

Christian Prinz

Zukunftsweisende Stadtplanung durch Photovoltaik

Das Potential der Solarenergie in der Stadt



Diplomica Verlag

Christian Prinz

Zukunftsweisende Stadtplanung durch Photovoltaik: Das Potential der Solarenergie in der Stadt

ISBN: 978-3-8366-4345-0

Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2010

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und der Verlag, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

© Diplomica Verlag GmbH

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2010

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Kartenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Forschungsstand	2
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Studie	3
2. Grundlagen der Nutzung von Photovoltaik	6
2.1 Funktionsweise der Photovoltaiktechnik	6
2.1.1 Aufbau eines Moduls	6
2.1.2 Standortabhängigkeit	7
2.1.3 Energieausbeute und Wirkungsgrad	8
2.1.4 Lebensdauer und energetische Amortisationszeit	9
2.2 Planerische und ökologische Betrachtung	10
2.2.1 Strukturen der Energieversorgung	10
2.2.2 Emissionen und Klimaschutz	11
2.2.3 Effekte auf Landschaft und Umwelt	12
2.3 Volkswirtschaftliche Betrachtung	13
2.3.1 Kosten der Stromerzeugung	13
2.3.2 Förderung von PV in Deutschland	16
2.3.3 Staatliche Förderung der PV-Technik im Vergleich mit fossilen und nuklearen Energien	18
2.3.4 Chancen für den Standort Deutschland	20
2.3.5 Externe Kosten	21
2.4 Betriebswirtschaftliche Betrachtung	22
2.4.1 Anlagenkosten	22
2.4.2 Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen unter Berücksichtigung des EEG	24
2.5 Entwicklung der Solarbranche	25
2.5.1 Kostenentwicklung	25
2.5.2 Break-Even-Point	27
2.5.3 Wachstum der Branche	29
3. Herausforderungen der Raumplanung vor dem Hintergrund des Klimawandels	31
3.1 Welche Anforderungen kommen auf die Raumplanung zu?	31
3.2 Stadtplanung und Nachhaltigkeit	33
3.3 Solarenergetische Planung	35

3.4 Zukunftsweisende Stadtplanung	37
4. Das Potential der PV-Nutzung in Münster	40
4.1 Statusbericht der PV-Nutzung in Münster	41
4.2 Theoretisches Potential.....	42
4.3 Das wirtschaftliche Dachflächenpotential des Stadtgebietes	43
4.4 Möglicher Deckungsgrad des Stromverbrauchs.....	46
5. Methodische Vorüberlegung: Wie kann das Potential der Photovoltaik genutzt und zukunftsweisende Stadtplanung umgesetzt werden?	48
5.1 Solarer Bauzwang: Das Modell Marburg.....	48
5.2 Das Modell des Solarkatasters.....	50
5.2.1 Grundkonzept	51
5.2.2 Die Möglichkeiten des Solarkatasters für eine zukunftsweisende Stadtplanung ..	52
5.2.2.1 Bürgerbeteiligung.....	53
5.2.2.2 Solarausgleichskonto	54
6. Methodik zur Evaluierung des photovoltaischen Potentials	57
6.1 Methode der Potentialanalyse	57
6.1.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete	58
6.1.1.1 Städtische Quartiere	58
6.1.1.2 Großobjekte	59
6.1.2 Untersuchung der Dacheignung	60
6.2 Methode der Experteninterviews	63
7. Potentialanalyse anhand von Luftbildaufnahmen	66
7.1 Städtische Quartiere	66
7.1.1 Kategorie 1: Ein- und Zweifamilienhäuser	66
7.1.2 Kategorie 2: Mehrfamilienhäuser, freistehend mit Schrägdach.....	69
7.1.3 Kategorie 3: Mehrfamilienhäuser, aufgelockerte Blockrandbebauung.....	72
7.1.4 Kategorie 4: Mehrfamilienhäuser, Blockrandbebauung	76
7.1.5 Kategorie 5: Große Mehrfamilienhäuser mit Flachdach.....	79
7.2 Potentialanalyse ausgewählter Großobjekte anhand von Luftbildaufnahmen	82
7.2.1 Naturkundemuseum	82
7.2.2 Kaufhof/Karstadt	84
7.2.3 Halle Münsterland	87
7.3 Vergleichende Analyse.....	90
8. Auswertung der Experteninterviews.....	95
8.1 Erschließbarkeit des Potentials	95
8.2 Dachflächenverfügbarkeit.....	99

