



# PV-BUK

## BETRIEBS- UND UNTERHALTSKOSTEN VON PV-ANLAGEN

### Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Sandra Stettler, Peter Toggweiler**  
**Enecolo AG**

Lindhofstrasse 52, 8617 Mönchaltorf, [info@enecolo.ch](mailto:info@enecolo.ch), [www.enecolo.ch](http://www.enecolo.ch)

**Daniel Ruoss, Peter Schudel**

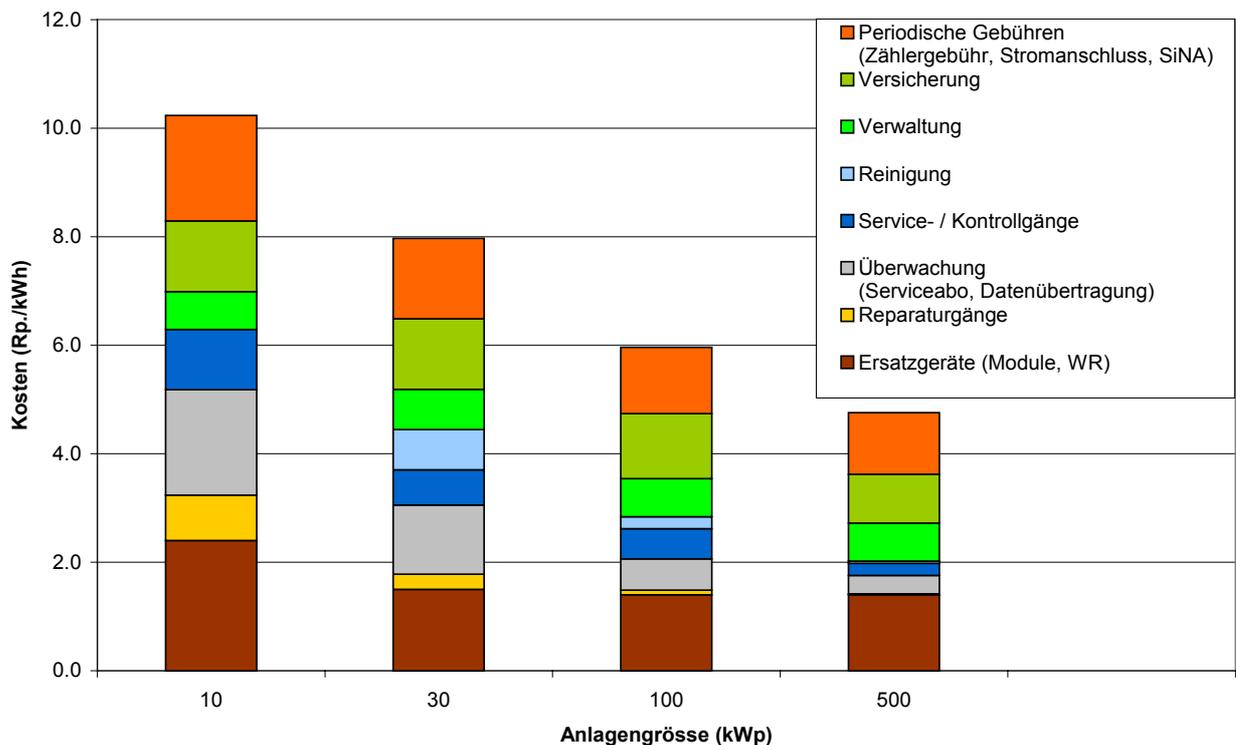
**Envision**

Bernstrasse 57a, 6003 Luzern, [ruoss@envision.ch](mailto:ruoss@envision.ch); [schudel@envision.ch](mailto:schudel@envision.ch)  
[www.envision.ch](http://www.envision.ch)

**Adrian Kottmann, Florian Steinle**

**BE Netz AG**

Bernstrasse 57a, 6003 Luzern, [kottmann@benetz.ch](mailto:kottmann@benetz.ch), [steinle@benetz.ch](mailto:steinle@benetz.ch)  
[www.benetz.ch](http://www.benetz.ch)



## **Impressum**

Datum: 17. März 2008

**Im Auftrag des Bundesamt für Energie**, Forschungsprogramm Photovoltaik

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Projektnummer: 102070 / 152575

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	2
Abstract .....	2
1. Ausgangslage .....	3
2. Ziel der Arbeit .....	3
3. Methode.....	3
Literaturrecherche.....	4
Umfrage durch BFE “Kostendaten von PV-Anlagen” .....	4
Umfrage bei Swissolar-Mitgliedern und Firmen in Deutschland.....	5
Experteninterviews .....	5
Befragung Anlagenbetreiber.....	6
Workshop.....	6
4. Ergebnisse.....	7
Evaluation der Höhe der B&U Kosten .....	7
Möglichkeiten zur Kostensenkung .....	12
Bau.....	13
5. Diskussion .....	17
Definition der B&U Kosten .....	17
Einheit der B&U Kosten .....	18
Höhe der B&U Kosten .....	18
6. Schlussfolgerungen.....	21
Aktuelle B&U Kosten .....	21
Vergleich mit anderen Kraftwerken .....	22
Potenzial zur Kostensenkung .....	23
Ausblick.....	24
Anhang A: Fragebogen .....	26
Anhang B: Vorlage für Experteninterview .....	28
Anhang C: Telefonische Befragung .....	35
Anhang D: Programm Workshop .....	36
Anhang E: Protokoll Workshop PV-BUK.....	38

## Zusammenfassung

Ziel des Projekts PV-BUK war es, die tatsächlichen Betriebs- und Unterhaltskosten (B&U Kosten) von PV-Anlagen zu eruieren, die zukünftige Entwicklung der B&U Kosten abzuschätzen und einen Massnahmenkatalog zur Senkung der B&U Kosten zu erarbeiten. Dazu wurden in der Literatur sowie durch Interviews und mit Hilfe von Fragebogen bei Experten und Anlagenbesitzern möglichst viele Informationen zu den B&U Kosten von PV-Anlagen in der Schweiz und in Deutschland gesammelt. Alle Ergebnisse wurden anschliessend an einem Workshop mit rund 20 Schweizer Experten präsentiert und diskutiert.

Es zeigte sich, dass die Betriebskosten pro kWh Solarertrag mit zunehmender Anlagengrösse und zunehmendem spezifischem Ertrag sinken. Bei einer 10 kWp Anlage betragen die Betriebskosten ca. 10 Rp./kWh, bei einer 30 kWp-Anlage 8 Rp./kWh und bei einer 100 kWp Anlage noch 6Rp./kWh. Der grösste Teil der B&U Kosten wird für Ersatzgeräte benötigt, insbesondere für den Wechselrichter.

In Zukunft werden die B&U Kosten weiter sinken, hauptsächlich weil ein Teil der Kosten (z.B. Versicherungen) mit der Höhe der Investitionssumme gekoppelt ist. Verbesserungspotenzial besteht hauptsächlich bei der Überwachung der Anlage und schnellem Service bei Anlagenausfällen.

## Abstract

The goal of the project PV-BUK was to determine the costs for facility management, to estimate the future cost development and to propose activities for further reduction of the operation and maintenance costs for photovoltaic systems.

Information about the actual cost situation was collected by literature study, but also in interviews and surveys with PV experts and PV owners. Afterwards, all results were discussed at a workshop with about 20 Swiss PV experts.

The results show that the operation costs per kWh energy yield decrease with the size of the PV system and the specific yield of the PV system. Operation costs of a system with 10 kWp are about 10 Rp. / kWh, whereas costs of a 30 kWp system are about 8 Rp./kWh and those of a 100 kWp system about 6 Rp. / kWh. The major part of the costs for facility management are used for spare parts, especially for the inverter.

In future, costs for facility management will decrease further, mainly because they are partly linked with the capital costs (e.g. insurance costs). Optimisation potential exists in several aspects of facility management, for example in monitoring of the system and fast reaction in case of a malfunction.

## 1. Ausgangslage

Verschiedene Organisationen in der Schweiz rechnen bei PV-Anlagen mit Betriebs- und Unterhaltskosten (B&U Kosten) von 12 bis 16 Rp./kWh. Dies liegt nicht nur deutlich über den Betriebskosten für thermische oder mechanische Kraftwerke, sondern sogar über den Stromgestehungskosten für konventionellen Strom (Wasserkraft, Kernkraft, Kohle). Das würde bedeuten, dass PV-Anlagen allein aufgrund ihrer B&U Kosten nicht mit konventionellen Stromerzeugern konkurrenzieren können.

Da PV-Anlagen weder bewegliche Teile enthalten noch Brennstoff benötigen, vermuten Branchenkenner, dass ihre B&U Kosten deutlich unter 12 Rp./kWh liegen.

## 2. Ziel der Arbeit

Für das Projekt PV-BUK wurden folgende Ziele definiert:

- Eruiieren der tatsächlichen B&U Kosten von PV-Anlagen
- Abschätzen der zukünftigen Entwicklung der B&U Kosten
- Massnahmenkatalog zur Senkung der B&U Kosten erarbeiten

## 3. Methode

Das Projekt PV-BUK wurde vom BFE, dem ewz und der Energiefachstelle Basel finanziert. Projektpartner waren die Firmen ENVISION, BE Netz AG und Enecolo AG als Projektleiterin. Zusätzlich wurden die Arbeiten mit der Diplomarbeit „Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen“ von Herr Reich, Universität Biberach, koordiniert [1].

In einer ersten Phase wurden in der Literatur sowie durch Interviews und mit Hilfe von Fragebogen möglichst viele Informationen zu den B&U Kosten von PV-Anlagen gesammelt.

Die Literatursauswertung beschränkte sich auf Berichte aus den letzten 3 Jahren, da die Kosten von PV-Anlagen wie auch die Zuverlässigkeit der Komponenten sich in den letzten Jahren stark gewandelt haben.

Interviews konnten mit 10 Schweizer PV-Experten durchgeführt werden. Der Fragebogen wurde an alle Mitglieder von SWISSOLAR verschickt, sowie durch Herr Reich an verschiedene Firmen in Deutschland. Zusätzlich konnten die anonymisierten Resultate aus der Erhebung des BFE „Kostendaten von PV-Anlagen“ vom Mai 2007 verwendet werden. BE Netz führte ausserdem eine telefonische Befragung von 10 Betreibern privater PV-Anlagen durch.

Alle Ergebnisse wurden anschliessend an einem Workshop mit rund 20 Schweizer Experten präsentiert und diskutiert. Aus den gewonnenen Erkenntnissen erstellte das Projektteam eine Schätzung für die aktuellen B&U Kosten und Empfehlungen für die Senkung der B&U Kosten.

Die vorgeschlagenen Massnahmen zielen auf alle Bereiche einer PV-Anlage, angefangen bei Planung und Bau bis hin zur Organisation des Betriebs. Besonders berücksichtigt wurden Versicherungsgebühren sowie Service- und Unterhaltskosten für Wechselrichter. Am Workshop waren Vertreter von zwei Versicherungen und Sputnik Engineering als grösster Schweizer Wechselrichterhersteller vertreten.

Die Resultate wurden an der 7. Nationalen PV-Tagung in Emmenbrücke präsentiert und flossen in die Diskussion zur Höhe der Einspeisevergütung in der Schweiz ein.

Alle Teilnehmer des Workshops sowie die befragten Personen erhielten auf Wunsch eine Auswertung der Fragebogen-Resultate zugestellt. Im März 2008 können die Resultate ausserdem am 23. Photovoltaik-Symposium in Staffelstein präsentiert werden.

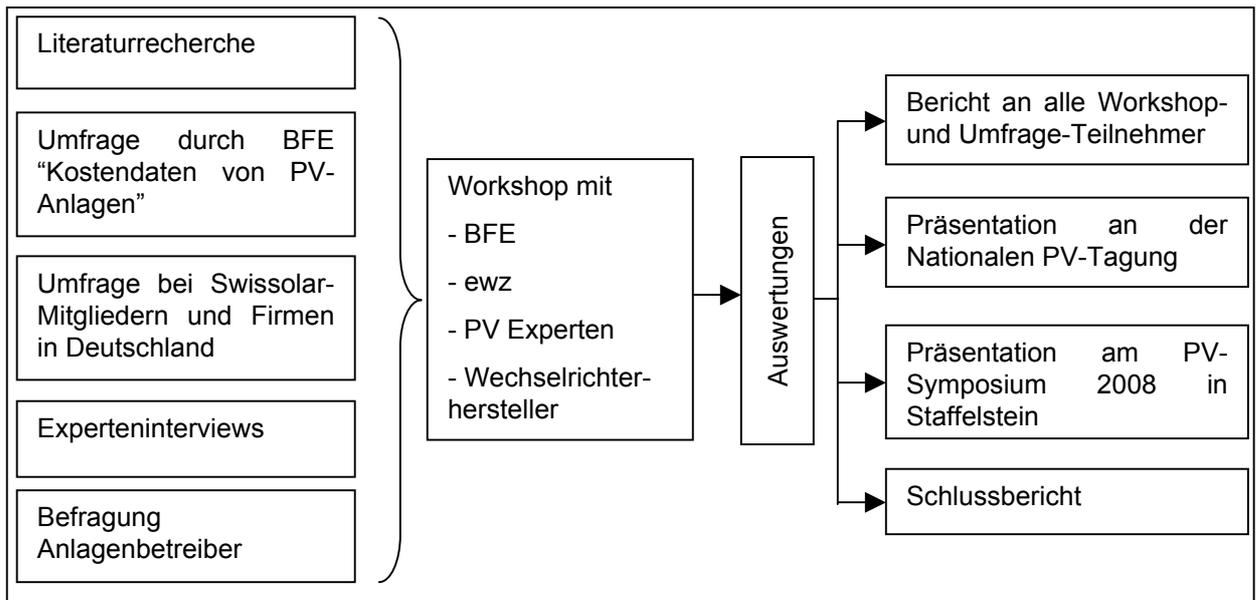


Fig. 1: Schematische Darstellung des Projektverlaufs

## LITERATURRECHERCHE

Die Literaturrecherche konzentrierte sich auf Publikationen von den europäischen Photovoltaik-Konferenzen und den PV-Symposien Staffelstein aus den Jahren 2004 bis 2007. Als besonders wertvoll erwiesen sich dabei besonders die folgenden Publikationen: „Vergleich aktueller und zukünftiger Systemkosten von PV-Grossanlagen mit kristallinen und Dünnschichtmodulen“ [2] und „Kostensenkungen und Ertragssteigerungen in der PV Systemtechnik“ [3]. Ebenfalls beigezogen wurde die AWEL-Publikation "Wirtschaftlichkeitsberechnung von Anlagen mit erneuerbarer Energie" [4]. Ausserdem wurden Daten aus der aktuellen Datenbank IEA Task II [5] und Informationen zu Betriebskosten im neusten Buch von Heinrich Häberlin [6] berücksichtigt. Ältere Publikationen wurden nicht beigezogen, da sich die Kosten und die Qualität der Anlagenkomponenten in den letzten Jahren stark verändert haben.

## UMFRAGE DURCH BFE "KOSTENDATEN VON PV-ANLAGEN"

Im Mai 2007 führte das BFE bei allen Swissolar-Mitgliedern eine Umfrage zu den Kosten von PV-Anlagen durch. In dieser Umfrage wurden neben den Investitionskosten auch die Betriebskosten evaluiert (Tabelle 1). Die Resultate dieser Umfrage wurden dem Projektteam in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt.

B. Betriebskosten		Kosten/Jahr	Kosten/(Jahr*kWp)
<b>B. 1 Unterhalt und Betrieb</b>			
Kosten Nutzfläche	Dachmiete, Landmiete, jährliche		0.00
Regelmässige Miet- und Anschlusskosten	Zählermiete, Stromanschluss etc.		0.00
Regelmässige Unterhaltskosten PV Anlage und Überwachung	Unterhaltskosten inkl. Service- und Überwachungsverträge / -abos und Arbeiten		0.00
Rückstellungen	Mittlere Kosten für Reparaturen und Erneuerungen: Wechselrichter, Module etc.		0.00
Verwaltungskosten	Interne Verwaltung, Versicherungen, Steuern		0.00
<b>Total Betriebskosten (exkl. MWSt.)</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
MWSt.		0.00	0.00
<b>Total Betriebskosten (inkl. MWSt.)</b>		<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

Tabelle 1: Fragebogen des BFE zu Betriebskosten von PV-Anlagen

Erstaunlich ist, dass ein grosser Teil der Umfrageteilnehmer nur die Fragen zu den Investitionskosten beantwortete und die Fragen zu den Betriebskosten entweder überhaupt nicht oder nur lückenhaft ausfüllte. Insgesamt konnten von 36 PV-Anlagen Daten zu Betriebskosten ausgewertet werden. Bei 28 Anlagen waren neben den totalen Betriebskosten auch Angaben zur Verteilung der Betriebskosten

auf verschiedene Unterpunkte vorhanden. Alle Anlagen sind auf Dächern installiert; entweder frei aufgestellt, angebaut oder dachintegriert.

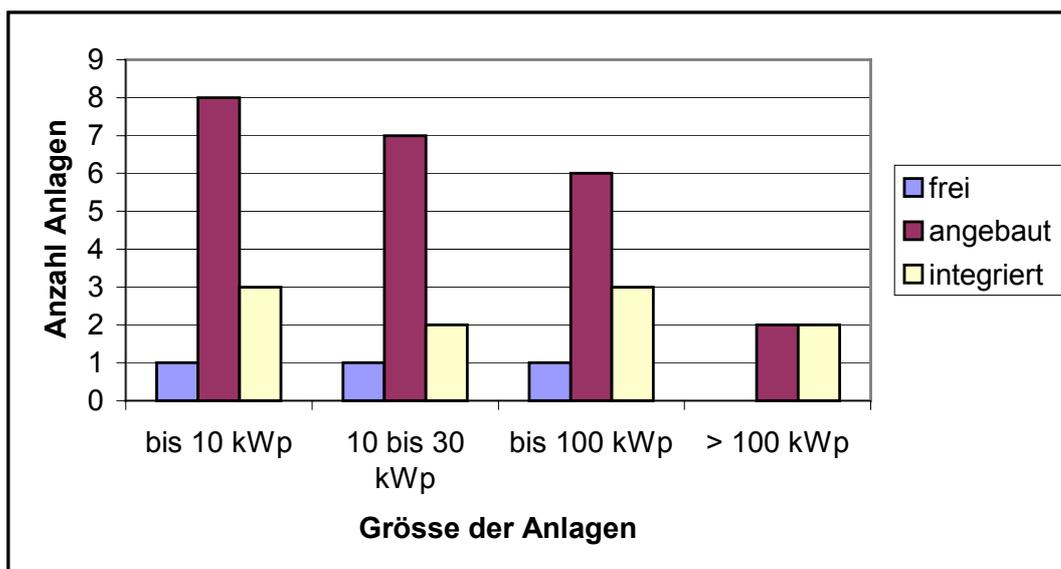


Fig. 2: Verteilung der Anlagen nach Anlagengrösse und -typ

### UMFRAGE BEI SWISSOLAR-MITGLIEDERN UND FIRMEN IN DEUTSCHLAND

Das Projektteam stellte einen eigenen Fragebogen zusammen, der an alle Swissolar-Mitglieder und über Herr Reich an verschiedene Firmen in Deutschland verteilt wurde (siehe Anhang A). Zweck des Fragebogens war es, einerseits die Datenbasis der BFE Umfrage zu vergrössern. Andererseits wurden zusätzliche Fragen nach dem Verbesserungspotenzial in verschiedenen Bereichen der B&U Kosten gestellt.

Der Fragebogen wurde von 7 Firmen in der Schweiz und 8 in Deutschland ausgefüllt, darunter auch von Modulherstellern. Zwei Datensätze aus Deutschland beschreiben Freiflächenanlagen.

