sind in gerahmter und ungerahmter Form erhältlich. Aufgrund ihres homogenen Erscheinungsbildes eignen sie sich sehr gut zur Gebäudeintegration. Dabei ist es von Vorteil, dass das aSi-Material nur einen etwa halb so großen Temperaturgradienten hat, wie kristalline Silizium-Solarzellen. Daher eignet es sich besonders gut zur Integration in Glasfassaden.²⁴

2.4.3 *Solardachelemente*

Dachelemente mit integrierten Solarmodulen gewährleisten eine optimale und optisch anspruchsvolle Integration von Anlagen zur Energieerzeugung in verschiedenste Dachformen. Im Gegensatz zu früheren Jahren existiert heutzutage ein reichhaltiges Angebot von Solar-

²⁴ Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

dachelementen zur Substitution konventioneller Ziegel-, Schiefer- oder Metaldachsysteme. In Deutschland sind über 90% der installierten Solarstromanlagen über der Dachhaut installiert. Lediglich 2% der montierten Anlagen sind dachintegriert. Einer der Gründe für diesen Zustand sind die derzeit höheren Kosten der Solardachelemente gegenüber nicht dachintegrierten Systemen.

Metaldachsysteme

Für Metaldächer haben die Metaldach-Spezialisten Thyssen-Krupp Bausysteme und Rheinzink ein System entwickelt, bei dem Dünnschichtsolarzellen zum Einsatz kommen. Bei diesem System werden Stahl- bzw. Titanzinkprofile mit amorphen Siliziumfolien kombiniert. Die Solarelemente lassen sich wie herkömmliche Metaldachelemente montieren und haben zudem auch eine isolierende Funktion.²⁵

Solardachziegel



Abb.11: Solardachziegel Typ „Rauenberger“ von Sesol (Nennleistung 48 Watt)²⁶

Quelle: Aichberger (2003): Neue Leistungsklasse und weitere Formen für Solardachsteine von Sesol

Auch Dachziegel mit integrierten Solarmodulen sind am Markt erhältlich. Anbieter wie das Thüringer Unternehmen Sesol, integrieren ihr System in verschiedene Dachziegelformen, wie z.B. die Frankfurter Pfanne. Die Nutzung von Solardachziegeln hat verschiedene Vorteile. Zum Einen kann man konventionelle Ziegeldächer ohne größere Veränderungen leicht mit Photovoltaik decken, zum Anderen wird die Installationszeit gegenüber herkömmlichen Solarmodulen um zwei Drittel reduziert. Dennoch ist die Nutzung dieser Modulart derzeit noch wenig verbreitet, da die Kosten im Vergleich zu anderen Systemen hoch sind.

²⁵ vgl. Berner (2003): Dachelemente die Strom liefern, S. 40ff.

²⁶ vgl. Aichberger (2003): Neue Leistungsklasse und weitere Formen für Solardachsteine von Sesol

Die Dachziegel bestehen aus Mineralguss und eignen sich für Dächer mit einer Mindestneigung von 22 Grad. Sie sind wie bisher schwarz, und neuerdings auch ziegelrot erhältlich. Die Dachelemente enthalten jeweils ein Laminat mit polykristallinen Zellen. Es wird von der Dresdener Solarwatt Solar-Systeme GmbH hergestellt.²⁷

Zweifellos ein Nachteil bei den kleinteiligen Solarziegeln, ist der höhere Installationsaufwand und eine mögliche erhöhte Fehleranfälligkeit. Die Hersteller versuchen dem durch vorgefertigte Elementketten oder -flächen entgegenzuwirken. Als größtes Problem bei direkt eingebauten Solarzellen galt jedoch bisher, die im Vergleich zu aufgesetzten Solaranlagen geringere Energieausbeute. Eine am Freiburger Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme vorgenommene Untersuchung widerlegt diese These: Danach ist der Stromertrag von aufgesetzten Modulen nur noch um ein Prozent höher als bei der integrierten Bauweise. Voraussetzung ist jedoch, dass eine gute Hinterlüftung Wärmestaus verhindert. Sonst kann die Stromausbeute bis zu 3,5 Prozent sinken.²⁸

Folienartige Solarmodule

Solarmodule als Rollenware zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität aus und stellen eine Möglichkeit dar, photovoltaische Anlagen auf flachen und leicht geneigten Dächern zu verlegen, und dabei gleichzeitig die Dacheindeckung zu ersetzen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit Modulen von der Rolle in relativ kurzer Zeit auch große Dächer, wie zum Beispiel die von Lagerhallen, schnell photovoltaisch nutzbar gemacht werden können. Ein solches Produkt wird zum Beispiel von der Firma Solar Integrated Technologies (SIT) angeboten. Deren „Smart Roof System 2001“ besteht aus zwei Lagen. Eine erste Lage aus weißem Kunststoff in Form von PVC dichtet das Dach gegen Feuchtigkeit ab. Darauf aufgeklebt ist eine Lage aus flexiblen Dünnschichtmodulen. Diese Module sind aus Tandemsolarzellen aufgebaut. Das heißt, sie bestehen aus drei einzelnen Schichten, welche jeweils ihr Arbeitsoptimum in einem anderen Wellenlängenbereich haben und in diesem besonders effektiv arbeiten. Zwischen den beiden Lagen verläuft die Gleichstromverkabelung, durch welche die einzelnen Module miteinander verbunden sind. Die als Rollenware erhältlichen Module können vom Dachdecker wie gewöhnliche Dachbahnen verlegt werden. Da das Gewicht der Modulbahnen mit etwa drei Kilogramm pro Quadratmeter relativ gering und darüber hinaus auch sehr

²⁷ vgl. Aichberger (2003): Neue Leistungsklasse und weitere Formen für Solardachsteine von Sesol

²⁸ Homepage Stuttgarter Zeitung: URL: <http://www.stuttgarter-zeitung.de/stz/page/detail.php/455304>

gleichmäßig verteilt ist, eignen sich solche Module speziell auch für wenig belastbare Dächer. Die kleinste Einheit der Modulbahnen ist drei mal zwölf Meter groß und verfügt über eine Spitzenleistung von 1,5 kW.²⁹

Auch der rheinland-pfälzische Hersteller der Kunststoff-Dachbahnen Alwitra aus Trier nutzt Solarfolien, um seine Dachbahnen zu einem Strom produzierenden Element zu machen. Diese können dann als Kombination zur Dachabdichtung und Energieerzeugung verwendet werden. Der Anbieter liefert die Solarstrombahnen verlege- und anschlussfertig als Rollenware mit Solarkabeln und Dachdurchführungen aus.³⁰

Ein weiterer Akteur auf dem Gebiet der Folienmodule ist das Unternehmen Solarion, das seinen Sitz in Leipzig hat. Im April 2003 wurde dort eine Pilotanlage für flexible CIS-Solarzellen eröffnet. Das Produkt, das in dieser Pilotanlage entsteht, ist eine dunkelgrüne Dünnschichtfolie. In einem speziellen Beschichtungsverfahren werden durch einen Ionenstrahl Solarzellen auf der Basis von Kupfer, Indium und Selen auf eine Kunststoffolie aufgetragen. Auf diese Weise entstehen CIS-Zellen verschiedenster Form mit einem Flächengewicht von 30 Gramm pro Quadratmeter. In der Laborphase konnte mit diesen Modulen ein Wirkungsgrad von 8% erreicht werden, mittel- bis langfristig werden 10 – 15% angestrebt. Andere Folienmodule erreichen demgegenüber mit amorphem Silizium als Halbleiterschicht lediglich einen Wirkungsgrad von 3 – 4% auf Polymerfolie. Ein weiterer Vorteil der Dünnschichttechnologie ist beim Preis der Ausgangsmaterialien zu sehen, der deutlich unter dem konventioneller Module liegt.³¹

2.4.4 Solarmodule als Fassadenelemente

Photovoltaische Generatoren können in den verschiedensten Varianten eingesetzt werden, unter anderem auch als Fassadenelemente. Für den Einsatz von PV in Fassaden und Sonnenschutzdächern sollten vorzugsweise rahmenlose, große Module verwendet werden, die wie Glasscheiben installiert werden können. Je nach Anordnung der Zellen im Modul kann eine Lichttransparenz von 4 bis 30% erreicht werden. Die Leistung einer Fassadenanlage, die

²⁹ vgl. Haus und Energie (Sommer 2004): Solarmodule von der Rolle. S. 7

³⁰ vgl. Berner (2003): Dachelemente die Strom liefern, S. 40ff.

³¹ vgl. Schwarz (7/2003): Strom aus der Folie, S. 52ff.

meist netzgekoppelt ist, bewegt sich im Bereich mehrerer kW. Zu berücksichtigen ist bei der Planung, dass sich die Leistung gegenüber Modulen mit einem Anstellwinkel von ca. 30° um 5 bis 35% reduziert.³²

Obwohl PV-Fassaden aufgrund der teuren Solarzellen deutliche Mehrkosten gegenüber konventionellen Fassaden verursachen, ist in letzter Zeit das Interesse an dieser umweltfreundlichen Technik deutlich angestiegen, da Investoren durch den Einsatz erneuerbarer Energien ihre umweltfreundliche Haltung demonstrieren und so ein positives Image aufbauen können.³³

2.4.5 Modulaufbauten mit Multifunktionsgläsern

Solarmodule können für die Gebäudeintegration mit allen bekannten Eigenschaften von Verglasungen kombiniert werden. Zur Herstellung von Multifunktionsgläsern zur solaren Stromerzeugung kommen in der Regel kundenspezifisch gefertigte Glas-Glas-Module zum Einsatz, welche im Scheibenaufbau als äußere Verglasung eingesetzt werden.

Der hohe technische Stand der Glastechnologie eröffnet durch die Kombination von Solarmodulen mit verschiedenen Glasaufbauten ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten in der Gebäudehülle. So können Glasaufbauten zur solaren Stromerzeugung als Witterungsschutz, Wärmeschutz und Sonnenschutz benutzt werden. Im Folgenden soll der Einsatz von Multifunktionsgläsern als Isolierglas, Überkopfglas, zur Modulation des Tageslichtes und als Einbruchssicherung beschrieben werden.

2.4.5.1 Isolierglas

Um eine optimale Isolierung von Gebäuden im Bereich von gläsernen Fassaden, Glasdächern oder auch einfachen Fenstern zu garantieren, setzt man Isoliergläser ein. Dies reduziert die Wärmeverluste und trägt zum schonenden Umgang mit Energieträgern bei. Auch verschiedene Solarmodule erfüllen diese Funktion. Das Solarmodul dient hierbei als äußere Scheibe eines Isolierglasverbundes. Geeignet sind Glas-Glas-Solarmodule, welche sowohl als Glas-Glas-Lamine, als auch als Glas-Glas-Gießharzmodule ausgebildet sein können.

³² vgl. Hadamovsky, Jonas (1996): Solarstrom, Solarwärme, S. 48

³³ vgl. Schmid (1999): Photovoltaik: Strom aus der Sonne, S. 208ff.

Der Scheibenzwischenraum ist zur besseren Wärmedämmung wie bei jeder Isolierverglasung gasgefüllt. Die innenliegenden Glasscheiben können mit den üblichen Beschichtungen ausgeführt werden. Der innere Verbund kann bei Vertikalverglasungen aus einem einfachen Floatglas bestehen, bei Überkopfverglasung oder absturzsicheren Verglasungen ist eine Ausbildung als Verbundsicherheitsglas erforderlich.

Zur Herstellung von PV-Isolierverglasungen sind sowohl kristalline, als auch Dünnschicht-Solarzellen geeignet. Vorteil kristalliner Zellen ist ihre Flexibilität hinsichtlich der Solarmodulgröße. Ein entscheidender Nachteil ist vor allem, dass sich die Zellen durch die wärmeisolierenden Moduleigenschaften stärker aufheizen, was eine Verminderung des Wirkungsgrades zur Folge hat. Dünnschicht-Solarzellen sind in dieser Hinsicht weniger empfindlich. Jedoch ist es aufwendiger, sie an vorgegebene Maße eines Fassadenrasters anzupassen.

Solarmodule in Isolierglasausfertigungen sind ausschließlich als Maßanfertigung erhältlich. Die Modulhersteller arbeiten bei der Herstellung eng mit Glasfirmen zusammen, bzw. sind sie Teil von Unternehmen aus der Glasherstellung. Die Herstellung von Solarmodulen als Isolierverglasung stellt technisch keine besondere Schwierigkeit dar.

Anwendungsbereiche von Isolierglasmodulen sind zum Beispiel die Nutzung in beheizten Wintergärten und Glashäusern, sowie der Einsatz in repräsentativen Eingangszonen.³⁴

2.4.5.2 Überkopfglas

Glasdächer und Glaslamellen mit Photovoltaik befinden sich meist im Überkopfbereich und unterliegen daher den Anforderungen für Überkopfverglasungen. Zu diesem Zweck stehen Solarmodule zur Verfügung, welche zwar nicht als geregelte Bauprodukte gelten, jedoch die gleiche Tragfähigkeit wie Verbundsicherheitsglas besitzen und bereits für den Überkopfbereich zugelassen worden sind. Bestimmte Modulaufbauten sind von den zuständigen Genehmigungsbehörden bereits als gleichwertig mit Verbundsicherheitsglas anerkannt worden.

³⁴ vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004



Abb.12: Solarmodule als Überkopfverglasung
 Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=17>, 20/09/2004

Für die Nutzung als Überkopfglas sind verschiedene Modularten geeignet. Isolierglasmodule stellen eine Möglichkeit dar. Dabei wird die obere Glasscheibe als PV-Modul und die untere als Verbundsicherheitsglas ausgeführt. Ein PV-Isolierglasmodul im Überkopfbereich besteht also aus insgesamt vier Glasscheiben und hat folgenden Schichtaufbau. Die erste Schicht bildet eine Frontglasscheibe aus Einscheibensicherheitsglas. Darunter folgt die Solarzellen-schicht in Ethyl-Vinyl-Acetat-Folie (EVA-Folie) oder Gießharz, an die sich eine Rückglasscheibe aus Floatglas anschließt. Als unterste Schicht folgt ein Verbundsicherheitsglas aus zwei, mit Polyvinyl-Butyral-Folie (PVB-Folie) laminierten, Floatgläsern. Dieses stabilisiert das Modul. Zur besseren Isolierung befindet sich zwischen der dritten und vierten Lage ein gasgefüllter Hohlraum.

Auch die aus einem Kunststoffaufbau bestehenden Acrylglasmodule können problemlos im Überkopfbereich eingesetzt werden. Sie bestehen aus zwei Acrylglas-scheiben, zwischen denen sich die Solarzellen im Kunststoffverbund befinden.

Als dritte Möglichkeit von Modulen im Überkopfbereich bieten sich Dünnschichtmodule mit PVB-Folie an. Ein Hersteller von Dünnschichtmodulen mit amorphem Silizium hat diese zu Glas-Glas-Laminaten verarbeitet, welche mit einer PVB-Folie laminiert sind. Für diese Art von Modulen wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik eine allgemeine Bauzulassung als Überkopfverglasungselement erteilt. Dabei werden als Schichten eine Frontglasscheibe mit innenliegender Solarzellenbeschichtung, eine PVB-Folie und eine Rückglasscheibe aus teilvorgespanntem Glas verwendet.

Glas-Glas-Lamine mit EVA des Herstellers Solarnova GmbH aus Wedel sind durch das Materialprüfamt Nordrhein-Westfalen bereits als gleichwertig mit einem üblichen Verbundsicherheitsglas-Aufbau anerkannt worden. Der Prüfbericht sagt aus, dass die Solarmodule auf-

grund der durchgeführten mechanischen Versuche als Verbund-Sicherheitsglas gemäß DIN 1259 Teil 2 einzuordnen sind, dass aber trotzdem auf der Grundlage des Bescheides eine Genehmigung im Einzelfall eingeholt werden muss. Bei diesen Modulen liegt die ca. 1,5mm dicke Solarzellenschicht in EVA-Folie eingebettet zwischen zwei Scheiben aus teilvorgepanntem Glas, wobei die Frontscheibe aus Weißglas und die Rückscheibe aus Floatglas besteht.³⁵

2.4.5.3 *Solarmodule zur Modulation des Tageslichtes*

Solarmodule können auch als Sonnenschutz eingesetzt werden: Die Ausrichtung der Solarmodule zur Sonne gewährt dabei gleichzeitig eine optimale Verschattung. In vielen Bereichen ist ein Sonnenschutz von Nöten. Er dient in erster Linie der Verschattung, zusätzlich kann er aber auch zum Schutz vor Überhitzung oder zum Schutz vor Blendung durch grelles Licht eingesetzt werden. Deshalb werden Solarmodule in Sonnenschutzlamellen, Glasfassaden und Glasdächern häufig so ausgebildet, dass sie lichtstreuend wirken. Um dies zu erreichen, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen die Verwendung semitransparenter Solarzellen (z.B. aus amorphem Silizium), zum anderen die Ausbildung einer lichtstreuenden Rückseite bei den Solarmodulen. Dies geschieht bei Glas-Glas-Modulen zum Beispiel durch sandgestrahltes Rückseitenglas, weiß durchgefärbtes Rückseitenglas oder Einlegen eines weißen oder transparenten Gewebes aus Glasfasern hinter den Solarzellen. Bei Glas-Folien-Laminaten erreicht man den gewünschten Effekt zum Beispiel durch Benutzung einer semitransparenten weißen Verbundfolie aus Kunststoff als rückseitigen Modulabschluss. Die Verwendung einer strukturierten Acrylglasscheibe als Modulrückseite führt bei Acrylglasmodulen ebenfalls zur Streuung des auftreffenden Lichts.³⁶

³⁵ vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004

³⁶ vgl. Homepage Solarintegration: URL: <http://www.solarintegration.de>, 20/09/2004



Abb.13: Solarmodule zur Modulation des Tageslichts

Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=16>, 20/09/2004

2.4.6 Montagesysteme für photovoltaische Anlagen

Photovoltaische Anlagen können prinzipiell überall dort installiert werden, wo die Einstrahlung ausreicht, um eine effektive und rentable Stromerzeugung zu gewährleisten. Dabei stellt der Aufbau einer Freiflächenanlage kein größeres technisches Problem dar. Deshalb soll im Folgenden die Erläuterung verschiedener Montagearten für die Platzierung von Photovoltaik in, an oder auf Gebäuden im Vordergrund stehen. Im Wesentlichen geht es dabei um die Installation auf flachen und schrägen Dächern, sowie in Fassaden. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen additiven und integrativen Installationskonzepten. Bei der additiven Montage werden die Module nachträglich mit einer Metallkonstruktion auf dem Dach oder an der Fassade befestigt, bei der integrativen Montage werden Teile des Gebäudes durch eine photovoltaische Anlage ersetzt, die somit zu einem Bestandteil des Gebäudes wird.³⁷

Schrägdachmontage

Schräge Dächer schränken die Planung von PV-Anlagen stark ein. Sie haben eine bestimmte Neigung und Ausrichtung und müssen deshalb bei der Planung zunächst auf ihre Eignung geprüft werden. Bei der Installation eines Solargenerators auf einem schrägen Dach kann man grundsätzlich zwischen Aufdachmontage und Indachsystemen unterscheiden.

Bei der Aufdachmontage werden die Module über der bestehenden Dachkonstruktion montiert, die Dacheindeckung muss dabei unbeschädigt bleiben und ihre Funktion weiterhin zuverlässig erfüllen können. Das Montagesystem muss dabei so installiert werden, dass es die Module auch bei ungünstigen Verhältnissen (Sturm ect.) festhalten kann. Zur Aufdachmontage stehen grundsätzlich drei Befestigungsarten zur Verfügung, die Dachhakenmontage, die Falzdachklammernmontage und die Befestigungsziegelmontage.

³⁷ Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (2000): Photovoltaische Anlagen, 8-1ff.

Bei der Indachintegration ersetzen die Module die herkömmlichen Dacheindeckungen und übernehmen parallel zur Stromerzeugung auch andere Aufgaben, wie zum Beispiel Wärmeisolierung. Entsprechende Module werden unter 4.2.6. Modulaufbauten mit Multifunktionsgläsern vorgestellt. Diese Installationsart stellt auch besondere Anforderungen an das Montagesystem, denn auch dieses muss witterungssicher ausgeführt werden. Weiterhin muss eine ausreichende Hinterlüftung gewährleistet werden. Für die Indachmontage gibt es Profilsysteme für Standardmodule, Dachdeckungsorientierte Module und Dachdeckungen mit photovoltaischen Eigenschaften, wie zum Beispiel die unter 4.2.3.2 beschriebenen Dachziegel.

Flachdachmontage

Flache Dächer bieten ein großes Potential für die Photovoltaik, denn sie erlauben die Südausrichtung und Einstellung des optimalen Anstellwinkels der Module.

Dabei werden die Module bei der Aufdachmontage ähnlich der Schrägdachinstallation mit geeigneten Befestigungssystemen auf dem Dach angebracht. Dabei ist darauf zu achten, dass die Dachhaut nicht beschädigt wird. Dazu werden Flachdachgestelle installiert, welche eine Veränderung des Anstellwinkels erlauben. Erhältlich sind Gestelle verschiedener Bauhöhe. Zudem kann zwischen starren und nachführenden Systemen unterschieden werden. Die Verankerung der Gestelle ist von entscheidender Bedeutung für die Stabilität auch bei größeren Windgeschwindigkeiten.

Es sind jedoch auch dachintegrierte Flachdachsysteme erhältlich. Im Wesentlichen unterscheidet man hierbei zwischen Dachabdichtungen mit photovoltaischen Eigenschaften. Dazu zählen die unter 4.2.4 beschriebenen folienartigen Solarmodule.

Fassadenmontage

Photovoltaik ist vor oder in der Fassade nutzbar. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass die Erträge aufgrund des Einstrahlungswinkels niedriger sind als bei schräg montierten Modulen. Bei der Fassadenmontage gibt es verschiedene Systeme, wobei die Module im Prinzip wie konventionelle Gläser angebracht werden können. Weiterhin ist es möglich Solarfolien auf die vorhandenen Fassadenelemente aufzukleben.

2.4.7 Der Wechselrichter

Der Wechselrichter ist ein elektronisches Gerät, welches die vom Solargenerator erzeugte Gleichspannung in Wechselspannung umwandelt und Frequenz und Spannung an das Wechselstromnetz anpasst. Zunächst gelangt der Strom dabei von der Solaranlage zu den Transistoren. Das sind Schalter, in denen der Strom über 20.000-mal in der Sekunde an- und ausgeschaltet und dabei „zerhackt“ wird. Bei diesem Vorgang wird ein so genannter Sinusstrom generiert. Da der Solarstrom nur in Pulsen in das Stromnetz abgegeben werden kann, wird er in einem Kondensator zwischengespeichert. Mit Hilfe eines Transformators wird der Strom auf die gewünschte Ausgangsspannung hochtransformiert. Mittlerweile haben die meisten wichtigen Hersteller transformatorlose Wechselrichter in ihrem Angebot, welche preiswerter herzustellen sind und einen höheren Wirkungsgrad haben. Eine Drosselspule sorgt vor der Einspeisung in das Stromnetz dafür, dass ein perfekter Sinusstrom erzeugt wird. Welchen Wechselrichter man für eine Photovoltaikanlage verwendet, ist stark abhängig von den verwendeten Modulen und der Verschaltungsart. Von großer Bedeutung bei der Wechselrichter-auswahl ist jedoch, dass jeder einen bestimmten Leistungsbereich hat, in dem er optimal arbeitet.³⁸

Schon vor einigen Jahren erreichten Wechselrichter einen Umwandlungswirkungsgrad von 85% in einem weiten Arbeitsbereich. „Eine Beurteilung allein nach dem Wirkungsgrad greift zu kurz.“³⁹ Stand der Technik für die Geräte ist, dass sie sich im Falle eines Kurzschlusses oder einer Überlastung automatisch ausschalten und so verhindern, dass einzelne Komponenten der Anlage beschädigt werden.

Alle Komponenten des Wechselrichters werden von einem Mikroprozessor gesteuert. Über eine LCD-Anzeige kann sich der Betreiber ständig über Mess- und Betriebsdaten informieren. Eine Auswahl der wichtigsten Daten wird in der Regel abgespeichert und kann optional über eine Schnittstelle mit einem PC ausgelesen und ausgewertet werden.

Wechselrichter für netzgekoppelte Anlage sind mit einer MPP-Regelung ausgerüstet. MPP bedeutet Maximum Power Point Tracking. Dabei handelt es sich um ein mikroprozessorba-

³⁸ vgl. Krampitz, Siemer (2003): Der unsichtbare Dritte, S. 46

³⁹ vgl. Krampitz, Siemer (2003): Der unsichtbare Dritte, S. 46

siertes Regelungsinstrument, das den konstanten Betrieb des Solargenerators im optimalen Leistungsbereich, also am Maximum Power Point, auch bei ungünstigen Bedingungen garantiert. Der MPP ist der Punkt, bei dem die maximale Leistung in Abhängigkeit von Stromstärke und Spannung erzeugt wird.⁴⁰

Man unterscheidet nach Anwendungsbereichen zwei Arten von Wechselrichtern, die Inselwechselrichter und die Netzparallelwechselrichter.

