

Marktanalyse PV-Anlagen

Netzgekoppelte Anlagen in Aufdachmontage

von **H.-P. Lutz** Informationszentrum Energie beim Landesgewerbeamt Baden-Württemberg

Dieser Beitrag knüpft an die Ausführungen der Marktanalyse PV-Anlagen vom 1. Halbjahr 1993 an (siehe SONNENENERGIE 5/93). Wie bereits in Teil 1 werden die derzeitigen durchschnittlichen Kosten der Anlagenkomponenten und ihr Anteil an den Gesamtkosten dargestellt. Neben der aktuellen Kostensituation (1. Quartal '96) wird die Preisentwicklung der zurückliegenden 3 Jahre aufgezeigt. Die eingetretenen Kostenreduktionen werden herausgearbeitet und diskutiert.

Im Landesförderprogramm „Rationelle Energieverwendung und Erneuerbare Energiequellen“ des Landes Baden-Württemberg sind seit Programmbeginn im Oktober 1991 ca. 660 PV-Anlagen (elektrische Gesamtleistung ca. 1,3 MW) mit einem Fördersatz von 35 % bezuschußt worden. Das gesamte Investitionsvolumen beläuft sich auf ca. 30 Mio. DM – davon anteilig ca. 10,25 Mio. DM als Zuschußmittel des Landes Baden-Württemberg.

Die Nachfrage nach PV-Anlagen hat im Betrachtungszeitraum kontinuierlich um ca. 25 Anlagen pro Jahr zugenommen. Aus Abb. 1 wird deutlich, daß die Nachfrage im Winterhalbjahr erwartungsgemäß zurückgeht. Der aktuelle Verlauf scheint jedoch von dieser Gesetzmäßigkeit abzuweichen. Die Erklärung liegt im Eingang eines Antragspakets für eine Gemeinschaftsanlage mit vielen kleineren Anteilen. Regionale Nachfragesteigerungen wurden durch die Einführungen der sogenannten kostendeckenden Vergütung ausgelöst (z.B. in Balingen und Schwäbisch Hall).

In der Antragsphase des 1000-Dächer-Programms in 1990/91 mit ca. 550 Förderanträgen aus Baden-Württemberg wurden die beigefügten Angebote von ungefähr 80 Anbietern erstellt – in der Mehrzahl Solarfirmen. Im Gegensatz dazu beteiligten sich im derzeit laufenden

Landesförderprogramm nunmehr ca. 300 Fachfirmen – zunehmend aus dem Elektroinstallationsgewerbe.

Der Schwerpunkt der beantragten Anlagenleistung liegt nach wie vor im Bereich zwischen 1 kW und 2,5 kW – bei einer zunehmenden Nachfrage nach größeren Anlagen bis etwa 5 kW.

Die aufgeführten Endkundenpreise sind Nettopreise – d. h. ohne Mehrwertsteuer. Es sind jeweils die Mittelwerte mit Standardabweichung über dem zugehörigen Quartal aufgetragen. Die Größe der Grundgesamtheit, auf der die Angaben beruhen, ist bei jedem Quartal mit angegeben. Unterschiedliche Grundgesamtheiten im gleichen Betrachtungszeitraum sind in der Gestaltung der Angebote begründet. Die Anlagenkomponenten werden in den Kalkulationen nicht immer als Einzelpositionen aufgeführt. Als Auswertehilfe wird zusätzlich der Verlauf der linearen Regression der Mittelwerte aufgezeigt.

Solarmodule

Im betrachteten Zeitraum sind die durchschnittlichen Endkundenpreise kontinuierlich von 11,75 DM/W auf 9,60 DM/W gefallen (Kostenreduktion um ca. 20 %). Im Gegensatz zum Kostenverlauf der übrigen Anlagenkomponenten werden die Schwankungen der Durchschnittskosten größer bei zunehmender Streubreite. Insbesondere ab dem 1. Quartal '95

ist ein turbulenterer Verlauf festzustellen.

Entgegen offiziellen Verlautbarungen ist es nicht zu einer Konzentration bei den Herstellern gekommen. Aus Abb. 3 wird deutlich, daß die Anzahl der auf dem Markt vertretenen Modulhersteller zunimmt, wobei deren Anteile kleiner werden und starken Schwankungen unterworfen sind. Die Nachfrage orientiert sich in erster Linie an der Preisgestaltung – nicht am „guten Namen“ eines Herstellers. Eine abgeschlossene Marktaufteilung ist nicht festzustellen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt haben Neuanbieter vermutlich gute Einstiegchancen.