9. Photovoltaik als Beitrag zukunftsweisender Stadtplanung	102
9.1 Welchen Beitrag kann Photovoltaik für eine zukunftsweisende Stadtplanung leisten	102
9.2 Die Stadt als Energieproduzent.....	104
9.3 Wie könnte ein Solarkataster in Münster umgesetzt werden?.....	107
9.4 Diffusionshemmnisse der Photovoltaik.....	110
10. Fazit.....	112
 Literaturverzeichnis.....	 116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Solarzelle.....	6
Abbildung 2: Globalstrahlung in Deutschland, Mittlere Jahressumme, Zeitraum 1981 - 2000	8
Abbildung 3: Anteile an der Strombereitstellung 2006	10
Abbildung 4: Durchschnittliche spezifische Stromgestehungskosten multikristalliner Photovoltaikanlagen unter den in Deutschland gegebenen Strahlungsverhältnissen.....	14
Abbildung 5: Kostenanteile für eine Kilowattstunde Strom 2006	17
Abbildung 6: Forschungs- und Entwicklungsausgaben des Bundes	19
Abbildung 7: Kostenniveaus der Energiebereitstellung unter Berücksichtigung externer Kosten	22
Abbildung 8: Aufbau einer netzgekoppelten Photovoltaik-Anlage	23
Abbildung 9: Beispiel für den Break-Even-Point im Energiesystem.....	28
Abbildung 10: Installierte Leistung und Energiebereitstellung aus Photovoltaikanlagen in Deutschland 1990 - 2006.....	29
Abbildung 11: Einfluss des Neigungswinkels und der Himmelsrichtung auf die jährliche relative Sonnenbestrahlung eines PV- Generators in Essen	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der Naturkatastrophen 1950 bis 2004	12
Tabelle 2: Reichweiten und Preissteigerungen fossiler Rohstoffe	15
Tabelle 3: Vergütungssätze von Photovoltaikanlagen auf Dachflächen und Lärmschutzwänden	16
Tabelle 4: Beispielrechnungen für die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen	25
Tabelle 5: Degressions- und Vergütungssätze der Erneuerbaren Energien	26
Tabelle 6: Mittlere Dachflächengrößen nach Wohngebäudekategorien ..	43
Tabelle 7: Anzahl der Gebäude nach Wohnkategorien	44
Tabelle 8: Gesamte Dachfläche der Wohngebäude in Münster	44
Tabelle 9: Durch Photovoltaik nutzbare Dachfläche der Wohngebäude..	45
Tabelle 10: Stromproduktion und Verbrauch der Stadt Münster	46
Tabelle 11: Auswahl und Kategorisierung der Experteninterviews	64
Tabelle 12: Leitfäden der Experteninterviews	65
Tabelle 13: Kennwerte des Quartiers mit EFH	68
Tabelle 14: Kennwerte des Quartiers mit MFH, freistehend mit Schrägdach	71
Tabelle 15: Kennwerte des Quartiers mit MFH, aufgelockerte Blockrandbebauung.....	75
Tabelle 16: Kennwerte des Quartiers mit MFH, Blockrandbebauung	78
Tabelle 17: Kennwerte des Quartiers mit GMFH mit Flachdach	81
Tabelle 18: Kennwerte Naturkundemuseum.....	83
Tabelle 19: Kennwerte Kaufhof/Karstadt	86
Tabelle 20: Kennwerte Halle Münsterland	89
Tabelle 21: Kennwerte aller Untersuchungsgebiete	94

Kartenverzeichnis

Karte 1: Dachflächenanalyse Ein- und Zweifamilienhäuser	66
Karte 2: Dachflächenanalyse Mehrfamilienhäuser, freistehend mit Schrägdach	69
Karte 3: Dachflächenanalyse Mehrfamilienhäuser, aufgelockerte Blockrandbebauung.....	72
Karte 4: Dachflächenanalyse Mehrfamilienhäuser, Blockrandbebauung.	76
Karte 5: Dachflächenanalyse große Mehrfamilienhäuser mit Flachdach .	79
Karte 6: Dachflächenanalyse Naturkundemuseum.....	82
Karte 7: Dachflächenanalyse Kaufhof/Karstadt	84
Karte 8: Dachflächenanalyse Halle Münsterland	87