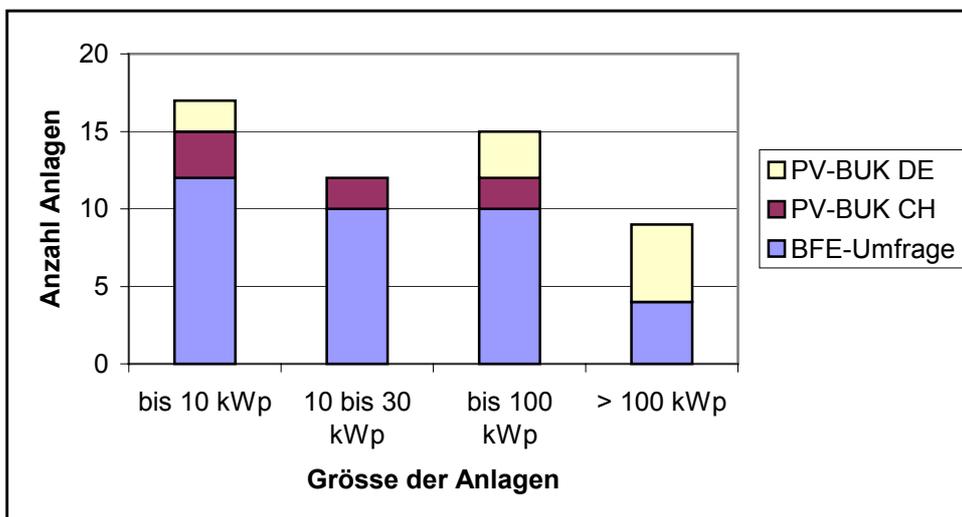


Fig. 3: Verteilung der Anlagen aus den 3 verschiedenen Umfragen nach Anlagengrösse

### EXPERTENINTERVIEWS

Mit 10 Experten in der ganzen Schweiz wurden Experteninterviews durchgeführt (siehe Tabelle 2). Alle Experteninterviews wurden nach derselben Vorlage erstellt (siehe Anhang B). Darin wurden detaillierte Fragen zu den Kosten für Rückstellungen, Versicherungen, Überwachung, Unterhaltskosten, periodische Gebühren, Steuern und Rückbau gestellt. Zusätzlich wurde nach Möglichkeiten zur Senkung der B&U Kosten gefragt.

Name	Firma
Affolter Pascal	Solstis
Kröni Robert	Edisun Power
Hächler Raimund	Solarstatt
Hofmann Roland	Tritec
Hostettler Thomas	Hostettler Engineering
Kottmann Adrian	BE Netz
Nordmann Thomas	TNC Consulting
Nussbaumer Eric	ADEV
Roeske Christian	Suntechnics
Toggweiler Peter	Enecolo

**Table 2:** Liste der interviewten Experten

### BEFRAGUNG ANLAGENBETREIBER

BE Netz führte bei einigen ihrer Kunden telefonisch eine Befragung durch. Insgesamt wurden 14 Kunden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Anlage vor min. 5 Jahren in Betrieb gesetzt.
- Mischung Private, KMU.
- Wenig Rückmeldung oder bekannte Probleme.

10 Kunden konnten telefonisch erreicht werden. Sie wurden gemäss einem Fragebogen (siehe Anhang C) nach den Erfahrungen mit ihrer PV-Anlage gefragt.

### WORKSHOP

Die Resultate aus den Umfragen und der Literaturrecherche wurden am 19. September an einem Workshop bei der ewz präsentiert und diskutiert (Agenda s. Anhang D). Am Workshop nahmen rund 20 Personen teil, darunter neben Vertretern der PV-Branche auch zwei Versicherungen und das ewz. Aus den Präsentationen und der anschliessenden Diskussion wurde ein Protokoll verfasst (siehe Anhang E), das gemeinsam mit den Präsentationen an alle Workshop-Teilnehmer versendet wurde.

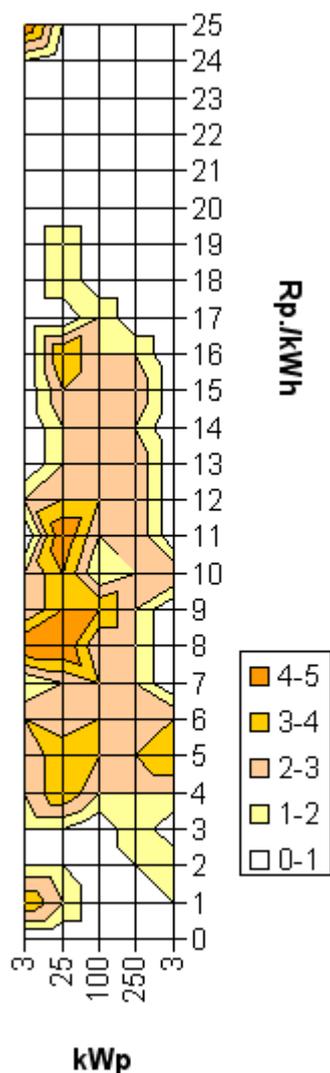
BE Netz
Enecolo AG
Energiebüro
ENVISION
EWZ
Groupe Solvatec SA
Helvetia Versicherung
Hostettler Engineering
Muntwyler Energietechnik
NET AG
Sputnik Engineering AG
TNC Consulting
Tritec
Zürich Versicherungen

**Table 3:** Liste der am Workshop vertretenen Firmen

## 4. Ergebnisse

### EVALUATION DER HÖHE DER B&U KOSTEN

Die Resultate aus den verschiedenen Fragebogen und den Experteninterviews wurden zusammengefasst ausgewertet. Angaben in Euro wurden dabei mit einem Wechselkurs von 1.67 in CHF umgerechnet. Alle Werte wurden in Rp./kWh umgerechnet, mit einer angenommenen Jahresproduktion von 900 kWh/kWp. In den Resultaten wurde nicht zwischen Anlagentypen (dachintegriert, aufgeständert, Freifläche) unterschieden. Da nur zwei Anlagen Freiflächenanlagen waren, sind die Resultate für Freiflächenanlagen nicht repräsentativ.



Bei den Gesamtkosten für Betrieb- und Unterhalt zeigt sich ein sehr heterogenes Bild (Fig. 4). Die Anlagenkosten erstrecken sich über einen Bereich von 4 bis 17 Rp./kWh. Bei den kleinen Anlagen gab es auch einige Werte mit deutlich über 20 Rp./kWh, aber auch Werte nahe bei 0 Rp./kWh. Hohe Betriebskosten ergeben sich bei Kleinanlagen sehr schnell, sobald ein aufwendiges Überwachungskonzept gewählt wird oder die Anlage regelmässig gereinigt oder kontrolliert wird. Wird eine private Anlage dagegen überhaupt nicht überwacht und kontrolliert, fallen die Betriebskosten gegen 0 Rp./kWh.

Grössere Anlagen ab ca. 25 kWp werden meistens professionell betrieben und deshalb auch gewartet. Es treten minimale Kosten von ca. 4 Rp./kWh auf, bei grossen Systemen ab 250 kWp auch weniger. Die Obergrenze der Kosten liegt hier bei ca. 17 Rp./kWh. Dieser Obergrenze ist mindestens teilweise wahrscheinlich auf die Vorgabe des IWB von 12 bis 16 Rp./kWh zurückzuführen, die z.B. von vielen Experten als Richtwert angegeben wurde.

Deutlich am häufigsten traten jedoch Gesamtkosten im Bereich von 7 bis 12 Rp./kWh auf. Eine weitere Konzentration gab es ausserdem bei ca. 5 Rp./kWh.

Aus allen eingegangenen Daten wurden für verschiedene Anlagengrössen die durchschnittlichen B&U Kosten berechnet (Fig. 5). Daraus wird ersichtlich, dass die B&U Kosten für Kleinanlagen deutlich höher liegen als bei den grösseren Anlagen und dass die Kosten mit zunehmender Anlagengrösse tendenziell abnehmen. Mit Ausnahme der kleinsten Anlagenkategorie liegen die B&U Kosten bei ca. 9 bis 11 Rp./kWh

**Fig. 4:** Gesamtkosten für Betrieb und Unterhalt in Abhängigkeit der Anlagengrösse.

Die Legende entspricht der Anzahl untersuchten PV-Anlagen, für welche die entsprechenden Kosten zutreffen.

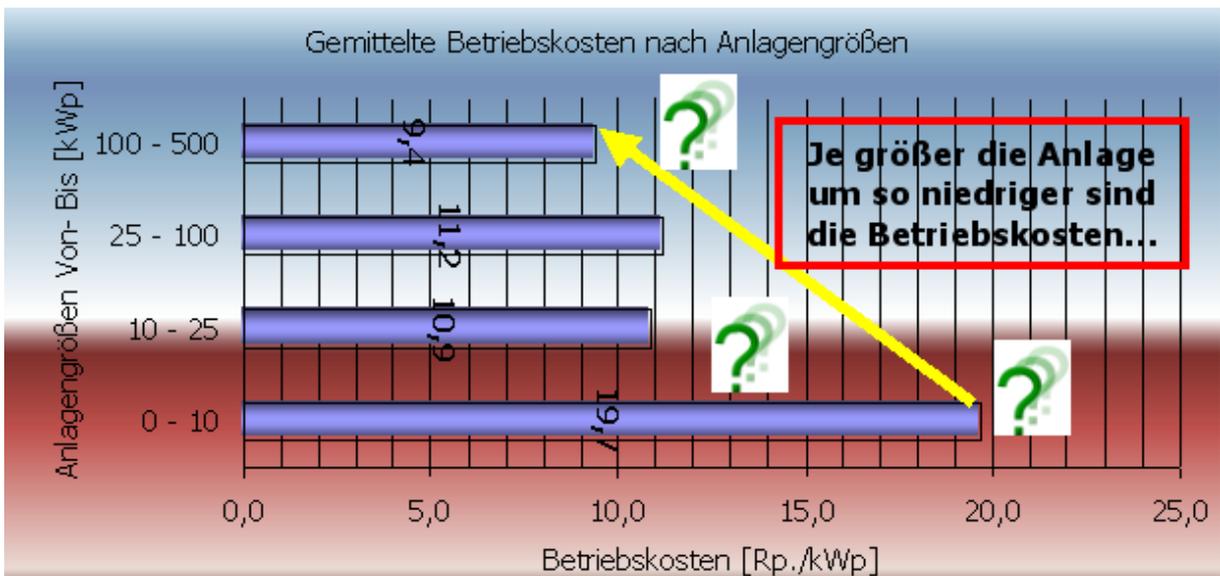


Fig. 5: gemittelte Betriebskosten nach Anlagengrößen

In der Umfrage wurde auch nach der Aufteilung der B&U Kosten in ihre Unterpositionen gefragt (Fig. 6). Dabei zeigt sich, dass der grösste Anteil der Kosten für Rückstellungen eingesetzt wird. Bei Anlagen bis ca. 25 kWp betragen die Rückstellungen ca. 40%, bei grösseren Anlagen ca. 32% der B&U Kosten. Erstaunlich sind die Resultate für die Unterhaltskosten (Service- und Reparaturgänge, Überwachungsverträge, Reinigung). Die Unterhaltskosten variieren je nach Anlagengrösse zwischen 17 und 37%. Der hohe Kostenanteil der Unterhaltskosten bei den Anlagen ab 100 kWp könnte daran liegen, dass für diese Anlagen häufig Wartungsverträge für Wechselrichter bestehen und auch ein detailliertes Überwachungskonzept eingesetzt wird, so dass die Kosten steigen.

Die Verwaltungskosten betragen bei professionell betriebenen Anlagen rund 25%, bei privaten Anlagen dagegen deutlich weniger. Die Kosten für Dachmiete und periodische Gebühren machen einen geringen Anteil der B&U Kosten aus.

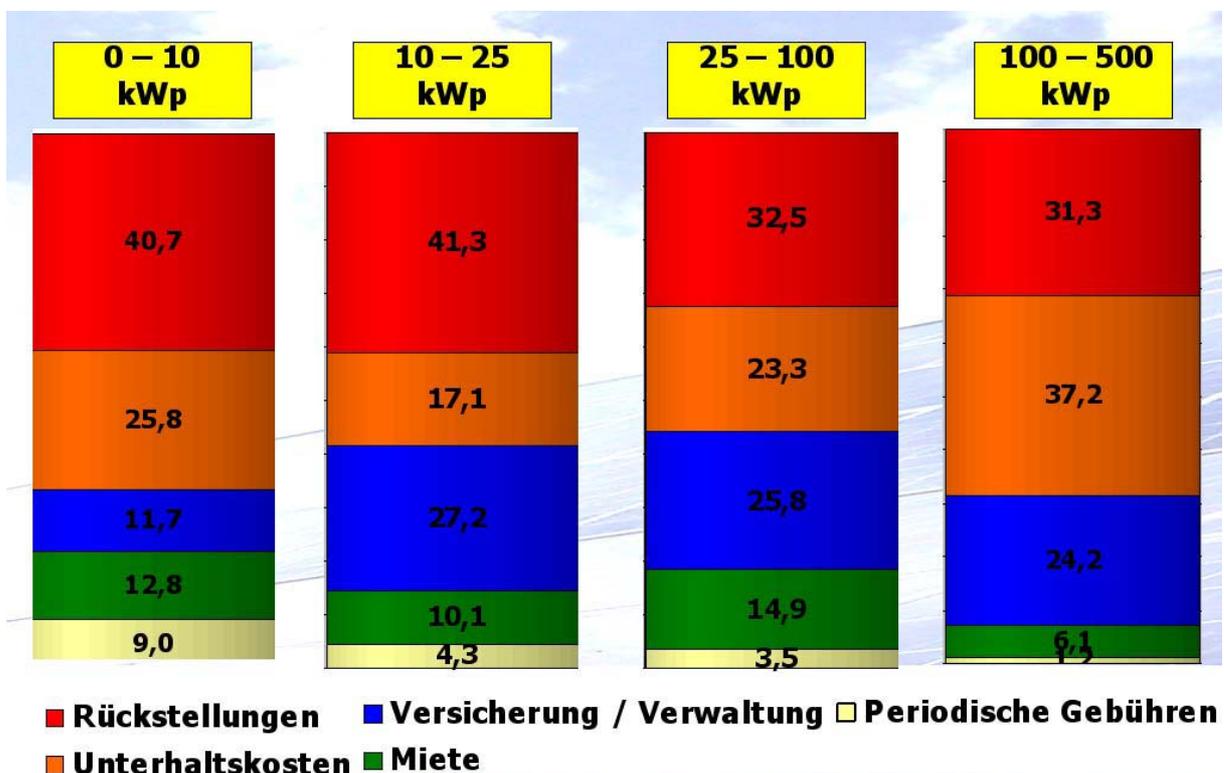
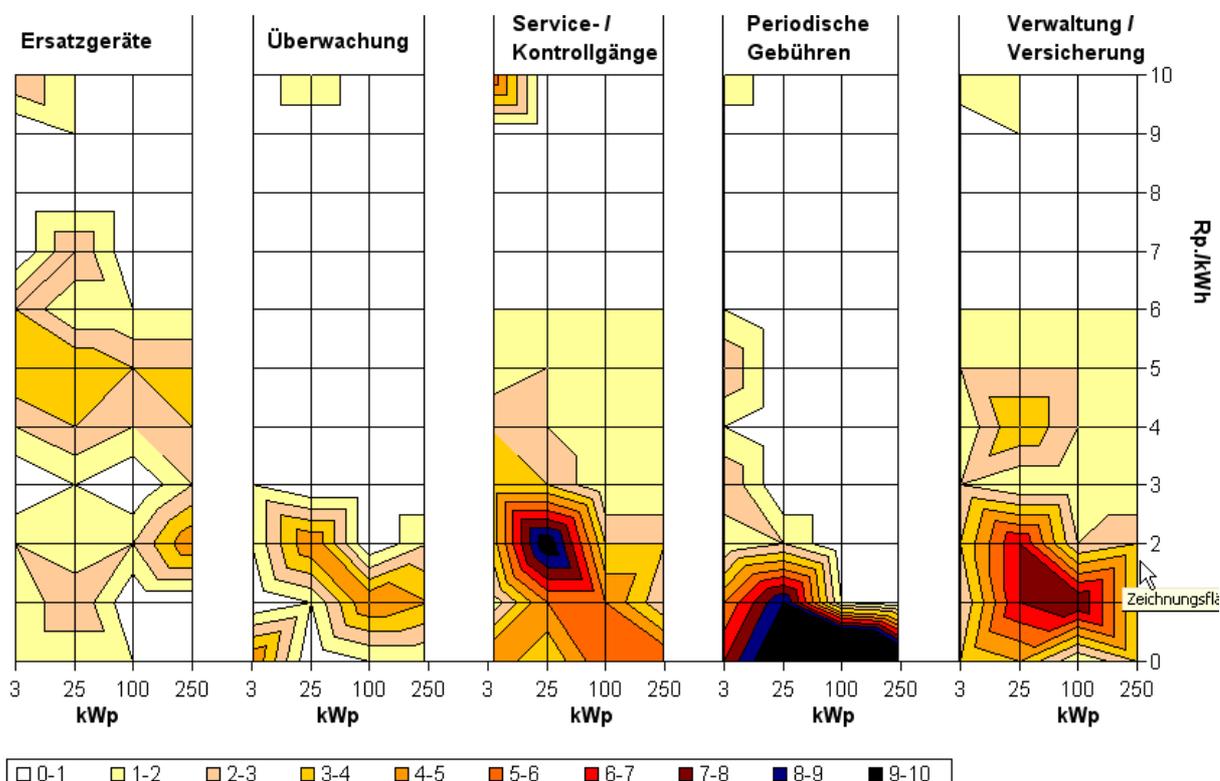


Fig. 6: Prozentuale Aufteilung der B&U Kosten auf einzelne Unterpositionen

Für jede Unterposition wurde die Höhe der Kosten einzeln ausgewertet und mit den Experten diskutiert. Eine Übersicht ist in Fig. 7 dargestellt.



**Fig. 7:** Kosten für die einzelnen Unterpositionen in Abhängigkeit der Anlagengrösse. Die Legende entspricht der Anzahl untersuchten PV-Anlagen, für welche die entsprechenden Kosten zutreffen.

### Reparaturen / Ersatzgeräte

Der Wechselrichter ist immer noch diejenige Komponente, bei welcher am häufigsten Reparaturen anfallen. Die meisten Befragten rechnen damit, dass die Lebensdauer eines Wechselrichters 10 bis 15 Jahre beträgt. Grosse Unterschiede gibt es in der Abschätzung der Kosten für den Wechselrichterersatz, daher weisen die Kosten eine relativ grosse Streuung auf. Es ist aber eine deutliche Konzentration bei ca. 5 Rp./ kWh ersichtlich.

Einige der Befragten schliessen mit dem Wechselrichterhersteller einen Service- und Wartungsvertrag ab. In diesem Vertrag sind die Kosten für Reparaturen und den allfälligen Ersatz des Wechselrichters eingeschlossen. Die Kosten belaufen sich auf 1.5 bis 2 Rp./kWh. Besonders bei Anlagen mit Zentralwechselrichtern werden Wartungs- und Serviceverträge inzwischen häufig abgeschlossen. Bei Kleinwechselrichtern dagegen sind Wartungs- und Serviceverträge noch nicht verbreitet.

Mit dem Ersatz weiterer Geräte (Module, Kabel, Klemmenkästen etc.) wird im Normalfall nicht gerechnet. Höchstens Solarmodule werden, z.B. bei Spezialanfertigungen, auf Lager gehalten.

### Überwachung

Bei den Überwachungskosten gab es sehr unterschiedliche Antworten. Überwachungsintervalle variieren von monatlich bis täglich. Manche Systeme weisen eine aktive Alarmierung auf, bei anderen muss regelmässig der Ertrag abgefragt werden. Viele Befragte überwachen nur den Wechselrichter, einige haben aber auch ein System zur Überwachung der Gesamtanlage. Oft wird die Überwachung mit einem Wartungsvertrag des Wechselrichterherstellers gekoppelt. Kleine private Anlagen haben nur sehr selten eine Überwachung.