Aufdachmontagegestell

Das bereits im Teil 1 (SONNENENERGIE 5/93) angesprochene hohe Kostenreduktionspotential bei den Montagesystemen hat sich als richtige Prognose erwiesen. Die durchschnittlichen Kosten pro kW sind in den vergangenen drei Jahren von ca. 1.500 DM/kW auf ca. 1.000 DM/kW gefallen (Rückgang um über 30 %).

Ein Grund für die Kosteneinsparung ist der Einsatz größerer Module – vom 50 W-Standardmodul über das 100 W-Standardmodul jetzt zum 250 W-Modul. Die bisher gewonnene Erfahrung ist auch in die Weiterentwicklung der Montagesysteme zu kostengünstigen und einfacher handhabbaren Standardmontage-Sets eingeflossen. Diese Bestrebungen kämen weiter voran, wenn für die Module genormte Standardabmessungen eingeführt würden.

Modulanschlußleitungen

Die durchschnittlich benötigte Leitungslänge liegt bei ca. 75 m/kW. Der

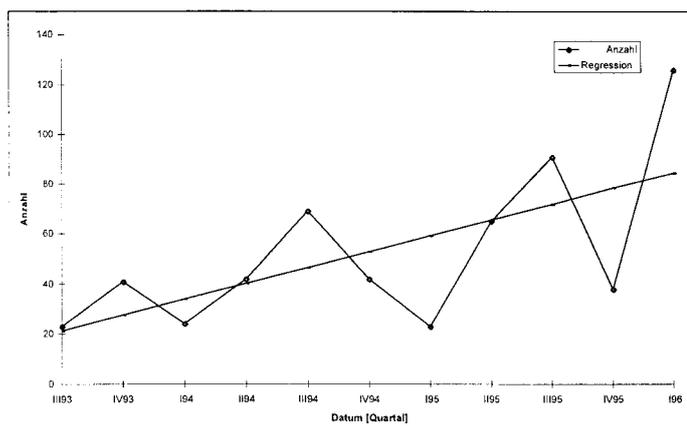


Abb. 1: Antragseingänge PV

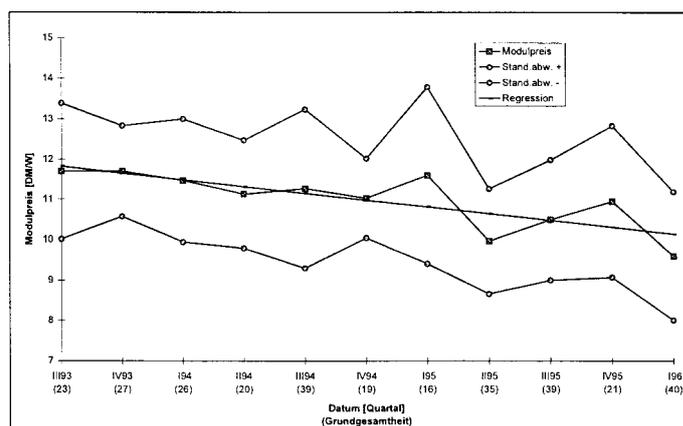


Abb. 2: Modulpreisentwicklung

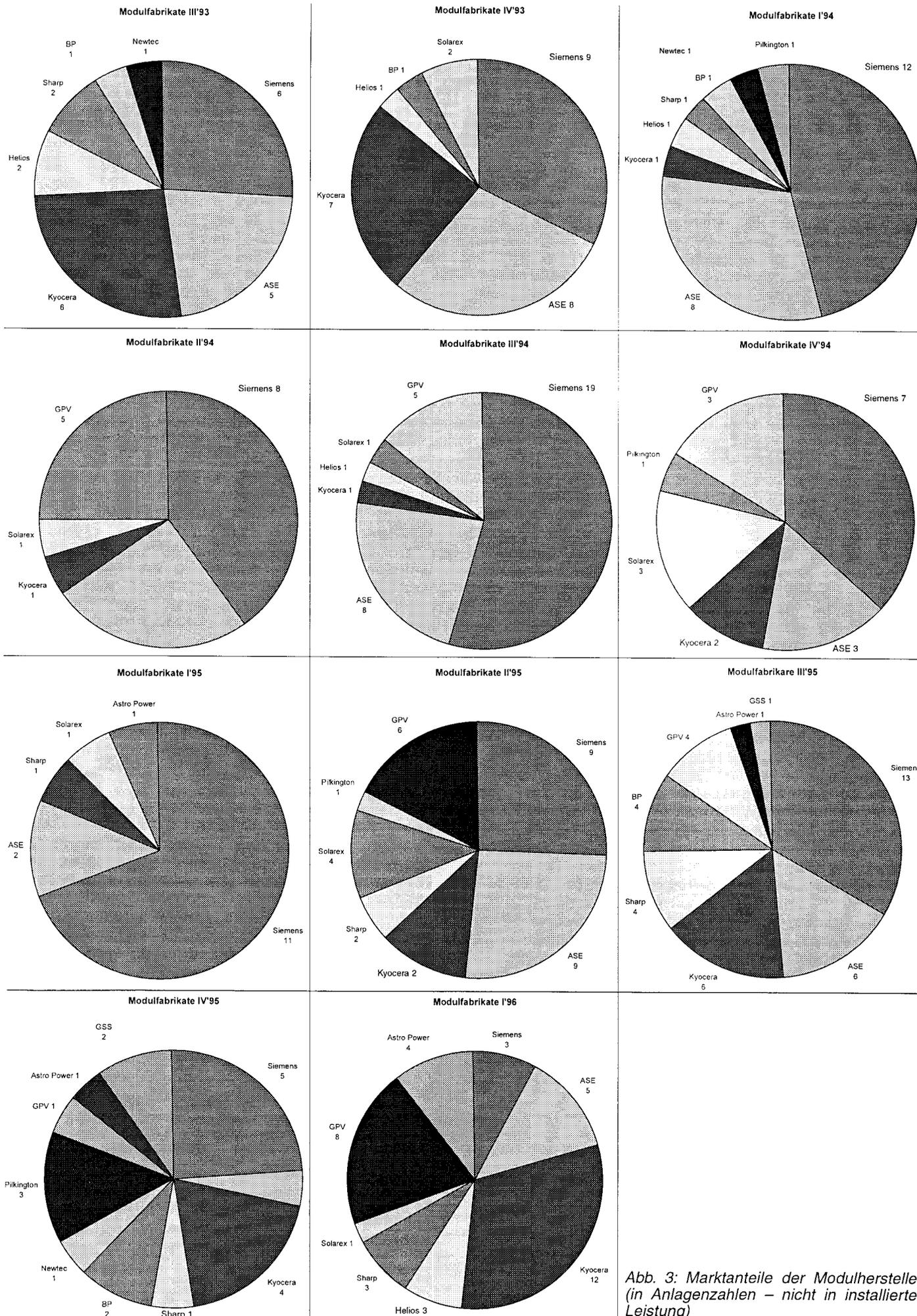


Abb. 3: Marktanteile der Modulhersteller (in Anlagenzahlen – nicht in installierter Leistung)

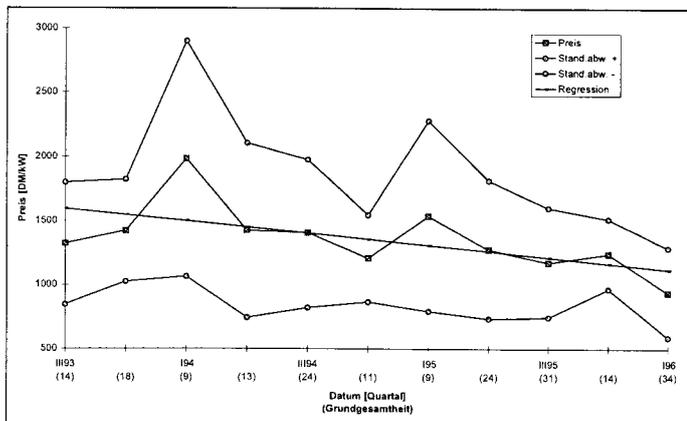


Abb. 4: Preisentwicklung bei den Aufdachmontagegestellen

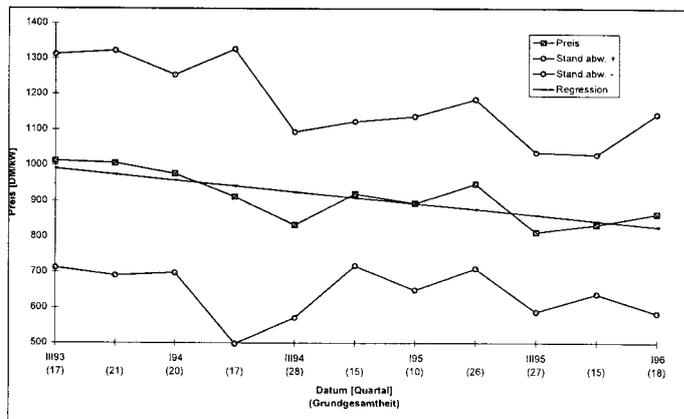


Abb. 5: Preisentwicklung bei Solargenerator-Anschlußkästen

kalkulierte Preis wird im Mittel mit 2,50 DM/m angegeben – d. h. ca. 15 % weniger als in '93. (24 Angebote aus I/96, Standardabweichung 0,65 DM).