Inselwechselrichter erzeugen Wechselstrom für ein vom öffentlichen Netz getrenntes Insel-system, einer als Inselanlage bezeichneten Photovoltaikanlage. Sie arbeiten ohne äußere Stellgrößen, wie Frequenz oder Spannung. In einem Insel-system darf immer nur ein Wechselrichter oder Generator zum Einsatz kommen, da die sonst auftretenden unterschiedlichen Spannungsarten zu Schäden an elektrischen Geräten führen können. Inselwechselrichter sind mit Leistungen zwischen 100W und 2kW und für Nennspannungen von 12V, 24V oder 48V erhältlich.

Netzparallelwechselrichter sind speziell für netzgekoppelte Solaranlagen ausgelegt. Sie ermöglichen die Generierung eines Stromes, der hinsichtlich seiner Spannung und seiner Frequenz mit dem Netzstrom identisch ist. Ein solches Netz muß nicht unbedingt das öffentliche Stromnetz sein, es kann zum Beispiel auch ein Hausnetz sein. Netzgekoppelte Wechselrichter sind mit Leistungen zwischen 100W bis 5kW auf dem Markt erhältlich. Sie arbeiten mit Eingangsspannungen von bis zu mehreren hundert Volt, um die Ströme und die damit verbundenen Leitungsverluste der Gleichstrominstallation so klein wie möglich zu halten.⁴¹

⁴⁰ Raudzus et al. (1992): Das Solarenergie Buch, S. 87

⁴¹ vgl. Henze, A., Hillebrand, W. (1999): Strom von der Sonne, S. 40

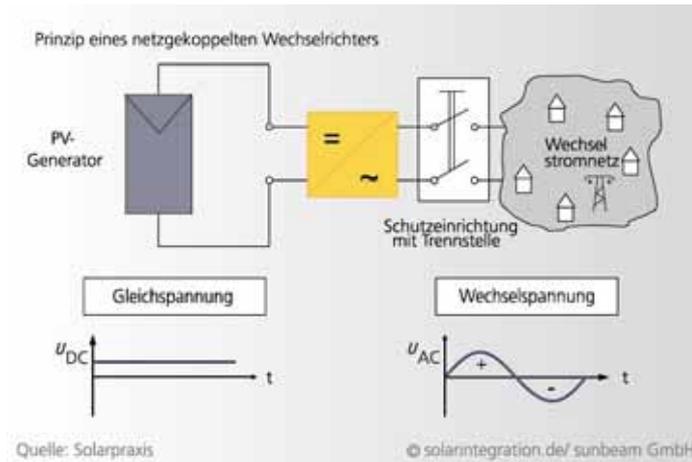


Abb.14: Funktionsprinzip eines netzgekoppelten Wechselrichters
 Quelle: URL: <http://www.solarintegration.de/index.php?id=122>, 20/09/2004

Beim Aufbau größerer netzgekoppelter Anlagen werden folgende Konzepte unterschieden:
 Modulintegrierte Wechselrichter: Diese werden entweder direkt an der Modulrückseite oder in geringer Distanz zum Modul angebracht. So kann auf die Gleichstromverkabelung verzichtet werden. Weiterhin wird jedes Modul an seinem optimalen Arbeitspunkt betrieben. Die Wirkungsgrade dieser Wechselrichter sind jedoch vergleichsweise niedrig und aufgrund der hohen Belastung durch Umwelteinflüsse ist ihre Lebensdauer deutlich geringer als bei anderen Modellen. Auch die Kosten für Modulwechselrichter sind noch recht hoch, da jeder Wechselrichter über eine eigene Steuerung und Datenerfassung verfügt.⁴²

Stringwechselrichter: In netzgekoppelten Anlagen werden oftmals acht und mehr Module in Reihe geschaltet, um eine hohe Eingangsspannung zu erzeugen und einen hohen Wirkungsgrad des Wechselrichters zu gewährleisten. Eine solche Anordnung der Module hat allerdings den Nachteil, dass die Leistung schon bei Beschattung eines Teilbereiches deutlich abfallen kann. Bei Anlagen bis 2kWp können in der Regel alle Module in Reihe geschaltet werden. Größere Anlagen werden oftmals aus mehreren gleichartigen Strings aufgebaut, die jeweils mit einem Wechselrichter ausgestattet sind. Der Vorteil dieses Konzeptes liegt darin, dass in der Regel gleichartige Geräte zum Einsatz kommen und im Idealfall nur noch ein Typ von Stringwechselrichter gebraucht wird, was natürlich einen positiven Effekt auf die produzierte Stückzahl und die damit verbundenen Produktionskosten hat.

⁴² Krampitz, Siemer (2003): Der unsichtbare Dritte, S. 46

Zentralwechselrichter: Von einem Zentralwechselrichter spricht man, wenn ein entsprechend leistungsstarker Wechselrichter den gesamten von der Anlage generierten Gleichstrom in Wechselstrom umwandelt. Der Solargenerator wird dabei meist aus mehreren parallel geschalteten Strings gebildet, wobei in jedem String wiederum mehrere Module in Reihe geschaltet sind. Die Wechselrichterleistung muss an die Gesamtleistung der Anlage und die Eingangsspannung angepasst sein. Ebenso sollte die Generatorspannung im Sinne geringer Leitungsverluste und eines hohen Wechselrichterwirkungsgrades möglichst hoch gewählt werden.⁴³

3 Wirtschaftliche Aspekte von Photovoltaikanlagen

Die Kosten, welche für den Bau und Betrieb einer Photovoltaikanlage entstehen, können je nach Anlagentyp sehr stark variieren. Es sind jedoch neben den Investitionskosten noch diverse andere Kosten, die für den Anlagenbauer und Anlagenbetreiber entstehen. Gerade Kosten, wie Versicherungen oder instand haltende Maßnahmen müssen sich die Anlagenbesitzer im Voraus vor Augen führen.

Bei den Überlegungen in Bezug auf die Kosten einer PV-Anlage, darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass sich gleichzeitig andere Kosten vermeiden lassen. So fallen bei integrierten Photovoltaikanlagen die Kosten für die entsprechenden Dach- oder Fassadenteile weg. Bei Inselanlagen entfallen zusätzlich die sonst anfallenden Stromkosten. Es muss sich zudem immer wieder vor Augen geführt werden, dass die eingesetzte Energie der Sonne kostenlos ist und nicht, wie bei anderen Energieträgern, teuer hinzu gekauft werden muss.⁴⁴

Welche Kosten dennoch entstehen, wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Die höchsten Kosten, die für eine Photovoltaikanlage entstehen sind die Investitionskosten. Hierbei machen ca. 76 % der Kosten die Solarmodule aus, weitere 8% der Wechselrichter und weitere 16% das Montagegestell und die Montage selbst.

Die Investitionskosten für eine Photovoltaikanlage sind in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Ausschlaggebend waren hierbei ein steigender Absatz und die Weiterentwicklung der

⁴³ vgl. Henze, Hillebrand (1999): Strom von der Sonne, S. 45ff.

⁴⁴ Vgl.: Bine Informationsdienst: Photovoltaik, 2000, S.94 ff, 109

Anlagenkomponenten. Gerade die Optimierung der Herstellungsverfahren für Solarzellen und -module, welche die Hauptkosten der Anlage ausmachen, hat eine Kostensenkung mit sich gebracht. Ebenso konnten aber auch effizientere Wechselrichter und ausgereifte Standardlösungen für die Auf- Dach- Montage ihren Teil dazu beitragen.⁴⁵

Eine gegenteilige Entwicklung zeichnete sich jedoch im Jahr 2004 ab. Hier war ein Anstieg der Investitionskosten für Photovoltaikanlagen zu verzeichnen. Grund hierfür war ein Engpass bei der Modulherstellung, der sich durch die erhöhte Nachfrage nach Photovoltaikanlagen, aufgrund der geänderten Einspeisevergütung ergeben hat.⁴⁶ Insgesamt wird sich jedoch der Trend fortsetzen, dass die Kosten für Photovoltaikanlagen in den kommenden Jahren weiter fallen.

Genau Aussagen zu aktuellen Preisen lassen sich aufgrund starker Preisschwankungen und der Vielzahl von Ausführungen der Anlagen nur schwer treffen. Die Zeitschrift Photon veröffentlicht jährlich Preise verschiedener Hersteller für schlüsselfertige Photovoltaikanlagen, woraus sich ein guter Überblick ableiten lässt. Anhand dieser Händlerangaben lassen sich die großen Preisspannen aufzeigen, aufgrund dessen die tatsächlichen Kosten einer PV-Anlage von Fall zu Fall errechnet werden müssen. Die ungefähren Kosten für eine Schräg- oder Flachdachanlage liegen danach je nach Anlagengröße zwischen 4.000 und 7.500 €/kWp incl. MwSt.⁴⁷

In Bezug auf die Investitionskosten einer Photovoltaikanlage sollte noch beachtet werden, dass Anlagenbetreiber als Unternehmer gelten und somit die beim Kauf der Anlage entrichtete Umsatzsteuer erstattet bekommen. Auf der anderen Seite unterliegen jedoch die beim Stromverkauf erzielten Einnahmen der Einkommensteuer. Da diesen Einnahmen jedoch erhebliche Ausgaben gegenüberstehen, kann die Anlage über die Nutzungsdauer abgeschrieben werden, was wiederum steuerliche Vorteile mit sich bringt.⁴⁸

Die Betriebskosten, welche für den Unterhalt einer Photovoltaikanlage entstehen, sind meistens gering, da anders als bei herkömmlichen energieerzeugenden Systemen keine Rohstoffe

⁴⁵ Vgl.: Solarworld: Photovoltaik, 2001/2002, S.13

⁴⁶ Vgl.: Haus und Energie, Solarstromanlage als Markenprodukt, Ausgabe Herbst 2004, S.15

⁴⁷ Vgl.: Photon, Das Solarstrommagazin: Installationsangebote, Ausgabe 4/2004, S.82 ff

⁴⁸ Vgl.: Haus und Energie: Abschreiben erwünscht, Ausgabe Herbst 2004, S.16ff

hinzugekauft werden müssen. Hinzu kommt, dass es an den Solaranlagen selbst keine mechanisch oder thermisch hoch beanspruchten Teile gibt, die nach einiger Zeit Verschleißerscheinungen zeigen können. Nicht auszuschließen ist dies bei nachgeführten Modulen. Aufgrund der mechanischen Nachführung können hier Verschleißerscheinungen auftreten.

Ähnlich sieht es daher aus, wenn es um die Frage geht, ob die Anlage eine regelmäßige Kontrolle durch Betriebspersonal erfordert. Aus den oben genannten Gründen ist lediglich eine Überwachung der leistungselektronischen Komponenten, des Isolationswiderstandes und der elektrischen Verbindungen notwendig. Zudem kann es in regenarmen Zeiten vorkommen, dass die Anlage gereinigt werden muss, damit keine Leistungseinbußen entstehen.⁴⁹

Der nicht vom Verschleiß verschonte Teil der Photovoltaikanlage ist der Wechselrichter (siehe Kapitel II). Ein Austausch des Wechselrichters bedeutet erneute Investitionskosten.

Insgesamt ist die Anlage wenig anfällig gegen Einflüsse von Außen. Lediglich bei Witterungseinflüssen wie starkem Hagelschlag kann es zur Schädigung der Solarmodule kommen. Hier sollte daher vom Eigentümer eine Versicherung abgeschlossen werden, welche diese Art von Schäden übernimmt. Eine Möglichkeit besteht darin, die Anlage in die allgemeine Gebäudeversicherung einzuschließen. Die Kosten hierfür liegen bei etwa 1% der Investitionskosten. Weitere Versicherungsmöglichkeiten bestehen im Rahmen einer Elektronikversicherung, welche auch Schäden abdeckt, die z.B. durch Bedienungsfehler entstehen. Hier liegen die Kosten bei ca. 5% der Investitionskosten.⁵⁰

3.1 Finanzierungsmöglichkeiten

Die anfänglich hohen Investitionskosten einer PV-Anlage schrecken manche Interessenten zunächst ab. Es gibt jedoch verschiedenste Möglichkeiten, wie die Anlagen finanziert werden können (Abb.15). Diese und weitere Finanzierungsmöglichkeiten, z.B. mit Hilfe von Contractingmodellen oder über Beteiligungsgesellschaften werden im Folgenden näher erläutert.

⁴⁹ Vgl.: Bine Informationsdienst: Photovoltaik, 2000, S.101

⁵⁰ Vgl.: Bine Informationsdienst: Photovoltaik, 2000, S.101



Abb.15: Übersicht Fördermöglichkeiten

Quelle: [http://www.viessmann.de/web/germany/de_publish.nsf/AttachmentsByTitle/ppr-vitovolt.pdf/\\$FILE/ppr-vitovolt.pdf](http://www.viessmann.de/web/germany/de_publish.nsf/AttachmentsByTitle/ppr-vitovolt.pdf/$FILE/ppr-vitovolt.pdf)

3.2 Einspeisevergütung

Damit sich eine Photovoltaikanlage im Laufe der Jahre finanziell rechnet, müssen entsprechende Einnahmen erwirtschaftet werden. Diese entstehen bei einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage durch die Einspeisevergütung, welche durch die Stromversorger für jede Kilowattstunde Strom, die ins Netz eingespeist wird, gezahlt wird. Gesetzlich geregelt ist die Einspeisevergütung im Erneuerbare Energien Gesetz.⁵¹

Das 2000 in Kraft getretene Gesetz für den Vorrang der erneuerbaren Energien oder auch Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) hat den alternativen Energien einen enormen Aufschwung gegeben. Das EEG löste das seit 1991 geltende Stromeinspeisegesetz ab. Hier wurde die Einspeisevergütung für Photovoltaikstrom an den Marktpreis für Strom gekoppelt, was den wirtschaftlichen Betrieb einer Photovoltaikanlage schwierig machte.⁵²

Ziel des EEG ist es, zu einer nachhaltigen Entwicklung der Energieversorgung zu verhelfen und den Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung deutlich zu erhöhen.⁵³

Da Förderprogramme, wie das 100.000 Dächer Programm Ende 2003 ausgelaufen sind, wurde das bestehende EEG novelliert.

⁵¹ Vgl.: Kellermann, D.: Ratgeber Photovoltaikbeteiligungen, 2004, S.14

⁵² Vgl.: Kellermann, D., Pelikan, E.: Marktreport Photovoltaikbeteiligungen, Landshut, S.26

⁵³ Vgl.: Gesetz für den Vorrang der erneuerbaren Energien (EEG) §1, Stand 09.07.2004, URL: http://www.netinform.de/KE/files/pdf/040709%20EEG_Novelle_unverbindlicheVersion.pdf

Über die wichtigsten Regelungen der Novellierung informieren die nachfolgenden Gesetzesauszüge:

§ 2 Anwendungsbereich

Dieses Gesetz regelt die Abnahme und die Vergütung von Strom der ausschließlich aus Wasserkraft, Windkraft, solarer Strahlungsenergie, Geothermie, Deponiegas, Klärgas... gewonnen wird.

§ 3 Abnahme und Vergütungspflicht

Netzbetreiber sind verpflichtet, Anlagen zur Erzeugung von Strom nach § 2 an ihr Netz anzuschließen, den gesamten Strom aus diesen Anlagen vorrangig abzunehmen und den eingespeisten Strom nach §§ 4 bis 8 zu vergüten.

§ 8 Vergütung von Strom aus solarer Strahlungsenergie

Für Strom aus solarer Strahlungsenergie beträgt die Vergütung mindestens 45,7 Cent pro Kilowattstunde.

Die Vergütung erhöht sich wie folgt, wenn die Anlage ausschließlich an oder auf einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand angebracht ist:

bis zu einer Leistung von 30 Kilowatt um 11,7 Cent pro Kilowattstunde,

ab einer Leistung von 30 Kilowatt um 8,9 Cent pro Kilowattstunde,

ab einer Leistung von 100 Kilowatt um 8,3 Cent pro Kilowattstunde.

(5) Die Mindestvergütungen werden beginnend mit dem 1. Januar 2005 jährlich

für ab diesem Zeitpunkt in Betrieb genommenen Anlagen um jeweils 5%

gesenkt.

§ 9 Gemeinsame Vorschriften

Die Mindestvergütungen nach §§4 bis 8 sind für neu in Betrieb genommene Anlagen jeweils für die Dauer von 20 Jahren ohne Berücksichtigung des Inbetriebnahmejahres zu zahlen...⁵⁴

⁵⁴ Vgl.: Bundesanzeiger: Gesetz zu Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich, Bundesgesetzblatt Teil I Nr.40, Bonn Juli 2004, URL: <http://217.160.60.235/BGBL/bgbl1f/bgbl104s1918.pdf>

Nachfolgende Tabelle soll den Inhalt der Gesetzestexte mit den verschiedenen Einspeisevergütungssätze verdeutlichen:

PV-Anlagentyp	Grund- vergütung Cent/kWh	Zuschlag 1 Cent/kWh	Zuschlag 2 Cent/kWh	Gesamt- vergütung Cent/kWh
Dachanlage bis 30 kWh	45,7	11,7	--	57,4
Dachanlage ab 30 kWh	45,7	8,9	--	54,6
Dachanlage ab 100 kWh	45,7	8,3	--	54,0
Fassadenanlage bis 30 kWh	45,7	11,7	5,0	62,4
Fassadenanlage ab 30 kWh	45,7	8,9	5,0	59,6
Fassadenanlage ab 100 kWh	45,7	8,3	5,0	59,0
Freiflächenanlage	45,7	--	--	45,7

Tabelle 2: Einspeisevergütung nach EEG
Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an das EEG

Wichtig ist, dass die genannten Einspeisevergütungen nur für neu errichtete Anlagen gelten. Bereits bestehende, aber auch erweiterte Anlagen erhalten weiterhin die geltenden Fördersätze des ersten Installationszeitpunktes.⁵⁵

Unbedingt hingewiesen werden muss auf §8 (5). Dieser besagt, dass die Einspeisevergütung jedes Jahr um 5% gesenkt wird. Folgendes Beispiel soll dies näher erläutern:

Ein Hausbesitzer baut eine Photovoltaikanlage auf sein Eigenheim, die zum 1. Januar 2004 an das öffentliche Stromnetz angeschlossen wird. Er produziert mit seiner 3,5 kWp Anlage bei einer Einstrahlung von 850 kWh/a ca. 3000 kWh Strom und erhält somit in den folgenden Jahren bei 57,4 Cent/kWh ca. 1700€ Einspeisevergütung für den eingespeisten Strom.

⁵⁵ Vgl.: Siemer, J.: Erweitern ist nicht erneuern, Fachzeitschrift Photon – Nr. 4/2004, S.96 ff.

Ein Nachbar nimmt 2 Jahre später eine ähnlichen Anlage in Betrieb. Dieser erhält bei gleicher Anlagengröße nur noch 51,8 Cent/kWh, also ca. 1550€ Einspeisevergütung pro Jahr.

Folgende Tabelle zeigt, wie sich die Einspeisevergütung in den nächsten Jahren für jede neu in Betrieb genommene Anlage entwickelt:

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Cent/kWh	57,4	54,53	51,80	49,21	46,75	44,41

Tabelle 3: Einspeisevergütung für Photovoltaikanlagen bis 30 kWh

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an das EEG

Es zahlt sich also ein schnellst möglicher Bau einer Photovoltaikanlage aus. Da die Kosten für Photovoltaikanlagen jedoch in den nächsten Jahren kontinuierlich fallen, wird sich der geringer werdende Satz der Einspeisevergütung auf die Wirtschaftlichkeit dieser nicht auswirken.

3.3 Kredite und Zuschüsse

Es gibt eine Vielzahl von Krediten und Zuschüssen, die ein Anlagenbauer in Anspruch nehmen kann. Im Folgenden können daher nur einige ausgewählte Kredite und Zuschüsse vorgestellt werden. Den Schwerpunkt bilden dabei die zinsgünstigen Kredite der Kreditanstalt für Wiederaufbau. Ergänzt werden diese durch einen kurzen Überblick über weitere Kredite und Zuschüsse, die unter speziellen Bedingungen vergeben werden.

Weitere Möglichkeiten, die in dieser Arbeit nicht weiter vorgestellt werden, gibt es im Rahmen von speziellen Zuschüssen einzelner Bundesländern, bzw. Kommunen oder von Krediten, die durch ortsansässige Banken vergeben werden.

3.4 KfW-Programm „Solarstrom Erzeugen“

Im Rahmen des von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) aufgelegten Kreditprogramms „Solarstrom Erzeugen“ wird der Erwerb, die Errichtung, die Erweiterung von Photovoltaikanlagen sowie der Erwerb eines Anteils an einer Photovoltaikanlage im Rahmen einer GbR (Gesellschaft des bürgerlichen Rechts) zu zinsgünstigen Konditionen finanziert und gefördert.

Antragsberechtigt sind alle Investoren in „kleinere“ Photovoltaikanlagen. Das bedeutet, dass im Rahmen dieses Programms Photovoltaikanlagen bis zu einem Darlehensvolumen von 50.000 € gefördert werden. Dadurch werden die zur Verfügung stehenden Mittel breit gestreut. Daher ist dieses Programm ideal für private Investoren die auf und an ihren Gebäuden Photovoltaikanlagen installieren und selbst betreiben wollen. Diese Zielgruppe kann so in einem Programm ideal gebündelt und weitgehend unabhängig von gewerblichen Investoren betreut werden. Gewerbliche Investoren von Anlagen mit einem größeren Darlehensbedarf werden aus anderen Förderprogrammen (KfW-Umweltprogramm bzw. ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm) gefördert. Die Förderung erfolgt in Form eines langfristigen und zinsgünstigen Darlehens zur Deckung der Investitionskosten.

3.4.1 Kreditlaufzeit

Die Kreditlaufzeit beträgt maximal 20 Jahre, bei mindestens einem und höchstens drei tilgungsfreien Anlaufjahren. Für Photovoltaikanlagen bietet sich eine Finanzierung über die durch das EEG und vom Hersteller garantierte Laufzeit von 20 Jahren an.

Bei einer geringeren Laufzeit, von beispielsweise 10 Jahren, kann es durch die höheren Tilgungsbelastungen zu Liquiditätslücken in diesem Zeitraum kommen. Es ist nach den individuellen Rahmenbedingungen eine Kreditlaufzeit zu wählen, die einerseits eine möglichst geringe Zinsbelastung verursacht, aber bei der andererseits keine Liquiditätslücken entstehen.

Eine entsprechende Liquiditätsreserve ist zu berücksichtigen. Mindestvergütung für den Leistungsanteil bis einschließlich 30 kWp 54,53 Ct/kWh für das Installationsjahr 2005 (entsprechen einem Leistungsanteil von 20 Prozent)

Mindestvergütung für den Leistungsanteil ab 30 kWp bis einschließlich 100 kWp
51,87 Ct/kWh (entsprechend einem Leistungsanteil von 46,7 Prozent)

Mindestvergütung für den Leistungsanteil ab 100 kWp bis einschließlich 150 kWp
51,30 Ct/kWh (entsprechend einem Leistungsanteil von 33,3 Prozent)

Durchschnittliche Grundvergütung: $0,2 * 54,53 + 0,467 * 51,87 + 0,333 * 51,30 =$
52,21 Ct/kWh „Privater Strom aus der Sonne“ - Leitfaden zur Photovoltaik für Bürger in Rheinland-Pfalz“

3.4.2 *Konditionen*

Die Zinssätze liegen unterhalb des Kapitalmarktniveaus, sind aber auch den Schwankungen des Kapitalmarkts unterworfen. Der Zinssatz wird bei der Zusage wahlweise für die ersten fünf oder zehn Jahre festgeschrieben. Um eine bessere Kalkulationsbasis zu erreichen ist eine Zinsbindungsfrist von 10 Jahren zu empfehlen. Dies bedeutet, dass bei einer Kreditlaufzeit bis zu 10 Jahren der Zinssatz über die komplette Laufzeit festgeschrieben ist. Bei einer Kreditlaufzeit über 10 Jahren gilt diese Zinsfestschreibung nur für die Dauer von 10 Jahren. Danach wird der Zinssatz an das Marktniveau angepasst. Die Darlehenssumme kann bis zu 100 Prozent der Investitionskosten betragen. Der Kredithöchstbetrag beträgt 50.000 €. Die Auszahlung des Darlehens beträgt 96 Prozent. Dieses Disagio (Abschlag) von 4 Prozent fließt in die Berechnung des Effektivzinssatzes ein, wodurch eine signifikante Erhöhung des Effektivsatzes gegenüber dem Nominalzinssatz bedingt ist. Der Effektivzinssatz ist der Gesamtpreis eines Kredits und setzt sich aus Nominalzinssatz und Nebenkosten zusammen. Er wird in Prozent pro Jahr (% p.a.) angegeben und macht Angebote von verschiedenen Kreditinstituten vergleichbar. Ein Disagio von 4 Prozent bedeutet in diesem Fall auch, dass eine Eigenkapital- oder eine zusätzliche Fremdfinanzierung von 4 Prozent erfolgen muss. Die aktuell gültigen Konditionen der Finanzierungsprogramme können auf der Internetseite der KfW (www.kfw-foerderbank.de) abgerufen werden.