Die Auswertung aller Fragebogen zeigt, dass die Kosten (von wenigen Ausnahmen abgesehen) unter 6 Rp./kWh liegen. Es gibt eine starke Konzentration bei 2 Rp./kWh für Anlagen mit 25 kWp. Grössere Anlagen haben tendenziell tiefere Kosten für Kontroll-/Servicegänge und Überwachung.

## **Kontroll- / Servicegänge**

In diese Kostenkategorie fallen die regelmässige Begehung der Anlage inkl. kleinem Unterhalt (v.A. Sicherungen austauschen, Klemmen nachziehen), Reparatur- und Servicegänge sowie die Reinigung und Kosten für die Überwachung.

Eine regelmässige Begehung ist nur bei nicht-privaten Anlagen üblich und wird in der Regel jährlich durchgeführt, z.T. auch häufiger.

Auch das Reinigen von Anlagen ist nur bei nicht-privaten Anlagen üblich. Je nach Standort und Neigung der Anlage gehen die Experten von einer Reinigung alle 2 bis 6 Jahre aus. In alpinen Standorten findet teilweise auch eine Schneeräumung statt.

Die Experten rechnen mit durchschnittlich 3 bis 5 Service- und Reparaturgängen in 20 Jahren pro Wechselrichter.

## **Periodische Gebühren: Zählermiete, Anschlusskosten etc.**

Zählermieten und Anschlusskosten sind in der Schweiz bisher nicht üblich. Daher haben die meisten Befragten die Kosten mit 0 Rp./kWh angegeben. Nur bei kleinen privaten Anlagen müssen teilweise Zählermieten oder Anschlusskosten bezahlt werden. Diese betragen bis zu ca. 10 CHF / Monat. Da diese Gebühren bei kleinen Anlagen nur auf wenige kWh Ertrag verteilt werden können, entstehen schnell Kosten bis zu 6 Rp./kWh.

Bei Anlagen ab 10 kWp ist alle 10 Jahre ein Sicherheitsnachweis durch das Starkstrominspektorat erforderlich. Das führt zu einem Aufwand von ca. einem Tag und fällt deshalb nur bei kleineren Anlagen ins Gewicht.

Weitere periodische Gebühren sind Telefon- und Datenübertragungskosten sowie Stromkosten für den Datenlogger. Diese Kosten wurden von vielen Befragten allerdings beim Punkt Überwachung angegeben.

Die Datenübertragungsgebühren betragen bis zu CHF 25.- pro Monat, falls eine eigene Telefonleitung benötigt wird. Die Stromkosten belaufen sich auf maximal ca. CHF 20.- pro Jahr.

## **Verwaltung und Versicherung**

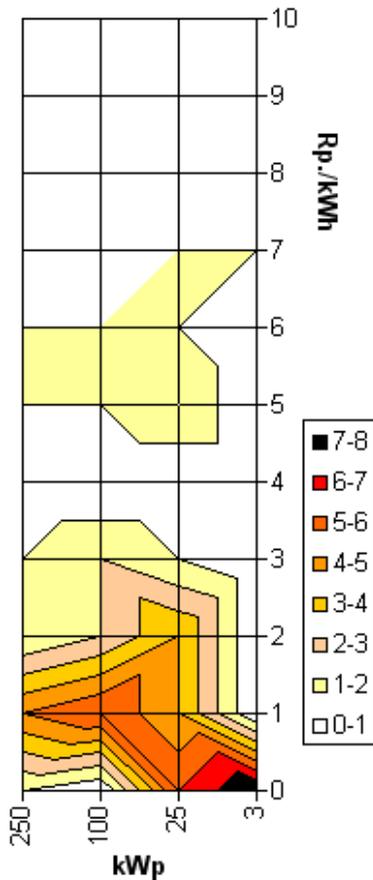
Bei Verwaltung und Versicherung gab es sehr grosse Unterschiede in den Antworten. Es gab eine grosse Spannbreite bei den durch Versicherungen abgedeckten Risiken wie auch bei den dafür notwendigen Kosten. Private Anlagen können oft in die Gebäudeversicherung des Hausbesitzers aufgenommen werden, so dass praktisch keine Versicherungskosten entstehen.

Neben der Haftpflichtversicherung ist eine Sachversicherung für Elementarschaden notwendig. Zusätzlich wurden bei einigen Anlagen Versicherungen gegen Ertragsausfall, Diebstahl und Vandalismus abgeschlossen. Die Kosten für eine Ertragsausfallversicherung wurden mit bis zu 5 Rp./kWh angegeben. Die Kosten für Elementarschaden mit ca. 1 Rp./kWh.

Verwaltungskosten werden von privaten Anlagenbesitzern üblicherweise nicht berechnet. Wir gehen von einem Zeitaufwand von ca. 10 min. pro Monat aus. Contractors gaben ihre Verwaltungskosten mit 2 bis 6 Rp./kWh an. Darin sind aber oft auch Kosten für die Akquisition neuer Anlagen enthalten. Die Kosten sind ausserdem stark von der Grösse des Contractors (d.h. der Anlagenanzahl) abhängig.

Die Auswertung der Fragebogen und Interviews zeigt eine Konzentration der Verwaltungs- und Versicherungskosten bei 1 bis 2 Rp./kWh.

## Dach- / Flächenmiete



Dachmieten sind in der Schweiz nicht üblich und wenn, dann nur für grössere Anlagen. Viele Befragte gaben Kosten von 0 Rp./kWh an. Die Experten erklärten, dass anstelle einer Miete häufig eine Entschädigung in nicht-finanzieller Form vorgenommen wird (Führungen, Schulbesuche, Information).

Manche Contractors sehen vor, dass die Anlage nach 20 Jahren Betrieb kostenlos in den Besitz des Dacheigentümers übergeht. Dafür wird auf eine Miete verzichtet.

Falls doch eine Miete gezahlt wird, ist die Höhe und Berechnungsart sehr unterschiedlich. Manchmal werden Pauschalen verrechnet, manchmal ein Betrag in Abhängigkeit der Dachgrösse und mit zunehmender Häufigkeit erhält der Dacheigentümer einen Anteil am Stromertrag der Anlage. Die Preise liegen in der Regel bei weniger als 2 Rp./kWh, in einigen Regionen aber bei 5 bis 6 Rp./kWh und damit deutlich höher.

**Fig. 8:** Kosten für Dachmiete und Grundstückgebühren in Abhängigkeit der Anlagengrösse. Die Legende entspricht der Anzahl untersuchten PV-Anlagen, für welche die entsprechenden Kosten zutreffen.

## MÖGLICHKEITEN ZUR KOSTENSENKUNG

Die Höhe der B&U Kosten hängt einerseits vom Betriebskonzept ab (z.B. Kosten für Überwachung), wird andererseits aber sehr stark durch die Planung und die Komponentenauswahl beeinflusst. Module und Wechselrichter mit hoher Qualität führen zu geringen Reparaturkosten, durch geeignete Planung wird die Wartung vereinfacht etc. Deshalb wurden auch die Punkte „Planung“ und „Bau“ in den Fragebogen aufgenommen.

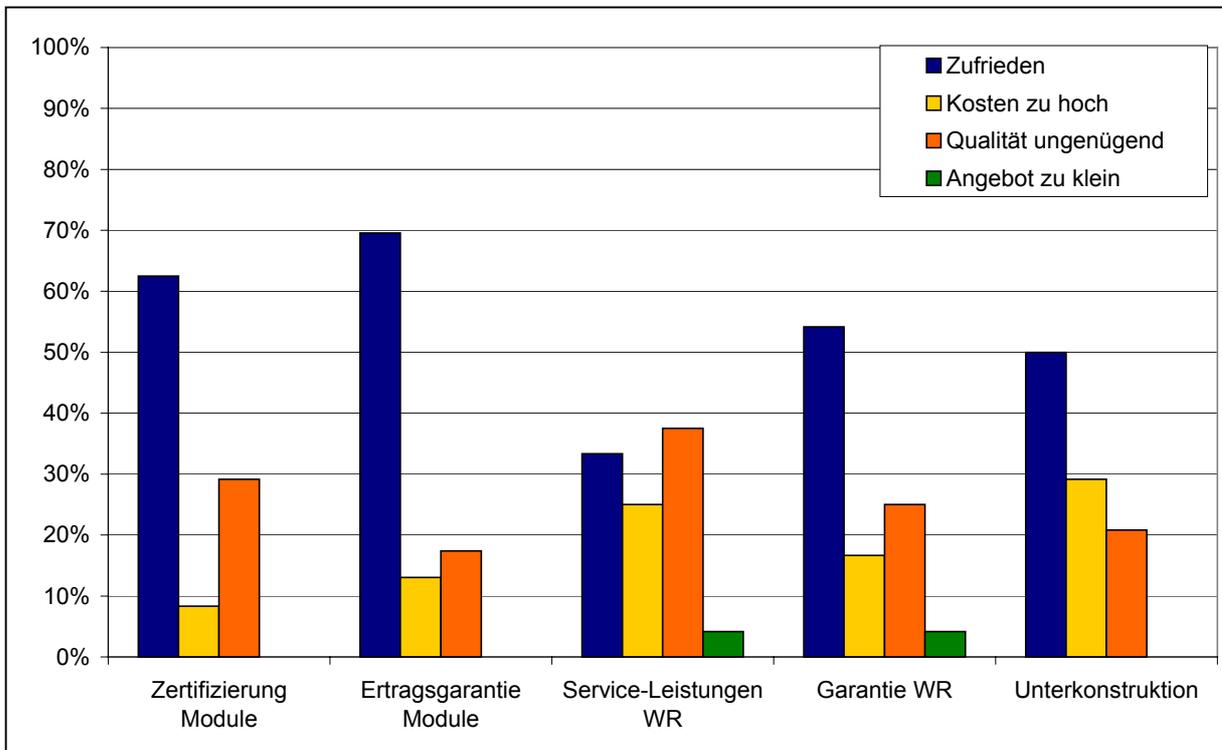
### Reparaturen / Ersatzgeräte

Der grösste Teil der Befragten war mit der Qualität der Anlagenkomponenten zufrieden (Fig. 9). Am häufigsten bemängelt wurden die Service-Leistungen für Wechselrichter. Die Befragten sehen sowohl bei den Kosten wie auch bei der Qualität und der Anzahl Anbieter Verbesserungsmöglichkeiten. In den Interviews wurden insbesondere für Kleinwechselrichter umfassendere und längere Garantien und Serviceverträge gewünscht. Die Experten wiesen ausserdem darauf hin, dass bei den Wechselrichtern ein engeres Servicenetz und eine schnellere Reaktion bei Ausfällen nötig wären. Besonders an Wochenenden und während Ferienzeiten ist der Wechselrichterservice offenbar nicht immer gewährleistet.

Relativ oft wurden die Kosten und die Qualität der Unterkonstruktion bemängelt, allerdings hauptsächlich von den deutschen Befragten. Die Schweizer Experten schätzten diesen Punkt nicht als kritisch ein.

Ebenfalls erwähnt wurde, dass Sicherungen und FI-Schalter ab und zu aus unbekanntem Gründen (z.B. Witterung) auslösen und so zu hohen Kosten für Servicegänge führen. Besonders im Zusammenhang mit Blitzschutz werden von den lokalen Behörden offenbar teilweise sehr viele Sicherungen verlangt, was im Betrieb potentiell zu häufigen Problemen wegen falsch auslösenden Sicherungen führen kann.

Als weiterer Punkt wurde die Zertifizierung der Module bemängelt. Besonders hervorgehoben wurde dabei, dass das Schwachlichtverhalten der Module nicht berücksichtigt wird und dass bei Dünnschichtmodulen noch zu wenig Erfahrungen bestehen. Ausserdem hat sich gezeigt, dass bei einigen Herstellern Garantiefälle sehr unprofessionell behandelt werden. Es kann auch sehr schwierig sein, Garantiefälle einzufordern, besonders wenn die Herstellerfirma in der Zwischenzeit weiterverkauft wurde und in ihrer ursprünglichen Form nicht mehr existiert.



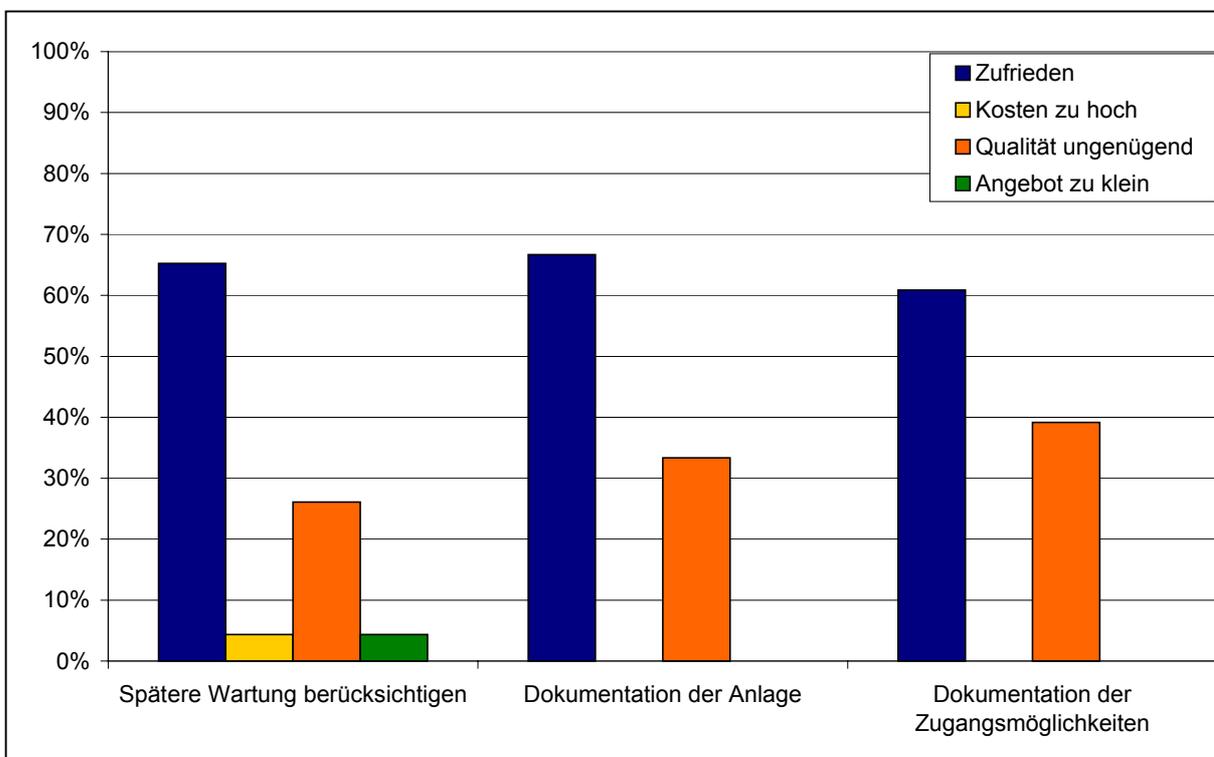
**Fig. 9:** Bewertung verschiedener Anlagenkomponenten. Befragte, die nicht zufrieden waren konnten ankreuzen, in welchem Bereich (Kosten, Qualität, Angebot) Verbesserungen notwendig wären.

## Planung

Bereits während der Planung einer PV-Anlage sollte die spätere Wartung der Anlage berücksichtigt werden. Dazu gehören z.B. die gute Zugänglichkeit der Anlage, insbesondere der Wechselrichter, Datenkommunikation und Klemmenkästen, da diese bei jedem Servicegang aufgesucht werden müssen. Für allfällige Reparaturen ist eine gute Dokumentation der Anlage (Stringplan, Datenblätter der Module und Wechselrichter etc.) sehr hilfreich. Bei Anlagen auf fremden Dächern sollten ausserdem die Zugangsmöglichkeiten (Tel. Nummer des Hauswarts, Schlüssel) schnell auffindbar sein.

Bei all diesen Punkten gibt es bei den Planungsbüros offenbar noch Verbesserungsmöglichkeiten (s. Fig. 10). Nach Aussage der Experten ist die Qualität der Planung unter den Büros in der Schweiz sehr unterschiedlich. Besonders hervorgehoben wurde von den Experten, dass ein Ablaufplan für den Fall eines Fehlers (z.B. Wechselrichterdefekt) vorhanden sein sollte. Offenbar kommt es regelmässig vor, dass bei einer Störungsmeldung sehr viel Zeit bis zur Reparatur verstreicht, weil die Zuständigkeiten und Meldewege unklar sind.

Ebenfalls erwähnt wurde, dass eine Überdimensionierung des Wechselrichters zu Problemen im Betrieb führen kann. Ein weiterer Punkt bei der Planung ist, dass Komponenten wie z.B. die Klemmenkästen nicht nur gut zugänglich, sondern wenn möglich auch gruppiert angeordnet werden sollten, um Servicegänge und Messungen zu erleichtern.



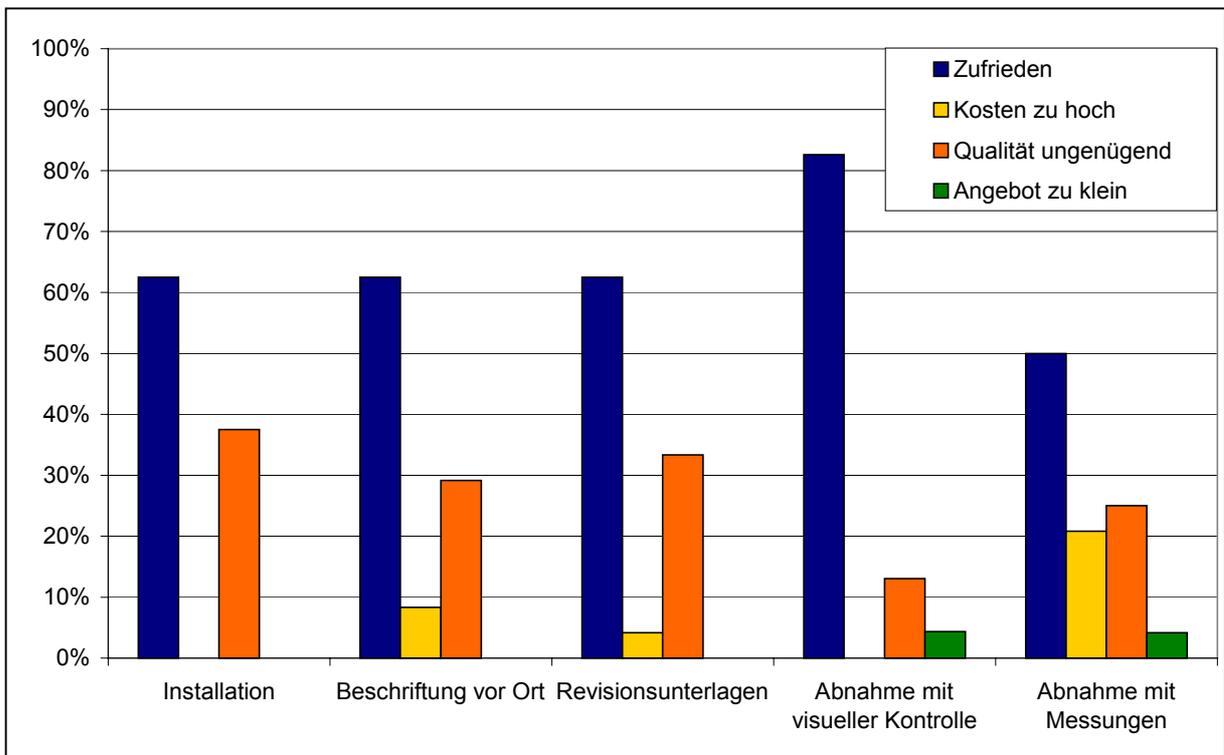
**Fig. 10:** Bewertung verschiedener Aspekte der Planung, die sich auf die Wartung auswirken. Befragte, die nicht zufrieden waren konnten ankreuzen, in welchem Bereich (Kosten, Qualität, Angebot) Verbesserungen notwendig wären.