Als Kabelmaterial wird Gummischlauchleitung HO7RN-F oder Silikonkabel Radox 125 eingesetzt, jeweils einadrig mit einem Querschnitt von 2,5 mm².

Solargenerator-Anschlußkasten

Im betrachteten Zeitraum sind die Kosten pro Anschlußkasten von ca. 1.000 DM auf ca. 850 DM gefallen (Reduktion um ca. 15 %).

Dieser Kostenpunkt ist der Anlagengröße nicht eindeutig zuordenbar. Abhängig von der jeweiligen Spannungslage auf der Gleichspannungsseite variiert die Anzahl der Generatorstränge bei gleicher Generatorleistung – und damit der erforderliche Verschaltungsaufwand im Solargenerator-Anschlußkasten. Die Streuung der Kosten um den jeweiligen Mittelwert ist daher u. a. auch dahingehend zu interpretieren. Für Anlagen bis zu 2,5 kW genügt ein Anschlußkasten, bei Anlagen um 5 kW sind meist zwei Kästen erforderlich. Beim Einsatz eines sogenannten Strangwechselrichters entfällt der Anschlußkasten.

DC-Hauptschalter

Höhere Systemspannungen auf

der DC-Seite führen zu Kosteneinsparungen beim Solargenerator-Anschlußkasten. Diese werden aber teilweise kompensiert durch Mehrkosten für den DC-Hauptschalter.

Für PV-Anlagen mit Gleichspannungen bis 250 V werden im Mittel ca. 280 DM für den DC-Hauptschalter berechnet (88 Angebote, Standardabweichung 140 DM). Bei PV-Anlagen mit Spannungen um 400 V bis 500 V werden ca. 485 DM für den DC-Hauptschalter angesetzt (18 Angebote, Standardabweichung 190 DM).

DC-Hauptleitung

Die geförderten PV-Anlagen sind größtenteils auf Ein- und Zweifamilienhäuser installiert. Für die Gleichspannungs-Hauptleitung ist im Durchschnitt 35 m Kabellänge erforderlich (±30 m).

Der erforderliche Kabelquerschnitt ist nach der zu übertragenden Anlagenleistung so auszulegen, daß der Spannungsabfall auf der DC-Seite max. 1 % beträgt. In 1/3 der Fälle wird als Kabelquerschnitt 10 mm² gewählt (4,40 DM/m, ±3,30 DM/m). Bei der Hälfte der ausgewerteten Angebote wird Kabel mit 16 mm² eingesetzt (5 DM/m, ±2 DM/m). 10 % der Anlagen sind über 25 mm²-Kabel mit dem Wechselrichter verbunden (8,70 DM/m; ±3,30 DM/m). Vereinzelt wird als Kabelquerschnitt 6 mm² ge-

wählt, aber auch 35 mm²- und 50 mm²-Kabel kommt zum Einsatz.

Für die DC-Hauptleitung werden folgende Kabeltypen verwendet: HO7RN-F, HO7V-K, NYM, NYY, NS-GAFöü.

Wechselrichter

Zur Betrachtung der spezifischen Kosten der Wechselrichter werden vier Leistungsklassen definiert entsprechend den auf dem Markt angebotenen Häufungen.

In der Gruppe um 1 kW (0,7 kW bis 1,1 kW) sind im Betrachtungszeitraum die spezifischen Kosten von ca. 3.300 DM/kW auf ca. 2.700 DM/kW gesunken. Dies entspricht einem Rückgang von ca. 18 %.

Es ist eine zunehmende Nachfrage nach Geräten dieser Leistungsklasse festzustellen, worauf die Wechselrichterhersteller mit der Entwicklung neuer Modelle reagiert haben. Diese zunehmende Anbietervielfalt dürfte mit eine Ursache für die Stabilisierung des Preisgefüges sein.

In der Gruppe zwischen 1,5 kW und 2 kW reduzierten sich die spezifischen Gerätekosten von ca. 2.700 DM/kW auf ca. 2.300 DM/kW (Rückgang um ca. 15 %).