3.4.3 *Antragstellung*

Der Kreditantrag muss grundsätzlich vor Beginn des Vorhabens (z.B. Abschluss eines Kaufvertrages) gestellt werden. Wurde bereits ein Auftrag vergeben oder mit dem Bau der Anlage begonnen ist eine Förderung durch die KfW ausgeschlossen. Planungs- und Energieberatungsdienstleistungen gelten nicht als Vorhabensbeginn. Die Beantragung des KfW-Kredits erfolgt über ein beliebiges Kreditinstitut, im Normalfall über die Hausbank des Antragstellers. Zu beachten ist, dass kein Anspruch auf die Gewährung des Kredits besteht. Nähere Einzelheiten, z.B. über entsprechende Sicherheiten, sind bei den Kreditinstituten zu erfragen. Die Bearbeitung durch die KfW erfolgt in der Regel zügig. Im Juni 2004 betrug die Bearbeitungszeit für Kredite im Rahmen des CO₂-Minderungsprogramms von der Antragstellung bis zur Zusage durch die KfW etwa vier Wochen. In Ausnahmefällen konnten sie sich jedoch auch über mehrere Monate erstrecken. Erfahrungswerte für das neue Programm „Solarstrom

Erzeugen“ liegen noch nicht vor. Antragsberechtigt sind alle Träger von Investitionen zur Errichtung, Erweiterung oder den Erwerb von „kleineren“ Photovoltaikanlagen, deren Anlagen den Regelungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes unterliegen, außer Investoren, die direkt der Kommunalaufsicht unterstehen. „Privater Strom aus der Sonne“ - Leitfaden zur Photovoltaik für Bürger in Rheinland-Pfalz

3.5 *Weitere Förderprogramme*

Für die Nutzung von Photovoltaikanlagen mit einem größeren Investitionsvolumen sind andere Programme von besonderer Bedeutung. Gewerbetreibende werden durch das KfW-Programm „Solarstrom Erzeugen“ nur bedingt gefördert. Hier sind besonders das KfW-Umweltprogramm und das ERP-Umwelt- und Energiesparprogramm der KfWMittelstandsbank für Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft hervorzuheben. Kommunale Antragsteller sowie gemeinnützige Investoren die eine kommunale Aufgabe übernehmen können die Errichtung einer Photovoltaikanlage über das KfW-Infrastrukturprogramm finanzieren.

Weiterhin können Kommunen das Programm „Sonne in der Schule“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Schulgebäuden in Anspruch nehmen. Landwirten bietet das Land Rheinland-Pfalz über das „Agrarinvestitionsförderprogramm“ eine zusätzliche Fördermöglichkeit. Photovoltaikanlagen werden in diesem Programm durch Zuschüsse mit bis zu 10 Prozent gefördert. Der Antrag hierzu ist beim zuständigen „Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum“ (DLR) zu stellen (Anschrift: Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße, Tel: 049 6321 671-0). Informationen hierzu sind ebenfalls bei der Landwirtschaftskammer erhältlich (Dienststelle Bad Kreuznach, Tel: 0671-793-0). Nähere Informationen zu den genannten und weiteren Förderprogrammen erhalten Sie direkt bei der KfW Förderbank oder bei den Kontaktadressen.

Die Zinssätze der Kredite liegen generell unterhalb des Kapitalmarktniveaus, unterliegen aber auch den Schwankungen des Kapitalmarktes Die jeweils aktuellen Zinssätze können bei der KfW selbst oder im Internet unter www.kfw-foerderbank.de erfragt werden. Dort gibt es zudem weiterführende Informationen zu den einzelnen Programmen.

3.5.1 Weitere Darlehen, Zuschüsse und Zusatzvergütungen

Neben den genannten Krediten der KfW gibt es diverse andere Möglichkeiten, wie Photovoltaikanlagen zinsgünstig finanziert werden können. So haben auch einige Unternehmen erkannt, dass das Interesse an Anlagen steigt, wenn die Finanzierung gleich mit geliefert wird. Ein Unternehmen, welches dies anbietet, ist die Viessmann Werke GmbH Co. KG. Die Firma hat sich vor 2-3 Jahren mit der UmweltBank AG zusammengetan. Gemeinsam bieten sie nun an, dass ein Käufer von Viessmann PV-Modulen gleichzeitig die Finanzierungsberatung und Finanzierung der Umweltbank erhält. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die geplante Photovoltaikanlage in das Portfolio des PV-Kredites der UmweltBank passt. Das UmweltBank PV-Sonderdarlehen wird speziell für Anlagen angeboten, die nicht in das CO₂-Minderungsprogramm der KfW passen. Dies sind vor allem Freiflächenanlagen.⁵⁶

Auch andere Firmen, wie die Oldenburger Aleo Solar GmbH oder die Bonner SolarWorld AG planen Kooperationen mit Kreditinstituten.⁵⁷

Neben den genannten Krediten gibt es einige Energieversorger, die Photovoltaikanlagen bezuschussen. Ein Beispiel ist die „Watt-Ihr-spart-Zusatzvergütung“ der Elektrizitätswerke Schönau GmbH (EWS). Hier erhalten Photovoltaikanlagenbesitzer, die gleichzeitig EWS Stromkunden sind, in den ersten fünf Betriebsjahren der Anlage eine zusätzliche Vergütung von 6 Cent pro eingespeister Kilowattstunde Strom. Als Auflage gilt hier jedoch, dass für jede installierte Kilowatt ein neuer Stromkunde für die EWS geworben werden muss.

Die Badenova AG & CO. KG in Freiburg zahlt beim Bau einer neuen Photovoltaikanlage je nach Größe einen Zuschuss von 250 bis 500 € pro installiertem kWp. Die Bewag AG & Co. KG in Berlin zahlt ihren Kunden für die ersten fünf kWp sogar 1.000 € Zuschuss.⁵⁸

Ein weiterer Finanzierungszuschuss wird von der BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) im Rahmen des so genannten Marktanzreizprogramms angeboten. Gefördert werden die Bereiche Photovoltaik, Solarthermie und Biomasse.

Für den Bereich der Photovoltaik ist das Programm der Nachfolger des sehr erfolgreichen Programms „Sonne in der Schule“. Hier werden daher speziell Photovoltaikanlagen auf Schu-

⁵⁶ Vgl.: Homepage Viessmann, Photovoltaik Förderung, URL: www.viessmann.de/web/germany/de_publish.nsf/Content/Photovoltaik-Finanzierung, 20. August 2004

⁵⁷ Vgl.: Rentzing, S.: Sonnenstrom ohne Eigenkapital, Zeitschrift Neue Energie – Nr.4, Januar/Februar 04

⁵⁸ Vgl.: Rentzing, S.: Sonnenstrom ohne Eigenkapital, Zeitschrift Neue Energie – Nr.4, Januar/Februar 04

len, Universitäten o.ä. gefördert. Der Zuschuss beträgt 3.000 € pro Anlage ab einem kWp Leistung. Die Förderung erfolgt als Festbetragfinanzierung in Form nicht zurückzahlbarer Zuschüsse.⁵⁹

3.5.2 *Beteiligungsmodelle*

Eine weitere Form der Finanzierung von Photovoltaikanlagen kann über die Gründung von Beteiligungsgesellschaften erfolgen.

In den letzten Jahren sind eine Vielzahl von öffentlichen Beteiligungsangeboten an den Markt getreten, bei denen Kunden Anteile an PV-Anlagen erwerben können. Meist sind dies Privatpersonen, die aus verschiedenen Gründen keine eigene PV-Anlage besitzen. Gründe können sein, dass kein Wohneigentum vorhanden ist, dass nicht der Wille oder die Möglichkeit besteht mehrere tausend Euro in eine Photovoltaikanlage zu investieren, oder dass die Errichtung einer eigenen Anlage zu aufwendig erscheint. Die Anteile an einer Photovoltaikanlage können für einige hundert bis zu mehreren tausend Euro erworben werden, wobei die Angebote für solche Beteiligungsmodelle sowohl von Unternehmen wie auch von privaten Organisationen ausgehen können.

Neben den öffentlichen Beteiligungsmodellen gibt es für den Anlagenbetreiber auch die Möglichkeit, die Eigenkapitalfinanzierung über Privat Placement oder einen Einzelinvestor sicherzustellen.⁶⁰

Ein wichtiger Begriff im Rahmen eines Beteiligungsmodells ist der geschlossene Fond. Diese werden meist genannt, wenn es um die Finanzierung von großen Investitionsobjekten geht. Die am häufigsten auftretenden geschlossenen Fonds sind:

Geschlossene Immobilienfonds, Medienfonds, Schiffsfonds, Life Bonds, Venture Capital Fonds, Ökologische Fonds (Windfonds, Photovoltaikfonds)⁶¹

Der Fond ist dabei eine Gesellschaft, die aus einer Vielzahl von Gesellschaftern besteht. Zweck dieser Gesellschaft ist zum Beispiel der Bau und der Betrieb einer großen Photovoltaikanlage. Der Vorteil dieser Art von Finanzierungsmöglichkeit liegt darin, dass sich eine

⁵⁹ Vgl.: Homepage BAFA: Marktanreizprogramm, URL: www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie.htm, 20.August 2004

⁶⁰ Vgl.: Bine Informationsdienst: Photovoltaik, 2000, S.122

⁶¹ Vgl.: Kellermann, D., Pelikan, E.: Marktreport Photovoltaikbeteiligungen, 2002, S.7

Vielzahl von Investoren an einem Projekt beteiligen können. Es können sich so einige hundert Investoren an dem selben Fond beteiligen.⁶²

Während sich offene Fonds eher für eine kurzfristige Geldanlage eignen, sind geschlossenen Fonds mehr für eine mittel- bis langfristige Geldanlage konzipiert. Dies bedeutet eine Mindestlaufzeit von 5-9 Jahren, wobei die Durchschnittslaufzeit bei 10-20 Jahren liegt. Bei Photovoltaikanlagen liegt diese Laufzeit im Allgemeinen bei ca. 20 Jahren.

Der Anleger investiert meist in Sachwertanlagen, wie den hier genannten Photovoltaikanlagen. Auf diese Weise sollte das Kapital meist vor einem größeren Wertverlust geschützt sein. Zugleich profitiert der Anleger durch langfristige Wertzuwächse.⁶³

Die Beteiligung an einem PV-Kraftwerk ist mit den generellen Risiken eines Unternehmens verbunden. Dennoch sollten die Anleger am Ende der Laufzeit ihr eingesetztes Kapital zurück bekommen, wobei das Ziel natürlich darin besteht, das Geld langfristig zu vermehren. Um die Risiken der Geldanlage möglichst gering zu halten ist ein professionelles Management notwendig. Die Anlage muss von der Vorbereitung, über die Umsetzung, bis hin zur Ausführung genau geplant sein. Dazu gehören eine detaillierte Standortwahl, die genaue Prüfung der mitwirkenden Kompetenzen und eine kritische Material- und Komponentenauswahl.⁶⁴

Im Allgemeinen liegen die Kapitaleinlagen, die der Anleger zu leisten hat bei fünftausend Euro aufwärts. Die Höhe des Gewinns steht und fällt mit der Prognose der Stromproduktion, die im vorhinein von Fachleuten ermittelt wird. Eine möglichst genaue Ertragsprognose ist daher unumgänglich. Dabei spielt nicht nur der Standort eine große Rolle sondern auch die Performance Ratio (der Wirkungsgrad) der Anlage. Im Allgemeinen wird ein Sicherheitsabschlag von 4-5% einberechnet, um Prognoseunsicherheiten und Stillstandzeiten zu berücksichtigen.

⁶² Vgl.: Kellermann, D. : Ratgeber Photovoltaikbeteiligungen, 2004, S.36ff.

⁶³ Vgl.: Kellermann, D., Pelikan, E.: Marktreport Photovoltaikbeteiligungen, Landshut, S.5 ff.

⁶⁴ Vgl.: Homepage SolarServer: Photovoltaik für alle, URL: www.solarserver.de/solarmagazin/artikelmai2002.html, 14. Oktober 2004

3.5.3 Rendite

Um die Rendite einer Investition darzustellen wird in der Regel der so genannte interne Zinsfuß herangezogen. Dieser soll als Anhaltspunkt für die Wirtschaftlichkeit dienen, nicht etwa für die erwartete Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Ein Interner Zinsfuß von 6% vor Steuern ist bei soliden Projekten durchaus zu erzielen.⁶⁵

Die intensiven und häufigen Sonnenstunden im Jahr 2003 brachten den Betreibern von Solarstromanlagen Erträge ein, die im Schnitt 10 % über den Erwartungen lagen. Dies zeigt, dass die Investition in große Photovoltaikanlagen für alle Seiten Gewinne bringen.

Beispiel: Beteiligung SolarKraftWerk Sirius

Die Firma IFE Projekt- und Beteiligungsmanagement GmbH & Co. KG bietet Anteile an der Beteiligungsgesellschaft SolarKraftWerk Sirius GmbH & Co. Betriebs- KG an.

Das SolarKraftWerk Sirius besteht nicht aus einer zusammenhängenden Photovoltaikanlage, sondern aus mehreren Anlagen an sonnenintensiven Standorten in Baden-Württemberg, Bayern und dem Saarland. Insgesamt werden 500 kWp bei einer Gesamtinvestition von 2,315 Mio. Euro installiert. Bei einem prognostizierten Jahresenergieertrag von durchschnittlich 954 kWh/kWp gehen die Initiatoren von einem Gesamtertrag von 477.000 kWh /Jahr aus.

Die zu erzielende Einspeisevergütung liegt bei einer Fertigstellung der Anlage 2004 bei durchschnittlich 56,3 Cent/kWh. Diese Höhe entsteht durch die unterschiedliche Größe der einzelnen Dachanlagen.⁶⁶

Die Finanzierung der Anlagen erfolgt zu 70% über ein Bankdarlehn und 30% durch Eigenkapital, also den Beteiligungseinlagen der Investoren. Die Summe des Eigenkapitals beträgt somit bei der genannten Investitionssumme von 2,315 Mio. €, 700.000 €. Das Bankdarlehn hat eine Laufzeit von 15 Jahren, wobei der Zinssatz von 5% auf 10 Jahre festgeschrieben ist.

⁶⁵ Vgl.: Homepage SolarServer: Solarfonds zur Finanzierung großer Solarprojekte, URL: www.solarserver.de/solarmagazin/index.html, 14. Oktober 2004

⁶⁶ Vgl.: IFE Projekt- und Beteiligungsmanagement GmbH & Co. KG: Beteiligungsangebot SolarKraftWerk Sirius, Oldenburg, 2004, S.4-6

Eine Beteiligung an der Gesellschaft ist ab 10.000 € möglich. Insgesamt ist eine Ausschüttung von 26% über 20 Jahre geplant. Die Rendite vor Steuern beträgt nach der internen Zinsfußmethode 7,8%.

Der Investor muss sich über verschiedene Chancen und Risiken im klaren sein, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlage und somit die zu erzielenden Ausschüttungen beeinflussen kann.⁶⁷

Diese werden im Folgenden dargestellt:

⁶⁷ Vgl.: IFE Projekt- und Beteiligungsmanagement GmbH & Co. KG: Beteiligungsangebot SolarKraftWerk Sirius, Oldenburg, 2004, S.6,21

Chancen	Risiken
Bessere Einstrahlungsverhältnisse und somit höhere Erträge	Schlechtere Einstrahlungsverhältnisse und somit niedrigere Erträge
Fertigstellung 2004, d.h. durchschnittliche Einspeisevergütung von 56,3 Cent/kWh	Fertigstellung 2005, d.h. durchschnittliche Einspeisevergütung von 53,5 Cent/kWh
Änderungen EEG	Änderungen im EEG
	Kostenüberschreitungen bei Investitionsnebenkosten
	Verschiebung der Ausschüttungen bei verspäteter Inbetriebnahme
Positive Veränderungen der steuerlichen und rechtlichen Grundlagen	Negative Veränderung der steuerlichen und rechtlichen Grundlagen
Längere Lebensdauer der PV-Anlagen	Geringere Lebensdauer der PV-Anlagen
Geringerer Leistungsverlust der Anlage als angenommen	Höherer Leistungsverlust der Anlage als angenommen
Niedrigere Rückbaukosten, eventuell erzielen von Verkaufserlösen	Höhere Kosten bei Rückbau bzw. Demontage der Anlagen
	Wegfall von Gewährleistungsansprüchen, wenn wesentliche Vertragspartner entfallen

Tabelle 4: Chancen und Risiken einer Beteiligung am SolarKraftWerk Sirius

Quelle: IFE: Beteiligungsangebot SolarKraftWerk Sirius, Oldenburg, 2004, S.7 Beispiel: Sonnenschiff Freiburg

Ein weiteres Beispiel für die Finanzierung einer Photovoltaikanlage über eine Beteiligungsgesellschaft ist die Solarsiedlung in Freiburg. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von Solarsiedlungen, wobei das Freiburger „Sonnenschiff“ als die bekannteste gilt. Hier entstehen rund 50 Wohn- und Bürogebäude, die auf den Dächern mit Photovoltaikanlagen versehen sind. Die Anlagen haben je nach Gebäudegröße eine Leistung von 4,1 oder 6,2 kWp.

Die Kosten der Anlage sind im Gebäudepreis integriert. Teilweise wurden die Gebäude von Privatpersonen gekauft und teilweise von den Anlegern des 1. Freiburger Solarfonds. An diesem können Privatpersonen Anteile erwerben, welche im Laufe der Jahre hohe Ausschüttungen mit sich bringen sollen.

Die Immobilien des Solarfonds werden dann an verschiedenste Privatpersonen vermietet.⁶⁸

3.5.4 Contracting

Der Begriff „Contracting“ wurde in den 80er Jahren in den USA geprägt und bezeichnet ein Vertragsinstrument, das durch ein Finanzierungs- und Betriebsverfahren zur Bereitstellung einer gebäudespezifischen Energiedienstleistung gekennzeichnet ist.

Ein Contractor erhält vom Nutzer den Auftrag diese Energiedienstleistung, d.h. die effiziente Bereitstellung von Nutzenergie entsprechend der Bedürfnisse des Kunden, anzubieten.⁶⁹

Es gibt dabei drei verschiedene Grundtypen des Contracting. Das „Energieeinspar-, Energielieferungs- und das Finanzierungs- Contracting“. Beim „Energieeinspar- Contracting“ werden vom Contractor energieverbrauchsrelevante Rationalisierungsmaßnahmen für einen Auftraggeber übernommen. Diese Form des Contracting wird im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Ein weiterer Grundtyp ist das „Energiefieferungs- Contracting“. Hier wird vom Contractor eine Energieerzeugungsanlage geplant, finanziert und errichtet oder für eine bereits vorhandene Anlage die Verantwortung übernommen. Der Contractor kauft gegebenenfalls die Einsatzenergie ein und verkauft die Nutzenergie.

Das Finanzierungs- Contracting hat eine grundsätzlich ähnliche Funktionsweise. Ein Contractor plant, finanziert und errichtet wiederum eine Energieerzeugungsanlage. Die Verantwortung für den Betrieb und die Wartung der Anlage liegt jedoch beim Nutzer oder Gebäudeinhaber.⁷⁰

Grundsätzlich ist jede juristische Person dazu berechtigt, Contracting anzubieten. Meist sind die Contractoren jedoch der Branche zugehörig, für die das Contracting stattfinden soll.

Im Themenbereich der Photovoltaik sind dies meist Energieagenturen, Planungsbüros, Stadtwerke oder Anlagenbauer. Neben den eigentlichen Contractoren gibt es indirekte Beteiligte,

⁶⁸ Vgl.: Siemer, J.: Im Dutzend besser, Solarsiedlungen proben den Städtebau der Zukunft, Fachzeitschrift Photon – Nr. 11/2003, S.56 ff

⁶⁹ Vgl.: Hessisches Umweltministerium: Contracting, 1998, S.3 ff.

⁷⁰ Vgl.: Bemann, U.: Contracting Handbuch, 2003, S.19 ff

die in den Prozess eingebunden werden. So können z.B. Fachplaner den Contractor durch entsprechendes Know-how unterstützen. Beispiel: Sonnensiedlung Bonn

Das Energiekonzept der Sonnenhof-Siedlung in Bonn-Tannenbusch sah eine Versorgung mit umweltfreundlicher Energie aus Photovoltaik und Solarthermie vor. Gleichzeitig sollten für die Zielgruppe „Junge Familien“ die Investitionskosten möglichst gering gehalten werden. Es entstand daher das Konzept, die Photovoltaikanlagen durch ein Contracting Modell zu finanzieren.

Eine Photovoltaikanlage mit einer Gesamtleistung von 22 kW wurde im Sommer 2003 auf zwei Reihenhauszeilen mit insgesamt neun Wohneinheiten installiert. Der Contractor Econtract war verantwortlich für:

- Technische Planung der Photovoltaik-Anlage
- Kommunikation mit den Bewohnern der Siedlung
- Sicherstellung der Finanzierung inklusive Beantragung von Fördermitteln
- Installation der Anlage
- Betrieb der Anlage über die nächsten 20 Jahre

Die Stromerträge der 22 kW-Anlage werden in das Netz gespeist und die Econtract GmbH erhält die Einspeisevergütung, und erzielt somit nach der Amortisation der Investitionskosten Gewinne.

Die Bewohner und die Wohnungsbaugesellschaft profitieren vom positiven Image und der Wertsteigerung der Gebäude, die Umwelt von circa 12.500 kg CO₂ -Einsparung im Jahr.⁷¹

3.6 Solardachbörsen bzw. Dachflächenverpachtung

Immer häufiger trifft man im Bereich der Finanzierung von Photovoltaikanlagen auf den Begriff der Solardachbörsen. Hinter einer Solardachbörse steht im Prinzip die Idee des Contracting

⁷¹ Vgl.: Homepage Econtract: Solarsiedlung Tannenbusch, URL: www.econtract-gmbh.de/tannenbusch.html, 14. Oktober 2004

ting. Die Funktion ist einfach und soll hier am Beispiel der Solardachbörse Berlin verdeutlicht werden.

Die Solardachbörse wurde von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung im Februar 2004 im Internet eingestellt.

Auf der Internetseite (www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/solardachboerse/) sind ca. 70 Dächer der Stadt verzeichnet, die sich für den Einsatz von Photovoltaik eignen. Die zwischen 400 und 10.000 Quadratmeter großen Flächen befinden sich auf öffentlichen Gebäuden, wie Schulen oder Bürobauten.

Für die verzeichneten Dächer sollen sich nun private Investoren finden, die dort Photovoltaikanlagen errichten. Diese können sich im Internet anhand eines kurzen Exposés über die Gebäude informieren. Das Exposé beinhaltet die wichtigsten Daten wie Dachform, nutzbare und unverschattete Dachflächen und die Dachneigung. Daneben geben Fotos einen ersten Eindruck über das Gebäude und der Interessent kann sich anhand eines Stadtplans über die Lage des Gebäudes informieren.

Es handelt sich dabei um eine klassische Win-Win Situation. Die Stadt profitiert aufgrund ihres Einsatzes erneuerbarer Energien, der Investor durch die Einspeisevergütung der erbauten Photovoltaikanlagen und die Gebäudebesitzer über eine teilweise zu verhandelnde Dachmiete oder Schulen über die zu Lernzwecken nutzbaren Großdisplays der Anlagen.⁷²

3.6.1 Finanzierung über „Win-Win Effekte“

Die Finanzierung von Photovoltaikanlagen über Win-Win Effekte hat zwar häufig einen Contracting Charakter, soll hier aber dennoch separat aufgezeigt werden, da sich oft ganz neue Wege der Finanzierung ergeben.