## Bau

Die fachmännische, korrekte und normgerechte Installation einer PV-Anlage sollte eigentlich selbstverständlich sein. Die Umfrage zeigt aber, dass dies bei weitem nicht immer der Fall ist (s. Fig. 11). Die Experten befürchten ausserdem, dass mit der Einspeisevergütung in der Schweiz viele Firmen neu in die Branche einsteigen werden und dadurch die Qualität sinken wird.

Besonders wurde beim Bau kritisiert, dass die Dachstatik und die Anbindung an das Dach oft nicht professionell gelöst werden. Falls der Bau der Anlagen durch verschiedene Firmen und nicht durch einen Generalunternehmer erfolgt, gibt es offenbar häufig Schnittstellenprobleme. Dies kann nicht nur zu Verzögerungen sondern auch zu Einbussen in der Qualität führen. Weiter wurde bemängelt, dass die Komponenten vor Ort oft nicht (oder nicht vollständig) beschriftet werden und dass

Revisionsunterlagen fehlen. Abnahmen erfolgen heute meistens mit einer visuellen Kontrolle, aber nur selten mit Kennlinien- oder anderen Messungen. Bei den Messungen wurde nicht nur die Qualität sondern auch die Kosten und das Angebot bemängelt. Generell waren sich die Experten einig, dass eine ausführliche Abnahme der Anlage mit Messungen zum Standard gehören sollte.

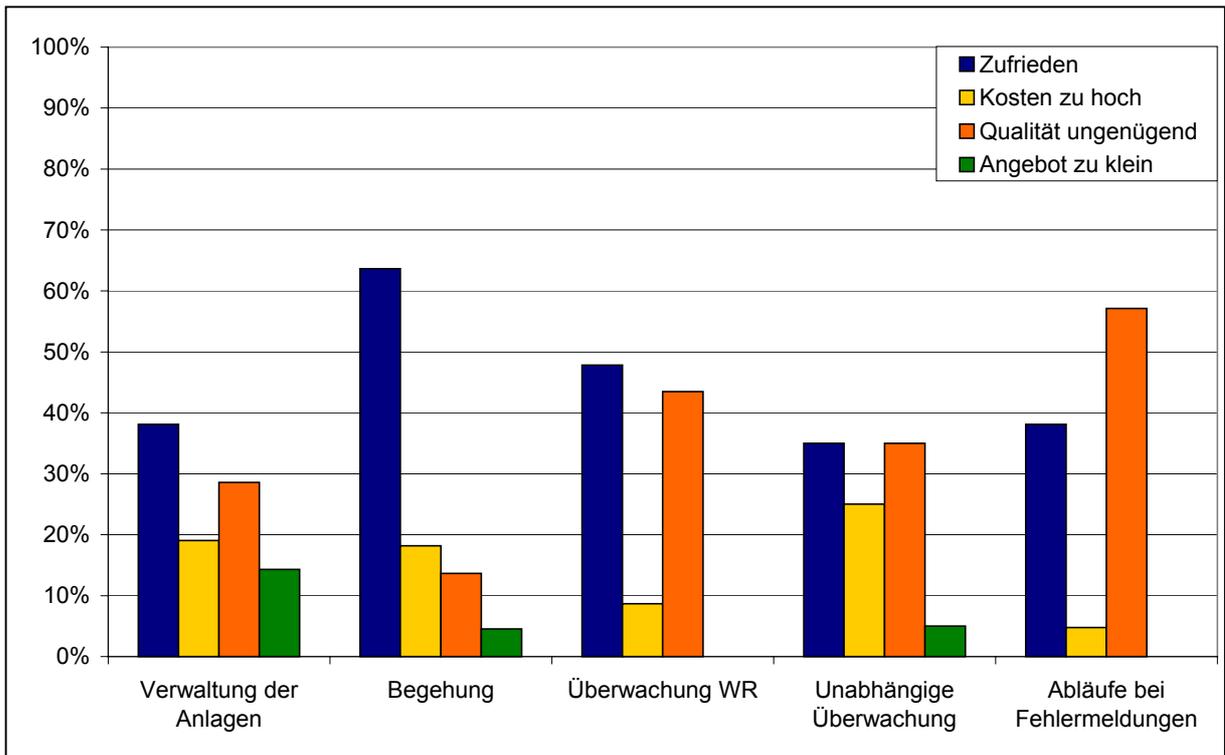


**Fig. 11:** Bewertung verschiedener Aspekte der Installation, die sich auf die Wartung auswirken. Befragte, die nicht zufrieden waren konnten ankreuzen, in welchem Bereich (Kosten, Qualität, Angebot) Verbesserungen notwendig wären.

### Kontroll- / Servicegänge

Verbesserungspotenzial sehen die Experten bei den Servicegängen. Fernwartungssysteme würden eine schnellere Fehlerdiagnose und somit ein schnelleres Eingreifen ermöglichen. Zusätzlich würden überflüssige Servicegänge gespart. Heute sind bei einem Fehlerfall manchmal zwei Servicegänge nötig: in einem ersten Servicegang wird die Ursache für den Fehler eruiert. Danach werden die nötigen Ersatzteile organisiert und in einem zweiten Servicegang kann der Defekt dann behoben werden.

Weiteres Verbesserungspotenzial besteht bei der Reinigung. Hier ist unklar, wie oft eine Anlage gereinigt werden sollte, um ein möglichst gutes Kosten/Nutzen Verhältnis zu erzielen.



**Fig. 12:** Bewertung verschiedener Aspekte des Unterhalts. Befragte, die nicht zufrieden waren konnten ankreuzen, in welchem Bereich (Kosten, Qualität, Angebot) Verbesserungen notwendig wären.

## Überwachung

Die Umfrage zeigt, dass bei der Überwachung noch grosses Verbesserungspotenzial herrscht. Einerseits wird die Qualität der Überwachung stark kritisiert (S. Fig. 12). Besonders Fehlalarme und unklare Fehlermeldungen werden von den Experten bemängelt. Bei unabhängigen Überwachungssystemen sind ausserdem die Kosten oft zu hoch.

Die Experten fordern bei der Überwachung einen hohen Automatisierungsgrad, um den Aufwand für die Datenauswertung zu minimieren. Zusätzlich sollten nicht nur Wechselrichterprobleme, sondern auch „externe“ Fehler erkannt und identifiziert werden. Ebenfalls als Problem angesprochen wurde die Datenübertragung. Einerseits entstehen häufig hohe Kosten durch Telefongebühren und –abonnemente. Andererseits ist nicht klar, ob die zur Zeit eingesetzten Datenlogger dieselbe Lebensdauer wie die PV-Anlagen aufweisen, insbesondere ob die heutigen Datenübertragungswege auch in 20 Jahren noch funktionieren werden.

### Periodische Gebühren: Zählermiete, Anschlusskosten etc.

Bei den periodischen Gebühren wurde vor allem bei den Telefon- und Datentransferkosten Verbesserungspotenzial ausgemacht. Unklar ist, wie sich die Gebühren für den Zähleranschluss in Zukunft entwickeln werden. Heute sind solche Gebühren nicht üblich. Es wird aber damit gerechnet, dass mit der Einführung der kostendeckenden Vergütung von vielen Elektrizitätswerken Zählergebühren eingeführt werden. Ebenfalls noch unklar ist die Entwicklung bei den Steuern.

### Versicherungen

Die Gespräche mit verschiedenen Versicherungen haben gezeigt, dass in der Schweiz erst sehr wenige Versicherungen für PV-Anlagen existieren. Bei vielen Versicherungen ist Photovoltaik noch ein Fremdwort und Versicherungen sind entweder gar nicht oder nur zu schlechten Konditionen erhältlich.

Einige Versicherungen bieten aber bereits interessante Versicherungspakete für PV-Anlagen an (z.B. Helvetia, Zürich Versicherungen). Die Gespräche mit den Experten zeigten aber, dass diese Versicherungsangebote in der Branche noch wenig bekannt sind.

In Zukunft sollte also einerseits das Angebot an Versicherungsmöglichkeiten zunehmen, andererseits ist auch eine bessere Kommunikation und Information zwischen der PV-Branche und den Versicherungen notwendig.

## **Verwaltung**

Die Umfrage zeigt auf, dass bei der Verwaltung sowohl die Kosten wie auch die Qualität verbessert werden sollten und zu wenige Anbieter vorhanden sind. Manche Experten beklagen, dass die Rechnungsstellung durch die Elektrizitätswerke häufig fehlerhaft ist oder ausfällt und so zu grossem administrativem Aufwand führt. Insbesondere bei Contracting-Firmen wird bemängelt, dass die Administration noch zu wenig professionell und automatisiert ist und deshalb einerseits hohe Kosten entstehen und andererseits auch die Qualität leidet. Die Experten sind sich aber einig, dass sich diese Situation in den nächsten Jahren verbessern wird, da die Contractor-Firmen wachsen und dadurch an Professionalität gewinnen werden. Auf Seiten der Elektrizitätswerke prognostizieren die Experten hingegen für die nächsten Jahre vermehrt Probleme mit der Abrechnung. Dies hauptsächlich deshalb, weil durch die gesamtschweizerische kostendeckende Vergütung viele EWs zum ersten Mal mit Abrechnungen für PV-Anlagen konfrontiert sein werden.

## **Dachmiete**

Bei den Dachmieten wurden von den Experten keine schwerwiegenden Probleme angesprochen. Einige wünschen sich einen Standardvertrag oder zumindest Richtlinien und einheitlichere Preise. Die Verantwortlichkeit dazu liegt bei den Fachverbänden.

## **Rückbau**

Alle Experten bedauern, dass es noch sehr wenig Erfahrungen mit dem Rückbau von PV-Anlagen gibt. So können auch evtl. anfallende Kosten dafür nur schlecht eingeschätzt werden.

## 5. Diskussion

### DEFINITION DER B&U KOSTEN

Ein grosser Diskussionspunkt am Workshop und auch innerhalb des Projektteams war die Definition der B&U Kosten. Nur sehr wenige Kostenpunkte konnten klar den B&U Kosten zugeordnet werden, denn oft werden B&U Kosten von den Betreibern in Form von Rückstellungen bereits bei den Investitionskosten angerechnet. Andere Kosten, wie z.B. Steuern oder der Rückbau der Anlage, gehören nicht in die Investitionskosten. Sollen sie deshalb den B&U Kosten zugeordnet werden?

Aufgrund der Diskussionen am Workshop und eigener Überlegungen hat das Projektteam die einzelnen Kostenpunkte den Gruppen „Investitionskosten“, „B&U Kosten“ und „Diverses“ zugeordnet.

	Investitionskosten	B&U Kosten	Diverse Kosten	Risikozuschlag
Planung	x			
Installation	x			
Komponenten (Module, Wechselrichter, etc.)	x			
Datenlogger	x			
Überwachung (Serviceabo, Datenübertragung)		x		
Ersatzgeräte (Module, WR)	x (Rückstellungen)	x		x
Reparaturgänge		x		
Service- / Kontrollgänge		x		
Reinigung		x		
Periodische Gebühren (Zählergebühr, Stromanschluss, SiNA)		x		
Verwaltung		x	x	
Versicherung	x (integriert in GU Lösung)	x	x	x
Rückbau	x (Rückstellungen)	x	x	
Steuern		x	x	
Dachmiete	x	x	x	
Kapitalkosten			x	
Ertragsausfälle				x

**Tabelle 4:** Anfallende Kosten für eine PV-Anlage und die möglichen Zuordnungen zu verschiedenen Kostengruppen (x). Grün hinterlegt ist ersichtlich, für welche Kostenart sich die Projektgruppe entschieden hat

Diskutiert wurden besonders folgende Punkte:

#### Ersatzgeräte (Module, Wechselrichter)

Viele Investoren machen bereits während der Investitionsphase Rückstellungen, um spätere Modul- und Wechselrichterausfälle decken zu können. Teilweise werden Ersatzmodule gekauft oder Wechselrichter als Ersatzgeräte auf Lager gehalten. Da die eigentlichen Kosten aber während dem Betrieb anfallen, wurde entschieden, dass Ersatzgeräte zu den B&U Kosten gehören. Ob und wann das Geld und die Ressourcen für die Ersatzgeräte bereit gestellt werden, spielt dabei keine Rolle.

#### Verwaltung

Verwaltungskosten fallen einerseits für den Betrieb der Anlagen an, andererseits auch für die Beschaffung von Finanzmitteln, die Akquisition und die Planung der Anlage. Das Projektteam hat sich entschlossen, nur diejenigen Verwaltungskosten zu berücksichtigen, die für den Betrieb der Anlage anfallen. Dazu gehören die jährliche Abrechnung mit dem Elektrizitätswerk und allfällige administrative Arbeiten im Zusammenhang mit Begehungen, Reparaturen oder der Überwachung.

#### Versicherung

Die Helvetia-Versicherung bietet für Kleinanlagen ein Versicherungspaket an, das in den Gesamtpreis der PV-Anlage integriert ist. Der Kunde zahlt somit die Versicherungskosten für 10 Jahre bereits beim Kauf der Anlage. Trotzdem wurde entschieden, Versicherungen zu den Betriebs- und Unterhaltskosten zu zählen. Der Umfang und die Art der Versicherungsleistungen ist bei den Experten

umstritten. Einig sind sich alle, dass die Haftpflichtversicherung sowie die Sachversicherung obligatorisch sind. Teilweise werden aber auch Versicherungen gegen Vandalismus oder Ertragsausfall abgeschlossen. Die Projektgruppe hat sich entschieden, die Haftpflicht- und Sachversicherung den B&U Kosten zuzuordnen. Weitergehende Versicherungen sind fakultativ und werden als Risikozuschlag gewertet.

### **Rückbau**

Kosten für den Rückbau der Anlage können entweder schon bei der Investition als Rückstellungen verbucht werden, zu den B&U Kosten dazugezählt oder als eigene Kostengruppe angesehen werden. Das Projektteam hat sich entschlossen, Rückbaukosten nicht zu den B&U Kosten zu zählen, da sie erst nach der Betriebsphase der Anlage anfallen.

### **Steuern und Kapitalkosten**

Steuern und Kapitalkosten fallen während dem Betrieb der PV-Anlage an. Sie haben aber keinen direkten Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlage. Am Workshop wurde gemeinsam beschlossen, diese Kosten einer eigenen Kategorie zuzuordnen und nicht zu den B&U Kosten zu zählen.

### **Dachmiete**

Üblicherweise werden in der Schweiz keine Dachmieten gezahlt. Sie wurden deshalb nicht in die B&U Kosten aufgenommen.

### **Ertragsausfälle**

Der Ausfall der PV-Anlage führt zu verminderten Einnahmen und damit indirekt zu Kosten. Bei gut überwachten Anlagen sollten die Kosten für Ertragsausfälle allerdings minim sein. Höchstens in alpinen Lagen muss aufgrund von Schneebedeckung im Winter regelmässig mit Ertragseinbussen gerechnet werden. Dies wurde von der Projektgruppe jedoch als Risikozuschlag und nicht als B&U Kosten definiert.

## **EINHEIT DER B&U KOSTEN**

B&U Kosten werden in der Literatur häufig in % der Investitionskosten oder in CHF/kWp/Jahr angegeben. Die Tarife der Einspeisevergütung basieren aber alle auf der Einheit „Rp./kWh“. Am Workshop wurde beschlossen, für die B&U Kosten die Einheit „Rp./kWh“ zu verwenden, denn die in diesem Projekt vorgeschlagenen B&U Kosten sollen in die Tarifbestimmungen der Verordnung zum Einspeisegesetz einfließen.

## **HÖHE DER B&U KOSTEN**

Aufgrund der Umfrageresultate und des Workshops hat die Projektgruppe durchschnittliche B&U Kosten für verschiedene Anlagengrößen berechnet. Als Referenzanlagen wurde eine 10 kWp, eine 30 kWp, eine 100 kWp und eine 500 kWp Anlage gewählt. Bei der Berechnung der Kosten wurde angenommen, dass eine PV-Anlage im Durchschnitt 900 kWh/kWp/Jahr produziert und eine Lebensdauer von 20 Jahren hat. Unabhängig von der Art der Arbeit (Reparaturen, Reinigung, Administration) wurde ein Stundensatz von CHF 100.- angenommen. Eigenleistungen von Privaten (z.B. bei der 10 kWp-Anlage) wurden mit demselben Stundensatz einkalkuliert.

Die Resultate sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Folgende Annahmen wurden zur Berechnung getroffen:

### **Überwachung**

Hardwarekosten wurden den Investitionskosten zugeordnet und somit nicht berücksichtigt. Für die Überwachung entstehen während dem Betrieb Kosten für die Datenübertragung und jährliche Abbonnementskosten. Weiter muss der Zeitaufwand berücksichtigt werden.

### **Datenübertragung**

Bei der 10kWp-Anlage wurde angenommen, dass die Datenkommunikation über den vorhandenen, privaten Internetanschluss erfolgt und somit keine zusätzlichen Kosten entstehen. Bei den übrigen Referenzanlagen wurde von einem GSM-Anschluss mit monatlichen Abbonnementskosten von CHF 10.- für die SIM-Karte ausgegangen.

## **Überwachungs-Abonnement**

Bei allen Anlagen wurde eine Überwachung mit dem SPYCE-Service angenommen. Jeweils 10 kWp werden einzeln überwacht. Somit ergeben sich jährliche Abonnementskosten von CHF 75.-, 125.-, 300.- und 1300.- für die Referenzanlagen.

## **Zeitaufwand**

Es wird davon ausgegangen, dass der Anlagenbesitzer / -Betreiber immer Ende Monat während 5 min. die Ertragsdaten der Anlage in SPYCE überprüft.

## **Ersatzgeräte**

Es wurde angenommen, dass bei der 10kWp-Anlage 3 Wechselrichter 3000C von Sputnik eingesetzt werden. Für diese Wechselrichter kann eine Reparaturpauschale von CHF 360.- pro Wechselrichter während 10 Jahren abgeschlossen werden (CHF 108.- pro Jahr). Für die restliche Lebensdauer der Anlage wurde mit Rückstellungen in derselben Höhe wie die Reparaturpauschale gerechnet.

Bei den grösseren Referenzanlagen wurde davon ausgegangen, dass Zentralwechselrichter eingesetzt werden, für die ein Service-Abonnement abgeschlossen werden kann. Ein Serviceabonnement inkl. Überwachungsangebot kostet bei Sputnik aktuell ca. 1.7Rp./kWh. Es wurde angenommen, dass ein reines Service-Abonnement (ohne Überwachung) bei einer 30 kWp-Anlage 1.5 Rp./kWh kostet, bei grösseren Anlagen 1.4 Rp./kWh.

## **Reparaturgänge**

Unabhängig von der Anlagengrösse wurde angenommen, dass während der gesamten Lebensdauer der Anlage 3 Reparaturgänge à 5 Stunden (CHF 500.-) notwendig sind.

## **Service- / Kontrollgänge**

10 kWp Anlage: alle 5 Jahre ein Servicegang von 1/2 Tag Dauer

30 kWp Anlage: alle 3 Jahre ein Servicegang von 1/2 Tag Dauer

100 kWp Anlage: jedes Jahr ein Servicegang von 1/2 Tag Dauer

500 kWp Anlage: jedes Jahr ein Servicegang von 1 Tag Dauer

## **Reinigung**

Bei der 10 kWp-Anlage wurde davon ausgegangen, dass die Reinigung im Servicegang inbegriffen ist. Bei den übrigen Anlagen wurde ein Reinigungsaufwand von 1 Tag alle 5 Jahre angenommen.