Die Schwankungsbreite der Kosten ist geringer als bei der 1 kW-Klasse. Die Typenvielfalt in dieser Leistungsklasse ist schon länger gegeben und

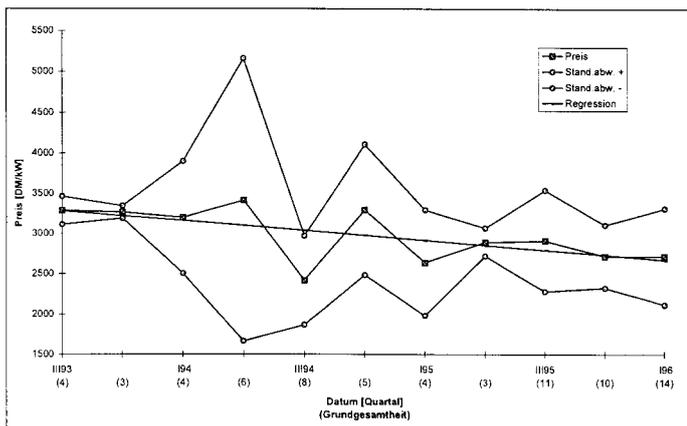


Abb. 6: Preisentwicklung bei Wechselrichtern im Leistungsbereich von 0,7 kW bis 1,1 kW

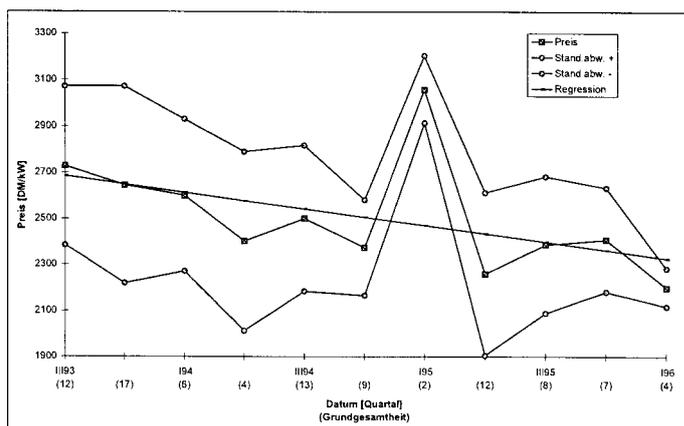


Abb. 7: Preisentwicklung bei den Wechselrichtern im Leistungsbereich von 1,5 kW bis 2 kW

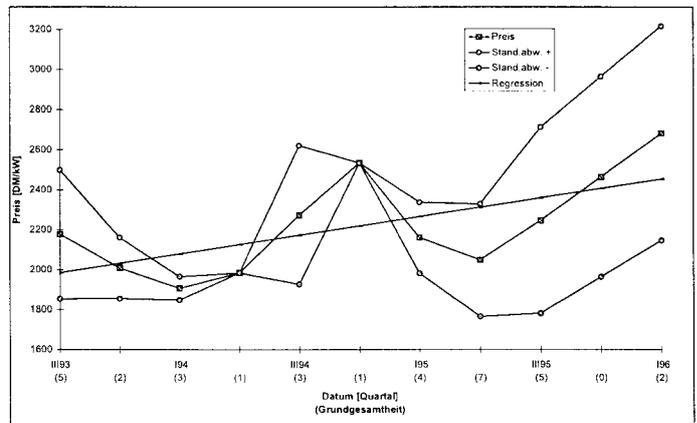
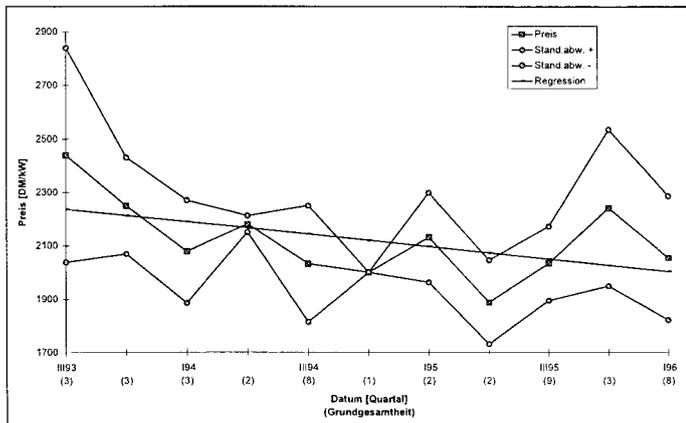


Abb. 8: Preisentwicklung bei Wechselrichtern im Leistungsbereich von 2 kW bis 3 kW

Abb. 9: Preisentwicklung bei Wechselrichtern im Leistungsbereich von 3 kW bis 5 kW

größer als bei den 1 kW-Wechselrichtern.

Die Preise bei den Wechselrichtern zwischen 2 kW und 3 kW sind in den zurückliegenden drei Jahren von ca. 2.300 DM/kW auf ca. 2.000 DM/kW zurückgegangen (Reduktion um 13 %). Die Nachfrage nach Geräten dieser Größe ist derzeit zunehmend.