Win-Win Effekte ergeben sich wie schon erwähnt auch bei herkömmlichen Contracting Verträgen. Es gewinnt der Contractinggeber, indem er eine Pacht für das von ihm zur Verfügung gestellte Dach erhält. Der Contracting-Nehmer auf der andere Seite bekommt Flächen

⁷² Vgl.: Homepage: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, URL: www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/klimaschutz/solardachboerse/, 09.08.2004 und Nickel, J.: Berlin bietet Dächer an, Fachzeitschrift Photon – Nr. 4/2004, S.91

Flächen zur Verfügung gestellt, auf denen er sein Vorhaben verwirklichen kann und erwirtschaftet damit Gewinne.⁷³

Die Installation einer Photovoltaikanlage kann jedoch auch in anderen Fällen zu Win-Win Situationen führen. Ein klassisches Beispiel sind Überdachungen jeglicher Art, wie Parkplätze, Fußgängerzonen, Spazierwege und ähnliches. Wichtig hierbei ist der Mehrfachnutzen einer solchen Überdachung. Ein überdachter Parkplatz oder die Fußgängerzone einer Stadt lockt Kunden an, da diese gerade bei Regen oder starker Sonne eine solche Stadt als Einkaufsziel bevorzugen würden. Oft sind solche Überdachungen jedoch recht kostspielig und es lässt sich nur schwer voraussagen, welche monetären Vorteile sich ergeben würden. Daraus ergibt sich der Ansatzpunkt für den Bau einer Photovoltaikanlage.

Bei Potenzialberechnungen und Gutachten über die für Photovoltaik zur Verfügung stehenden Flächen, sind Flächen von Parkplätzen o.ä. nicht einberechnet. Das wirft neues Licht auf die Frage, wie viel Energie in Deutschland durch Photovoltaik erzeugt werden kann, da sich hier noch große Potentiale verbergen könnten.⁷⁴

Die genannten Überdachungen können ähnlich wie Freiflächenanlagen oder als transparente Anlagen gebaut werden, je nachdem wie die Lichtverhältnisse gestaltet werden sollen. An dieser Stelle greift das Contractingmodell. Die Überdachungen können entweder durch einen Contracting-Nehmer mitfinanziert werden, der dann entsprechende Photovoltaikanlagen installiert, oder der Initiator baut die Anlage und vermietet die Dachflächen an einen Contractor.

Eine weitere Art dieser zur Finanzierung von Projekten nutzbaren Win-Win Effekte ergibt sich aus den finanziellen Engpässen von Städten und Gemeinden oder auch Privatpersonen. Häufig stünden große Dachflächen zur PV-Nutzung zur Verfügung, wenn diese nicht in den nächsten Jahren saniert werden müssten. In der Regel wird eine Photovoltaikanlage nur dann installiert, wenn das entsprechende Dach während der Laufzeit der Anlage nicht saniert werden muss, da eine erneute Anbringung mit verhältnismäßig hohen Kosten verbunden wäre, welche die Wirtschaftlichkeit der Anlage beeinflussen würden. Für diese Sanierungsmaßnahmen stehen jedoch oft keine Gelder zur Verfügung, so dass die Dachflächen zunächst ungenutzt bleiben würden.

⁷³ Vgl.: Bemann, U.: Contracting - Handbuch, 2003, S.53

⁷⁴ Vgl.: Heck, P.: Photovoltaik Seminar, Sommersemester 2004, 20.10.2004

Bei einer genaueren Prüfung können sich jedoch durch eine Form des Contracting Möglichkeiten ergeben, die Dachflächen nutzbar zu machen.

Grundprinzip ist es hierbei, dass das Dach durch einen Contractor saniert wird, der dann eine PV-Anlage auf dem Dach installiert und diese in Eigenregie betreibt. Es wäre zum Ausgleich zum Beispiel möglich, dass der Besitzer des Daches auf die sonst übliche Pachtgebühr für das Dach verzichtet. Es ergibt sich also für beide Seiten eine gewinnbringende Situation.⁷⁵

3.6.2 *Sponsoring*

Sponsoring basiert auf dem Prinzip des gegenseitigen Leistungsaustausches. Ein Unternehmen stellt einer Person oder Institution Geld zur Verfügung, welche diese für eigene Zwecke nutzt, aber hiermit gleichzeitig eine wirtschaftliche oder ideelle Gegenleistung für den Geldgeber erzeugt. Aus der Sicht des Geldgebers handelt es sich somit um ein Instrument der Kommunikation, für den Geldnehmer um eine Form der Finanzierung.⁷⁶

Im Allgemeinen werden hauptsächlich die Bereiche Sport, Kultur und Soziales gefördert. Gerade für den Bereich des Soziosponsoring zeichnet sich eine zunehmende Beliebtheit ab. Hier werden zumeist Gebiete wie Umweltschutz, Gesundheitswesen oder Bildung gefördert. Dieser Bereich des Sponsoring bringt für den Sponsoren zusätzlich zu dem eigentlichen Werbeeffekt auch einen positiven Einfluss auf sein Image mit sich.⁷⁷

Wie kann man nun diese Form der Finanzierung für den Bereich der Photovoltaik nutzen?

Eine Möglichkeit besteht im Einsatz von Werbetafeln, deren nächtliche Beleuchtung mit Hilfe von gespeichertem photovoltaisch erzeugtem Strom betrieben werden könnte. Stadteinwärts, oder an anderen markanten Standorten könnten Tafeln aufgestellt werden, welche zum Beispiel auf das Solarstadtkonzept hinweisen.

⁷⁵ Vgl.: Braunmühl, W.: Handbuch Contracting, 2000, S. 19; Heck, P.: Verlesung Photovoltaik, Sommersemester 2004, 20.10.2004

⁷⁶ Vgl.: R.Nieschlag, E.Dichtl, H.Hörschgen: Marketing, 1997, S.538

⁷⁷ Vgl.: Hermanns, A.: Sponsoring, 1997, S. 40, 142ff

Finanziert werden könnten diese Tafeln durch Institutionen, deren Name oder Logo sich zusätzlich auf der Tafeln befinden könnte. Der Effekt wäre, dass dies eine weitere Form der Photovoltaiknutzung demonstrieren könnte. Des Weiteren wäre dies ein Vorteil für den Sponsor, der auf innovative Weise Werbung betreiben könnte.

Ähnliches gilt für alle gut sichtbaren PV-Anlagen. So lassen sich große Anzeigentafeln, die auf Photovoltaikanlagen auf Dächern hinweisen von Sponsoren finanzieren (Abb.16).

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich im Bereich der Fassadenanlagen. Hier ist es denkbar, den Namen des Sponsors durch farblich abgesetzte PV-Module in die Anlage zu integrieren. Dies kann besonders von Bedeutung sein, da Fassadenanlagen selten wirtschaftlich sind. Für einen Sponsor kann dies jedoch als Werbekosten verbucht werden.

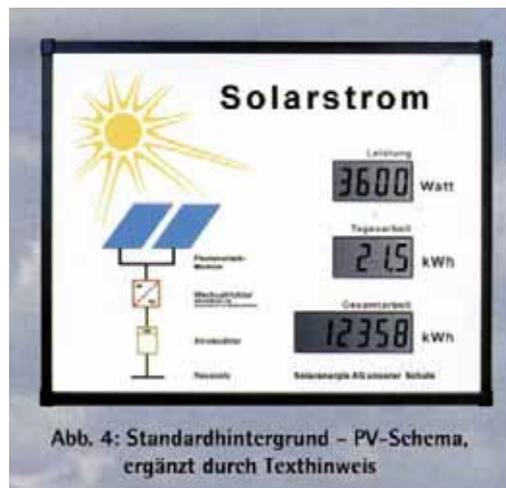


Abb.16: Anzeigentafel mit Werbemöglichkeit für Sponsoren

Quelle: Homepage Schneider Displaytechnik: <http://www.schneider-displaytechnik.de> [07.12.2004]

In Bezug auf ein Solarstadtkonzept in Kaiserslautern ist auch ein Sponsoring denkbar, bei dem eine Institution das gesamte Sponsoring übernimmt und somit zur Deckung der Kosten beiträgt. Bei Sport oder Kultur Veranstaltungen findet man dies häufig. So gibt es dort meist einen Hauptsponsor, der in allen Bereichen der Veranstaltung auftaucht und einige kleinere Sponsoren, die einzelne Teilbereiche übernehmen. Für ein Solarstadtkonzept wäre an einen Hauptsponsor zu denken, dessen Name sich dann wie ein roter Faden durch die Solarstadt

zieht. Gerade im Bereich eines Internetauftritts der Solarstadt oder bei Infoveranstaltungen ist dann eine wiederholte Darstellung des Sponsors möglich.⁷⁸

4 Flächenpotenzial in Kaiserslautern

Die Ausführungen dieses Kapitels werden durch Tabellen gestützt, in denen die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst wurden. Sie geben einen Überblick über die photovoltaiktauglichen Gebäude in Kaiserslautern und Umgebung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die erstellten Tabellen lediglich als Grundlage zur Potenzialabschätzung der in Kaiserslautern vorhandenen Gebäude dienen können, da ein Großteil der aufgeführten Dach- und Fassadenflächen entweder vor Ort geschätzt oder durch Luftbildaufnahmen der Stadt Kaiserslautern vermessen worden sind. Die ermittelten Daten stellen demnach nur Schätzwerte dar und müssen bei einer geplanten Umsetzung durch Baupläne konkretisiert werden.

Als Richtwert zur Bestimmung der zu installierenden Leistung auf Satteldächern pro 1 kWp wird eine Fläche von 10 m² angenommen. Bei Flachdächern ist die Flächeninanspruchnahme erhöht, deshalb gilt hier: 30 m² = 1 kWp.

4.1 Gebäude der BauAG Kaiserslautern

Die Tabelle 5 „Gebäude der BauAG Kaiserslautern“ zeigt den photovoltaiktauglichen Gebäudebestand der BauAG in der Stadt Kaiserslautern. Die Daten wurden von der Gesellschaft selbst erhoben und dem Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) zur Verfügung gestellt.

Sämtliche Dachflächen der Gebäude der BauAG aus Tabelle 6 wurden per Luftbildaufnahme aus dem Jahr 2001 ermittelt. Anhand der Daten wurde die mögliche zu installierende Leistung in Erfahrung gebracht. Bei den Vermessungen handelt es sich lediglich um grobe Schätzwerte, die als Vorauswahl anzusehen sind. Genauere Angaben müssen wie zuvor schon erwähnt vor Ort bzw. durch Baupläne erhoben werden.

⁷⁸ Vgl.: Hermanns, A.: Sponsoring, 1997, S. 94, 157

Gebäude der Bau AG Kaiserslautern						
Liegenschaft	Straße	Träger	Anzahl Gebäude	Ausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Wohnhaus	Friedrichstr.17- 19		5	Süd/West		
Wohnhaus	am Heilig.häus chen 2a + 4	BauAG		Süd	100 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Bismarckstr.27-31	BauAG		Süd	100 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Donnersbergstr. 26a	BauAG	1	Süd	150 m ²	15,0 kW p
Wohnhaus	Dornenstr. 29-41	BauAG	7	West	540 m ²	15,0 kW p
Wohnhaus	Dornenstr. 32-38	BauAG	6	West	140 m ²	15,0 kW p
Wohnhaus	Dornenstr. 6- 12	BauAG	4		420 m ²	14,0 kW p
Wohnhaus	Eugen-Hertel-Str. 2-4	BauAG	1		320 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Fischerstr. 15-31,35-37,16-28	BauAG		Süd	740 m ²	74,0 kW p
Wohnhaus	Fischerstr. 33	BauAG	1	Süd		
Wohnhaus	Friedrichstr.13 - 15	BauAG	21	Süd	42 m ²	4,0 kW p
Wohnhaus	Gersweilerweg 32	BauAG	1		300 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Hegelstr. 2-6a	BauAG	6		780 m ²	25,0 kW p
Wohnhaus	Hegelstr. 7, 9	BauAG	2		300 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Herderstr. 1-4, 6	BauAG	5		1.250 m ²	40,0 kW p
Wohnhaus	Kanalstr. 36, 40-46	BauAG	5	Süd	175 m ²	17,0 kW p
Wohnhaus	Kanalstr. 38	BauAG	1	Süd		
Wohnhaus	Karl-Peters-Str. 11	BauAG	1	Süd	130 m ²	13,0 kW p
Wohnhaus	Kurt-Schumacher-Str. 36-40	BauAG	3		125 m ²	4,0 kW p
Wohnhaus	Leibnizstr. 2-4	BauAG	4		300 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Leibnizstr. 6-8	BauAG			300 m ²	10,0 kW p
Wohnhaus	Leipzigerstr. 51-55	BauAG	3	West	144 m ²	14,0 kW p
Wohnhaus	Mannheimerstr. 194-196	BauAG	2	Ost	70 m ²	7,0 kW p
Wohnhaus	Plauenerstr. 9-19	BauAG		Süd/Wes	290 m ²	29,0 kW p
Wohnhaus	Rostockerstr. 1- 11	BauAG	6	Süd	400 m ²	40,0 kW p
Wohnhaus	Rostockerstr. 13-17	BauAG	9	West	250 m ²	25,0 kW p
Wohnhaus	Rousseustr. 1-7	BauAG			500 m ²	16,0 kW p
Wohnhaus	Rousseustr. 9, 11, 13	BauAG	3		130 m ²	4,0 kW p
Wohnhaus	Sickingenstr. 56-64	BauAG	5		500 m ²	16,0 kW p
Wohnhaus	Sonnenberg 1-7	BauAG	4		880 m ²	29,0 kW p
Wohnhaus	Sonnenberg 9- 13	BauAG	3		660 m ²	22,0 kW p
Wohnhaus	St. Quentin-Ring 38-42	BauAG	3			
Wohnhaus	St. Quentin-Ring 16-24	BauAG			800 m ²	26,0 kW p
Wohnhaus	St. Quentin-Ring 26-36	BauAG			960 m ²	32,0 kW p
Wohnhaus	St. Quentin-Ring 6- 14	BauAG	20		800 m ²	26,0 kW p
Wohnhaus	Stiftswaldstr. 11,15,19	BauAG	3	Süd	Solar bereits vorhanden	
Wohnhaus	Stiftswaldstr. 1-9	BauAG	5	Süd	55 m ²	5,0 kW p
Wohnhaus	Stiftswaldstr. 21,25,29	BauAG	3	Süd	55 m ²	5,0 kW p
Wohnhaus	Tirols tr. 13-21	BauAG	5	Süd/Wes	340 m ²	34,0 kW p
Summe			148		13.046 m²	636,0 kWp

Tabelle 5: Photovoltaiktaugliche Gebäude der BauAG in Kaiserslautern

Quelle: Persönliche Mitteilung von Herr Geiger, Gemeinnützige Baugesellschaft AG Kaiserslautern

Aus diesem Bestand sind heute bereits drei Gebäude mit Photovoltaik versehen. (Stiftswaldstr. 11, 15, 19).

Aus der Auswertung der 145 BauAG - Gebäude, ergibt sich ein Potenzial zur Installation von Photovoltaik Anlagen in Höhe von 636 kWp, bei einer Dachfläche von 13.046 m². Die Umsetzungswahrscheinlichkeit bis zur WM wird jedoch als gering eingestuft.

4.2 Gebäude der Stadt Kaiserslautern

In Tabelle 6, Gebäude der Stadt Kaiserslautern die sich bereits in Umsetzung befinden, sind die kommunalen Liegenschaften aufgenommen, die im Jahr 2004/05 mit Photovoltaikmodulen bestückt werden sollen. Dies ist laut Herrn Schönau von der Stadtverwaltung Kaiserslautern – Referat Gebäudewirtschaft - keine abschließende Auflistung, da weitere Gebäude durch die Kommune untersucht werden.

Gebäude der Stadt Kaiserslautern die sich bereits in der Umsetzung befinden					
Liegenschaft	Strasse	Träger	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Städtische Feuerwache	An der Feuerwache 6	Stadt		1.650 m ²	66 kWp
Schule am Beilstein	Velmannstr. 13	Stadt		700 m ²	28 kWp
Albert-Schweitzer-Gymnasium	Martin-Luther-Str. 5	Stadt		120 m ²	6 kWp
Berufsbildende Schule II	Martin-Luther-Str. 20	Stadt		1.350 m ²	51 kWp
Barbarossaschule	Friedrichstr. 75	Stadt		260 m ²	10 kWp
Betzenbergschule	Kantstr. 97	Stadt		380 m ²	16 kWp
IGS Goetheschule	Goethestr. 35	Stadt		770 m ²	46 kWp
Paul-Münch-Schule	Augustastr.	Stadt		980 m ²	40 kWp
Stiftswaldschule mit Turnhalle	Stiftswaldstr. 54	Stadt		216 m ²	11 kWp
Theodor-Heuss-Schule	Haspelstr. 37	Stadt		520 m ²	26 kWp
Hohenstaufen-gymnasium	Möllendorfstr. 29	Stadt		1.460 m ²	90 kWp
Schillerschule	Julius-Küchler-Str. 1-5	Stadt		1.250 m ²	150 kWp
Hauptschule Siegelbach	Finkenstr. 14	Stadt		1.055 m ²	77 kWp
Sichere Summe					616 kWp
Gesamtsumme				10.711 m²	616 kWp

Tabelle 6: Photovoltaiktaugliche Gebäude der Stadt Kaiserslautern
Quelle: Eigene Darstellung

Per Luftbildaufnahme (Stand 2001) wurde die kommunale Liste durch Angaben zu Dachausrichtung und Dachform ergänzt. Angaben zu Baujahr, Dachneigung, Dacheindeckung und Einstrahlungswert konnten nicht vorgenommen werden, da diese Informationen nur vor Ort erhoben werden können.

Letzter Kenntnisstand ist, dass insgesamt auf 13 Gebäuden der Kommune Anlagen mit einer Leistung von 616 kWp auf 10.711 m² Fläche installiert werden können.

4.3 Gebäude des Landkreises Kaiserslautern

Der Kreis Kaiserslautern besitzt lediglich ein in frage kommendes Gebäude im Stadtgebiet. Dieses Gebäude steht unter Denkmalschutz. Die Installation einer PV Anlage ist damit nur umzusetzen, falls keine Bedenken des Denkmalschutzes bestehen.

4.4 Landeseigene Gebäude

Auf landeseigenen Gebäuden ist es möglich, insgesamt 423 kWp zu installieren.(Tabelle 7 „Gebäude des Landes Rheinland Pfalz“)

Gebäude des Landes Rheinland Pfalz				
Liegenschaft	Straße	Träger	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Polizeipräsidium	Bahnhofstr.	LBB		45,0 kWp
Hauptzollamt	Morlauterer Str. 21	LBB		32,0 kWp
Autobahnpolizei		LBB		12,50 kWp
Heinrich-Heine- Gymnasium	Im Dunkeltälchen 65	LBB	565 m ²	3,50 kWp
Meisterschule	Am Turnerheim 1	ZAK	310 m ²	30,0 kWp
Universität	Gottlieb-Daimler- Str.	LBB		150,0 kWp
Fachhochschule	Schoenstr.	LBB		100,0 kWp
Sonderkapazitäten der Fachhochschule	Wenn keine Denkmalpflegerischen Bedenken			
Sichere Summe				93 kWp
Gesamtsumme				423,0 kWp

Tabelle 7: Photovoltaiktaugliche Gebäude des Landes Rheinland-Pfalz in Kaiserslautern

Quelle: Persönliche Mitteilung von Herrn Middendorf, LBB Rheinland-Pfalz

Der Kreis Kaiserslautern besitzt lediglich ein in frage kommendes Gebäude im Stadtgebiet. Dieses Gebäude steht unter Denkmalschutz. Die Installation einer PV Anlage ist damit nur umzusetzen, falls keine Bedenken des Denkmalschutzes bestehen.

Die Liste der landeseigenen Gebäude in Kaiserslautern wurde durch die LBB zusammengestellt. Im Jahr 2004 wurden das Gesundheitsamt, das Finanzamt, die Polizeiinspektion und die Landwirtschaftsschule mit Photovoltaikanlagen bestückt. Im Jahr 2005 sollen weitere Gebäude wie z.B. Polizeipräsidium, Hauptzollamt und die Autobahnpolizei mit Photovoltaik ausgestattet werden.

Das Heinrich-Heine-Gymnasium wird mit einer Modellanlage von 3,5 kWp versehen, um Photovoltaik auch im Physikunterricht anschaulich darstellen zu können.

Ein Gebäude mit einer Dachfläche (Flachdach) von 1280 m² könnte auf einer Fläche von 320 m² mit PV-Modulen ausgestattet werden. Der Rest der Fläche wird durch Bäume verschattet und ist somit nicht nutzbar. Dies ist vor Ort noch zu prüfen. Die zu installierende Leistung entspricht ca. 10 kWp.

Auch werden zur Zeit noch weitere Leistungspotenziale zur Installation von PV auf der Meisterschule und der Universität geprüft.

Auf der Fachhochschule ist eine Anlage mit 100 kWp geplant. Die Leistung könnte sich um 320 – 370 kWp erhöhen, wenn Bedenken der Denkmalpflege ausgeräumt werden können.

4.5 Eigene Erhebungen entlang der WM Meile und den P&R-Parkplätzen

Da es das Ziel der Untersuchung war, öffentlichkeitswirksame Standorte im Stadtgebiet zu identifizieren, wurde zunächst die von der WM-Organisation ausgewiesenen „WM Meile“ in der Innenstadt auf das Vorhandensein geeigneter Objekte untersucht. Die „WM Meile“ ist in Abbildung 17 dargestellt.

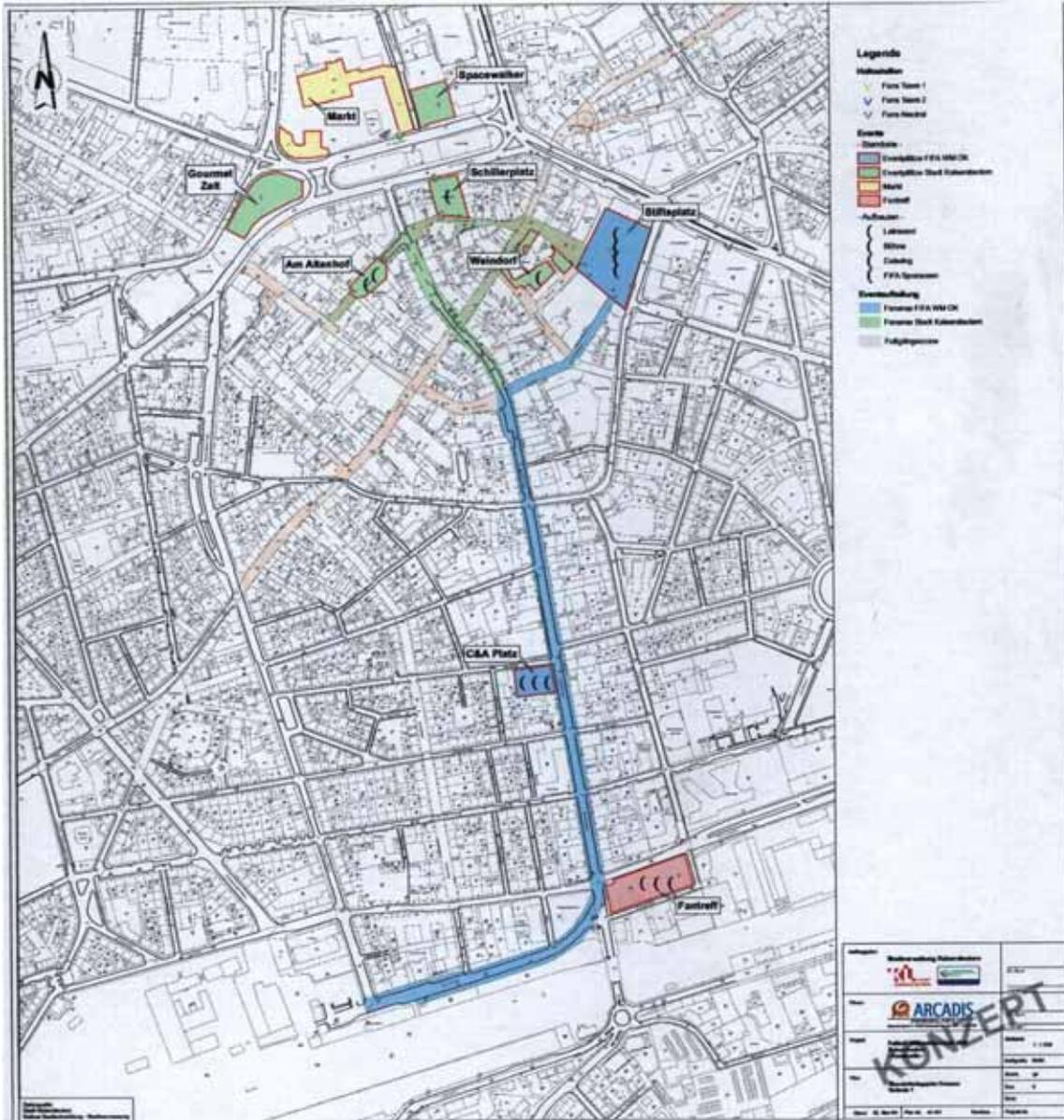


Abb.17: Überblick über die „WM-Meile“

Wie der Lageplan verdeutlicht, verläuft die WM Meile vom Bahnhof aus, bis zum Fantreff am Verkehrsknotenpunkt, über die Barbarossastraße, zur Eisenbahnstraße, bis zum C&A Platz. Die Eisenbahnstraße führt bis zum Stadtkern am Stiftsplatz und zum Schillerplatz.