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
AM	Air Mass
Aufl.	Auflage
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
ca.	circa
CO ₂	Kohlendioxyd
ct	Cent
DIN	Deutsche Industrienorm
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EFH	Einfamilienhaus
et al.	et alii (und andere)
f. /ff.	und folgende Seite / und fortfolgende Seiten
g	Gramm
GMFH	großes Mehrfamilienhaus
GUD-	Gas- und Dampf-
Kraftwerk	Kraftwerk
Hrsg.	Herausgeber
IKB	Deutsche Industriebank
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jh.	Jahrhundert
Kap.	Kapitel
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde/n
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWp	Kilowatt Peak (Spitzenleistung)
m (m ²)	Meter (Quadratmeter)
MFH	Mehrfamilienhaus
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
o. a. O.	ohne angegebenen Ort
o. J.	ohne Jahresangabe
o. V.	ohne Verfasser
PV	Photovoltaik
RH	Reihenhaus
ROG	Raumordnungsgesetz
s.	siehe
S.	Seite
Tab.	Tabelle
vgl.	vergleiche
W	Watt
Wp	Watt Peak
z.B.	zum Beispiel
°C	Grad Celsius
µm	Mikrometer

1. Einleitung

„Die Menschheit wird eine solare Zukunft haben oder sie wird keine Zukunft haben.“
(FISCHER 2004, S.122).

Es gibt nur wenige Aussagen über die Zukunft, die mit einer solchen Eindeutigkeit getroffen werden können. Denn die Lebensweise, wie sie heutzutage vor allem von den Industrienationen praktiziert wird, ist angesichts der Endlichkeit der fossilen Energien nicht auf Dauer möglich. Eine Energiewende wird daher eine der zentralen Aufgaben des 21. Jahrhunderts sein, um den heutigen Lebensstandard auch für zukünftige Generationen zu sichern. Noch besteht kein akuter Mangel an fossilen Energien, aber die Verfügbarkeit nimmt angesichts schwindender Ressourcen und wachsendem Energiebedarfs aufstrebender Staaten wie China oder Indien ab. Der damit verbundene Anstieg der Preise kann zu tief greifenden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Problemen führen, die gerade in den ärmeren Ländern, die ohnehin kaum am energetischen Überfluss teilhaben, stattfinden werden (LEHMANN 2004; FISCHER 2004).

Des Weiteren ist die Verbrennung fossiler Rohstoffe mit weit reichenden ökologischen Problemen verbunden, die gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels zusätzlichen Handlungsbedarf implementieren. Denn dieser lässt sich nach der letzten Studie des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nur noch abschwächen, wenn rasch und entschlossen gehandelt wird, um den Ausstoß von CO₂ massiv zu verringern (IPCC 2007). Um dieses Ziel zu erreichen, müssen Einsparpotentiale konsequent genutzt und die Substitution fossiler Energien durch Erneuerbare Energien stärker vorangetrieben werden. Diese Energiewende ist dabei nicht durch die Nutzung einer einzigen Energieform zu realisieren, sondern kann nur durch einen Energiemix erreicht werden, der die Potentiale aller Erneuerbaren Energien ausschöpft. Als Erneuerbare Energien werden dabei die Geothermie, die durch die Gravitation bedingten Gezeitenkräfte und die Sonnenenergie verstanden, da diese in menschlichen Maßstäben unerschöpflich sind. Die Sonnenenergie ist dabei gleichzeitig Ursache für das Wachstum von Pflanzen und das Wettergeschehen, weshalb Biomasse, Wind- und Wasserkraft indirekte Nutzungsformen der Sonnenenergie darstellen (WITZEL 2004, S.10).

Der Fokus dieser Studie konzentriert sich dabei auf den Bereich der direkten Sonnenenergienutzung durch Photovoltaik. Ein Verfahren bei dem Strahlungsenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Der Name setzt sich dabei aus dem griechischen Wort „Photos“, das Licht bedeutet und „Volta“ dem Nachnamen des italienischen Elektrotechnikers Alessandro Volta zusammen. Die

Technik wird heutzutage in einem breiten Leistungsbereich eingesetzt und findet sowohl in Taschenrechnern als auch in großflächigen Freilandanlagen mit mehreren Megawatt Leistung Verwendung. Im Folgenden sind aber besonders die Möglichkeiten von Interesse, die sich auf den Dachflächen von Gebäuden ergeben.