Bei den leistungsstärksten der hier betrachteten Wechselrichter ist derzeit keine Tendenz erkennlich – der unstetige Verlauf resultiert sogar in einer vermeintlichen Kostensteigerung.

Dies ist u. a. dadurch zu erklären, daß manche Anbieter die spezifischen Anlagenkosten bei größeren Anlagen entsprechend denen von 1 kW- bis 2 kW-Anlagen kalkulieren – mit Preisauflagen u. a. auch auf die Wechselrichter.

AC-Anschluß

Im Mittel wurden ca. 20 m an 5-adrigem Kabel benötigt. Zu ca. 50 % wird als Kabelquerschnitt 2,5 mm² gewählt (2,70 DM/m, ±0,75 DM/m), ca. ein Viertel der Anlagen werden über 1,5 mm²-Kabel (1,45 DM/m, ±0,70 DM/m) mit dem Netz verbunden. Es werden auch 4 mm², 6 mm² und 10 mm²-Kabel eingesetzt. Als Kabelmaterial wird ausschließlich NYM verwendet.

Für die 3-phasige Freischaltung auf der AC-Seite fallen Kosten von ca. 100 DM an (47 Angebote, ±40 DM).

Wird ein FI-Schutzschalter benötigt (bei traflosen Wechselrichtern), so werden hierfür ca. 175 DM kalkuliert. (11 Angebote, ±40 DM).

Zur Erfassung des PV-Stromertrags wird teilweise auf der Wechselstromseite – zwischen Wechselrichter und Hausverteilung – ein (unbeglaubigter) Wechselstromzähler eingebaut. Als Gerätekosten hierfür fallen ca. 65 DM an. (12 Angebote, ±30 DM).

Im Zählerschrank wird der vorhandene Zähler gegen ein Gerät mit Rücklaufsperrre ausgetauscht. Zusätzlich wird ein weiteres Zählerfeld

eingerrichtet für den Einspeisezähler mit Rücklaufsperrre. Für diese Maßnahmen fallen Kosten an von ca. 500 DM (23 Angebote, ±200 DM). Ist im vorhandenen Zählerschrank kein Platz für den zusätzlichen Rückspeisezähler, muß ein neuer Zählerschrank gesetzt werden. Dieser Umbau ist mit Kosten von 1.500 DM und mehr verbunden.

Jeder dieser drei Zähler hat eine Leistungsaufnahme von ca. 3 W; der Eigenstromverbrauch im Jahr beträgt somit ca. 25 kWh. Dies entspricht ungefähr 5 % der bei einer 1 kW-Anlage durchschnittlich in das öffentliche Netz eingespeisten Energie (nach Abzug des im Mittel selbst verbrauchten Stromes).

Potentialausgleich

Die metallisch leitenden Teile der PV-Anlage (Gestell, Modulrahmen, Gehäuse) sind in den Hauspotentialausgleich mit einzubeziehen – ebenso die Überspannungsableiter im Solargenerator-Anschlußkasten. Für diese Maßnahmen werden im Durchschnitt ca. 400 DM berechnet (36 Angebote, ±300 DM).

Kleinmaterial

An Kosten für Kleinmaterial wird – unabhängig von der Anlagengröße – ca. 250 DM kalkuliert (66 Angebote, ±200 DM).

Montagekosten

Entsprechend der Einteilung der Wechselrichter werden auch die Montagekosten in Größenklassen zusammengefaßt – jeweils 10 % bis 20 % über den Leistungen der entsprechenden Wechselrichterklasse.

Bei der überschlägigen Betrachtung der Kostenverläufe fällt auf, daß zunächst – von III/93 bis I/94 – ein Kostenanstieg stattgefunden hat. Die nachfolgend aufgeführten Kostenreduktionen werden daher auf den Maximalwert von I/94 bezogen.

Bei den einzelnen Größenklassen liegen die Kostenreduktionen bei den

Montageleistungen zwischen 30 % und 50 %. Derzeit betragen die Montagekosten bei einer 1 kW-Anlage ca. 3.000 DM bis 3.250 DM, bei einer 2 kW-Anlage ca. 3.750 DM bis 4.250 DM, bei der 3 kW-Anlage ca. 4.750 DM bis 5.250 DM, und bei der 5 kW-Anlage ca. 6.500 DM bis 7.000 DM.

Der jeweils zusätzliche Montageaufwand betrifft die Anlagenteile „Solargenerator, Aufdachmontagegestell und Modulverkabelung bis zum Solargenerator-Anschlußkasten“. Aus den genannten Werten läßt sich ableiten, daß für den zusätzlichen Montageaufwand pro kW an Solargeneratorfläche überschlägig ca. 750 DM bis 1.000 DM berechnet werden können.