Bei einem Termin mit den Vertretern der Stadt Kaiserslautern am 06.12.04 wurde mitgeteilt, dass bei der Nutzung des dargestellten Gebietes Einschränkungen durch die Fifa zu beachten sind. Diese Einschränkungen untersagen es bis zur „WM 2006“ an der blau markierten Strecke Veränderungen vorzunehmen. Durch diese Einschränkung fallen die Objekte zumindest im Rahmen des „WM-Konzepts“ aus der Betrachtung heraus.

Da es jedoch auch eine Photovoltaik-Stadt Kaiserslautern nach der „WM 2006“ geben wird, wurden die Objekte entlang der WM Meile erfasst.

Entsprechend dieser Erhebungen könnten in der Nähe des Bahnhofes die Gebäude des Justizentrums, das Postamt, der Bahnhof, die DRK, das Arbeitsamt, die Gebäude der Firma Gebr. Pfeiffer, das Lidl, das Stadion und weitere Objekte mit PV-Anlagen ausgestattet werden. Außerdem würde es sich anbieten, die Zubringerstraßen zur „WM-Meile“ in das Konzept ein zu binden.

Darüber hinaus orientierte sich die Datenaufnahmen an dem für die WM 2006 erstellten Verkehrs- und Parkplatzflächenkonzept. Dieses ist auf der Abbildung 100 zu erkennen.

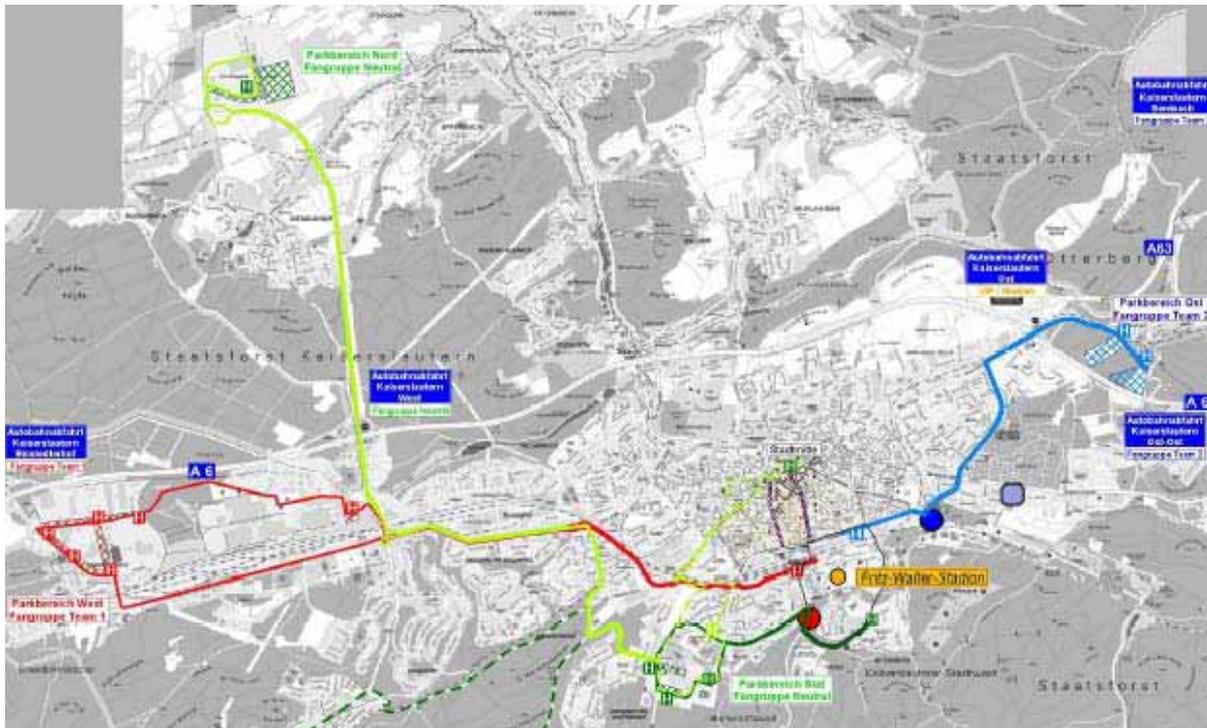


Abb.18: Parkplatzkonzept Kaiserslautern

Grundsätzlich sind vier Parkbereiche zu unterscheiden: Der Parkbereich Nord mit ca. 3.000 geplanten Parkplätzen im Industriegebiet Siegelbach, der bestehende Parkbereich Süd mit etwa 1.500 Parkplätzen an der Universität und 200 Parkplätzen an der Barbarossahalle, der neu zu errichtende Parkbereich Ost mit 2.000 Parkplätzen im Schweinsdell und 1000 Park-

Parkplätzen im Quartermaster sowie der bestehende Parkbereich West mit 1.000 Parkplätzen am Einsiedlerhof und 1000 Parkplätzen auf dem Firmengelände der Firma Opel. Die Parkbereiche Süd und West, werden bereits als Park&Ride Parkplätze genutzt. Der Parkbereich Nord wird speziell für die WM 2006 hergerichtet, jedoch danach nicht mehr als Parkfläche genutzt. Der Bereich Ost wird durch die Altdeponie Schweinsdell gebildet. Dieser Bereich wird für die WM 2006 als Parkplatzfläche ausgebildet, die auch nach der WM Bestand haben soll. Damit sind die Parkbereiche West, Süd und Ost für eine Betrachtung auf Photovoltaiktauglichkeit relevant, der Parkbereich Nord bleibt außen vor.

Die detaillierten Ergebnisse der Datenaufnahme entlang der WM Meile und im Rahmen des Verkehrskonzeptes sind in Tabelle 8 erfasst. Darüber hinaus sind die geeigneten Objekte in Kapitel 5 anhand von Bildmaterial dargestellt und es werden Vorschläge für deren photovoltaische Nutzung gemacht.

Erhebungen WM Meile, P&R Parkplätze, Stadtumgebung					
Liegenschaft	Straße	Dachausrichtung	Dachneigung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Innenstadt					
Bahnhof	Bahnhofstr. 1	Süd		500 m ²	50,0 kWp
	Bahngleise			4.500 m ²	150,0 kWp
Stadion	Zum Betzenberg	Süd		600 m ²	60,0 kWp
Justizzentrum vorne	Bahnhofstr. 24			250 m ²	8,0 kWp
Justizzentrum hinten				900 m ²	30,0 kWp
Justizzentrum		Süd		150 m ²	15,0 kWp
Justizzentrum		Süd		100 m ²	10,0 kWp
Postamt	Logenstraße 37			600 m ²	20,0 kWp
		Süd		200 m ²	20,0 kWp
Arbeitsamt	Augustastr. 6			800 m ²	26,0 kWp
DRK	Augustastr.			600 m ²	20,0 kWp
		Süd		60 m ²	6,0 kWp
Gebr. Pfeiffer	Barbarossastr.			3.000 m ²	100,0 kWp
		Süd		700 m ²	70,0 kWp
Lidl	Barbarossastr.	Süd		1.000 m ²	100,0 kWp
C&A	Eisenbahnstr.	Süd		120 m ²	12,0 kWp
Fruchthalle		Süd		500 m ²	50,0 kWp
Rathaus		Süd		200 m ²	8,0 kWp
KSK		Süd		100 m ²	10,0 kWp
Bürokomplex im Süden	Stiftsplatz			2.000 m ²	67,0 kWp
Deutsche Bank	Stiftsplatz			400 m ²	13,5 kWp
Hotelneubau	Stiftsplatz			500 m ²	17,0 kWp
		Süd		80 m ²	7,0 kWp
Zwischensumme					1747,0 kWp
Öffentlichkeitswirksame Anlagen an Verkehrsknotenpunkten					
Real	Mannheimer Str.			20.000 m ²	660,0 kWp
Bahnbrücke an der UNI		Süd		100 m ²	10,0 kWp
Bahnbrücke am Betzenbergkreisel		Süd		100 m ²	10,0 kWp
Nachführsystem am Betzenbergkreisel		Süd		50 m ²	5,0 kWp
Nachführsystem Kreuzung Barbarossastraße und Eisenbahnstraße		Süd		50 m ²	5,0 kWp
KL Ost Autobahnabfahrt		Ost		100 m ²	10,0 kWp
Zwischensumme					700,0 kWp
Bestehende Park&Ride Parkplätze					
Schweinsdell Real		Süd		10.000 m ²	330,0 kWp
Jacob Pfeiffer Straße von Miller Straße					
Opelparkplatz		Süd		21.400 m ²	700,0 kWp
Technische UNI		Süd		3.600 m ²	120,0 kWp
		Süd		4.000 m ²	130,0 kWp
		Süd		4.400 m ²	146,0 kWp
		Süd		1.250 m ²	40,0 kWp
		Süd		2.100 m ²	70,0 kWp
Parkplatzflächen am Messeplatz		Süd		35.000 m²	1000,0 kWp
Zwischensumme					2536,0 kWp
Flächen im Außenstadtbereich					
Parkplatzflächen an der Deponie Schweinsdell		Südosthang		70.000 m ²	2300,0 kWp
Schallschutzwälle entlang der A6		Südhang		30.000 m ²	3000,0 kWp
Deponie Siegelbach		Südhang		42.000 m ²	1400,0 kWp
Zwischensumme					6700,0 kWp
Sichere Summe					
Gesamtsumme					11683,0 kWp

* laut 100-Dächer Programm der Stadt Kaiserslautern vom 26.07.04

Tabelle 8: Photovoltaiktaugliche Gebäude in näherer Umgebung des Bahnhofs, WM-Meile und Verkehrsleitsystem

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Nach der Auswertung der Flächenpotenziale bieten die erfassten Standorte die Möglichkeit PV-Anlagen mit einer Leistung von ca. 11.683 kWp zu installieren.

4.6 Weitere Gebäudegruppen aus eigenen Erhebungen

Zusätzlich wurden weitere Gebäudegruppen betrachtet, deren zur Verfügung stehende Dachflächen anhand einer Auswertung von Luftbildern ermittelt wurde.

4.6.1 Parkhäuser

Bei Parkhäusern besteht nach unseren Erhebungen ein Potenzial von 260,00 kWp auf einer Fläche von 7.800 m².

Parkhäuser				
Liegenschaft	Anzahl Gebäude	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
City Park haus	1		2.800 m ²	93,0 kWp
Karstadt-Parkhaus	1		720 m ²	24,0 kWp
Krankenhaus-Parkhaus	1		0 m ²	0 kWp
Lutrina-Parkhaus	1		1.140 m ²	38,0 kWp
Parkhaus Ritterberg	1		1.350 m ²	45,0 kWp
Pfalztheater Parkhaus	1		1.790 m ²	60,0 kWp
Sichere Summe				
Gesamtsumme	6		7.800 m ²	260,0 kWp

Tabelle 9: Photovoltaiktaugliche Parkhäuser in Kaiserslautern

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.6.2 Kulturgebäude

Auf Gebäuden wie der Musikschule, dem Jugend- und Programmzentrum, dem Kulturamt, der Pfalzgalerie etc. können auf einer Fläche von 1.465 m² Photovoltaikmodule mit einer Leistung von 146,5 kWp installiert werden. Durch ihre Popularität bei der Bevölkerung wären diese Gebäude für eine öffentlichkeitswirksame Darstellung von Photovoltaikanlagen sehr gut geeignet.

Kulturgebäude				
Liegenschaft	Anzahl Gebäude	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Emmerich-Smola-Musikschule	1	Süd-Ost	0 m ²	0 kWp
Jugend- und Programmzentrum	1	Süd-Ost	80 m ²	8,0 kWp
Kulturamt Stadt Kaiserslautern	1	Süd	825 m ²	82,50 kWp
Pfalzgalerie des Bezirksverbandes	1	Süd	220 m ²	22,0 kWp
Pfalztheater	1		0 m ²	0 kWp
Theodor-Zirk Museum	4	Süd-Ost	340 m ²	34,0 kWp
Summe	5		1.465 m²	146,50 kWp

Tabelle 10: Photovoltaiktaugliche Kulturgebäude in Kaiserslautern

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.6.3 Schwimmbäder

Bei den Schwimmbädern in Kaiserslautern besteht Potenzial zur Installation von Photovoltaik Anlagen auf einer Fläche von 850 m², womit ca. 51 kWp Leistung umgesetzt werden könnten.

Schwimmbäder				
Liegenschaft	Anzahl Gebäude	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Dorimare Freizeitbad	1		690 m ²	23,0 kWp
Freibad Waschmühle	1		125 m ²	4,0 kWp
Städt. Hallenbad	1		725 m ²	24,0 kWp
Städt. Warmfreibad			0 m ²	0 kWp
Strandbad Gelterswoog	1		0 m ²	0 kWp
Summe	4		850 m²	51,0 kWp

Tabelle 11: Photovoltaiktaugliche Schwimmbäder in Kaiserslautern

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.6.4 Kindertagesstätten und Kindergärten

Bei Kindertagesstätten und Kindergärten besteht nach den Erhebungen ein Potenzial von 408,00 kWp, auf einer Fläche von 7.160 m².

Kindertagesstätten und Kindergärten				
Liegenschaft	Anzahl Gebäude	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Evang. KiGa Erfenbach	Süd-West	Satteldach	60 m ²	6,0 kWp
Evang. Kinder- und Jugendheim	Süd-Ost	Satteldach	125 m ²	12,50 kWp
Heilpädagog. Und integrative KiTa	Süd	Walmdach	0 m ²	,0 kWp
Kath. KiGa Christ König	Süd-Ost	Satteldach	75 m ²	7,50 kWp
Kath. KiGa Heilig Kreuz		Flachdach	350 m ²	11,50 kWp
Kath. KiGa Marienheim	Süd	Walmdach	430 m ²	43,0 kWp
Kath. KiGa St. Anton	West	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Kath. KiGa St. Konrad	Süd	Satteldach+Flachdach	485 m ²	22,50 kWp
Kath. KiGa St. Martin	Süd-Ost	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Kath. KiGa St. Michael	Süd	Satteldach	120 m ²	12,0 kWp
Kath. KiGa St. Norbert	Süd-West	Satteldach	200 m ²	20,0 kWp
Kath. Kinderhort Maria Schutz		Flachdach	0 m ²	,0 kWp
Kath. KiGa St. Theresia	West	Satteldach+Flachdach	230 m ²	7,60 kWp
Protest. KiGa Auf dem Seß		Flachdach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Bänningerück		Flachdach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Betzenberg	Süd	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Bruchstrasse		Flachdach	380 m ²	12,00 kWp
Protest. KiGa Donnersbergstrasse		Flachdach	300 m ²	10,0 kWp
Protest. KiGa Dornenstrasse		Flachdach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Einsiedlerhof	Süd	Puttdach	120 m ²	12,0 kWp
Protest. KiGa Erlenbach	Süd	Satteldach	130 m ²	13,0 kWp
Protest. KiGa Kaisermühlerfeld		Flachdach	325 m ²	11,0 kWp
Protest. KiGa Kindergartenstrasse		Walmdach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Lämmchesberg	Süd-Ost	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Mannheimer Strasse	Süd-West	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Pfeifertälchen	Süd-Ost	Puttdach	240 m ²	24,0 kWp
Protest. KiGa Siegelbach	West	Satteldach	110 m ²	10,0 kWp
Protest. KiGa Sonnenberg		Flachdach	375 m ²	12,50 kWp
Protest. KiGa Spicherer Strasse	Süd	Satteldach	110 m ²	11,0 kWp
Protest. KiGa Trippstadter Strasse	Süd-Ost	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Protest. KiGa Turnerstrasse		Flachdach	230 m ²	7,90 kWp
SOS Kinder- und Jugendhilfe	Süd-West	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Städt. Haus des Kindes	Süd-Ost	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Städt. KiGa Darsenberg	Süd	Satteldach	115 m ²	11,50 kWp
Städt. KiGa Eberstrasse	Süd	Satteldach	100 m ²	10,0 kWp
Städt. KiGa Erfenbach	Süd-Ost	Satteldach	80 m ²	8,0 kWp
Städt. KiGa Hohenecken	Süd-Ost	Walmdach	170 m ²	17,0 kWp
Städt. KiGa Karl-Peters-Strasse	Süd-Ost	Walmdach	175 m ²	17,50 kWp
Städt. KiGa Mobile		Flachdach	450 m ²	9,0 kWp
Städt. KiGa Mölschbach		Flachdach	380 m ²	12,50 kWp
Städt. KiGa Sommerstrasse		Flachdach	710 m ²	23,50 kWp
Städt. Kinderhort Mannheimer Strasse	Süd-Ost	Walmdach	0 m ²	,0 kWp
Städt. KiTa Davenportplatz 50		Zeltdächer	0 m ²	,0 kWp
Städt. KiTa Humboldtstrasse		Flachdach	0 m ²	,0 kWp
Städt. KiTa Julius-Küchler-Strasse		Flachdach	375 m ²	12,50 kWp
Städt. KiTa Medicusstrasse	Ost	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Städt. Spiel- und Lernstube Königsau 21	Süd	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Städt. Spiel- und Lernstube Sievogtstrasse 44	West	Satteldach	210 m ²	20,0 kWp
Walldkindergarten	West	Satteldach	0 m ²	,0 kWp
Walldorf-Kindergarten	Süd	Zeltdach	0 m ²	,0 kWp
Summe			7.160 m²	408,10 kWp

Tabelle 12: Photovoltaiktaugliche Kindergärten und Kindertagesstätten in Kaiserslautern
Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.6.5 Sport- und Freizeiteinrichtungen

Auf einer Fläche von 340 m² sind hier 34 kWp umsetzbar.

Sport und Freizeiteinrichtungen				
Liegenschaft	Anzahl Gebäude	Dachausrichtung	Dachfläche	mögliche zu installierende Leistung
Gartenschau	?		0 m ²	0 kWp
Japanischer Garten			0 m ²	0 kWp
Jugendzeitplatz Gelterswoog			0 m ²	0 kWp
Minigolf	1	Süd	80 m ²	8,0 kWp
Minigolf und Freizeitanlage am Gelterswoog			0 m ²	0 kWp
Tennis-Squash-Center Schmitt			0 m ²	0 kWp
Tierpark Siegelberg	2	Süd-Ost	260 m ²	26,0 kWp
Wildpark Betzenberg			0 m ²	0 kWp
Summe	3		340 m²	34,0 kWp

Tabelle 13: Photovoltaiktaugliche Sport und Freizeiteinrichtungen in Kaiserslautern

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass bei den Parkhäusern von einem Potenzial in Höhe von ca. 260,00 kWp ausgegangen werden kann. Bei den Kulturgebäuden liegt dieses bei etwa 146,50 kWp, bei Schwimmbädern bei ca. 51,00 kWp, bei Kindertagesstätten und Kindergärten bei ca. 408,00 kWp und bei Sport- und Freizeitanlagen bei etwa 34,00 kWp. In der Summe ergibt sich ein Potenzial in Höhe von 899,5 kWp.

4.6.6 Kirchengemeinden in Kaiserslautern

Im Laufe der Gebäudedatenermittlung wurden 26 Glaubensgemeinschaften in Kaiserslautern ermittelt und angeschrieben. In diesem Schreiben wurden die Gemeinden dazu aufgefordert sich beim IfaS zu melden, wenn ein Interesse bestehe Photovoltaik-Anlagen auf Gemeindedächern zu installieren. In Tabelle 14 sind die angeschriebenen Gemeinden aufgeführt. Bei den laufenden Nr. 20, 23, 26 war keine Kontaktaufnahme möglich. Bei einer Institution (laufende Nr. 24) bestand keinerlei Interesse an einer weiteren Kontaktaufnahme. Eine weitere Kirchengemeinde (laufende Nr. 25) teilte mit, dass ihr Gebäude veräußert werden soll. Die Kirchengemeinden mit der laufenden Nr. 1, 19 und 21 sind zurzeit dabei die Gebäudedaten zu erheben. Diese werden zur weiteren Verarbeitung dem Institut für angewandtes Stoffstrommanagement zugesandt. Von 18 Gemeinden erfolgte bisher keinerlei Rückmeldung.

Kirchengemeinden in Kaiserslautern

Nr	Name	Ansprechpartner	Straße	PLZ	Ort
1	Prot. Kirchenverwaltung Kaiserslautern	-Geschäftsstelle-	Stiftsstraße 2	67655	Kaiserslautern
2	Prot. Dekanat Kaiserslautern	-Dekanatsgeschäftsstelle-	Stiftsstraße 2	67655	Kaiserslautern
3	Faith Baptist Church		Lichtenbrucher Str. 17	67657	Kaiserslautern
4	Evangelisch-Freikirchliche Gemeinde Kaiserslautern	Bund Evang.-Freikirchlicher	Adolph-Kolping-Platz 14	69595	Kaiserslautern
5	Freie Baptistengemeinde Kaiserslautern		Pariser Str. 187	67655	Kaiserslautern
6	Evang. Lutherische Kirchengemeinde St. Michaelis		Karpfenstr. 7	67655	Kaiserslautern
7	Kirche des Nazareners, Amerik. Gemeinde	Church of the Nazarene	Bremerstr. 35	67663	Kaiserslautern
8	Lagerhauskirche Kaiserslautern	Freie Christengemeinde	Stiftswaldstraße 60	67657	Kaiserslautern
9	Freie evangelische Gemeinde Kaiserslautern		Kurt-Schumacher-Str. 13	67731	Otterbach
10	Gemeinde des vollen Evangeliums e.V.		Eisenbahnstr. 67	67655	Kaiserslautern
11	Lettsische Ev.-luth. Gemeinde		Slevogtstr. 24	67659	Kaiserslautern
12	Menno-Haus Freizeitheim und Begegnungsstätte	Hausverwaltung Domke	Bruchstr. 13	67655	Kaiserslautern
13	Adventgemeinde		Bleichstr. 24	67655	Kaiserslautern
14	Bahá'í-Gemeinde Kaiserslautern	o/o Edmundo Fuchslocher	Lilienstr. 1	67655	Kaiserslautern
15	Freireligiöse Gemeinde	Auguste Fischer	Alex-Müller-Str. 70	67657	Kaiserslautern
16	Gemeinde Christi		Mühlstr. 34	67659	Kaiserslautern
17	Jüdisches Gemeindehaus		Basteigasse 4	67655	Kaiserslautern
18	Kirche Jesu Christi der Heiligen der letzten Tage		Lauterstr. 1	67663	Kaiserslautern
19	Evangelische Kirchengemeinde	Versöhnungskirche Bänjerrüd	Leipzigerstr. 5	67663	Kaiserslautern
20	Alt-Katholische Pfarrgemeinde		Albrechtstr. 39	67655	Kaiserslautern
21	Kath. Pfarrverband Kaiserslautern		Engelsgasse 1	67657	Kaiserslautern
22	Evangelisch-methodistische Kirche		Stiftswaldstr. 56	67657	Kaiserslautern
23	Evangelistische Gemeinde der Fels		Pariser Straße 23a	67655	Kaiserslautern
24	Neuapostolische Kirche		Pirmasener Straße 75	67655	Kaiserslautern
25	Jehovas Zeugen, Bereich Südwestdeutschland e.V.		Landolfstr. 1	67661	Hohenecken
26	Kirche Jesu Christi der Heiligen der letzten Tage		Am Waldschlößchen 2	67663	Kaiserslautern

Tabelle 14: Kirchengemeinden in Kaiserslautern

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.6.7 Erhebung bestehender Anlagen im Stadtgebiet

Insgesamt sind nach bisherigem Erkenntnisstand bis zum Jahreswechsel 2005 bereits 369,10 kWp in Kaiserslautern installiert worden. Dieses ist in Tabelle 15 dargestellt.