## **Periodische Gebühren**

Telefon- und Übertragungsgebühren sind bei den Überwachungskosten berücksichtigt. Allfällige Kosten für Netzkapazitätserweiterung gehören zu Investitionskosten.

Weil der Gebäudewert steigt, können evtl. auch die Abwassergebühren steigen. Dies wurde aber nicht berücksichtigt.

## **Zählergebühr**

Für PV-Anlagen bis ca. 30 kWp genügt ein normaler Energiezähler. Aktuell sind Zählergebühren noch nicht üblich, nach Aussage von Jürg Marti vom ewz muss in Zukunft (v.a. im Zusammenhang mit der kostendeckenden Einspeisevergütung in der Schweiz) vermehrt mit Zählergebühren gerechnet werden.

Beim EVG Grächen betragen die Zählergebühren für einen Zähler bis 160A aktuell CHF 80.- pro Jahr. In der Gemeinde Wiesendangen kostet ein Zähler für einen Privathaushalt CHF 51.65 pro Jahr. Dies zeigt auf, dass die Zählergebühren sehr unterschiedlich sind. Wir haben für die 10 kWp-Anlage eine Zählergebühr von CHF 75.- pro Jahr angenommen.

Ab ca. 30 kWp ist ein Stromwandlerzähler notwendig, der teurer ist als ein üblicher Zähler. Beim EKZ beträgt der Grundpreis für die Netznutzung in Niederspannung CHF 60.- pro Monat, beim EWB CHF 160.- pro Monat. Wir sind für die Referenzanlagen von 30, 100 und 500 kWp von einer Gebühr von CHF 100.- pro Jahr und pro 10 kWp ausgegangen.

## Sicherheitsnachweis (SiNa)

Für PV-Anlagen an landwirtschaftlichen Bauten, Gewerbe- und Bürogebäuden ist in der Schweiz alle 10 Jahre ein Sicherheitsnachweis (SiNa) erforderlich. Für PV-Anlagen an Privatgebäuden ist der SiNa nur alle 20 Jahre erforderlich. In unseren Annahmen wurde ein Aufwand von ca 1 Tag alle 10 Jahre eingesetzt, unabhängig von der Anlagengrösse.

## Verwaltung

Nach Aussagen verschiedener Contractors ist der Verwaltungsaufwand proportional zur Anlagengrösse. Für eine 30 kWp-Anlage wird mit jährlich ca. 2 h Aufwand für Rechnungsstellung, Koordination von Service- und Reparaturgängen und weitere Administrationsarbeiten gerechnet. Das ergibt Kosten von 0.7 Rp./kWh

## Versicherung

Die Versicherung von Elementarschaden und Haftpflicht ist für alle PV-Anlagen üblich und wurde deshalb berücksichtigt. Weitergehende Versicherungen werden selten abgeschlossen und gehören zum Risikozuschlag. Anlagen im Privatbesitz können in die Gebäude-Haftpflichtversicherung integriert werden, so dass praktisch keine zusätzlichen Kosten entstehen.

Für die 10 kWp-Anlage wurde deshalb nur die Versicherung des Elementarschadens berücksichtigt. Nach Angaben der Zürich-Versicherung betragen die Kosten für Elementarschaden bei kleinen Anlagen (3kWp) 1.0 bis 1.66 Rp./kWh. Für die 10 kWp Referenzanlage sind wir von 1.3 Rp./kWh ausgegangen.

Bei einer 25 kWp-Anlage kostet die Versicherung des Elementarschadens gemäss Zürich Versicherung 0.9 bis 1.51 Rp./kWh und liegt damit in einem ähnlichen Bereich wie die 10 kWp-Anlage.

Mit zunehmender Anlagengrösse nehmen die Kosten ab und liegen gemäss Zürich Versicherung bei ca. 0.64 Rp./kWh für eine 650 kWp/Anlage. Bei kantonalen Versicherungen sind die Prämien deutlich tiefer und liegen für alle Anlagengrössen bei ca. 0.35 bis 0.4 Rp./kWh.

Anlagen, die von Contractors betrieben werden, benötigen ausserdem eine private Haftpflichtversicherung, die zwischen 0.013 und 0.17 Rp./kWh kostet.

Wir haben für die 100 kWp-Anlage Versicherungskosten von 1.2 Rp./ kWh und für die 500 kWp Anlage von 0.9 Rp./kWh eingesetzt.

Anlagengrösse		10	30	100	500	kWp
<b>Überwachung</b>	Abonnement für Überwachungsservice	0.8	0.46	0.33	0.29	Rp./kWh
	Datenübertragung	< 0.1	0.4	0.1	< 0.1	Rp./kWh
	Zeitaufwand	1.1	0.4	0.1	< 0.1	Rp./kWh
		<b>1.9</b>	<b>1.3</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Ersatzgeräte (Module, WR)</b>		<b>2.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.4</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Reparaturgänge</b>		<b>0.8</b>	<b>0.3</b>	<b>0.1</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Service- / Kontrollgänge</b>		<b>1.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.2</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Reinigung</b>		<b>0</b>	<b>0.7</b>	<b>0.2</b>	<b>&lt; 0.1</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Periodische Gebühren</b>	Zählergebühr	0.8	1.1	1.1	1.1	Rp./kWh
	SiNa	1.1	0.4	0.1	< 0.1	Rp./kWh
		<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Verwaltung</b>		<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Versicherung</b>		<b>1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>Rp./kWh</b>
<b>Total</b>		<b>10.2</b>	<b>8.0</b>	<b>6.0</b>	<b>4.7</b>	<b>Rp./kWh</b>
	Eigenleistungen des Eigentümers wurden auch angerechnet					

**Tabelle 5:** Durchschnittliche B&U Kosten für verschiedene Anlagengrössen in der Schweiz. Annahme: Jahresenergieproduktion von 900 kWh/kWp/Jahr. Keine Freiflächenanlagen

## 6. Schlussfolgerungen

### AKTUELLE B&U KOSTEN

Es zeigt sich, dass die Betriebskosten mit zunehmender Anlagengrösse sinken. Bei einer 10 kWp Anlage betragen die Betriebskosten mehr als 10 Rp./kWh, bei einer 30 kWp-Anlage 8 Rp./kWh und bei einer 100 kWp Anlage noch 6Rp./kWh.

Die grafische Darstellung der Kostenverteilung (Fig. 14) zeigt, dass der grösste Teil der B&U Kosten für Ersatzgeräte benötigt wird, insbesondere den Wechselrichter. Anders als in den Umfrageresultaten liegen die Kosten dafür aber nur bei ca. 2 Rp./kWh anstatt bei 5 Rp./kWh. Dies wird erreicht, indem anstatt Rückstellungen zu bilden ein Servicevertrag mit dem Wechselrichterhersteller abgeschlossen wird.

Bei den kleinen Anlagen (bis 30 kWp) verursacht neben den Ersatzgeräten auch die Überwachung hohe Kosten. Bei grösseren Anlagen macht die Überwachung dagegen nur noch einen kleinen Anteil aus. Das liegt daran, dass der nötige Zeitaufwand für die Überwachung bei Kleinanlagen praktisch gleich hoch ist wie für eine 100 kWp Anlage.

Im Gegensatz zu den Umfrageresultaten machen die periodischen Gebühren in unseren Abschätzungen einen relativ hohen Anteil an den B&U Kosten aus. Heute müssen nur bei sehr wenigen Anlagen Zählergebühren bezahlt werden. Mit Einführung der kostendeckenden Einspeisevergütung ist aber davon auszugehen, dass die Elektrizitätswerke vermehrt Zählergebühren erheben werden, unter anderem um ihren administrativen Aufwand mit der PV-Anlage (jährliche Abrechnung) zu decken.

Versicherung und Verwaltung machen bei allen Anlagengrössen ca. 2 Rp./kWh aus. Es ist davon auszugehen, dass diese Kosten in Zukunft sinken werden. Einerseits sind die Versicherungskosten direkt an die Investitionskosten gekoppelt. Mit sinkenden Investitionskosten werden also auch die Versicherungsprämien sinken. Andererseits besteht bei den Verwaltungskosten noch grosses Optimierungspotenzial durch Professionalisierung der administrativen Abläufe.

Service- und Kontrollgänge sowie die Reinigung der Anlagen machen nur einen kleinen Anteil aus.

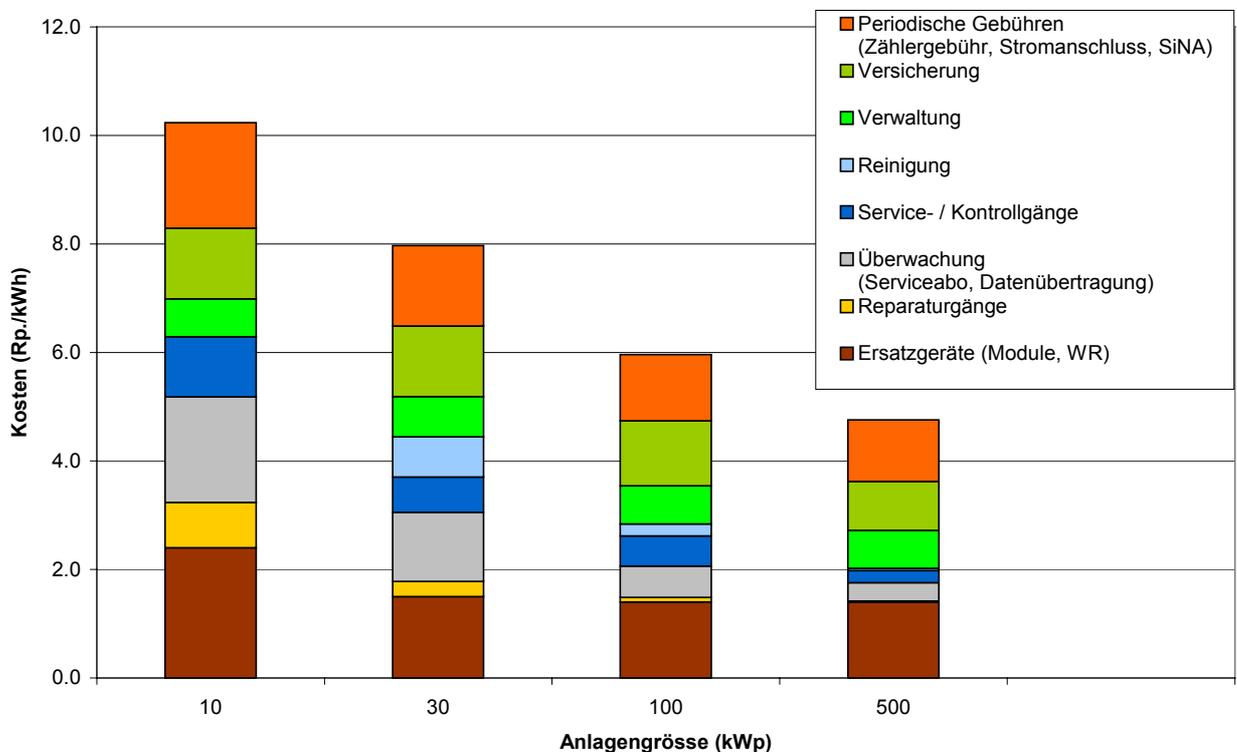


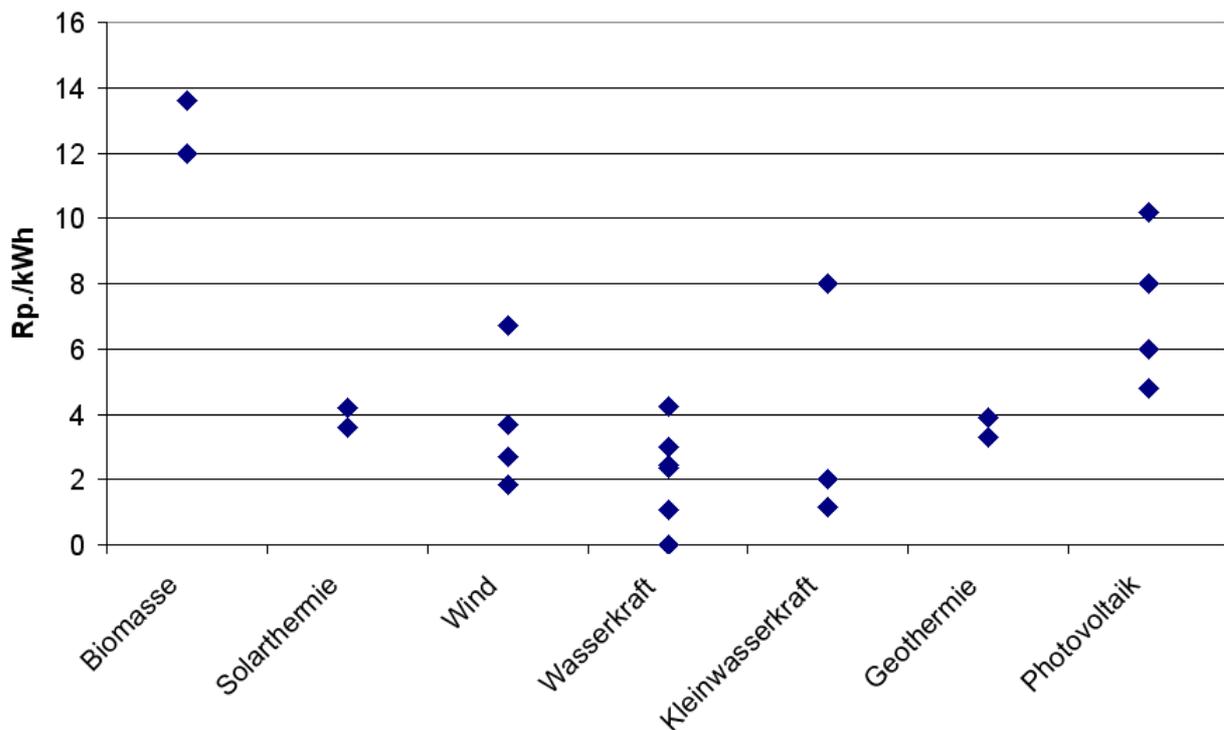
Fig. 13: Aufteilung der verschiedenen Kostengruppen

## VERGLEICH MIT ANDEREN KRAFTWERKEN

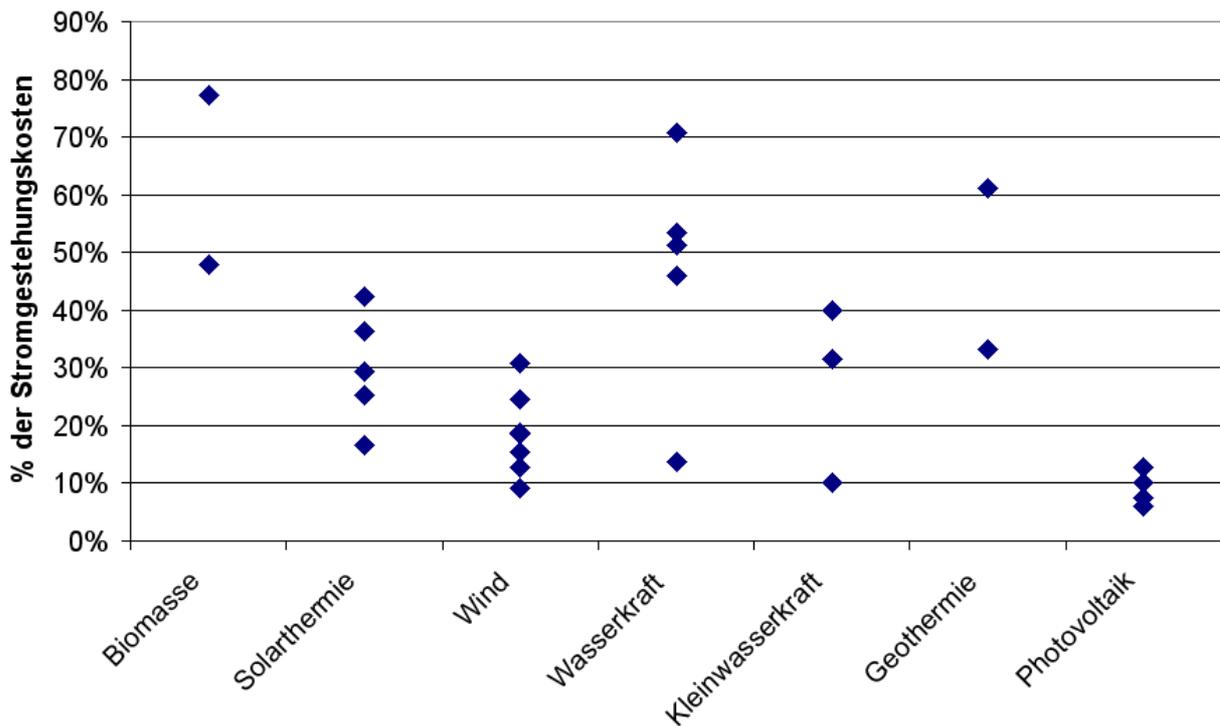
In Kapitel 1 wurde erwähnt, dass die Betriebskosten von PV-Anlagen teilweise sogar höher als die Stromgestehungskosten anderer Stromerzeuger wie z.B. Wasserkraftwerke sind. Die in Tabelle 4 ermittelten optimierten Betriebskosten wurden nun mit den Betriebskosten anderer erneuerbarer Energien wie z.B. Wasserkraft, Wind oder Biomasse verglichen (Fig. 14). Es zeigt sich, dass die Betriebskosten von PV-Anlagen immer noch tendenziell höher liegen als die Betriebskosten der anderen Kraftwerkstypen. Dieses Bild relativiert sich jedoch, wenn der Anteil der Betriebskosten mit den Stromgestehungskosten des jeweiligen Stromerzeugers verglichen wird (Fig. 15). Prozentual gesehen liegen die Betriebskosten bei der Photovoltaik sehr tief. Nur einige Windkraftanlagen sowie in gewissen Fällen Kleinwasserkraftwerke erreichen ähnlich tiefe Betriebskosten.

Entscheidend für die weitere Entwicklung der Betriebskosten in der Photovoltaik ist somit, wie stark sie mit den Stromgestehungskosten und somit mit den Investitionskosten gekoppelt sind. Wenn die Betriebskosten direkt von den Investitionskosten abhängen, werden sie in Zukunft gemeinsam mit den Investitionskosten sinken. Das würde bedeuten, dass die absoluten Betriebskosten von PV-Anlagen automatisch unter das Niveau der anderen Kraftwerkstypen sinken werden, sobald die Investitionskosten konkurrenzfähig sind.

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass durchaus ein Teil der B&U Kosten von den Investitionskosten abhängt (z.B. Versicherungen und Rückstellungen), dass andere Teile aber unabhängig davon sind. Um die weitere Entwicklung der B&U Kosten zu untersuchen, muss somit die Abhängigkeit der B&U Kosten von Faktoren wie Investitionskosten, Flächenbedarf, Wirkungsgrad etc. untersucht werden.



**Fig. 14:** Betriebskosten verschiedener Kraftwerkstypen. Für die Photovoltaik wurden die Betriebskosten aus Tabelle 4 übernommen. Die anderen Werte stammen aus Literaturstudien [8, 9, 10, 11, 12, 13]



**Fig. 15:** Betriebskosten verschiedener Kraftwerkstypen in % der Stromgestehungskosten. Für die Photovoltaik wurden die Betriebskosten aus Tabelle 4 übernommen und Stromgestehungskosten von 80 Rp./kWh angenommen. Die anderen Werte stammen aus Literaturstudien [8, 9, 10, 11, 12, 13]

## POTENZIAL ZUR KOSTENSENKUNG

Die Diskussion mit den Experten zeigte, dass bei den B&U Kosten ein grosses Potenzial zur Kostensenkung besteht. Dazu gehören selbstverständlich Verbesserungen im Serviceangebot und Neu- bzw. Weiterentwicklungen von Überwachungssystemen. Besonders beim Service-Netz der Wechselrichteranbieter und bei Fernwartungs-Systemen wurden Defizite ausgemacht. Erstaunlicherweise zeigen die Resultate aber auch auf, dass Weiterentwicklungen in anderen Bereichen der Photovoltaik einen sehr grossen Einfluss auf die B&U Kosten haben.