1.1 Problemstellung und Forschungsstand

Den übergeordneten Problemrahmen stellen der Klimawandel und die Endlichkeit der fossilen Energieträger dar, denn aus diesen Gründen ist es weder aus ökologischer noch aus sozialer oder wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, weiter auf fossile Energieträger zu setzen. Um die Abhängigkeit von diesen Ressourcen zu verringern, ist es essenziell, eine Substitution dort voranzutreiben, wo die Energieverbrauchsschwerpunkte liegen und daher müssen die sich bietenden Möglichkeiten für eine nachhaltige Energieversorgung auch in den Städten genutzt werden. Die hohe Bevölkerungs- und Siedlungsdichte, sowie die damit verbundene Flächenkonkurrenz, stellt dabei für viele Techniken zur Erneuerbaren Energiebereitstellung ein Hindernis dar. Für die Photovoltaik ist dies jedoch kein Nachteil, im Gegenteil, denn die hohe Siedlungsdichte geht einher mit einer großen Anzahl von Dachflächen.

Die zentrale Problemstellung ist in diesem Zusammenhang, dass die vorhandenen Dachflächen bisher kaum zur Energieerzeugung genutzt werden und das Potential der Photovoltaik somit nicht ausgeschöpft wird. Um dieses Problem zu lösen, bedarf es neuer Herangehensweisen, denn „die Probleme, die es in der Welt gibt, können nicht mit den gleichen Denkweisen gelöst werden, die sie geschaffen haben“ (A. Einstein zit. in SCHEER 2005, S.30). Daher ist eine neue Sichtweise nötig, die nicht mehr auf den zentralen Energieversorgungsstrukturen von fossilen Großkraftwerken beruht und diese als unveränderbare Gegebenheit ansieht, sondern eine, die dezentrale Versorgungsstrukturen fördert, Photovoltaik in den städtischen Raum integriert, sowie die Gesellschaft in diesen Prozess einbindet und ihr die Möglichkeit gibt, an der Energieversorgung zu mitzuwirken.

Aus dieser Problemstellung ergeben sich folgende Fragen:

- Wie sollen die Bürger an der Energieversorgung durch Photovoltaik mitwirken, wenn sie keine oder eine ungeeignete Dachfläche besitzen?
- Wie kann ein stärkerer Einsatz der Photovoltaik in der Stadt umgesetzt werden?
- Welche Potentiale bietet die Photovoltaik in der Stadt?

- Wie gut eignen sich einzelne Quartiere für eine photovoltaische Nutzung?
- Wie muss Stadtplanung aussehen, um diesem Problem zu begegnen?
- Welche Probleme stehen einer breiteren Nutzung im Wege?

Um Antworten auf diese Fragen zu erhalten, wurden neben einer Literatur- und Internetrecherche - am Beispiel von Münster - verschiedene Potentialanalysen der Dachflächen des Stadtgebiets durchgeführt, Konzepte entwickelt und Expertengespräche mit relevanten Akteuren abgehalten, denn aus dem bisherigen Forschungsstand ließen sich die Fragen nur unzureichend klären.

Bisherige Studien thematisieren zumeist Teilaspekte, die entweder die technischen Möglichkeiten und Entwicklungen der Photovoltaik aufzeigen (vgl. u.a.: HAHN 2007, KOHL 2007 u. WENGENMAYR 2007), die rechtlichen Möglichkeiten der raumplanerischen Instrumente darlegen (vgl. u.a.: KARL 2006 u. SCHÄFER 2007), die allgemeinen Möglichkeiten aller Erneuerbaren Energien erläutern (vgl. u.a.: MORRIS 2005; SCHEER 2005 u. WITZEL u. SEIFRIED 2004) oder die Zukunft der Stadt thematisieren (vgl. u.a.: PAHL-WEBER 2003; LINGER 2007 u. WEINLAND 2005).

Zu den Dachflächenpotentialen der Photovoltaik konnten zwei Studien ausgemacht werden (KALTSCHMITT ET AL. 2006; QUASCHNING 2006), diese beziehen sich allerdings auf das Gesamtpotential aller Dachflächen Deutschlands und wurden anhand von Mittelwerten errechnet, sodass Aussagen über allgemeine Größenvorstellung gemacht werden können. Genauere Aussagen über die Möglichkeiten in einzelnen Stadtquartieren lassen sich hier aber nicht ableiten.