Erhebungen bestehender Anlagen im Stadtgebiet				
Liegenschaft	Anschrift Gebäude	Träger	Dachfläche	installierte Leistung
Stadion	Zum Betzenberg		300 m ²	30,0 kWp
Geschwister-Scholl-Schule	Schreberstr. 37-39	Kommune	850 m ²	83,0 kWp
Busbahnhof	Stiftswaldstr. 4	TWK		29,0 kWp
Wohngebäude und Privatanlagen im Stadtgebiet				
				16,0 kWp
				5,10 kWp
				3,50 kWp
				1,0 kWp
				2,80 kWp
				1,440 kWp
				4,50 kWp
				2,30 kWp
				,50 kWp
				2,20 kWp
				1,0 kWp
				1,50 kWp
				2,0 kWp
				4,90 kWp
				1,20 kWp
				2,0 kWp
				1,0 kWp
				5,0 kWp
				5,040 kWp
				5,0 kWp
				2,880 kWp
				2,40 kWp
				4,140 kWp
				3,0 kWp
				3,30 kWp
				1,80 kWp
				3,10 kWp
				1,0 kWp
				2,50 kWp
Landwirtschaftsschule	Von-Braun-Str. 1	Landwirtschaftsschule		38,20 kWp
Gesundheitsamt	Pfaffstr. 40-42	LBB	550 m ²	26,40 kWp
Finanzamt	Eisenbahnstr.	LBB	300 m ²	30,40 kWp
Polizeiinspektion		LBB		10,0 kWp
Gelände der ZAK		ZAK		30,0 kWp
Summe				369,10 kWp

Tabelle 15: Erhebung bestehender Anlagen im Stadtgebiet

Quelle: Eigene Erhebung und Darstellung

4.7 Zusammenfassung der Potenzialermittlung

Da es sich bei den ermittelten Flächenpotenzialen um einen theoretischen Ansatz handelt, dessen Umsetzung von der Mitwirkung der unterschiedlichsten Akteure, Unternehmen und Institutionen abhängig ist, wurden drei Szenarien aufgestellt, welche die Aktivierung der Flächenpotenziale auf unterschiedliche Weise beurteilen.

4.7.1 Szenario 1 (Nutzung aller Flächenpotenziale)

Unter der Voraussetzung, dass alle ermittelten Flächenpotenziale in Umsetzung gebracht werden, ist es möglich, dass in Kaiserslautern Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa

14.626,70 kWp installiert werden. Dies entspricht einer Leistung von 14,6 MW. Mit Anlagen dieser Größenordnung könnten in Kaiserslautern pro Jahr 11.701.360,00 kWh Solarstrom erzeugt werden. Dies würde ausreichen, um über 3.250 Haushalte mit Strom zu versorgen. Gleichzeitig wäre eine jährliche CO₂ Einsparung von 8.073,94 t möglich. Dies entspricht über die Lebensdauer der PV-Anlagen von 20 Jahren einer Einsparung in Höhe von 161.479 t.

4.7.2 Szenario 2 (Realistische Umsetzung bis Ende 2005)

Das Szenario 2 bezieht ausschließlich Flächenpotenziale ein, die nach heutigem Erkenntnisstand und nach Angaben der Projektpartner bis Ende 2005 in eine Umsetzung kommen. Es wird davon ausgegangen, dass bestehende Anlagen im Stadtgebiet auch weiterhin betrieben werden (369,10 kWp), dass auf der Deponie Siegelbach eine Freiflächenanlage mit einer Leistung von 1.400 kWp umgesetzt wird und dass Gebäude der Stadt und des Landes mit 709 kWp umgesetzt werden. In der Summe ergibt sich Leistung von 2.478,10 kWp.

4.7.3 Szenario 3 (Mögliche Umsetzung bis zur WM 2006)

Das Szenario 3 geht von einer Weiterführung des Szenarios 2 aus und berücksichtigt, dass externe Akteure (z.B. Gewerbe) gewonnen werden können, die ebenfalls Anlagen auf vorhandenen Dächern installieren. Demnach wird angenommen, dass zusätzlich zu den Flächen des Szenarios 2 Gebäude der BauAG mit 200 kWp ausgerüstet werden, dass weitere PV-Anlagen auf städtischen Gebäuden mit 330 kWp und auf Parkhäusern mit einer Leistung von 100 kWp installiert werden und dass auf Kulturgebäuden, Schwimmbädern und Kirchengemeinden jeweils 50 kWp installiert werden. Somit ergibt sich erreichbare Summe von 3.458 kWp bis zum Jahr 2006.

Die Tabelle 16 zeigt eine Übersicht zu den mit der Anlageninstallation verbundenen wirtschaftlichen Aspekten, von denen die Stadt Kaiserslautern profitieren kann. Darüber hinaus sind die mit der photovoltaischen Stromproduktion verbundenen Emissionsvermeidungen hinsichtlich des Kohlendioxidausstoßes aufgezeigt.

Investitionsvolumina und Anlagenerträge			
	Szenario 1 Gesamtpotenzial	Szenario 2 bis 2005	Szenario 3 bis 2006
Leistung	14.627 kWp	2.478 kWp	3.458 kWp
Brutto Investitionen pro kWp	5.500,00 €	5.500,00 €	5.500,00 €
Gesamtbrutto Investitionen	80.446.850,00 €	13.629.550,00 €	19.019.550,00 €
Anlagenerträge im Jahr pro kWp in kWh	800,00 kWh	800,00 kWh	800,00 kWh
Einspeisevergütung in €/kWh	0,5453 €	0,5453 €	0,5453 €
Erträge/Jahr in kWh	11.701.360,00 kWh	1.982.480,00 kWh	2.766.480,00 kWh
Durchschnittliche Stromerträge in 20 Jahren	234.027.200,00 kWh	39.649.600,00 kWh	55.329.600,00 kWh
Durchschnittliche Gelderträge in 20 Jahren	127.615.032,16 €	21.620.926,88 €	30.171.230,88 €
* Überschlägige Betrachtung ohne Berücksichtigung von Kapital-, Instandhaltungs- und Betriebskosten			
CO2 Einsparung durch Solarstromerzeugung			
	Szenario 1 Gesamtpotenzial	Szenario 2 bis 2005	Szenario 3 bis 2006
Durchschnittliche Stromerträge in 20 Jahren	234.027.200,00 kWh	39.649.600,00 kWh	55.329.600,00 kWh
CO2 Einsparung pro kWh Stromix in kg	0,6900 kg	0,6900 kg	0,6900 kg
Gesamt CO2 Einsparung in 20 Jahren	161.478.768 kg	27.358.224 kg	38.177.424 kg
Gesamt CO2 Einsparung in Tonnen in 20 Jahren	161.479 t	27.358 t	38.177 t

Tabelle 16: Umsetzung von Photovoltaik nach 3 Szenarien

4.8 Synergien durch Anwendung von Photovoltaik

Im folgenden Kapitel werden zwei positive Nebeneffekte genannt, die durch die Installation von Photovoltaik entstehen werden. Zum Einen werden die Treibhauswirksamen Gas-Emissionen sinken zum Anderen wird Kaiserslautern in der so genannten „Solarbundesliga“ einen großen Schritt nach vorne machen können.

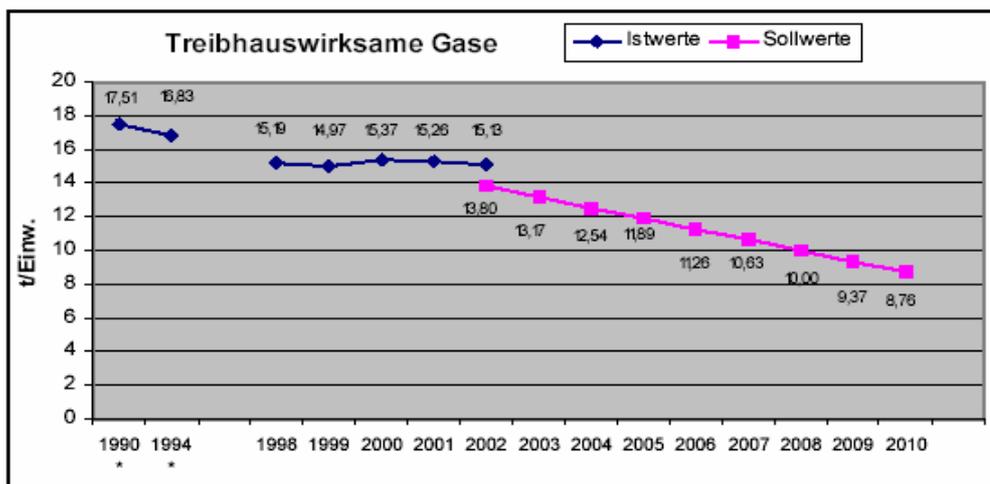
4.8.1 Emission von Treibhausgasen in Kaiserslautern

Im Jahre 1993 ist Kaiserslautern dem Klima-Bündnis europäischer Städte beigetreten. Das Klimabündnis hat sich zum Ziel gesetzt die treibhauswirksamen Gase bis zum Jahr 2010 im

Vergleich zum Referenzjahr 1990 um 50 % zu reduzieren. Dieses Ziel wird nach allgemeiner Auffassung nicht mehr erreicht.⁷⁹

Wie in Abbildung Abb.19 zu sehen, stagnieren die Emissionen bei Werten um 15 t/Einw. Der zuletzt erhobene Wert im Jahre 2002 weist eine Differenz von knapp 2 t/Einw. im Vergleich zum Sollwert auf. Von den untersuchten Treibhausgasen trägt das Kohlendioxid (CO₂) mit ca. 93,5 % zum Gesamtergebnis bei.⁸⁰ Insgesamt wurden im Jahr 2002 1.507.000 t treibhauswirksame Gase emittiert. Davon entfallen allein 954.700 t auf den Bereich Energie. Damit sind 63,4 % der Emissionen auf den Sektor Energie zurückzuführen, während die übrigen 36,6 % auf die Bereiche Verkehr, Abwasser, Abfall entfallen.⁸¹

Auffällig ist, dass gerade im Energiesektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien viel CO₂ eingespart werden könnte.



Anm.: Für 1990 und 1994 liegen nur Energiewerte vor. Gesamtwerte hochgerechnet mit 150 %.

Abb.19: Emittierte treibhauswirksame Gase in t/Einw. der Stadt Kaiserslautern von 1990 – 2010
Quelle: Naturhaushaltsplan 2004 der Stadt Kaiserslautern

Wenn wir hier das im vorigen Kapitel beschriebene Szenario 1 zugrunde legen, so wäre eine jährliche CO₂ Einsparung von 8.073,94 t möglich; auf den Zeitraum von 20 Jahren entspricht dies 161.479,00 t.

⁷⁹ Vgl.: Naturhaushaltsplan 2004 der Stadt Kaiserslautern, 2003, S. 4

⁸⁰ Vgl.: Treibhausgasbilanz 2002 der Stadt Kaiserslautern, 2003, S. 2

⁸¹ Vgl.: Treibhausgasbilanz 2002 der Stadt Kaiserslautern, 2003, S. 2

Vor diesem Hintergrund wäre die Photovoltaik eine gute Möglichkeit eine Verringerung der Emissionen bis zum Jahr 2010 zu erreichen.

4.8.2 Kaiserslautern und die Solarbundesliga

Ein weiterer positiver Effekt ist, dass ein Grossteil der PV-Anlagen in die Bewertung bei der Solarbundesliga eingehen werden. Die Stadt Kaiserslautern würde durch die Umsetzung der Photovoltaik-Vorschläge einen großen Schritt nach vorne machen. Messlatte für die zweiteilige Wertung ist im solarthermischen Teil die Kollektorfläche pro Einwohner und für den Bereich Photovoltaik die pro Kopf installierte Leistung in Watt. Das Punktesystem für die Wertung in der Solar-Bundesliga für Photovoltaik setzt sich dabei wie folgt zusammen: 3 Watt pro Einwohner = 1 Punkt.

Bewertung der Ergebnisse für die Solarbundesliga			
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Quelle	Theoretisches Potenzial	Sichere Umsetzung bis Ende 2005	Geschätzte erreichbare Umsetzung bis Mitte 2006
BauAG	636 kWp	22,4 kWp	200 kWp
Stadt KL	1.583 kWp	1.291 kWp	1.583 kWp
In Umsetzung Land	417 kWp	61 kWp	417 kWp
Fritz Walter Stadion	350 kWp	350 kWp	350 kWp
WM Meile, Innenstadt, Real	1.447 kWp	0 kWp	200 kWp
Verkehrsknotenpunkte	675 kWp	0 kWp	0 kWp
Bestehende Parkplätze P&R	2.536 kWp	0 kWp	0 kWp
Freiflächen im Außenstadtgebiet	4.400 kWp	1.400 kWp	1.400 kWp
Parkflächen im Außenstadtgebiet	2.300 kWp	0 kWp	0 kWp
KiTa's und KiGa's	362 kWp	0 kWp	0 kWp
Parkhäuser	260 kWp	0 kWp	100 kWp
Kulturgebäude	22,0 kWp	0 kWp	50 kWp
Schwimmbäder	47,0 kWp	0 kWp	50 kWp
Sport und Freizeitanlagen	26,0 kWp	0 kWp	0 kWp
Bestehende Anlagen	409,40 kWp	409 kWp	409 kWp
Kirchengemeinden	0 kWp	0 kWp	50 kWp
Summe	15.471 kWp	3.511 kWp	4.810 kWp
Summe für Solarbundesliga	15.471 kWp	2.211 kWp	3.510 kWp
Summe in Watt	15.470.900 W	2.211.400 W	3.509.800 W
Ermittlung des Ranges in der Solarbundesliga			
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Leistung in W/Einwohner bei Einwohnerzahl 100.000	155 W	22 W	35 W
Punktesystem für die Wertung in der Solar-Bundesliga: Photovoltaik: 3 Watt pro Einwohner = 1 Punkt Solarthermie: 1 Quadratdezimeter (0,01 Quadratmeter) pro Einwohner = 1 Punkt Die Addition der Punkte aus beiden Bereichen ergibt die Gesamtpunktzahl.			
Punkte bei 100.000 Einwohnern in KL	51,57	7,37	11,70
Typische Punktzahlen für Städte ab 100.000 EW: -> Platz 1= 12 Punkte, Platz 5 = 6 Punkte (z.B. Saarbrücken)			

Tabelle 17: Darstellung zur Bewertung in der Solarbundesliga, Quelle: Eigene Darstellung

Wie die Tabelle oben belegt, könnte Kaiserslautern bis zur WM 2006 einen Platz in den vorderen Reihen der Solarbundesliga einnehmen. Bei Städten ab 100.000 Einwohnern liegt Freiburg zur Zeit auf Platz Nr. 1 mit 12 Punkten.

Solarbundesliga ab 100.000 Einwohnern	
Ort	Punkte
1. Freiburg	12
2. Ulm	9
3. Fürth	8
4. Erlangen	7
5. Saarbrücken	6

Abb.20: Darstellung zur Bewertung in der Solarbundesliga
Quelle: <http://www.solarbundesliga.de>

5 Vorschläge für die Umsetzung

5.1 Gebäude-Konzept für Photovoltaik Anlagen

Im Folgenden werden einige ausgewählte Gebäude beschrieben und Vorschläge für deren photovoltaische Nutzung gemacht. Diese Vorschläge sollen als Handlungsempfehlung dienen und sind nicht direkt auf die vor Ort vorhandene Bausubstanz abgestimmt.

5.1.1 Fritz-Walter-Stadion

Die Weltmeisterschaft 2006 findet in dem Zeitraum vom 09.06. – 09.07.2006 statt. Insgesamt gibt es 12 Austragungsorte mit 64 Spielen, wobei 5 Spiele in Kaiserslautern im Fritz-Walter-Stadion ausgetragen werden. Es werden in Kaiserslautern ca. 250.000 Zuschauer erwartet.

Um diesem Besucherstrom gerecht zu werden, wird das Stadion zurzeit umfangreich saniert und auf den Bedarf angepasst. Die Planung sieht vor, dass nach Abschluss der Sanierungs- und Erweiterungsmaßnahmen zwei Photovoltaikanlagen auf den Flachdächern der Süd- und der Nord-Tribüne errichtet werden. Die vorhandenen Dachflächen dürften ausreichen, um eine Gesamtleistung in Höhe von ca. 350 kWp zu installieren.

Auf den Abbildungen 2 und 3 ist die Süd- und die Westansicht des Stadions zu sehen. Auf den ca. 600 m² großen Fensterflächen könnte man Photovoltaik-Folie anbringen, die zusätzlich noch als Sonnenschutz dienen kann. Eine weitere Möglichkeit zur solaren Stromgewinnung und zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung von Photovoltaik ist der Einsatz von Sonnenschutzelementen mit integrierter Photovoltaik, siehe Abbildung 22 unten.



Abb.21: Stadion Westansicht



Abb.22 Stadion Südansicht



Abb.23: Solare Überdachung

Quelle: <http://www.grammer-solar.de>

Direkt neben dem Stadion, auf der Südwestseite, befindet sich eine Freifläche (siehe auch Abb. 24). Je nach Verwendung des Platzes, würden sich dort während der Fußballweltmeisterschaft Infostände, Werbetafeln, Verkaufsstände, Eyecatcheranwendungen, Solarüberdachungen etc. aufstellen lassen.

Vor dem Stadion sollte eine große Informationstafel über Photovoltaik aufgestellt werden. Weiter können Messtafeln anzeigen, wie viel Leistung am Stadion oder in der ganzen Stadt installiert ist. Zusätzlich könnten folgende Daten angezeigt werden: Größe der Anlagen, Stromertrag, optimale Ausrichtung, aktuelle Stromerzeugung, maximaler oder minimaler Stromertrag, durchschnittlicher Stromertrag im Jahr, CO₂ Minderung durch PV etc.



Abb.24: Platz Südwest



Abb.25: Solare Parkplatz Überdachung

Quelle: <http://www.bigfrogmountain.com>

5.1.2 *Bahnhof und Umgebung*

Am Bahnhof werden erwartungsgemäß viele WM Besucher anzutreffen sein. Aus diesem Grund muss insbesondere am Bahnhof, an dem auch Wartezeiten zu überbrücken sind, auf Photovoltaik aufmerksam gemacht werden.

Hier würden sich Anwendungen eignen die auf den ersten Blick die Neugier und das Interesse des Betrachters wecken und dadurch auch die Wartezeit am Bahnhof zur Informationsaufnahme nutzbar machen.

Der Hauptbahnhof liegt zwischen der Innenstadt und dem Fritz-Walter-Stadion. Das Stadion und die Stadt sind in wenigen Minuten zu Fuß vom Bahnhof aus zu erreichen.

5.1.3 *Bahnhof*

Wie in Abbildung 26 zu erkennen ist, wäre das Dach des Gebäudes sehr gut geeignet, um eine PV-Anlage darauf anzubringen. Lediglich einige Schornsteine und Dachfenster verringern die nutzbare Fläche.



Abb.26: Luftbildaufnahme Bahnhof Kaiserslautern

Die Vorderansicht des Bahnhofes ist nach Norden ausgerichtet und deshalb für PV nicht geeignet (siehe Abbildung 26). Die Abbildung 27 zeigt einen Platz gegenüber des Bahnhofs. Hier sollte eine große Informationstafel über Photovoltaik aufgestellt werden. Darüber hinaus

könnte man einen „solaren Blickfang“ dort zur Anwendung bringen wie z.B. ein solares Kunstwerk, einen Solarbaum oder ähnliches (siehe Abbildung 29).



Abb.27: Vorderansicht Bahnhof (Nordansicht)



Abb.28: Platz gegenüber des Bahnhofs



Abb.29: Solarglobus
Quelle: www.odorumpf.de 15.10.04

Alle vier Bahnsteige des Bahnhofs sind überdacht und könnten mit PV ausgestattet werden. Wie auch auf der Abbildung 30 zu erkennen ist, stehen dort Werbeplakate, die man mit solarem Strom beleuchten könnte.



Abb.30: Bahnsteigüberdachungen



Abb.31: Bahnsteigüberdachungen

Das Bahnhofsgebäude ist ca. 100 m lang und besitzt ein südlich ausgerichtetes Satteldach. Das Dach wird durch einige Dachfenster unterbrochen, trotzdem könnte man hier Photovoltaik Module auf einer Fläche von ca. 500 m² auf dem Dach anbringen. Ebenfalls könnte man Verschattungselemente vor den Fenstern montieren, die mit PV Modulen ausgestattet sind.



Abb.32: Innenhof des Bahnhofes (Südansicht)



Abb.33: Dach des Bahnhofgebäudes

5.1.4 PV-Lärmschutzwände am Bahnhof

Um den Lärm am Bahnhof für die Anwohner zu minimieren, sollten Lärmschutzwände mit PV-Modulen errichtet werden. Diese verringern nicht nur die Lärmeinwirkung auf die Anwohner, sie können auch eine Bereicherung für das Stadtbild darstellen. Eine Photovoltaik-Lärmschutzwand entlang der Schienen hätte den Vorteil, dass die Anreisenden mit dem Zug die PV-Module auf den Lärmschutzwänden direkt sehen könnten.



Abb.34: PV-Lärmschutzwand

Quelle: http://www.feistritzwerke.at/index_246.htm



Abb.35: PV-Lärmschutzwand

Quelle: http://www.feistritzwerke.at/index_246.htm

5.1.5 Verkehrsknotenpunkte

Geht man vom Bahnhof in Richtung Stadt, passiert man einen Verkehrsknotenpunkt. Dieser wird in der Abbildung 36, und 37 dargestellt. Die Kreuzung, führt entlang der Barbarossastraße in Richtung Autobahn, in Richtung Stadion zum Bahnhof und schließlich in die Eisenbahnstraße und damit zur Innenstadt. Darüber hinaus wird auf dem Ehemaligen Bosch Gelände der Fantreff eingerichtet. An einem zentralen Punkt wie diesem sollte ein solarer Blickfang, wie in Abbildung 38 abgebildet, installiert werden.



Abb.36: Verkehrsknotenpunkt Richtung Ost



Abb.37: Verkehrsknotenpunkt



Abb.38: Photovoltaik-Baum

Quelle: <http://www.solarcafe.de/Projekte/Solarbaum/unten.html>

Von diesem Verkehrsknotenpunkt aus in Richtung Stadion erreicht man einen Kreiselpunkt (Abbildung 39). Auf diesem Kreiselpunkt stehen bereits 11 Figuren von Fußballspielern. Man könnte nun zusätzlich auf dem Kreiselpunkt einen weiteren „Eye-Catcher“ aufstellen. Eine Möglichkeit wäre ein großer Fußball aus PV Modulen. Eine Andere wäre ein großes WM Logo aus PV Modulen.



Abb.39: Kreiselpunkt mit Spielern



Abb.40: Kreiselpunkt mit Spielern

5.1.6 Justizzentrum

Die Vorderansicht des Justizzentrums ist südlich ausgerichtet. Hier würde sich eine Fassadenintegrierte Photovoltaik Anlage installieren lassen. Auch Verschattungselemente aus PV Modulen könnten vor den Fenstern angebracht werden.



Abb.41: Justizzentrum Vorderansicht (Südansicht)



Abb.42: Beispiel Fassade mit integrierter PV

Quelle: <http://www.jansen.com/d/s/bau/bau1e.html>

Auf dem Gebäude selbst könnten, wie die Luftbildaufnahme belegt, ebenfalls PV Anlagen installiert werden. Die geeignete Fläche für Photovoltaik-Aufständerungen auf den Dächern beträgt ca. 1400 m².



Abb.43: Luftbildaufnahme Justizzentrum



Abb.44: Beispiel Flachdachaufständerungen
Quelle: <http://www.jansen.com/d/s/bau/bau1e.html>

5.1.7 Polizeipräsidium

Die Fassade des Polizeipräsidioms ist ebenfalls südlich ausgerichtet. Hier könnten Verschattungselemente mit PV angebracht werden. Das Flachdach ist für photovoltaische Zwecke nutzbar.



Abb.45: : Polizeipräsidium Vorderansicht



Abb.46: Polizeipräsidium Südwestansicht

5.1.8 Postamt

Auf dem Flachdach des Postamtes könnten PV Aufständerungen installiert werden. Hier ist eine Fläche von ca. 600 m² vorhanden. Die nutzbare Fläche bei Aufständerungen wären 30% der Gesamtfläche, also 180 m². Darüber hinaus könnten Verschattungselemente mit integrierten PV-Modulen vor den Fenstern der Gebäudefassade angebracht werden.



Abb.47: Luftbildaufnahme Post



Abb.48: Postamt (Südostansicht)

Auf der Abb.49 wird ein Wohngebäude dargestellt, welches direkt hinter der Post gelegen ist. Blickt man also vom Bahnhof aus in Richtung Post, wird man auf den vorderen Teil dieses Gebäudes aufmerksam. Hier würde sich eine Photovoltaikschrägdachanlage gut eignen. Das Dach des Wohngebäudes hat eine Fläche von ca. 200 m², die für Photovoltaik-Module nutzbar wäre.