Insbesondere der spezifische Ertrag einer Anlage beeinflusst die B&U Kosten stark. Anlagen mit einer tiefen Produktion (z.B. Fassadenanlagen oder beschattete Anlagen) weisen höhere Betriebskosten pro kWh auf als Anlagen mit hoher Produktion. Die B&U Kosten können somit gesenkt werden, wenn die PV-Anlage an einem gut besonnten Standort mit optimaler Neigung installiert wird und eine hohe Performance Ratio aufweist (d.h. wenig Anlagenausfälle, wenig Reflektionsverluste, gutes Schwachlichtverhalten, hoher Wirkungsgrad).

Neben der Performance Ratio haben auch die Investitionskosten einen starken Einfluss auf die B&U Kosten, denn Versicherungsprämien und meistens auch Serviceangebote der Wechselrichteranbieter werden aufgrund der Investitionskosten berechnet.

Auch der Flächenverbrauch einer Anlage beeinflusst die B&U Kosten. Module mit geringem Wirkungsgrad und somit hohem Flächenverbrauch führen zu einem höheren Aufwand für Reinigung und aufgrund des höheren Materialverbrauchs zu einer höheren Defektwahrscheinlichkeit der Module und der Unterkonstruktion.

Einen sehr grossen Einfluss auf die B&U Kosten hat auch die Grösse einer Anlage. Die spezifischen Kosten für die Anlagenüberwachung sowie für Kontroll- und Servicegänge nehmen mit zunehmender Anlagengrösse ab.

Neben all diesen technischen Verbesserungsmöglichkeiten bestehen zudem sehr grosse Chancen, die B&U Kosten zu senken, indem die bereits vorhandenen technischen Lösungen besser ausgenutzt werden. Dazu sind z.B. Schulungen und Normen für Planer und Installateure nötig, damit bereits bei der Planung und beim Bau die spätere Wartung der Anlage berücksichtigt wird und ein geeignetes

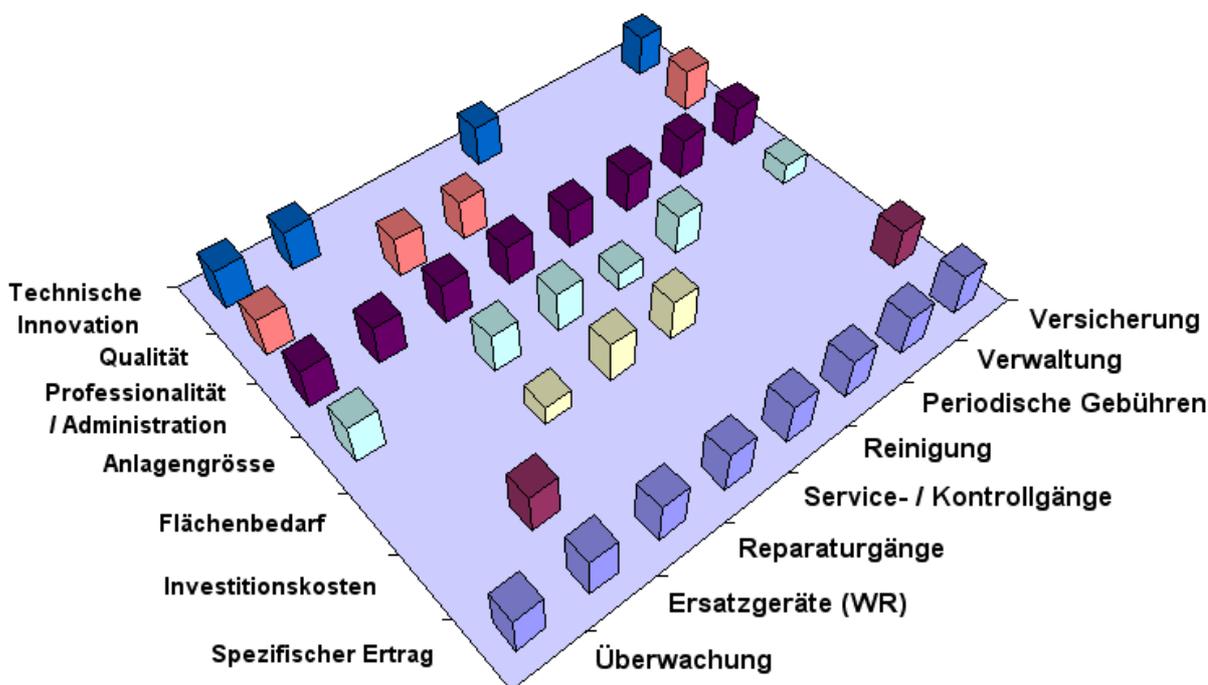
Betriebskonzept erstellt wird. Sehr häufig entstehen unnötige B&U Kosten, weil Fehlermeldungen falsch interpretiert werden oder weil erkannte Fehler aufgrund von Personalmangel oder unklarer Zuständigkeiten erst verspätet behoben werden. Auch bei Contractors und Elektrizitätswerken können die administrativen Abläufe oft noch optimiert und somit die B&U Kosten gesenkt werden.

Synergie-Effekte der B&U Kosten wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. So trägt z.B. bei gebäudeintegrierten Anlagen der Unterhalt des Solargenerators gleichzeitig zum Unterhalt der Gebäudehülle bei. Monitoring-Systeme können oft gleichzeitig zur Visualisierung der Anlage genutzt werden und sind somit auch Marketing-Instrumente.

## AUSBLICK

Aktuell liegen die B&U Kosten von PV-Anlagen höher als die Stromgestehungskosten von konventionellem Strom. Wenn die Photovoltaik in den nächsten Jahren Grid Parity erreichen will, müssen somit nicht nur die Investitionskosten sondern auch die B&U Kosten stark sinken.

Die Studie zeigt auf, dass ein Potenzial zur Senkung der Kosten besteht (Zusammenfassung siehe Figur 16 und Tabelle 6).



**Figur 16:** Potenzial verschiedener Faktoren (Qualität, spezifischer Ertrag etc.) zur Reduktion der verschiedenen Betriebskosten-Gruppen in Rp./kWh. Grosse Balken bedeuten hohes Reduktionspotenzial, kleine Balken mittleres Reduktionspotenzial, kein Balken ein geringes Reduktionspotenzial

<b>Betriebskosten in Rp. / kWh sinken, wenn:</b>
Die Investitionskosten sinken
Der Wirkungsgrad und die Performance Ratio steigen
Abläufe professionalisiert werden (z.B. in der Verwaltung oder bei Störungsbehebungen)
Die Betriebsüberwachung und Fehlerdiagnose automatisiert werden
Versicherungsangebote optimiert werden

**Tabelle 6:** Zusammenfassung der Optimierungspotenziale bei B&U Kosten

Mit der für die nächsten Jahre geplanten Senkung der Investitionskosten und Steigerung des Wirkungsgrads werden also automatisch auch die B&U Kosten sinken. Gleichzeitig besteht aber noch ein weitergehendes Potenzial zur Senkung der B&U Kosten im Bereich Schulung, administrative Abläufe und technische Weiterentwicklungen bei der Anlagenüberwachung.

## Referenzen

- [1] S.Reich et. al., Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen; Diplomarbeit; Universität Biberach, 2007
- [2] M. Bächler, „Vergleich aktueller und zukünftiger Systemkosten von PV-Grossanlagen mit kristallinen und Dünnschichtmodulen“, PV-Symposium Staffelstein 2006, Nr. 14
- [3] T. Meyer, „Kostensenkungen und Ertragssteigerungen in der PV Systemtechnik“; „ PV-Symposium Staffelstein 2007, Nr. 009
- [4] AWEL-Publikation "Wirtschaftlichkeitsberechnung von Anlagen mit erneuerbarer Energie"
- [5] Datenbank IEA Task II
- [6] H. Häberlin: „Photovoltaik, Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen“, AZ Fachverlage AG, 2007
- [7] Failure Detection Routine for Grid Connected PV Systems as Part of the PVSAT-2 Project, Session PV Systems in Grid-Connected Applications, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6 - 10 June 2005, Barcelona, Spain, p.2490 – 2493
- [8] SATW Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften; Road Map Erneuerbare Energien Schweiz; Prof. Andreas Zuberbühler, 2003
- [9] ForWind, Zentrum für Windenergieforschung, Universität Oldenburg, Erich Hau, 2005
- [10] [www.dewi.de](http://www.dewi.de)
- [11] Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft
- [12] Perspektiven für die Wasserkraftwerke in der Schweiz; BFE Studie, CEPE ETH Zürich und Mecop Università della Svizzera Italiana
- [13] BFE Energieperspektiven; Erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen; BFE Studie des BFE; September 2004

## Anhang A: Fragebogen

# Fragebogen Betriebs- und Unterhaltskosten PV-Anlagen

Bitte schicken Sie den ausgefüllten Fragebogen bis 6. August 2007 an folgende Adresse:

Enecolo AG  
Lindhofstrasse 52  
CH 8617 Mönchaltorf  
Schweiz  
Tel. +41 (0)44 994 90 00  
Fax. +41 (0)44 994 90 05  
Email: info@enecolo.ch

Aus welchem Bereich kommen Sie?

(Bitte mit "x" markieren; mehrfach-Antworten möglich)

- Hersteller / Lieferant von Wechselrichtern oder Modulen
- Planungsbüro
- Installateur
- Contractor / Besitzer von PV-Anlagen
- Elektrizitätswerk / Netzbetreiber

Mit wievielen PV-Anlagen haben Sie Erfahrung?

PV-Anlagen mit total  kWp installierter Leistung.

Alter der PV-Anlagen von  bis  Jahre.

Wie hoch sind die Kosten für folgende Positionen üblicherweise? (CHF / Jahr / kWp)

(Wenn Sie die folgenden Daten bereits bei der Erhebung vom BFE zu Kostendaten von PV-Anlagen angegeben haben, brauchen Sie diesen Teil nicht auszufüllen.)

Miete Fläche (Dachfläche, Land etc.)	<input type="text"/>
Periodische Gebühren (Stromanschluss, Überwachungseinrichtung)	<input type="text"/>
Rückstellungen (Ersatz Wechselrichter, Arbeiten, Wartungsvertrag)	<input type="text"/>
Verwaltungskosten (interne Verwaltung, Versicherung)	<input type="text"/>
Unterhaltskosten	<input type="text"/>
Steuern (MwSt., Kapitalsteuern)	<input type="text"/>
Rückbaukosten (Kosten für Rückbau / Recycling der Anlage)	<input type="text"/>

**In welchen Bereichen besteht noch Verbesserungspotential von Seite der Lieferanten?**

Legende:

- 1 keine Verbesserung notwendig
- 2 wichtig, Markt bietet dies bereits zu gutem Preis/Leistungsverhältnis an
- 3 wichtig, muss noch kostengünstiger werden
- 4 wichtig, Qualität muss noch besser werden
- 5 wichtig, noch zu wenig Anbieter vorhanden

**Komponenten**

- Zertifizierung / Produktgarantie bei Modulen
- Ertragsgarantie Module mindestens  Jahre
- Service-Leistungen Wechselrichter
- Garantie Wechselrichter mindestens  Jahre
- Langlebige, robuste Unterkonstruktion

**Planer**

- Spätere Wartung der PV-Anlage berücksichtigen (z.B. Zugangswege)
- gute Dokumentation der Anlage (Stringplan etc.)
- Gute Dokumentation der Zugangsmöglichkeiten (Tel.-Nr. Hauswart, Schlüsseldepot etc.)

**Bau**

- fachmännische, korrekte, normgerechte Installation
- ausführliche Beschriftung aller Komponenten vor Ort
- gute Revisionsunterlagen
- Abnahme der PV-Anlage mit visueller Kontrolle
- Abnahme der PV-Anlage mit ausführlichen Messungen (Kennlinie, Thermographieaufnahmen etc.)

**Betrieb**

- Software / Tools zur Verwaltung der Anlagen
- Regelmässige Begehung vor Ort alle  Jahre
- kontinuierliche Überwachung des Wechselrichters / Ertrags durch Wechselrichterhersteller
- unabhängige Überwachung (z.B. externer Datenlogger, Zähler ablesen)
- klare Abläufe bei Fehlermeldungen (wer informiert wen? Vorgehen?)

**Rückbau**

- Kann eine PV-Anlage nach 20 Jahren Betrieb noch verkauft werden?
- Falls ja, zu welchem Preis pro kWp?

**Was für Massnahmen sind besonders effizient um die Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen zu senken?**

**In welchen Bereichen und bei welchen Parteien (z.B. Banken, Versicherungen) ist noch mehr Entwicklungsarbeit nötig, um die Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen zu senken?**

**Bemerkungen**

## Anhang B: Vorlage für Experteninterview

<b>1. Aus welchem Bereich kommen Sie?</b>																															
<i>(Bitte mit "x" markieren; mehrfach-Antworten möglich)</i>																															
<input type="checkbox"/>	Hersteller / Lieferant von Wechselrichtern oder Modulen																														
<input type="checkbox"/>	Planungsbüro																														
<input type="checkbox"/>	Installateur																														
<input type="checkbox"/>	Contractor / Besitzer von PV-Anlagen																														
<input type="checkbox"/>	Elektrizitätswerk / Netzbetreiber																														
<b>2. Mit wievielen PV-Anlagen haben Sie Erfahrung?</b>																															
<input type="checkbox"/>	PV-Anlagen mit total	<input type="text"/>	kWp installierter Leistung.																												
	Alter der PV-Anlagen von	<input type="text"/>	bis <input type="text"/> Jahre.																												
	Grösse der PV-Anlagen von	<input type="text"/>	bis <input type="text"/> kWp.																												
	Standorte der PV-Anlagen	<input type="text"/>																													
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Typ der PV-Anlagen</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Private</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>dachintegriert</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Landwirtschaft</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>auf-Dach</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Gewerblich</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>aufgeständert auf Dach</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Betreibergesellschaften</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Freifläche fix</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Contractor</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Freifläche nachgeführt</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Anlagenpark</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Typ der PV-Anlagen				<input type="checkbox"/>	Private	<input type="checkbox"/>	dachintegriert	<input type="checkbox"/>	Landwirtschaft	<input type="checkbox"/>	auf-Dach	<input type="checkbox"/>	Gewerblich	<input type="checkbox"/>	aufgeständert auf Dach	<input type="checkbox"/>	Betreibergesellschaften	<input type="checkbox"/>	Freifläche fix	<input type="checkbox"/>	Contractor	<input type="checkbox"/>	Freifläche nachgeführt	<input type="checkbox"/>	Anlagenpark		
Typ der PV-Anlagen																															
<input type="checkbox"/>	Private	<input type="checkbox"/>	dachintegriert																												
<input type="checkbox"/>	Landwirtschaft	<input type="checkbox"/>	auf-Dach																												
<input type="checkbox"/>	Gewerblich	<input type="checkbox"/>	aufgeständert auf Dach																												
<input type="checkbox"/>	Betreibergesellschaften	<input type="checkbox"/>	Freifläche fix																												
<input type="checkbox"/>	Contractor	<input type="checkbox"/>	Freifläche nachgeführt																												
<input type="checkbox"/>	Anlagenpark																														

## 2. Aktuelle Situation Betriebskosten

2.1. Werden bei PV-Anlagen Betriebskosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt? Falls ja: was für Betriebskosten werden angenommen? Woher kommen diese Zahlen? (Erfahrungswert? Literaturquelle?) Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?

--

## 3. Rückstellungen (Ersatz Wechselrichter, Arbeiten, Wartungsvertrag, Anlagenrückbau)

3.1 Sind für PV-Anlagen Rückstellungen nötig? Wenn ja: wie hoch sind die Rückstellungen und wozu dienen sie? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?

--

3.2 Gibt es für PV-Anlagen oder einzelne Komponenten Wartungsverträge? Wenn ja: was beinhalten diese Wartungsverträge? Wie teuer sind sie? Bei welchen Anlagen werden sie sinnvollerweise eingesetzt?

--

3.3 Was für Entwicklungen wären notwendig, um die Kosten für Rückstellungen zu minimieren?

--

#### 4. Miete Fläche (Dachfläche, Land etc.)

4.1 Fallen bei PV-Anlagen Mietkosten für die Fläche an? Wenn ja: wie hoch sind die Kosten? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen? Sind bei Ladflächen die Preise anders als bei der landwirtschaftlichen Nutzung? Gibt es regionale Unterschiede?

--

4.2 Haben Sie Empfehlungen, worauf bei der Miete von (Dach-)flächen geachtet werden sollte?

--

4.3 Würden Sie sich mehr Hilfestellungen bei der Miete von Dachflächen wünschen? (Z.B. normierte Verträge). Falls ja: wieso und was?

--

2

#### 5. Überwachung

5.1 Werden PV-Anlagen überwacht? Wenn ja: wie sieht das Überwachungskonzept aus und wie hoch sind die Kosten? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen? Wie stark variieren die Möglichkeiten / Nutzen und die Kosten der verschiedenen Monitoringsysteme?

--

5.2 Haben Sie Empfehlungen, welches Überwachungskonzept bei welchem Anlagentyp / ab welcher Anlagengrösse sinnvoll ist?

--

5.3 Sind Sie mit den vorhandenen Überwachungskonzepten zufrieden? Oder sollte etwas verbessert werden? Wenn ja: was?

--

**6. Periodische Gebühren (Stromanschluss, Erschliessungskosten ..)**

6.1 Fallen bei PV-Anlagen weitere periodische Gebühren an? Wenn ja: was für Gebühren sind das und wie hoch sind die Kosten? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?

--

**7. Versicherung**

7.1 Soll man PV-Anlagen versichern? Wenn ja: was wird versichert und wie hoch sind die Kosten? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?

--

7.2 Gibt es bei den Versicherungen noch Entwicklungsbedarf? Wenn ja: was sollte sich verbessern?

--

7.3 Wäre es sinnvoll, wenn es für PV-Anlagen eine Versicherung inkl. Komplett-Wartungsvertrag geben würde? Wie hoch dürften die Kosten sein? Für welche PV-Anlagen wäre dieses Angebot geeignet?

--

<b>8. Verwaltungskosten</b>									
8.1 Fallen beim Betrieb der Anlagen Verwaltungskosten an? Wenn ja: wie hoch sind diese? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?									
<b>9. Unterhaltskosten (Reinigung, Kontrollgänge, Nachziehen Kontaktklemmen)</b>									
9.1 Was für Unterhaltskosten fallen bei PV-Anlagen an? Wie hoch sind die Kosten? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?									
9.2 Könnten die Unterhaltskosten durch neue Entwicklungen oder bessere Technik reduziert werden? Falls ja: wie? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?									
<b>10. Steuern (MwSt., Kapitalsteuern, Ertragssteuern)</b>									
10.1 Wie hoch sind die Steuern für PV-Anlagen? Gibt es Unterschiede zwischen den Anlagen?									

<b>11. Rückbaukosten (Kosten für Rückbau / Recycling der Anlage)</b>									
Kann eine PV-Anlage nach 20 Jahren Betrieb noch verkauft werden?									
Falls ja, zu welchem Preis pro kWp?									
11.1 Ist am Ende der Lebensdauer der PV-Anlage ein Recycling möglich? Wie können die Teile entsorgt werden? Gibt es noch Entwicklungspotential?									