Weiter folgt aus diesen Zahlen, daß für die Installation im Haus – ab dem Solargenerator-Anschlußkasten – überschlägig 2.000 DM bis 2.250 DM kalkuliert werden können. Pro kW Solargeneratorfläche sind diesem Wert dann ca. 750 DM bis 1.000 DM zuzuschlagen, um einen groben Anhaltswert für die gesamten Montagekosten zu erhalten.

Wie bereits unter „Aufdachmontagegestell“ diskutiert, sind die erzielten Einsparpotentiale u. a. in verbesserten Montagesystemen begründet, ebenso in einem geringeren Montageaufwand beim Einsatz größerer Module.

Planungskosten, Abnahme, Dokumentation, Inbetriebnahme

Auch diese Position wird unabhängig von der Anlagengröße berechnet mit ca. 450 DM (69 Angebote, ±275 DM).

Gesamtkosten

Aus den Durchschnittskosten der Anlagenkomponenten werden die durchschnittlichen Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Anlagengröße berechnet.

Bei der Betrachtung dieser Aufstellung sollte das Augenmerk weniger

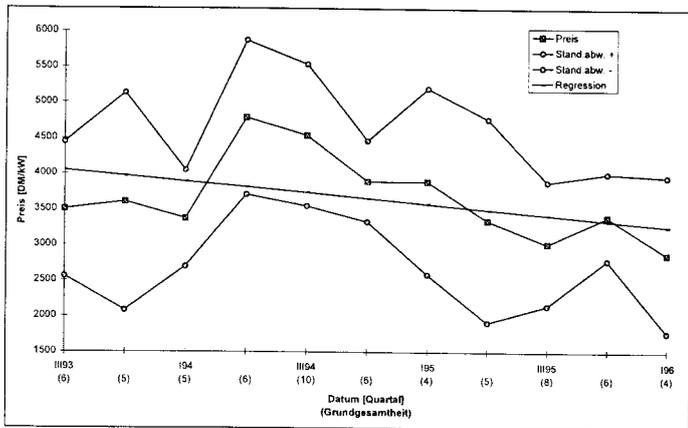


Abb. 10: Verlauf der Montagekosten bei PV-Anlagen von 1 kW bis 1,4 kW

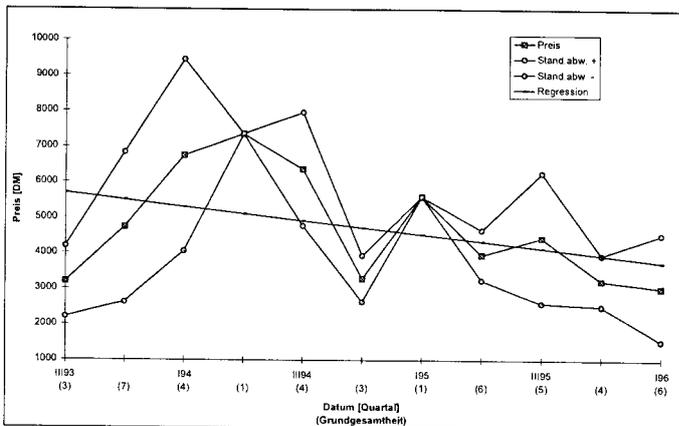


Abb. 11: Verlauf der Montagekosten bei PV-Anlagen von 1,5 kW bis 2,3 kW

auf die ermittelten Anlagendurchschnittskosten gerichtet sein. Vielmehr sollte die Auflistung zu qualitativen Aussagen herangezogen werden:

- Kostenanteile der Anlagenkomponenten und der Montage an den Gesamtkosten
- Verschiebung der Kostenanteile im betrachteten Leistungsbereich
- nichtlinearer Verlauf der spezifischen Anlagenkosten im betrachteten Leistungsbereich.

Anhand dieser Auswertung können Maßnahmen zu weiteren Kostenreduktionen diskutiert und bezüglich ihrer Effizienz abgeschätzt werden.

Der konstante Verlauf der spezifischen Kosten für Wechselrichter (2.000 DM/kW) bei Zunahme der Nennleistung ist untypisch. Größere Stückzahlen und eine größere Typenvielfalt werden zu einer Abnahme der spezifischen Kosten führen.

Ähnliches ist zum linearen Ansatz der Montagekosten vom Solargenerator bis zum Solargenerator-Anschlußkasten anzumerken:

Mit zunehmender Generatorfläche kann rationeller montiert werden (Kraneinsatz, Vormontage, Großmodule, etc.).