Abb.49: Wohnhaus



Abb.50: Beispiel Flachdachaufständerungen

5.1.9 Zollamtstrasse

Die Zollamtstrasse liegt hinter dem Bahnhof. Dort befindet sich zur Zeit eine Baustelle. In diesem im Bau befindlichen Gebäude soll eine große Galerie entstehen, mit Handel, Hotel und Klinik, etc.. Bis zur Fertigstellung des Gebäudes sollte geklärt werden, inwieweit man hier Photovoltaik anwenden könnte, falls dies noch nicht in der Planung ist. Des weiteren könnte man hier sehr gut Schallschutzwände mit integrierter PV anbringen, da sich der neue Komplex unmittelbar neben den Bahngleisen befindet. Auf der Abbildung 51 ist zu sehen, wie das Gebäude nach der Fertigstellung aussehen soll.



Abb.51: Baustellenschild



Abb.52: Baustelle Zollamtstrasse



Abb.53: Baustelle Zollamtstrasse

5.1.10 Barbarossastrasse

Die Barbarossastrasse ist eine sehr viel befahrene, zweispurige Wegstrecke, welche von der Stadt zur Autobahn führt. Die Gebäude entlang dieser Strecke sind grundsätzlich sehr gut für Photovoltaikanlagen geeignet, da die Straße von Osten nach Westen verläuft. Das heißt, die Gebäude sind großteils südlich ausgerichtet insbesondere auch die Südfassaden sind geeignet.

5.1.11 Arbeitsamt

Das Arbeitsamt befindet sich am Anfang der Barbarossastraße. Die Fassade des Arbeitsamtes ist mit neuen Granitplatten ausgestattet, eine Fassadenintegration ist somit ausgeschlossen. Teile des Flachdaches hingegen würden sich sehr gut eignen, da sich hier eine relativ hoch gelegene und große Fläche von ca. 900 m² zur Nutzung anbietet. Die Dächer besitzen unterschiedliche Höhen Niveaus, daher können in Anbetracht der gegenseitigen Verschattung nur Abschnitte der Dächer genutzt werden (Abb.54: Luftbildaufnahme).



Abb.54: Luftbildaufnahme des Arbeitsamtes



Abb.55: Arbeitsamt (Südostansicht)



Abb.56: Arbeitsamt (Südostansicht)

5.1.12 DRK

Das Gebäude der DRK liegt ebenfalls in der Barbarossastraße, direkt neben dem Arbeitsamt. Das Flachdach des Gebäudes könnte man mit Photovoltaik bestücken. Es ergibt sich eine Fläche von ca. 700 m². Die rechte, niedrigere Seite des Daches würde sich besonders gut eignen, da die Besucher die Aufständungen auf dem niedrigeren Gebäudeteil von der Straße aus sehen könnten. Links neben dem Gebäude ist ein großer Parkplatz von ca. 1600 m², der sich für solare Unterstellmöglichkeiten für Autos eignen würde.



Abb.57: Luftbildaufnahme DRK



Abb.58: DRK (Südansicht)

5.1.13 Lidl

In der Barbarossastrasse liegt des Weiteren ein Markt der Lidl Einkaufskette. Die Dachfläche ist südlich ausgerichtet. Das Gebäude ist sehr niedrig und besitzt ein Satteldach, welches sich gut für eine PV-Anlage eignen würde, da hier keine Verschattung vorhanden ist. Von der Barbarossastrasse aus sieht man die gesamte Dachfläche der Geschäftsräume. Die südliche Dachfläche hat eine geschätzte Fläche von ca. 1000 m².



Abb.59: Lidl Vorderansicht (Südansicht)



Abb.60: Lidl Vorderansicht (Südansicht)

5.1.14 Gebrüder Pfeiffer AG

Das Gebäude der Firma Pfeiffer AG liegt direkt neben dem Lidl Markt in der Barbarossastrasse. Wie auf dem Foto zu erkennen, ist das Gebäude sehr lang. Die Fassade würde sich gut für Fassadenintegrierte Photovoltaik eignen, da sie nur recht einfach mit Trapezblech bekleidet ist. Besonders eignet sich auch das Flachdach. Hier würde eine Fläche von ca. 3.000 m² für Photovoltaikaufständerungen zur Verfügung stehen.

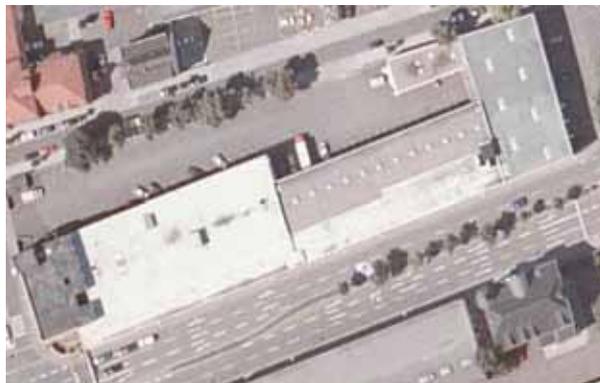


Abb.61: Luftbild Gebrüder Pfeiffer



Abb.62: Gebrüder Pfeiffer Vorderansicht (Südansicht)



Abb.63: Beispiel Fassadenintegrierte PV

Quelle: http://www.eurosolar.at/solarpreis_2002_strasswalchen.html

5.1.15 Messeplatz

Am Messeplatz werden die Besucher der Weltmeisterschaft von den P&R Bussen abgesetzt oder abholt. Er hat eine Fläche von ca. 35.000 m². Der Messeplatz wäre ebenfalls geeignet für eine „Eye-Catcher“ Anwendung. Hier könnten auch eventuell Haltestellen mit PV aufgestellt werden und auch die Fahrpläne der Busse könnten durch solaren Strom beleuchtet werden. Darüber hinaus wäre es möglich während der WM Messtafeln, Verkaufsstände und Infotafeln aufzustellen, auf denen sich die Besucher über Photovoltaik informieren könnten, während sie auf die Busse warten.



Abb.64: Messeplatz Westansicht

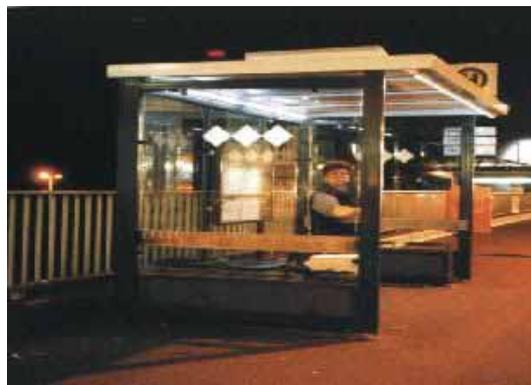


Abb.65: Beispiel solarer Fahrplan

Quelle: <http://www.solarplanet.de/seite11.html>



Abb.66: Beispiel solare Bushaltestelle

Quelle: <http://www.solarplanet.de/seite11.html>

5.1.16 Eisenbahnstrasse

In Anbetracht der Tatsache, dass die Eisenbahnstrasse als WM Meile ausgewiesen ist, wird dort sehr viel Publikumsverkehr herrschen, denn die Besucher werden durch diese Strasse in

die Innenstadt geleitet. Die Eisenbahnstrasse verläuft jedoch von Süd nach Nord, deshalb sind die Gebäudefassaden nicht für Photovoltaik geeignet. Auch sind die Gebäude sehr hoch und eine öffentlichkeitswirksame Nutzung der Dachflächen mit PV-Anlagen ist nicht möglich. Eine alternative der solaren Anwendung bestände jedoch darin, dass man ein oder auch mehrere Solarsegel über die Straße spannt, wie in Abbildung 67 zu sehen ist. Diese Maßnahme würde sich hervorragend für die öffentlichkeitswirksame Integration von Photovoltaik in Kaiserslautern eignen.



Abb.67: Eisenbahnstrasse Richtung Bahnhof (links), Richtung City (rechts)

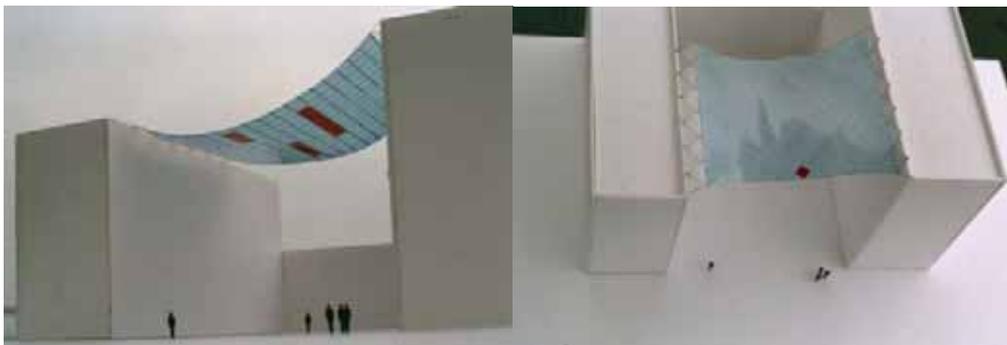


Abb.68: Beispiel Solarsegel

5.1.17 Freifläche und C&A Modehaus

Die Freifläche liegt unmittelbar links neben dem Modehaus C & A in der Eisenbahnstrasse. Sie steht in Privatbesitz und ist für die WM bereits von der WM Organisation angemietet. Hier könnte man sehr gut Infotafeln zur PV, Eye-Catcher Anwendungen oder Nachführsysteme zur öffentlichkeitswirksamen Darstellung aufstellen.



Abb.69: Freifläche links neben C&A (Westansicht)



Abb.70: Beispiel Nachführsystem

Quelle: <http://www.rewirpower.de>



Abb.71: Beispiel Solarekunst

Quelle: <http://www.naturgutophoven.de>

Das Modehaus C & A könnte seine recht einfache Fassade mit integrierter Photovoltaik verschönern, oder auch ein Logo mit einbeziehen, wie es in Abbildung 74 dargestellt ist. Ebenfalls könnte man auf dem Flachdach PV-Module auf einer Fläche von ca. 2.300 m² aufstellen.



Abb.72: Modehaus C & A (Südansicht)



Abb.73: Beispiel Fassadenintegrierte PV

Quelle: http://www.solarenergie-mv.de/photovoltaik/photovoltaik_gebaeude.html



Abb.74: Beispiel Werbung mit PV

Quelle: <http://www.pvt-austria.at>

5.1.18 Modehaus Söllner

Das Modehaus Söllner liegt in der Eisenbahnstrasse. Hier könnte beispielsweise das Logo mit Photovoltaik Modulen betrieben werden, welches in der Nacht leuchtet. Auf dem Dach kö-

könnte man PV Module von ca. 170 m² Fläche errichten. Die südlich ausgerichtete Hauswand ist nicht geeignet, da sie von dem gegenüberliegenden Haus verschattet wird.



Abb.75: Modehaus Söllner (Südansicht)

5.1.19 Stiftsplatz

Der Stiftsplatz gehört zur WM Meile und ist ein sehr zentraler Punkt in der Stadtmitte. Während der WM wird hier ständig ein Unterhaltungsprogramm statt finden. Der Platz ist sehr groß und hat ca. eine Fläche von 3.000 m². Hier könnte man sehr gut über Photovoltaik informieren und beispielsweise zur Veranschaulichung einen Solarbaum oder einen Dachauschnitt aufstellen, siehe Abb.77 und Abb.78. Auch könnte man während der WM sehr gut Infostände, Messtafeln, Verkaufsstände, etc. aufstellen sofern dies mit der Fifa vereinbar ist. Auf der Abb.79 ist ein Hotelneubau zu sehen. Die Fassade würde sich sehr gut für Fassadenintegrierte Photovoltaik eignen, da sie südwestlich ausgerichtet ist. Das Flachdach eignet sich mit einer Fläche von ca. 630 m² ebenfalls für die solare Stromerzeugung.



Abb.76: Luftbildaufnahme Stiftsplatz



Abb.77: Beispiel Solarbaum

Quelle: http://www.fotoportfolio.at/aktuell/contend_archakt1.htm



Abb.78: Dachausschnitt mit Photovoltaik Modulen

Quelle: http://www.fotoportfolio.at/aktuell/contend_archakt1.htm

Das Bürogebäude, welches auf der Abbildung 79 zu sehen ist, besitzt ebenfalls ein Flachdach, dass sich für Photovoltaik Aufständerungen auf einer Fläche von ca. 500 m² eignen würde.



Abb.79: Stiftsplatz mit einem Hotelneubau (Mitte) und einem Bürogebäude links

Bei dem Bürogebäude steht eine Flachdachfläche von ca. 1300 m² zur Verfügung, auf der man Photovoltaik Aufständerungen anbringen könnte.



Abb.80: Bürogebäude Ostansicht

Die Sparkasse und die LBS verfügen über sanierte Fassaden. Sie sind daher eher uninteressant für eine photovoltaische Nutzung. Das Flachdach der LBS würde sich hingegen gut eignen. Hier steht eine Fläche von ca. 250 m² zur Verfügung. Einen Teil des Daches der Sparkasse von etwa 300 m² könnte ebenfalls für PV-Anlagen genutzt werden.



Abb.81: Sparkasse Nordostansicht



Abb.82: LRP Nordostansicht

5.1.20 Am Altenhof

Dieser Platz liegt mitten in der Innenstadt und gehört zur WM Meile. Ein Beispiel für die Anwendung von Photovoltaik, wäre das Anbringen von Sonnenschutzelementen mit integrierter Photovoltaik (Abb.83). Auf dem Platz befinden sich Cafes, deshalb würden sich hier weitere Anwendungen wie Infostände, Werbetafeln, Messtafeln, Verkaufsstände, etc. eignen, da sich hier viele Besucher der Weltmeisterschaft aufhalten werden.



Abb.83: Am Altenhof

Die Sparkasse, die sich ebenfalls am Altenhof befindet, könnte mit photovoltaischen Verschattungselementen bestückt werden (siehe Abbildung 84).



Abb.84: Sparkasse (Am Altenhof)



Abb.85: Beispiel Sonnenschutz

5.1.21 Schillerplatz

Der Schillerplatz ist ein zentraler Punkt in der Stadtmitte und gehört ebenfalls zur WM-Meile. Der Schillerplatz würde sich gut für Infostände, Messtafeln, Verkaufsstände, etc. eignen. Auf der Abbildung 86 sieht man eine Bushaltestelle. Diese könnte mit Photovoltaik bestückt werden. Auf dem Platz steht bereits ein Brunnen, den man auf Abbildung 88 erkennen kann. Dieser könnte durch solaren Strom betrieben werden.



Abb.86: Bushaltestelle Schillerplatz



Abb.87: Beispiel solare Bushaltestelle



Abb.88: Schillerplatz mit Blick auf Fruchthalle

Abb.88: Schillerplatz mit Blick auf Fruchthalle



Abb.89: Beispiel solarer Brunnen

Das Satteldach der Fruchthalle hat eine Größe von ca. 1000 m² und eignet sich sehr gut für den Einsatz von Photovoltaik, da das Dach südlich ausgerichtet ist und auch eine öffentlichkeitswirksame Darstellung für Photovoltaik bietet.



Abb.90: Satteldach der Fruchthalle

Quelle: <http://www.schoenow-buschgraben.de/Holzhaus/solar/technisch.htm>



Abb.91: Beispiel Messtafel Photovoltaik

Quelle: <http://www.schoenow-buschgraben.de/Holzhaus/solar/technisch.htm>

5.1.22 Richard-Wagner-Straße

Die Richard-Wagner-Straße gehört nicht unmittelbar zur WM Meile, verläuft jedoch wie auch die Eisenbahnstrasse von Süden nach Norden, beginnend am Bahnhof bis hin zur Innenstadt. Ein Einsatz von PV ist aufgrund der Ausrichtung schwierig jedoch teilweise möglich. Um auch hier auf die Solarstadt Kaiserslautern aufmerksam zu machen, könnte ein Solarsegel gespannt werden. Alternativ könnte an der Fassade des Gebäudes auf Abbildung 92 eine Fassadenanlage montiert werden.



Abb.92: Richard-Wagner-Strasse



Abb.93: Wohnhaus Südansicht in Richtung Bahnhof

5.1.23 Rathaus

Das Rathaus gehört eigentlich nicht zur WM Meile. Das Gebäude liegt aber noch in der Stadtmitte und da man es von fast überall sieht, wäre es sehr gut geeignet für eine öffentlichkeitswirksame Darstellung der Photovoltaik.

Vor dem Gebäude befindet sich eine Parkfläche. Dort könnten solare Unterstellmöglichkeiten für die Autos installiert werden. Auf den niedrigeren Dachflächen, wie in Abbildung 95 zu erkennen, könnte man Flachdachaufständerungen aufstellen.



Abb.94: Rathaus



Abb.95: Rathaus Südansicht



Abb.96: Beispiel solare Überdachung

5.2 Parkplatzflächen Konzept für Photovoltaik

5.2.1 Parkbereich Nord (Industriegebiet)

Hier soll temporär für die WM ein Parkplatz errichtet werden. Es bietet sich hier also nicht an Photovoltaik Anlagen zu installieren.

5.2.2 Parkbereich Süd (Uni, Barbarossahalle)

Die Parkplatzflächen an der Universität werden schon heute als Park&Ride-Parkplätze für Fußballspiele im FCK Stadion genutzt. Auch während der WM erfahren diese Parkplätze eine verstärkte Nutzung. Daher wurden Vorschläge entwickelt, wie die Parkplatzflächen einer photovoltaischen Nutzung zugeführt werden können.

5.2.2.1 Parkbereich Technische Universität

Eine auf dem Weg (Trippstadter Straße) zur Universität vorhandene Brücke (Südfassade) kann wie in der Abbildung oben mit PV verkleidet werden. Die Brücke ist ca. 50 m lang.



Abb.97: Brücke Süd (Trippstadter Straße)



Abb.98: Beispiel Brücke mit Photovoltaik
Quelle: www.solaragency.org

Die Auffahrt zum ersten Parkplatz am Universitätsgelände eignet sich schlecht zum Aufstellen von PV-Anlagen, da der meiste Teil der Strecke durch den nahe liegenden Wald verschattet wird.



Abb.99: Straße zum Universitätsgelände

Wie auf den Abbildungen unten zu sehen ist, findet auf dem ersten Parkplatz eine hohe Verschattung durch Bäume statt. Es wäre zu überlegen, ob die in der Mitte des Parkplatzes befindlichen Bäume versetzt werden. Somit könnten hier Carports aufgestellt werden. Auch eignet sich hier die Parkplatzbeleuchtung zum Anbringen einer PV- Anlage. Die Parkplatzfläche ist ca. 4.450 m² groß.



Abb.100: Universitätsparkplatz



Abb.101: Universitätsparkplatz 1



Abb.102: Universitätsparkplatz 1

Weiterhin befinden sich auf dem Universitätsgelände fünf gleich große Parkplätze. Jeder der Parkplätze ist ca. 900 m² groß.

Die Parkplätze, die in der Mitte jeder Parkfläche liegen, eignen sich grundsätzlich zum Aufstellen von Carports, die mit PV- Modulen ausgestattet sind.



Abb.103: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht)

Um die Aufmerksamkeit der WM- Besucher zu wecken, könnten Infotafeln aufgestellt werden, die anzeigen, wie viele PV-Module auf dem Parkplatz installiert sind (Fläche, Stromertrag, Ausrichtung, aktuelle Stromerzeugung).



Abb.104: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht)

Die Parkfläche links (Bild oben) ist ca. 1700 m² und die Fläche rechts ist ca. 2400 m² groß. Die Fläche links wird von den umliegenden Bäumen an den Seiten beschattet. Jedoch ist die Mitte des Parkplatzes relativ unbeschattet. Die Fläche rechts wird von den umliegenden Bäumen, Sträuchern und von den angrenzenden Gebäuden beschattet. Aus diesem Grund ist diese Parkfläche nicht geeignet, um PV Anlagen zu installieren.



Abb.105: Luftbildaufnahme der Parkplätze an der TU (Südansicht)

Die größte der Parkplatzflächen ist ca. 4.700 m² groß. Wie auf dem Luftbild zu erkennen ist, wird dieser Parkplatz von den umliegenden Bäumen und Gebäuden kaum beschattet. Diese Parkfläche eignet sich wegen ihrer großen Fläche sehr gut zum Aufstellen von Werbetafeln, die mit PV betrieben werden. Auch können hier Carports oder Nachführsysteme aufgestellt werden.



Abb.106: Luftbildaufnahme, Gebäude 47 und 7²



Abb.107: Gebäude 47

Die Fassade des Gebäudes (hier die obere Hälfte) eignet sich zum Anbringen von PV- Modulen, besonders geeignet sind PV- Klebefolien oder Verschattungselemente, die an den Fenstern angebracht werden. Auch die obere Dachfläche des Gebäudes, welche ca. 200 m² groß ist, kann zum Aufstellen einer PV- Anlage genutzt werden.

Abb.108: Gebäude 7² (Ost- Ansicht)

Des weiteren ist es möglich das Nebengebäude (Ausrichtung Süd- Ost) mit einer Fläche von ca. 400m² für eine Dach- PV Anlage zu nutzen.

5.2.3 Autobahnausfahrten, Stadtzufahrten

An den Autobahnausfahrten Kaiserslautern Ost und West könnten Nachführsysteme aufgestellt werden. Damit ist eine ständige Sonneneinstrahlung garantiert, da diese sich ständig der Sonne zuwenden.



Abb.109: Abfahrt KL- Ost

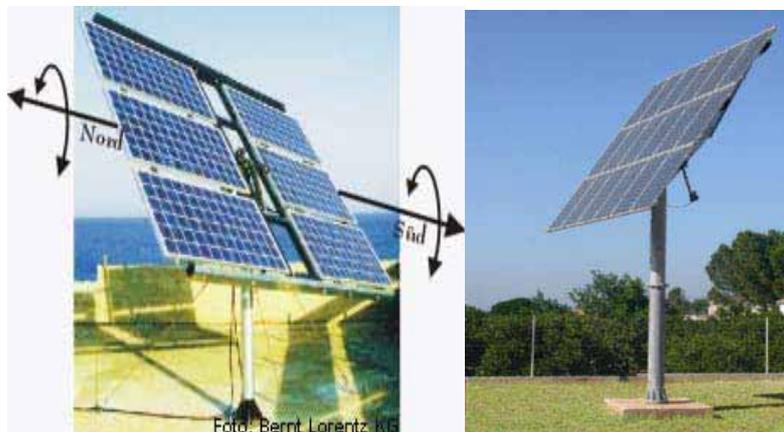


Abb.110: Hydraulisch-passives Nachführsystem

Quelle: www.solarserver.de

Die solare Informationstafel in Abb.111 ist ca. 3,5 m hoch und erbringt eine Leistung von ca. 50 W. Eine sich im Boden befindende Batterie speichert die tagsüber durch das Photovoltaikmodul produzierte Solarenergie. Bei Dunkelheit wird die Beleuchtung mit Hilfe einer Zeitschaltuhr auf die gewünschte Beleuchtungsdauer eingestellt. Diese Anwendung würde sich für alle Ortseingangsschilder nach Kaiserslautern eignen



Abb.111: Beispiel Solarbeleuchtete Informationstafel

Quelle: www.kopf-solardesign.com

In Abb.113 ist ein Kreisel in der Nähe des Möbel-Martin zusehen. Dies ist gleichzeitig die Ortseinfahrt nach Kaiserslautern. Ein solares Nachführsystem könnte zusätzlich installiert werden. Darüber hinaus könnte hier an eine Installation eines Moduls als „Kappe“ für das rote Männchen gedacht werden, oder an eine Brüstungsanlage an der Straßenüberbauung.



Abb.112: Ortseinfahrt KL - Kreisel am Möbel-Martin



Abb.113: Ortseinfahrt Straßenbahnüberbauung

5.2.4 Parkbereich West, Einsiedlerhof, Jakob- Pfeiffer-Straße

Der Parkbereich West wird zurzeit als P&R-Möglichkeit für Veranstaltungen in Kaiserslautern genutzt. Laut der Auskunft von Jürgen Dressing, einem Mitarbeiter der Stadtverwaltung, wird die Jakob-Pfeiffer-Straße, die ca. 1157 m lang ist, komplett gesperrt und teilweise umgebaut, um für die Fans Parkmöglichkeiten zu schaffen.



Abb.114: Luftaufnahme der Jakob- Pfeiffer- Straße

Quelle: Referat für Recht und Ordnung

Weitere Informationen liegen nicht vor. Auch existiert der Lageplan dieser Straße noch nicht. Der Verkehr soll durch die Von- Miller- Straße geleitet werden. Aus diesem Grund ist zu überlegen, ob entlang dieser Straße PV-Anwendungen aufgestellt werden, um die dort ankommenden Fans auf Photovoltaik aufmerksam zu machen.



Abb.115: Von- Miller- Straße

Die Flächen entlang der Von Miller Straße eignen sich zum Aufstellen von Werbetafeln, die mit PV ausgestattet sind. Die am Einsiedlerhof ansässigen Unternehmen könnten diese Werbetafeln mieten, um für ihr Unternehmen zu werben. Des Weiteren bietet es sich an, die Straßenbeleuchtung mit PV zu betreiben.