12. Wie sieht die aktuelle Situation aus und in welchen Bereichen besteht noch Verbesserungspotential von Seite der Lieferanten?									
Legende aktuelle Situation:									
A	wird bei PV-Anlagen immer berücksichtigt / eingesetzt								
B	wird bei PV-Anlagen meistens berücksichtigt / eingesetzt								
C	wird bei PV-Anlagen selten berücksichtigt / eingesetzt								
Legende zukünftige Situation:									
1	keine Verbesserung notwendig								
2	wichtig, Markt bietet dies bereits zu gutem Preis/Leistungsverhältnis an								
3	wichtig, muss noch kostengünstiger werden								
4	wichtig, Qualität muss noch besser werden								
5	wichtig, noch zu wenig Anbieter vorhanden								
<b>Komponenten</b>									
		Zertifizierung / Produktgarantie bei Modulen							
		Ertragsgarantie Module mindestens							Jahre
		Service-Leistungen Wechselrichter							
		Garantie Wechselrichter mindestens							Jahre
		Langlebige, robuste Unterkonstruktion							
<b>Planer</b>									
		Spätere Wartung der PV-Anlage berücksichtigen (z.B. Zugangswege)							
		gute Dokumentation der Anlage (Stringplan etc.)							
		Gute Dokumentation der Zugangsmöglichkeiten (Tel.-Nr. Hauswart, Schlüsseldepot etc.)							
<b>Bau</b>									
		fachmännische, korrekte, normgerechte Installation							
		ausführliche Beschriftung aller Komponenten vor Ort							
		gute Revisionsunterlagen							
		Abnahme der PV-Anlage mit visueller Kontrolle							
		Abnahme der PV-Anlage mit ausführlichen Messungen (Kennlinie, Thermographieaufnahmen etc.)							
<b>Betrieb</b>									
		Software / Tools zur Verwaltung der Anlagen							
		Regelmässige Begehung vor Ort alle							Jahre
		kontinuierliche Überwachung des Wechselrichters / Ertrags durch Wechselrichterhersteller							
		unabhängige Überwachung (z.B. externer Datenlogger, Zähler ablesen)							
		klare Abläufe bei Fehlermeldungen (wer informiert wen? Vorgehen?)							
		Ersatzteile (Wechselrichter, Module) an Lager halten							
									4

**13. Kennen Sie spezielle Ereignisse, die beim Betrieb von PV-Anlagen zu Problemen führten?**

--

**14. Was für Massnahmen sind besonders effizient um die Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen zu senken?**

--

**15. In welchen Bereichen und bei welchen Parteien (z.B. Hersteller, Versicherungen) ist noch mehr Entwicklungsarbeit nötig, um die Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen zu senken?**

--

**16. Bemerkungen**

--

# Fragebogen

- **Überwachen Sie Ihre PV-Anlage in irgendeiner Form?**
  - **Wer?**
  - **Wie?**
  - **Wie oft**
- **Kontrollieren Sie den Energieertrag Ihrer PV-Anlage?**
  - **Wie oft?**
- **Haben Sie schon Wartungsarbeiten an Ihrer PV-Anlage durchgeführt oder durchführen lassen?**
- **Hatten Sie schon einmal eine Wechselrichterstörung?**
- **Wird bei Ihrer Stromabrechnung die rückgelieferte Energiemenge separat aufgeführt?**
  - **Rückliefertarif?**
- **Fallen bei Ihrer PV-Anlage periodische Gebühren an (Zählergebühren o.Ä)?**
- **Wie ist Ihre PV-Anlage versichert?**
- **Wären Sie an einem Servicevertrag für Ihre PV-Anlage interessiert?**
- **Sind Sie zufrieden mit ihrer PV-Anlage oder anders gefragt, würden Sie diese wieder bauen?**

## Anhang D: Programm Workshop

### PV-BUK Workshop

**Datum:** 19. September 2007

**Ort:**

ewz  
Tramstrasse 35  
8050 Zürich

**Teilnehmer:**

Bammerlin Wahan, Groupe Solvatec SA  
Dörflinger Dirk, Tritec  
Freudiger Daniel, Sputnik Engineering AG  
Gnos Stephan, NET AG  
Hostettler Thomas, Ing-Büro Hostettler  
Kottmann Adrian, BE Netz AG  
Marti Jürg, EWZ  
Meier Christian, Energiebüro  
Muntwyler Urs, Muntwyler Energietechnik AG  
Nordmann Thomas, TNC Consulting AG  
Orecchini Claudio, Zürich Versicherungen  
Reich Sebastian, Diplomand Universität Biberach  
Schudel Peter, ENVISION  
Sigrist Christoph, Zürich Versicherungen  
Sonderegger Michael, Helvetia Versicherung  
Steinle Florian, BE Netz AG  
Stettler Sandra, Enecolo AG  
Togweiler Peter, Enecolo AG  
Von Bergen Christoph, Sputnik Engineering AG

### Agenda

08:30 – 09:00 **Empfang, Kaffee**

09:00 – 09:10 **Begrüssung**  
(Jürg Marti, Peter Toggweiler)

09:10 – 09:20	<b>Vorstellung</b> (Peter Toggweiler)	<b>PV-BUK</b>	<b>Projekt</b>
09:20 – 09:40	<b>Präsentation der Resultate aus Umfrage</b> (Sebastian Reich)		
09:40 – 10:00	<b>Analyse der Betriebs- und Unterhaltskosten</b> (Sandra Stettler)		
10:00 – 10:30	<b>Kaffepause</b>		
	<b>Berichte aus der Praxis</b>		
10:30 – 10:40	<b>Internationale Datenbank IEA-PVPS Task II, TNC Consulting</b> (Thomas Nordmann)		
10:40 – 10:50	<b>Wechselrichterhersteller, Sputnik Engineering AG</b> (Christoph von Bergen)		
10:50 – 11:00	<b>Installateur, BE Netz</b> (Adrian Kottmann)		
11:00 – 11:10	<b>Versicherung</b> (Christoph Sigrist, Claudio Oreccini, Zürich Versicherungen)		
11:10 – 11:20	<b>Vorschläge des Projektteams zur Senkung der B&amp;U Kosten</b> (Sandra Stettler)		
11:20 – 12:40	<b>Gemeinsame Diskussion</b> (Leitung Peter Toggweiler)		
ab 12:45	gemeinsames Mittagessen		

Workshop organisiert durch das Projektteam PV-BUK und Jürg Marti, ewz

## **Anhang E: Protokoll Workshop PV-BUK**

## **Protokoll: Workshop PV-BUK »Betriebskosten von PV-Anlagen«**

---

*Datum* 19.September 2007

---

*Von* Sebastian Reich

---

*Firma* Enecolo AG

---

*Verteiler* Siehe Protokoll

---

**Ort:** Elektrizitätswerk der Stadt Zürich  
Tramstrasse 35.  
8050 Zürich

---

### **Anwesend:**

- Bammerlin Wahan, Groupe Solvatec SA
- Dörflinger Dirk, Tritec
- Freudiger Daniel, Sputnik Engineering AG
- Gnos Stephan, NET AG
- Hostettler Thomas, Ing.-Büro Hostettler
- Kottmann Adrian, BE Netz AG
- Marti Jürg, EWZ
- Meier Christian, Energiebüro
- Muntwyler Urs, Muntwyler Energietechnik AG
- Nordmann Thomas, TNC Consulting AG
- Orecchini Claudio, Zürich Versicherungen
- Reich Sebastian, Diplomand Universität Biberach
- Schudel Peter, ENVISION
- Sigrist Christoph, Zürich Versicherungen
- Sonderegger Michael, Helvetia Versicherung
- Steinle Florian, BE Netz AG
- Stettler Sandra, Enecolo AG
- Toggweiler Peter, Enecolo AG
- Von Bergen Christoph, Sputnik Engineering AG

### **Abwesend:**

- Kröni Robert, Edisun Power AG
  - Roeske Christian, SunTechnics
-

---

## **Projektbeschreibung / Problemstellung:**

Das Projekt PV-BUK (Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen) wird durch das Bundesamt für Energie (BFE), das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) und die Industriellen Werke Basel (IWB) finanziert und innerhalb des Projektteams der Enecolo AG, BE Netz und ENVISION durchgeführt.

Innerhalb dieser Studie wurde eine Betriebskostenumfrage in Deutschland und der Schweiz durchgeführt. Inhalt dieser Studie war es einerseits die in der Praxis üblichen Betriebskosten zu ermitteln und andererseits eine Zufriedenheitsbefragung in den Bereichen Planung, Bau und Betrieb durchzuführen.

Ziel des Workshops war es, die vorläufigen Ergebnisse der Studie und die Resultate der Umfrage vorzustellen und mit Praxisvorträgen verschiedener Fachleute zu ergänzen. Anschliessend sollten die Resultate diskutiert werden.

---

## **Ablauf des Workshops**

**09:00 - 09:10 Begrüssung der Teilnehmer, EWZ (Jürg Marti)**

**09:10 – 09:20 Vorstellung PV-BUK Projekt, Enecolo (Peter Toggweiler).**

Herr Toggweiler gibt einen Überblick über die Entstehungsgeschichte und den organisatorischen Ablauf der Studie. Das Projekt wurde von Daniel Ruoss (Envision) initiiert, da ihm die vom IWB vorgegebenen 16 Rp./kWh als zu hoch erschienen, da dann PV langfristig nicht vermarktungsfähig ist. Der Eindruck, dass die B&U Kosten höher sind als der konventionelle Elektrizitätstarif wird mit grosser Wahrscheinlichkeit von der Öffentlichkeit nicht positiv aufgenommen und PV erhält ein negatives Image. Der Projektablauf war wie folgt:

### Daten sammeln:

1. Versenden der Fragebogen in Deutschland und Schweiz
2. Durchführung der Expertengespräche
3. Umfrage des Bundesamts für Energie
4. Auswertung der Literaturquellen

### Auswertung:

1. Analyse der ermittelten Daten
2. Präsentation und Diskussion am Workshop
3. Evaluation der Ergebnisse

**09:20 – 09:40 Präsentation der Resultate aus Umfrage, Enecolo (Sebastian Reich)**

Nach einer kurzen Beschreibung des generellen Aufbaus der versandten Umfragebögen erklärt Herr Reich, wie die Auswertung der Betriebskosten schrittweise durchgeführt wurde. Den Bearbeitern der Umfrage wurde hierbei im ersten Schritt eine typische Anlagengrösse unterstellt, die anhand der Angaben PV-Anlagen total und insgesamt installierte Leistung berechnet wurde. Dieser für den jeweiligen Bearbeiter typischen

Anlagengrösse wurden anschliessend die entsprechend aufsummierten Angaben der Betriebskosten zugeteilt. Die Betriebskosten waren im Umfragebogen folgendermassen aufgeschlüsselt:

- Miete Fläche
- Periodische Gebühren
- Rückstellungen
- Verwaltungskosten
- Unterhaltskosten
- Steuern
- Rückbaukosten

Um die summierten Ergebnisse von CHF/kWp/Jahr auf Rp/kWh umrechnen zu können (bzw. von € auf ct), wurde bei der Berechnung unterstellt, dass ein durchschnittlicher Elektrizitätsertrag von 950 kWh/Jahr/kWp vorliegt. Abschliessend wurden die einzelnen Ergebnisse aller Anlagen gemittelt und Prozentual auf die einzelnen Betriebskosten aufgeteilt.

Die ermittelten Betriebskosten der Länder Schweiz und Deutschland zeigten hierbei folgende Auffälligkeiten.

## **Deutschland**

### *Auffälligkeiten:*

- Die ermittelten Betriebskosten bei Dachanlagen bewegen sich zwischen 2,7 und 6,0 ct./kWh.
- Die kalkulierten Betriebskosten der zwei Freiflächenanlagen betragen 3,2 und 4,0 ct./kWh.
- Die Rückstellungen bilden den grössten prozentualen Anteil der Betriebskosten mit einem Anteil von 35,6 %.
- Gefolgt von den Versicherungs-&Verwaltungskosten und den Mietkosten mit jeweils 24,4 %.
- Unterhaltskosten, die beispielsweise für Modulreinigungen und Anlagenbegehungen entstehen, haben lediglich einen Anteil von 11,1 %.
- Als Position mit dem kleinsten Anteil an den Gesamtbetriebskosten wurden die periodischen Gebühren mit 4,4 % angegeben.

## **Schweiz**

Bei der Auswertung der Schweizer Umfrage konnten noch zusätzliche Fragebögen einer nahezu identischen Umfrage des BFE mit einfließen. Aufgrund der Tatsache, dass hierdurch viel mehr Daten wie für die deutsche Umfrage zur Verfügung standen, wurde die prozentuale Verteilung der Betriebskosten nach unterschiedlichen Grössenkategorien aufgeteilt, um sehen zu können, wie sich die Anlagengrösse auf die Betriebskosten auswirkt. Die Grössenkategorien wurden wie folgt definiert:

- 0 - 10 kWp = Kleine Anlagen
- 10 – 25 kWp = Mittlere Anlagen
- 25 – 100 kWp = Grosse Anlagen

- 100 – 500 kWp = Sehr grosse Anlagen

### Auffälligkeiten:

- Bei kleinen Anlagen bewegen sich die Betriebskosten zwischen 6,1 und 32,1 Rp./kWh, was die grösste Spannweite innerhalb der verschiedenen Grössenkategorien darstellt. Als möglichen Grund nennt Herr Reich, dass sich eine Entscheidung für aufwendige Wartungskonzepte oder Versicherungen im Kleinanlagenbereich sehr stark auf die Kosten je kWh auswirken. Andererseits können die Betriebskosten bei Hobbybastlern durch Eigenüberwachung etc. sehr gering ausfallen.
- Ein weiteres Diagramm, das die Betriebskosten der entsprechenden Gruppen als Mittelwerte darstellt, lässt die Vermutung aufkommen, dass die Betriebskosten bei steigender Anlagengrösse tendenziell sinken.
- Bei der prozentualen Aufteilung der Betriebskosten sind die Rückstellungen wie auch in Deutschland am höchsten. Bei mittleren Anlagen fallen sie mit 41,3 % am stärksten ins Gewicht und sind bei sehr grossen Anlagen mit 31,3 % verhältnismässig gesehen am geringsten.
- Die zweitgrösste Position ist in der Schweiz im Gegensatz zu Deutschland die Gruppe der Unterhaltskosten, welche im Bereich von 17,1 % bei mittleren Anlagen und 37,2 % bei sehr grossen Anlagen liegen.
- Die Versicherungs-&Verwaltungskosten fallen auf den dritten Rang und liegen zwischen 11,7 % bei kleinen Anlagen und 27,2 % bei mittleren Anlagen.
- An vierter Stelle liegen die Mietkosten mit einem Minimum von 6,1 % bei sehr grossen Anlagen und einem Maximum von 14,9 % bei grossen Anlagen.
- Die periodischen Gebühren wie z. B. Kosten des Einspeisezählers sind auch in der Schweiz am geringsten und nehmen mit steigender Anlagengrösse von 9 % auf 1,2 % ab.

Die Resultate der im Fragebogen enthaltenden Zufriedenheitsbefragung wurden anhand von Tortendiagrammen beschrieben, welche prozentual in die Bereiche Zufriedenheit mit Bau, Betrieb, Komponenten und Planung eingeteilt wurden. Hierbei wurden die Befragten zu folgenden Problemstellungen interviewt.

### Komponenten:

- Zertifizierung / Produktgarantie bei Modulen
- Ertragsgarantie Module
- Service-Leistungen Wechselrichter
- Garantie Wechselrichter mindestens
- Langlebige, robuste Unterkonstruktion

### Planung:

- Spätere Wartung der PV-Anlage berücksichtigen
- Gute Dokumentation der Anlage (Stringplan etc.)
- Gute Dokumentation der Zugangsmöglichkeiten

## Bau:

- Fachmännische, korrekte, normgerechte Installation
- Ausführliche Beschriftung aller Komponenten vor Ort
- Gute Revisionsunterlagen
- Abnahme der PV-Anlage mit visueller Kontrolle
- Abnahme der PV-Anlage mit ausführlichen Messungen

## Betrieb

- Software / Tools zur Verwaltung der Anlagen
- Regelmässige Begehung vor Ort
- Kontinuierliche Überwachung des Wechselrichters
- Unabhängige Überwachung (z.B. externer Datenlogger)
- Klare Abläufe bei Fehlermeldungen

Die jeweiligen Fragen wurden von den Bearbeitern mit Punkten zwischen 1 für „sehr gut“ und 5 für „mangelhaft“ bewertet.

1 = keine Verbesserung notwendig

2 = Markt bietet dies bereits zu gutem Preis/Leistungsverhältnis an

3 = muss noch kostengünstiger werden

4 = Qualität muss noch besser werden

5 = noch zu wenig Anbieter vorhanden

## Auffälligkeiten:

### Komponenten:

- Bei den Komponenten ist der Grossteil der Befragten in nahezu allen Bereichen zufrieden.
- Sehr zufrieden sind die Befragten mit den Ertrags- und Produktgarantien.
- Der markanteste Unterschied zwischen der Schweiz und Deutschland besteht bei der Unterkonstruktion. In der Schweiz waren zwei Drittel zufrieden bzw. sehr zufrieden und in Deutschland wünschten sich die Hälfte, dass sich die Qualität noch verbessert.
- Mit den Service-Leistungen bei Wechselrichtern zeigten sich beide Länder unzufrieden, wobei in der Schweiz 72 % nicht mit der Qualität einverstanden sind.

### Planung:

- Generell ist die Mehrheit der Befragten mit den Planerleistungen zufrieden.
- Auffällig ist, dass die Deutschen befragten je zu einem Drittel mit der Qualität der Anlagendokumentation und der Dokumentation der Zugangsmöglichkeiten unzufrieden sind.
- Die spätere Wartung der PV-Anlage ist der einzige Punkt der Umfrage, der mit einer 5 bewertet wurde (14 % der Schweizer).

## Bau:

- Auch im Bereich der Bauausführung ist die Mehrheit der Befragten zufrieden.
- Bezüglich der fachmännischen Installation sind 45 % der Deutschen und 29% der Schweizer qualitativ nicht einverstanden.
- Beim Anlagenbau sind die Befragten lediglich bei der Abnahme der Anlage mittels Messungen unzufrieden. So sehen beispielsweise 43 % der Schweizer und 22 % der Deutschen noch eine Optimierung der Kosten.

## Betrieb:

- Mit Ausnahme der kontinuierlichen Überwachung des Wechselrichters ist die absolute Mehrheit mit dem Anlagenbetrieb unzufrieden.
- Software&Tools, die unabhängige Überwachung und der klare Ablauf bei Fehlermeldungen wurden je zu ca. zwei Drittel als nicht zufriedenstellend eingestuft.
- Die auf die gesamte Umfrage gesehenen schlechtesten Ergebnisse sind beide im Betrieb zu finden. Bei den Schweizern ist dies Unabhängige Überwachung und bei den Deutschen der klare Ablauf bei Fehlermeldungen.

## **09:40 – 10:00 Analyse der Betriebs- und Unterhaltskosten, Enecolo (Sandra Stettler)**

Frau Stettler stellt zunächst den Ablauf der Interviews vor, die sie im Rahmen der Studie mit 11 Fachleuten der Schweizer Photovoltaikbranche durchgeführt hatte. Die wichtigsten Fragestellungen waren hierbei die jeweiligen Erfahrungen mit der Aufteilung und Höhe der Betriebskosten sowie die möglichen Optimierungspotenziale.

Sie stellt fest, dass die Ergebnisse eine sehr grosse Streuung aufweisen und im Kleinanlagenbereich aufgrund der selbstständigen Verwaltung (Hobbyanlagen) meist sehr gering sind und im Grossanlagenbereich eine grosse Spannweite zwischen 2 und 16 Rp/kWh aufweisen. Die höchste Konzentration der Ergebnisse lag bei 8 bis 12 Rp/kWh.

Anschliessend bespricht sie, wie sich die Fachwelt die Verteilung der Betriebskosten auf die Unterpositionen vorstellt.

**Rückstellungen:** In den Rückstellungen sind im Normalfall nur die Wechselrichterausfälle enthalten. Die typische Berechnungsweise der Experten gibt sie als 0.5 bis 1% der Investitionskosten pro Jahr oder 1.7 bis 5.6 Rp/kWh an.