Studien zum photovoltaischen Potential der Dachflächen der Stadt Münster oder zu einzelnen Quartieren sind nicht zu finden.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Studie

Das Ziel dieser Studie ist es aufzuzeigen, wie groß das Potential der photovoltaischen Nutzung von Dachflächen in der Stadt ist, wie dieses besser genutzt werden kann und welchen Beitrag die Technik für eine zukunftsweisende Stadtplanung leisten kann.

Dazu werden zunächst in **Kapitel 2** die Grundlagen der Photovoltaik dargelegt, um eine Basis für die weitere Arbeit zu schaffen. Dabei wird die Funktionsweise der Technik kurz erklärt und ein volkswirtschaftlicher, planerischer und ökologischer Vergleich der Energieerzeugung durch fossile bzw. nukleare Energieträger im Gegensatz zur Photovoltaik angestellt, der die Vor- und Nachteile der Technik aus den verschiedenen Sichtweisen zusammenfasst. Zudem wird die Wirtschaftlichkeit

der Anlagen im Kontext des Erneuerbare-Energien-Gesetzes aufgezeigt und die Entwicklung der Photovoltaikbranche dargelegt.

Die Herausforderungen und Anforderungen, die der Klimawandel an die Raumplanung stellt, werden in **Kapitel 3** beschrieben, dabei wird die Stadtplanung unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit kritisch betrachtet. Es werden die Möglichkeiten und Instrumente, die bereits für eine solarenergetische Planung bestehen, erläutert. Als ein zentrales Element der Studie wird definiert, was unter zukunftsweisender Stadtplanung verstanden werden kann und welche Bedingungen diese erfüllen muss.

Welches Potential die Photovoltaik dabei für eine zukunftsweisende Stadtplanung aufweist, wird in **Kapitel 4** anhand des Beispiels der Stadt Münster aufgezeigt. Hierzu wird ein Statusbericht über die Anzahl der aktuell installierten Anlagen und die erzeugte Leistung gegeben, damit auf dieser Basis deutlich wird, dass die Technik bisher nur eine periphere Rolle bei der Energieversorgung ausmacht. Um die ungenutzten Möglichkeiten der Technik aufzuzeigen, wird daran anschließend berechnet, wie viele Dachflächen im Stadtgebiet für eine Nutzung durch Photovoltaik zur Verfügung ständen und welcher Beitrag eine Nutzung dieser Flächen für die Stromversorgung der Stadt leisten könnte.

Wie diese Flächen verstärkt genutzt werden könnten, wird in **Kapitel 5** anhand eines aktuellen Beispiels, das zurzeit in Marburg geplant wird und sich mit solarem Bauzwang beschäftigt, sowie einem Modell zur freiwilligen Teilnahme beschrieben. Dieses Kapitel dient gleichzeitig der Vorüberlegung für den methodischen Teil. Denn für die Umsetzung solcher Projekte und auch für die Stadtplanung ist es sehr interessant, ob sich überhaupt alle Bereiche für eine solarenergetische Nutzung eignen und welche Probleme bei einer breiteren Nutzung auftreten können bzw. dieser im Wege stehen.

Hierzu wird in **Kapitel 6** der methodische Teil erläutert, der die Möglichkeiten und Hemmnisse der Photovoltaik durch eine Potentialanalyse anhand von Luftbildern sowie Expertengesprächen mit für den Sachverhalt entscheidenden Akteuren aufzeigen soll.

Die Potentialanalyse der Dachflächen wird in **Kapitel 7** durchgeführt und untersucht verschiedene Stadtquartiere, um herauszufinden, ob sich diese für die Installation von Photovoltaikanlagen besonders oder gar nicht eignen. Des Weiteren werden noch verschiedene Objekte mit großer Dachfläche untersucht, da zu erwarten ist, dass diese sich für Gemeinschaftsanlagen besonders eignen.

Welche Schwierigkeiten, aber auch Möglichkeiten für eine breitere Nutzung der Technik gesehen werden, wird in **Kapitel 8** anhand der Auswertung der Expertengespräche dargelegt.

Eine zusammenfassende Synthese, in der alle Teile der Studie noch einmal reflektiert werden, findet in **Kapitel 9** statt, um dann in **Kapitel 10** das Fazit zu ziehen und einen Ausblick zu geben.