Abb.116: Straßenbeleuchtung „Glamorgan 1“

Quelle: www.eets.co.uk

Die Biodieseltankstelle in Abb.117 ist nach Süd- Osten ausgerichtet und befindet sich in der Von- Miller- Straße. Da die Tankstelle sehr unscheinbar ist und auch kein Schild entlang der Straße darauf hinweist, wäre es ratsam ein Hinweisschild aufzustellen, welches auf die Tankstelle aufmerksam macht. Ein potentieller Sponsor in diesem Fall wäre zum Beispiel die Firma Coca Cola, die ebenfalls entlang der Jakob- Pfeifer- Straße niedergelassen ist.



Abb.117: Tankstelle für Biodiesel

5.2.5 Deponiestandort Siegelbach

Die Mülldeponie Siegelbach soll mit einer PV Freiflächenanlage ausgerüstet werden. Nach Angaben des Ingenieurbüros Arcadis ist eine Fertigstellung für Ende 2005 vorgesehen. Die bisher geplante Anlagenleistung soll ca. 1,4 MW betragen.



Abb.118: Deponie Gelände Siegelbach

5.2.6 Opelparkplatz

Der Opelparkplatz ist ca. 21.400 m² groß. Wie zu sehen ist, wird der Parkplatz kaum verschattet. Aus diesem Grund könnten Carports auf dem Parkgelände aufgestellt werden. Diese bringen noch den zusätzlichen Nutzen, dass sie die Fans sowie deren Fahrzeuge vor Witterungseinflüssen schützen.



Abb.119: Luftbildaufnahme Opelparkplatz



Abb.120: Beispiel Carport mit PV

Quelle: www.rweschottsolar.de

Die solarbetriebene Informationstafel ist ein unabhängiger Informationspunkt. Die Anlage lässt sich um einen Trinkbrunnen erweitern, der den Passanten als Erfrischung dient. Die Tafel ist ca. 3 m hoch und erbringt eine Leistung von ca. 200 W.

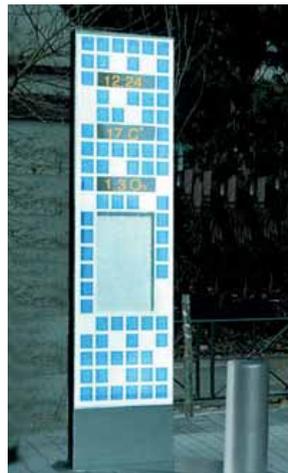


Abb.121: Solarbetriebene Informationstafel

5.2.7 Parkbereich Ost, Schweinsdell, Eselsführth

Das Flachdach des Real- Marktes ist ca. 18.000m² groß. Es ist besonders gut zum Aufstellen von PV- Anlagen geeignet. Auch eignet sich das Flachdach des darunter positionierten Gebäudes zum Aufstellen von PV- Modulen. Die Fläche beträgt ca. 1.600m².



Abb.122: Luftbildaufnahme Real- Supermarkt (Süd- Ansicht)

Auch die nach Süden ausgerichtete Fassade des REAL- Supermarkt könnte für die Installation von PV Anlagen genutzt werden.



Abb.123: Real Fassade

Der Parkplatz eignet sich gut zum Aufstellen von Carports. Die gesamte Parkplatzfläche beträgt ca. 11.000m². Zum Anbringen oder Aufstellen von PV- Anlagen sind besonders die Parkplatzeihen 1 bis 4 gut geeignet. Um Frauen (Gender Mainstreaming) mehr Sicherheit auf den Parkplätzen zu garantieren, könnten Frauenparkplätze mit Hilfe der Carports geschaffen werden.



Abb.124: Real Parkplatz (Nordansicht)



Abb.125: Real Parkplatz (Süd- Westansicht)



Abb.126: Beispiel Carports mit PV

Quelle: www.rweschottsolar.de

Auch die Parkplatzbeleuchtung könnte mit einer PV Anlage ausgestattet werden, um somit den Parkplatz bei Dunkelheit zu beleuchten.



Abb.127: Lichtenanlage des Supermarktes

Die auf dem Parkplatz vorhandenen Schilder (hier: Ausfahrtschilder) können mit PV ausgestattet werden. Der dadurch erzeugte Strom könnte zur Beleuchtung des Schildes selbst genutzt oder in einer Batterie gespeichert und für die Parkplatzbeleuchtung verwendet werden.



Abb.128: Parkplatzbeschilderung

Die obere Fläche des Unterstellplatzes für die Einkaufswagen könnte evtl. mit Photovoltaikklebefolie versehen werden, um somit zusätzlich Strom für die Parkplatzbeleuchtung zu erzeugen.



Abb.129: Unterstellplatz Einkaufswagen

Auf dem Parkplatz des Supermarktes befinden sich einige Ankettstellen für Fahrräder. Diese sind zur Zeit nicht überdacht. Damit ist zurzeit kaum Schutz für die Fahrräder gegen Witterungseinflüsse vorhanden. Eine mit Photovoltaik ausgestattete Überdachung, wie sie nachfolgend abgebildet ist, würde einen Witterungsschutz bieten.



Abb.130: Real- Parkplatz (Fahrradstellen)



Abb.131: Anwendungsbeispiel Pergola

Quelle: www.rweschottsolar.de

Die installierte Leistung der Pergola liegt hier bei 1 kWp.

6 Öffentlichkeitsarbeit zum Thema Photovoltaik

6.1 Gewinnspiel

Während der WM könnte für die Besucher ein Gewinnspiel angeboten werden. Dieses könnte aus allgemeinen Fragen zum Thema Photovoltaik bestehen bzw. es wäre möglich, dass die WM-Gäste entlang der so genannten „WM Meile“ nach speziellen PV- Anlagen suchen müssen z.B. einem Kunstwerk oder einer Fassadenanlage.

Für die Teilnehmer könnten Preise wie z.B. eine PV- Anlage einer bestimmten Größe als Hauptgewinn oder ein Solarauto angeboten werden. Weitere Gewinn Ideen wie Solaruhren, Solartelefon, Solarlampen, Solarbetriebene Spielzeuge und Taschenrechner sind denkbar. Ebenfalls wäre es eine Möglichkeit auch spezielle Suchspiele für die Kinder auszurichten.



Abb.132: Solarauto



Abb.133: Solarlampe



Abb.134: Solaruhr



Abb.135: Solarspielzeug

6.2 Photovoltaik Logo Wettbewerb

Zur WM in Kaiserslautern sollte ein Solar Logo entwickelt werden. Das Logo soll auf den Photovoltaik bestückten Gebäuden angebracht werden, um dem Gedanken einer Corporate Identity zu folgen. Dies ist auf jeden Fall sinnvoll, da man Dachflächenanlagen oft nicht direkt erkennen kann und so die Besucher der WM evtl. nicht direkt wahrnehmen an welchen Standorten in Kaiserslautern Photovoltaik installiert wurde.



Abb.136: Beispiel Solar Logo

Das Logo könnte im Rahmen eines „Schulwettbewerbes“ entwickelt werden. Die Schüler sollen mit kreativen Ideen ein einprägsames Logo entwerfen. Des Weiteren sollte das Logo einen hohen Wiedererkennungswert besitzen. Die besten Bilder könnten dann im Internet veröffentlicht werden und eine Internetabstimmung zur Bewertung ist denkbar.

6.3 *Solarstadt-Säule Kaiserslautern*

Die Stadt Kaiserslautern soll eine Solarstadt werden. An den wichtigsten Stellen der WM Meile sollte man z.B. eine Solarstadt-Säule aufstellen, um allen zu zeigen, wie wichtig die saubere Energie aus der Sonne für die Stadt Kaiserslautern ist. Die Säule könnte am Bahnhof, am Eingang der Barbarossastrasse, am Stiftsplatz, am Altenhof, am Schillerplatz, am Stadion und am Messeplatz aufgestellt werden.



Abb.137: Solarstadt-Säule

Quelle: http://www.gelsenkirchen.de/Leben_in_GE/Pressestelle/Solarsaeule.asp

6.4 Tag der Photovoltaik

Vor der WM sollte ein Tag der Photovoltaik veranstaltet werden. Im Vorfeld wird die Bevölkerung aufgefordert sich an dem Konzept „Solarstadt Kaiserslautern“ zu beteiligen. Am Tag der Photovoltaik sollten dann Informationen über Solar Logo, solare Werbetafeln, Infostände, Messtafeln, etc. bereit stehen. Die Messtafeln für Photovoltaik können beispielsweise von den ansässigen Firmen gesponsert werden. Auf den Tafeln wäre es dann möglich die Firmennamen zu veröffentlichen. Die Unternehmen sollten ebenfalls die Möglichkeit haben Werbetafeln aufzustellen, die mit PV betrieben sind.(Abb.138)

Private Haushalte und Gewerbe können sich an diesem Tag über alles informieren, was die Solarstadt Kaiserslautern betrifft. Zusätzlich sollten bestehende PV-Objekte an diesem Tag der Photovoltaik von der Öffentlichkeit besichtigt werden können.



Abb.138: Werbeschild eines Unternehmens



Abb.139: Werbeschild eines Unternehmens

Quelle:http://www.pvt-austria.at/farbige_module.html

6.5 Telefonhäuser

Solarbetriebene Telefonzellen (www.fh-telekom-leipzig.de) sollten entlang der WM Meile, am Bahnhof und am Stadion aufgestellt werden. Sie sind autark und könnten nur zur WM dort platziert werden.

6.6 Beschilderung Fußgängerleitsystem

Für die Weltmeisterschaft wurde ein Fußgängerleitsystem entwickelt. Dieses zeigt den Besuchern wo sie sind und in welche Richtungen sie gehen müssen, um beispielsweise an das Stadion zu gelangen. Die Beschilderung für das Fußgängerleitsystem sollte mit PV Modulen betrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass die Schilder nachts beleuchtet sind und dass keine neuen Kabel verlegt werden müssen.

Photovoltaik könnte somit in Kaiserslautern zu einer allgegenwärtig sichtbaren Technologie werden und ihr Dasein sollte von der Allgemeinheit als etwas alltägliches und zukunftsweisendes gesehen werden.

Eine Schautafel wie in Abb.140 zeigt eine der Möglichkeiten, der Bevölkerung in Kaiserslautern den gewonnenen Energieertrag durch Photovoltaik Anlagen näher zu bringen.



Abb.140: Anzeigetafel Kombination für Erneuerbare Energien und Wasserverbrauch

Quelle: Homepage Schneider Displaytechnik: <http://www.schneider-displaytechnik.de> [07.12.2004]

Solche Anzeigetafeln sollten vor den Gebäuden oder in deren Eingangsbereich bzw. bei photovoltaischen Anlagen an öffentlichen Stellen in direkter Sichtnähe aufgestellt werden. Die Schautafeln können technisch interessierten Bürgern und Bürgerinnen auf eine übersichtliche Weise die wichtigsten Daten über die Photovoltaikanlage liefern.

Auch ist es durch das Aufstellen solcher Tafeln möglich eine schwer öffentlichkeitswirksam darstellbare Dachflächenanlage für den Passanten greifbar zu machen.

In ihrer Anschaffung sind Schautafeln teuer und fördern in keiner Weise den Ertrag der Photovoltaik Anlage. Darum sollte versucht werden diese über Sponsorengelder zu finanzieren, wobei Anlagenbetreiber, als potentielle Sponsoren, als Gegenleistung ihr Logo auf der Schautafel platzieren könnten. Eine alternative zur Installation von einer Vielzahl von Anzeigetafeln wäre es zentrale Schautafeln einzurichten, die mit allen PV-Anlagen verbunden sind und den gesamten Solarstrom in Kaiserslautern zählen und den Passanten visualisieren. Falls diese Alternative umgesetzt werden sollte, ist darauf zu achten, dass eine einheitliche Kommunikationsschnittstelle zwischen den PV-Anlagen gewählt wird, um Komplikationen zu vermeiden.

In der Abb.141 wird ein Beispiel für eine solche Zentralgeschaltete Anlage aufgezeigt.

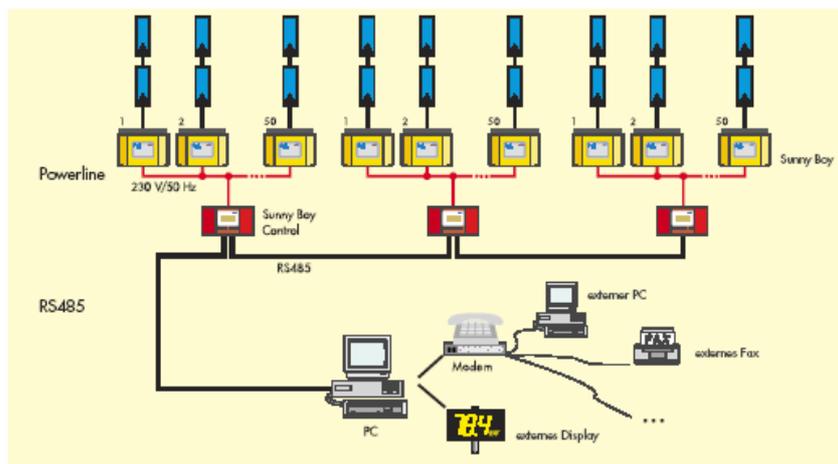


Abb.141: Überwachungssysteme und Zentrale Datenanzeige Möglichkeit
 Quelle: SMA Sunny Boy Kommunikation (Anzeige- und Überwachungssysteme)

6.7 Präsentationen von Photovoltaikanlagen

Während der WM könnten spezielle digitale Präsentationen auf geeigneten Gebäudewänden abgespielt werden. Dies könnten z.B. Anwendungen im Hausbereich sein, wie Gartenlampen, solar betriebene Brunnen, Photovoltaik auf Dachflächen, Gartenhäuschen mit PV, etc.. Auch wäre es möglich Luftbilder zu zeigen, auf denen die Photovoltaik in Kaiserslautern übersichtlich angezeigt wird. Hierzu gibt es leider noch kein anschauliches Beispiel.

7 Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse

Wie die Ausführungen in Kapitel zwei gezeigt haben, hat die Photovoltaik in den letzten Jahren eine starke Entwicklung erfahren und findet ihre Anwendung auf vielerlei Gebieten. Neben netzunabhängigen Inselanlagen, die vor allem zum Einsatz kommen, wenn der Verbraucher nicht an ein öffentliches Stromnetz angeschlossen werden kann, erfahren netzgekoppelte Photovoltaikanlagen eine immer größere Nachfrage. Wichtigster Bestandteil einer Photovoltaikanlage sind die Solarzellen. Auf der einen Seite wird hier die Energie der Anlage erzeugt, und auf der anderen Seite sind die Solarzellen der sichtbare Teil der Anlage und somit Gestaltungsobjekt. Durch die unterschiedlichen Typen von Solarzellen ergeben sich für Photovoltaikanlagen für die verschiedensten Einsatzbereiche. So können Solarzellen nicht nur der Grundstein für Anlagen auf und in Dächern und Fassaden sein, sondern auch zu verschiedensten Kunstwerken zusammengebaut werden.

Das Kapitel drei zeigt ökonomische Aspekte der Photovoltaiknutzung auf und geht insbesondere auf die Möglichkeiten verschiedener Finanzierungsmodelle ein. In diesem Rahmen wurden die Bedingungen der Energieeinspeisung und die mit dem Anlagenbetrieb erzielbaren monetären Erträge aufgezeigt. Es wurde dargestellt, dass sich die Anlagen durch die Erträge refinanzieren, die sie durch die Vergütung des eingespeisten Stromes erwirtschaften. Zum anderen gibt es diverse günstige Kredite und Zuschüsse wie die der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Darüber hinaus konnte belegt werden, dass Photovoltaikanlagen auch gute Voraussetzungen für die Finanzierung durch Beteiligungs- oder Contractingmodelle bieten. Die Vorteile des Contracting liegen darin, dass die Verantwortung für die Finanzierung und alle Belange der Anlage nicht beim Gebäudebesitzer liegen und diesem durch die Verpachtung der Dachflächen regelmäßige Einnahmen zufließen. Auf diese Weise können PV-Anlagen auch errichtet werden, wenn keine Mittel zur Eigeninvestition zur Verfügung stehen.

Das im Kapitel vier aufgeführte Flächenpotenzial bezieht sich sowohl auf der Gebäude der Projektpartner als auch auf Gebäudegruppen aus eigenen Erhebungen sowie auf Parkplatz- und Freiflächen im Stadtgebiet. Die Zusammenfassung der Potenzialermittlung in drei verschiedenen Szenarien hat gezeigt, dass ein theoretische Flächenpotenzial vorhanden ist, um

Anlagen in einer Größenordnung von etwa 14,6 Mwp zu installieren. Die Abbildung 142 zeigt die Verteilung der Flächen auf.

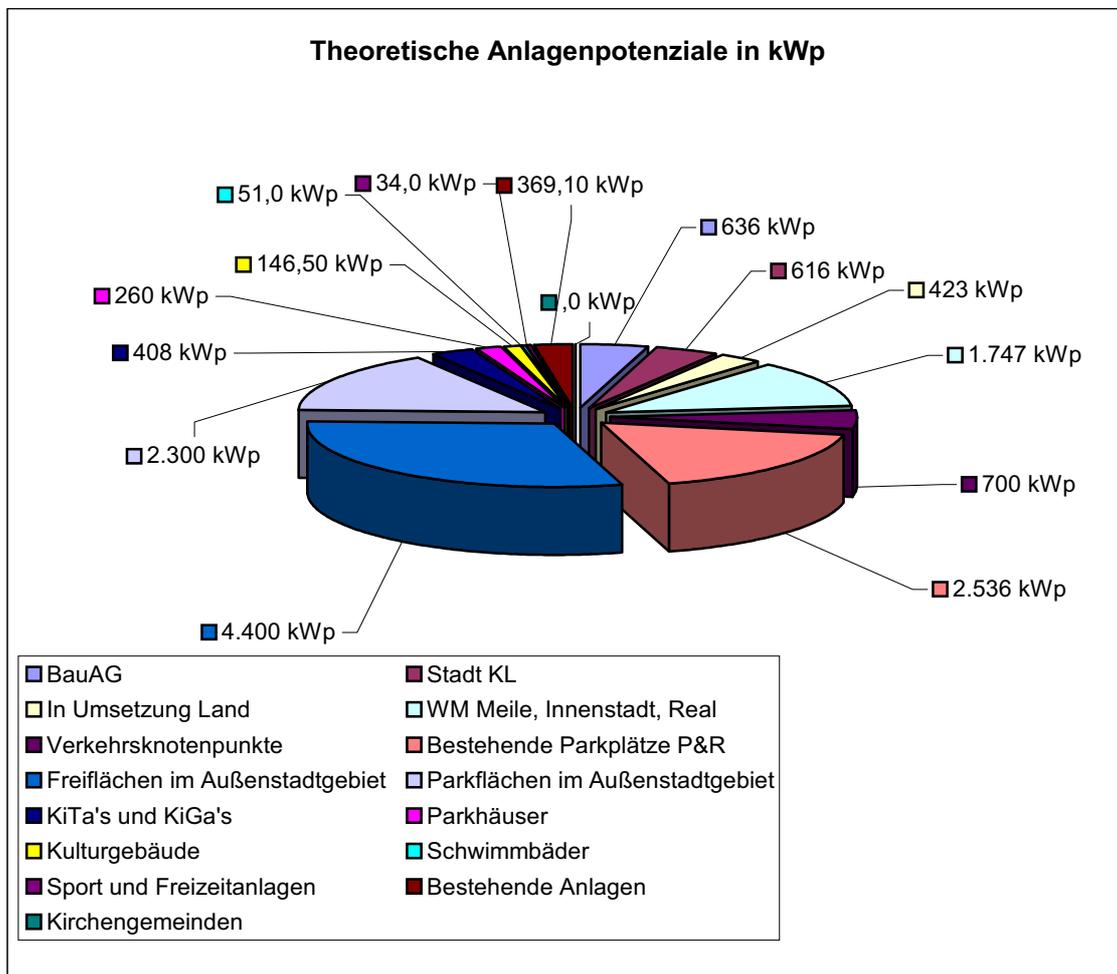


Abb.142: Theoretische Anlagenpotenziale in Kaiserslautern

In den Szenarien 2 und 3 kann relativ sicher davon ausgegangen werden, dass bis Ende 2005 ca. 2,5 und bis zur Weltmeisterschaft etwa 3,5 MW insgesamt im Stadtgebiet installiert sein werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht würde dies bedeuten, dass bis zur WM 2006 Gesamtbruttoinvestitionen in Höhe von etwa 19 Mio. € in der Stadt investiert werden, und dass damit in 20 Jahren etwa 30 Mio. € an Erträgen über die Anlagen erwirtschaftet werden. Mittel, die ohne das Solarstadt-konzept nicht investiert worden wären. Darüber hinaus fließen der Stadt Gewerbesteuererträge zu.

Schließlich ist damit zu rechnen, dass durch die solare Stromproduktion etwa 38.000 Tonnen CO₂ eingespart werden können. Die Tabelle 18 fasst die errechneten Ergebnisse noch einmal zusammen.

Zusammenfassung der Ergebnisse			
	Szenario 1 Gesamtpotenzial	Szenario 2 bis 2005	Szenario 3 bis 2006
Leistung	14.627 kWp	2.478 kWp	3.458 kWp
Gesamtbrutto Investitionen	80.446.850,00 €	13.629.550,00 €	19.019.550,00 €
Durchschnittliche Gelderträge in 20 Jahren	127.615.032,16 €	21.620.926,88 €	30.171.230,88 €
Gesamt CO ₂ Einsparung in Tonnen in 20 Jahren	161.479 t	27.358 t	38.177 t

Tabelle 18: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Unter dem Anspruch, dass die Stadt Kaiserslautern bei der Meldung zur Solarbundesliga in die Kategorie der Städte mit über 100.000 Einwohnern eingeordnet wird, dürfte Kaiserslautern bei Umsetzung des Szenarios drei bis zur WM 2006 Rang 5 erreichen. Dieses erfreuliche Ergebnis kann von der Stadt sehr gut öffentlichkeitswirksam vermarktet werden. Es ist jedoch das Ziel durch die Einbindung von Gewerbe und Industriebetrieben, mit entsprechend großen Dachflächen, eine bessere Platzierung zu erreichen.

Die Vorschläge zur Umsetzung in Kapitel fünf haben gezeigt, dass die Photovoltaik im Stadtgebiet vielseitig einsetzbar ist. Am geläufigsten sind netzgekoppelte Anlagen auf Dächern oder Freiflächen, die aber auch in Form von Sonnenschutzanlagen oder als Parkplatzüberdachungen eingesetzt werden können. Daneben gibt es auch diverse Inselanlagen, die im Stadtgebiet eingesetzt werden können. Die Photovoltaik kann zum Beispiel im Verkehrsreich dazu dienen die Beleuchtung von Informationsschildern und Wartehallen zu betreiben oder Parkscheinautomaten mit Strom zu versorgen. Um eine Umsetzung der vorgeschlagenen Techniken an den beschriebenen Standorten zu erreichen, müssen sowohl weitere in Stadtbesitz stehende Flächen als auch gewerbliche und teilweise privat genutzt Flächen aktiviert werden. Darüber hinaus müssen die potenziellen Anlagenstandorte mit dem Referat der WM Organisation abgesprochen werden, denn die FIFA hat speziell für den Bereich der WM Meile,

als auch für das Stadion, sehr Hohe Anforderungen an optische und sicherheitstechnische Belange. Außerdem müssen stadtinterne Abteilungen eingebunden werden, welche für Infrastrukturmaßnahmen wie z.B. die verkehrsbedingten Umbaumaßnahmen und die Parkplatzerstellung zuständig sind.

Wie das Kapitel sechs verdeutlicht, ist ein wesentlicher Aspekt für die flächendeckende Verbreitung von Photovoltaik im Stadtgebiet oder im Rahmen eines Solarstadtkonzeptes das Thema Öffentlichkeitsarbeit. Es ist wichtig, dass so viele Menschen wie möglich auf das Konzept aufmerksam werden und sich durch eigene Anlagen daran beteiligen. Um dies zu erreichen, müssen Photovoltaikanlagen installiert werden, die das Interesse der Bürger oder auch von Touristen wecken. In diesem Rahmen ist es wichtig, dass die Darstellung der Photovoltaik oder auch des ganzen Solarstadtkonzeptes durch Veranstaltungen, verschiedene Medientypen oder in Form von Beratungsangeboten für Bürger erfolgt.

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass die Stadt Kaiserslautern mit den bisher erschlossenen Flächen und der geplanten Fortführung des Solarstadtkonzeptes nach der WM 2006 einen wichtigen Schritt hin zu einer nachhaltigen Entwicklung im 21. Jahrhundert macht.