	1 kW-Anlage	%	2 kW-Anlage	%	3 kW-Anlage	%	4 kW-Anlage	%	5 kW-Anlage	%
Solarmodule	9.600,-	49,7	19.200,-	57,8	28.800,-	62	38.400,-	63,4	48.000,-	64,2
Aufdachmontagegestell	1.000,-	5,2	2.000,-	6	3.000,-	6,4	4.000,-	6,6	5.000,-	6,7
Modulanschlußleitung	200,-	1	400,-	1,2	600,-	1,3	800,-	1,3	1.000,-	1,3
Solargenerator-Anschlußkasten	600,-	3,1	800,-	2,4	1.000,-	2,2	1.200,-	1,9	1.600,-	2,1
DC-Hauptleitung	130,-	,7	150,-	0,5	150,-	0,3	300,-	0,5	300,-	0,4
DC-Hauptschalter	280,-	1,5	280,-	0,8	280,-	0,6	280,-	0,4	280,-	0,4
Wechselrichter	2.700,-	14	4.600,-	13,8	6.000,-	12,9	8.000,-	13,2	10.000,-	13,3
AC-Anschlußleitung	30,-	0,1	30,-	0,1	50,-	0,1	50,-	0,1	50,-	0,1
AC-Freischtaltung	100,-	0,5	100,-	0,3	100,-	0,2	100,-	0,1	100,-	0,1
AC-Zähler	65,-	0,3	65,-	0,2	65,-	0,1	65,-	0,1	65,-	0,1
Zählerplatzumbau	500,-	2,6	500,-	1,5	500,-	1	500,-	0,8	500,-	0,6
Potentialausgleich	400,-	2	400,-	1,2	400,-	0,9	400,-	0,6	400,-	0,5
Kleinmaterial	250,-	1,3	250,-	0,7	250,-	0,5	250,-	0,4	250,-	0,3
Montagekosten	3.000,-	15,6	4.000,-	12	5.000,-	10,7	6.000,-	9,9	7.000,-	9,3
Planung, Dokumentation	450,-	2,3	450,-	1,3	450,-	1	450,-	0,7	450,-	0,6
Gesamtkosten	19.305,-	100	33.225,-	100	46.645,-	100	60.515,-	100	74.795,-	100
Gesamtkosten pro kW	19.305,-		16.612,-		15.548,-		15.128,-		14.959,-	

Tab. 1: Aufteilung der Anlagendurchschnittskosten (ohne MWSt.)

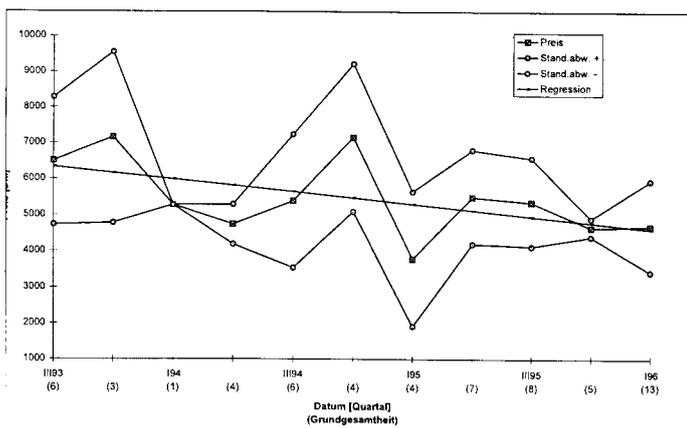


Abb. 12: Verlauf der Montagekosten bei PV-Anlagen von 2,4 bis 3,5 kW

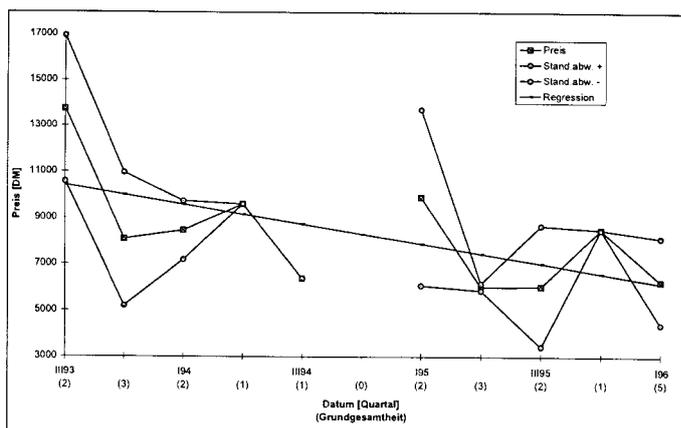


Abb. 13: Verlauf der Montagekosten bei PV-Anlagen von 3,6 bis 5,5 kW