Für die anderen Anlagenkomponenten werden ausser bei speziell angefertigten Modulen im Normalfall keine Rückstellungen gebildet, weil diese als äusserst robust und langlebig gelten.

Die höchste Konzentration der Ergebnisse lag zwischen 3 und 5 Rp/kWh.

**Unterhalt:** Als Unterhalt definiert sie die Begehung vor Ort, Reinigung und Servicegänge der PV-Anlagen. Begehungen finden hierbei in Intervallen von 1- bis 5-mal im Jahr statt und die Reinigung wird entweder nicht praktiziert oder alle 2 bis 6 Jahre durchgeführt. Auffallend sei, dass die Kosten bei grossen Anlagen sehr stark abnehmen und die Überwachung häufig mit einem Wartungsvertrag gekoppelt sei.

Die Streuung der Kostenangaben variierte sehr stark und lag bei grossen Anlagen unterhalb von 2 Rp/kWh.

**Anlagenüberwachung:** Bei der Überwachung zeigt Frau Stettler starke Unterschiede bei den Konzepten auf, so werden die Anlagen entweder selbst oder fremd überwacht und die Überwachungshäufigkeit schwankt zwischen täglich und monatlich.

Die grösste Kostenkonzentration liegt bei kleinen Anlagen bei 2 bis 3 Rp./kWh und im Grossanlagenbereich sinken die Kosten bis auf 1 Rp./kWh.

**Periodische Gebühren:** Zählergebühren sind in der Schweiz aktuell nicht üblich. Telefonkosten, die für einen Teil der Monitoringsysteme anfallen, definiert sie im Bereich von 0 bis zu 25 CHF/ Monat und die Stromkosten für Datenlogger auf bis zu 20 CHF/Jahr. Die höchste Kostenkonzentration der Umfrageergebnisse lag breit gestreut und sinkt bei steigender Anlagengrösse bis unter 1 Rp./kWh.

**Verwaltung & Versicherung:** Laut Frau Stettler ist ein Ergebnis der Umfrage, dass die Erfahrung der Versicherer mit PV-Anlagen von den Experten als sehr gering eingeschätzt wird. Die angegebenen Kosten liegen bei 2 bis 5 Rp./kWh inkl. Ertragsausfall, 1 Rp./kWh für Elementarschaden und 0.7 Rp./kWh für Ertragsausfall. Bei den Verwaltungskosten beliefen sich die Angaben auf 2 bis 4 Rp./kWh für Contractors. Die Kostenstruktur sei hierbei umso besser, je grösser die Anzahl der zu verwaltenden Projekte ist. Für Steuern fallen in der Schweiz keine Kosten an und es ergeben sich sogar Steuervorteile.

**Dachmieten:** Die Zahlung von Dachmieten wird als unüblich bezeichnet und meistens mit anderen Modellen abgewickelt. Beispielsweise wird vereinbart, dass die entsprechende Anlage nach 20 Jahren Betrieb in den Besitz des Dacheigentümers übergeht. Die Kosten lagen im Bereich von 0 bis 5.6 Rp./kWh.

## **10:00 – 10:20 Internationale Datenbank IEA-PVPS Task II, TNC Consulting** (Thomas Nordmann)

Thomas Nordmann beginnt seinen Vortrag mit einer Einführung in das Projekt der Datenbank IEA-PVPS Task II, wobei jeder PV-Anlagenbesitzer die Möglichkeit besitzt, seine Anlagendaten im Internet zu veröffentlichen. Zum jetzigen Zeitpunkt sind weltweit 657 von gewünschten 2000 Anlagen in der Datenbank enthalten und die meisten Bearbeiter kommen aus den USA und der Schweiz. Herr Nordmann bemängelt die Haltung der Deutschen, dass die Betriebs- und Unterhaltskosten mittlerweile eine Art Betriebsgeheimnis geworden seien und sich im Bereich der Anlagenauswertung im deutschen Raum seit der Analyse des 100.000 Dächerprogramms nichts mehr bewegt habe.

Auf der Basis der weltweit eingegebenen Daten entstehen Berichte wie der „Country Reports on PV-System Performance“, der sich mit der Kostenentwicklung der Photovoltaik beschäftigt.

Anhand einiger Grafiken wird erklärt, dass es zukünftig auf ein noch besseres Zusammenspiel der Moduleffizienz, Performance und den Betriebskosten ankommt. Allgemein gehe der Trend seit 1993 stetig in Richtung sinkender Kosten.

Ein Auswertungsbeispiel aus Japan veranschaulicht, dass die meisten Probleme in der Anfangszeit der Anlage auftreten, so waren 12% der Anlagen von Problemen betroffen. Die meisten Probleme traten innerhalb der ersten 1 bis 2 Jahre auf, v.a. bei Wechselrichtern traten 50% der Störungen innerhalb des ersten Jahres auf.

## **Wechselrichterhersteller, Sputnik Engineering AG (Christoph von Bergen)**

Herr Bergen startet seine Präsentation mit einer kurzen Einführung in die Angebotspalette der Firma Sputnik Engineering AG an Wechselrichtern in der Grössenordnung von 2-300 kW und erklärt die Funktionsweise und Praxisbeispiele des Überwachungssystems Max Control. Seiner Meinung nach beeinflussen Wechselrichterausfälle die Betriebskosten sehr stark. So führt ein Zentralwechselrichterausfall zum Totalausfall der Anlage und ein Stringwechselrichterausfall zum Versagen eines Stranges innerhalb des Systems. Als weitere Fehlerquelle der Wechselrichter führt er deren Software auf.

Der Umstand, dass die weltweite Konkurrenz ständig zunehme und der daraus resultierende Preisdruck (vor allem bei String-WR) die Produktion von hohen Stückzahlen erfordere und die Geräte gleichzeitig immer langlebiger und qualitativ hochwertiger werden sollen, führt seiner Meinung nach zu einem Zielkonflikt. Er hält deshalb Aussagen über Garantievergaben von 25 Jahren für utopisch.

Die Standardgarantien bei Sputnik betragen für Strangwechselrichter (SWR) 5 und für Zentralwechselrichter (ZWR) 2 Jahre, wobei die SWR auf 10 und die ZWR auf ein 20 jähriges Rundumsorglospaket erweitert werden können.

Laut Herr von Bergen ermöglicht das Max-Control Überwachungspaket eine tägliche Kontrolle via Internetabfrage und kann auch bei Megawattanlagen problemlos eingesetzt werden, wobei es bei steigender Grösse lediglich mehr Schnittstellen bzw. Geräte benötigt. Der Einsatz im Ausland setze jedoch das Vorhandensein speziell geschulter Servicefachkräfte vor Ort voraus.

## **Installateur, BE Netz (Adrian Kottmann)**

Zunächst gibt Herr Kottmann eine Einführung in die von BE-Netz durchgeführte Umfrage zum Thema Betrieb von PV-Anlagen. Bei der Umfrage wurden 10 Kunden der Firma BE-Netz telefonisch nach ihren Erfahrungen befragt. Dabei wurden folgende Punkte angesprochen:

- Überwachen Sie Ihre PV-Anlage in irgendeiner Form?
- Haben Sie schon Wartungsarbeiten an Ihrer PV-Anlage durchgeführt oder durchführen lassen?
- Hatten Sie schon einmal eine Wechselrichterstörung?
- Fallen bei Ihrer PV-Anlage periodische Gebühren an (Zählergebühren etc.)?
- Wie ist Ihre PV-Anlage versichert?
- Wären Sie an einem Servicevertrag für Ihre PV-Anlage interessiert?
- Sind Sie zufrieden mit ihrer PV-Anlage oder anders gefragt, würden Sie diese wieder bauen?

Ein zentrales Ergebnis der Befragung war, dass es häufig zum Ausfall des Wechselrichters innerhalb der ersten Jahre kommt. Die PV-Anlagen der meisten Befragten waren innerhalb ihrer Gebäudeversicherung mitversichert. Sie sind beinahe alle Idealisten und führen den Unterhalt selber durch. Gegenwärtig präsentierten sich die befragten Kunden sehr zufrieden, haben wenige Reparaturen und die Kosten sind ihnen nicht sehr wichtig. Herr

Kottmann geht jedoch davon aus, dass der finanzielle Aspekt bei PV-Anlagen mit der Einführung der Einspeiseverordnung zunehmen wird.

### Versicherung, Zürich Versicherungen (Claudio Orecchini)

Aus Sicht der Versicherer ist der Bedarf an Versicherungsleistungen bei PV-Anlagen, vor allem bei den Sach- und Haftpflichtversicherungen hoch.

Die Haftpflichtversicherung deckt hierbei durch die PV-Anlage verursachte Sach- und Personenschäden sowie direkte Vermögensschäden wie Ertragsausfälle ab. Privatpersonen schliessen ihre PV-Anlage in die bestehende Gebäudehaftpflichtversicherung mit ein. Reine Energieproduzenten (Grossanlagenbetreiber) müssen eine separate Versicherung abschliessen. Dabei ist in Abhängigkeit von Grösse, Nennleistung und Haftungslimiten von Kosten zwischen 0.013 und 0.17 Rp./kWh auszugehen.

Bei den Sachversicherungen werden Feuer / Blitzschlag und Witterungseinflüsse (Elementarschäden wie Sturm, Hagel) als Hauptgefahren und Schadenursachen angesehen. In Abhängigkeit der Grösse und Nennleistung werden folgende Kosten angegeben. Die Anlagengrössen 3, 25 und 650 kWp wurden hierbei als Berechnungsgrundlage angenommen.

#### Private Versicherungsgesellschaften

3 kWp	≈	1.0 – 1.66	Rp./kWh
25 kWp	≈	0.9 – 1.51	Rp./kWh
650 kWp	≈	0.6	Rp./kWh

#### Kantonale Gebäudeversicherungen

3 kWp	≈	0.370	Rp./kWh
25 kWp	≈	0.355	Rp./kWh
650 kWp	≈	0.355	Rp./kWh

Innerhalb der Versicherung "Allgemeine Technische Anlagen (ATA)", sind laut Herrn Orecchini beispielsweise Beschädigung oder Zerstörungen durch Konstruktions-, Material- oder Fabrikationsfehler, Kurzschluss oder Überspannung und Elementarschäden wie Feuer versichert. Im Bereich der Kleinanlagen ist diese Versicherung im Normalfall wegen der hohen Kosten nicht rentabel.

3 kWp	≈	6.9 Rp./kWh
25 kWp	≈	6.5 Rp./kWh
650 kWp	≈	3.0 Rp./kWh

Die Versicherer in der Schweiz gehen davon aus, dass die Beiträge in Zukunft tendenziell sinken werden. Aufgrund dessen, dass die Prämien von den Investitionskosten abhängen, werden bei sinkenden Investitionskosten auch die Versicherungskosten abnehmen.

Herr Sonderegger von der Helvetia Versicherung erläuterte im Anschluss an den Vortrag der Zürichversicherung, was in seinem Hause in Sachen PV-Versicherungen angeboten wird. Die Helvetia bietet ein Sorglospaket an, das beispielsweise bei einer

Investitionssumme von 20.000 CHF und einer Dauer von 10 Jahren rund 700 CHF kostet. Zu den Leistungen dieser PV-Versicherung zählen beispielsweise:

- Überspannung, Kurzschluss
- Brand, Blitzschlag, Explosion
- Wasser, Sturm/Hagel
- Raub, Diebstahl, Vandalismus
- Bedienungsfehler, Ungeschicklichkeit
- Konstruktions-, Material-, Ausführungsfehler
- Höhere Gewalt

Die Haftpflichtversicherung ist nicht explizit aufgeführt, da die meisten PV-Anlagen über ihre Gebäudehaftpflicht mitversichert sind. Falls dies nicht der Fall ist, betragen die Kosten laut Herr Sonderegger ca. 2,6 Rp./kWh.

Ertragsausfälle sind automatisch und kostenlos mitversichert und der Betreiber der Anlage erhält nach dem dritten Ausfalltag für den Zeitraum von 3 Monaten den Versicherungsschutz.

### **Vorschläge des Projektteams zur Senkung der B&U Kosten, Enecolo (Sandra Stettler)**

Die Frage nach möglichen Optimierungspotenzialen bei den Betriebskosten führte bei den Expertengesprächen zu folgenden Resultaten.

**Planung:** Als Verbesserungspotenziale im Bereich der Planung gab Frau Stettler beispielsweise die Qualität der Planung, Anordnung von Messinstrumenten (Gruppierung von Klemmenkästen etc.), die Auslegung von Wechselrichtern und die Zuständigkeiten im Fehlerfall an.

**Bauphase:** Ausführliche Abnahme, Beachtung der Dachstatik bzw. die Anbindung an das Dach und Schnittstellen zwischen den Arbeitern, falls kein GU vorhanden ist.

**Komponenten:** Umfassendere und längere Wechselrichtergarantie, Serviceverträge für Wechselrichter und ein engeres Servicenetz sowie die Kontrolle der Sicherungen.

**Unterhalt:** Fernwartung, schnellere Fehlerdiagnose, schnellerer Service, zuverlässigere Stecker und Sicherungen.

**Monitoring:** Kostengünstigere Systeme, ein höherer Automatisierungsgrad und die Datenübertragung und Auswertung sollte über die ganze Lebensdauer (min.20 Jahre) funktionieren.

**Periodische Gebühren:** Telefonkosten für den Datenlogger sollten sinken.

**Versicherungen:** Hier besteht anscheinend ein sehr grosses Verbesserungspotenzial, spezielle PV-Versicherungen werden in der Schweiz in geringem Umfang und zu hohen Preisen angeboten.

**Verwaltung:** Professionalität der Contracting-Firmen und die Rechnungsstellungen durch EW`s.

**Rückbau:** Recycling und Rücknahme von Modulen, Trennbarkeit der Materialien, schnelle Demontierbarkeit der Anlagen.

## **Gemeinsame Diskussion**

### **Themen:**

- In welcher Einheit sollen die Betriebskosten angegeben werden? CHF/kWp/Jahr oder Rp./kWh?
- Sollen die Betriebskosten von der Anlagengrösse- / Typ abhängig sein?
- Wechselrichter: Wie können die Kosten für Rückstellungen in Zukunft gesenkt werden?
- Versicherungen: Gehört ein Risikozuschlag in die Betriebskosten?
- Entstehen Rückbaukosten und gehören diese in die Betriebskosten?
- Werden Zählergebühren auf die Betreiber zukommen?
- Gehören Steuern zu den Betriebskosten?
- Betriebskosten: Gibt es ein Maximum, das nicht überschritten werden darf?

### **In welcher Einheit sollen die Betriebskosten angegeben werden?**

Es wird beschlossen, die Betriebskosten in Rp./kWh auszudrücken, da diese Einheit in der Energieverordnung des Bundes genutzt wird. Jürg Marti stellt fest, dass die PV-Anlagen der Solarstrombörse im Schnitt ca. 900 kWh/kWp Jahresertrag produzieren. Christian Meier kritisiert, dass bei dieser Methode zur Berechnung der Betriebskosten Fassadenanlagen und andere nicht optimal ausgerichtete Anlagen benachteiligt werden. Trotzdem wird am Workshop beschlossen, an dieser Einheit festzuhalten, da nur so die Kompatibilität mit der Nomenklatur des Bundes gegeben ist. Selbstverständlich können die Betriebskosten gegenüber Kunden weiterhin in CHF/kWp/Jahr angegeben werden.

### **Sollen die Betriebskosten von der Anlagengrösse- / Typ abhängig sein?**

Es werden 3 verschiedene Modelle diskutiert:

- 1.) Zwei verschiedene Anlagentypen definieren: Fremd- und Eigenanlagen. Bei den Eigenanlagen sind die Betriebskosten tiefer, weil Eigenleistungen der Besitzer nicht verrechnet werden.
- 2.) Aufteilung der Anlagen: In Kleinanlagen bis 10 kWp, gewerblichen Anlagen bis 100 kWp und Grossanlagen ab 100 kWp.
- 3.) Wie in der Energieverordnung des Bundes vorgegeben, wird nicht zwischen Anlagentypen unterschieden. Die Höhe ist fix oder linear von der Grösse der PV-Anlage abhängig.

Variante 1 wird verworfen, da immer eine Vollkostenrechnung gemacht werden sollte, also auch Eigenleistungen eingerechnet werden. Variante 2 wird verworfen, da diese nicht der Kategorisierung des Bundes entspricht.

## **Wechselrichter: Wie können die Kosten für Rückstellungen in Zukunft gesenkt werden?**

Für Zentralwechselrichter bietet Sputnik Engineering ein Rundumsorglospaket für 20 Jahre an. Dies kostet für jede Anlagengrösse ca. 1,2 Rp./kWh und beinhaltet den Austausch/-Reparatur des Wechselrichters sowie eine Versicherung bei Ertragsausfall. Die Kosten sind somit deutlich tiefer, als wenn Rückstellungen für den Ersatz des Wechselrichters nach 10 Jahren gemacht werden müssen.

## **Versicherungen: Gehört ein Risikozuschlag in die Betriebskosten?**

Risikozuschläge werden von den Beteiligten als wichtig erachtet. In Deutschland werden z. B. von einigen Versicherungen keine nachgeführten Anlagen mehr versichert. Wenn bei den Modulen nach einigen Jahren Defekte auftreten, kann es unter Umständen schwierig sein die versprochenen Garantieleistungen einzufordern, z. B., wenn der Hersteller inzwischen weiterverkauft wurde. Das Risiko ist ausserdem umso höher, wenn bei der Installation Billigprodukte verwendet werden.

Risikozuschläge sind aber nicht einschätzbare Kosten. Gemäss Zürich Versicherung entscheidet der Kunde, ob er nur das Hauptrisiko oder alles über die Versicherung abdecken will.

Es wird beschlossen, dass Risikozuschläge nicht zu den Betriebskosten gehören, sondern eine eigene Kostenkategorie bilden. Wenn die Höhe der Einspeisevergütung festgelegt wird, könnte ein Risikozuschlag integriert werden. Dies könnte die Banken eventuell zu günstigeren Zinsen bewegen und somit die Kapitalkosten senken.

## **Entstehen Rückbaukosten und gehören diese in die Betriebskosten?**

Wenn eine Anlage ausgedient hat, kann davon ausgegangen werden, dass der Standort aufgrund der lukrativen Lage weitergenutzt wird oder die Anlage stehen bleibt (z. B. als Dach bei der Dachintegration). Irgendwann hat jedoch jede Anlage ausgedient und wird grösstenteils abmontiert werden müssen. Es wird z. B. angemerkt, dass ein Rückbau der Anlage häufig bei Dachnutzungsverträgen vertraglich fixiert wird, damit sich der Gebäudeeigentümer dagegen absichern kann, dass die Anlage nach der Laufzeit tatsächlich abgebaut wird. Es wird unter anderem darüber diskutiert, ob die Rückbaukosten zu den Investitionskosten oder zu den Betriebskosten gehören. Es wird entschieden, dass die Rückbaukosten weder zu den Investitionskosten noch zu den Betriebskosten gehören und eine eigene Kostenposition bilden müssen.

## **Werden Zählergebühren auf die Betreiber zukommen?**

Laut Jürg Marti werden zukünftig Kosten für Zählergebühren anfallen. Die Höhe steht noch nicht fest und wird sich wahrscheinlich zwischen 50 und 250 CHF/Jahr bewegen.

### **Gehören Steuern in die Betriebskosten?**

Es wurde vereinbart, dass die Ertrags- und Mehrwertsteuer nicht zu den Betriebskosten gehört. Wie die Erhebung der Steuern schlussendlich gehandhabt wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt.

### **Betriebskosten: Gibt es ein Maximum, das nicht überschritten werden darf?**

Die Frage von Stephan Gnos, ob es bezüglich der Betriebskosten Grenzkosten geben sollte und ob die Betriebskosten von der jährlichen Degression befreit sein sollten, kam zu keiner abschliessenden Antwort.