

Finaler Bericht, 15. Juni 2020

Photovoltaikmarkt- Beobachtungsstudie 2019

Autoren

Yannick Sauter, Planair SA

Florent Jacqmin, Planair SA

**Die vorliegende Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung der Studie.....	7
2	Erhebung und Herkunft der Daten.....	9
2.1	Methodik	9
2.1.1	Rahmen der Studie	9
2.2	Statistiken zur Verteilung der Daten.....	11
2.3	Statistische Untersuchung der für die Datensätze erhobenen Merkmale	13
3	Analyse der Daten	16
3.1	Angebaut – integriert.....	17
3.2	Relevanz der Quellen SOC und SA.....	18
3.3	Verschiedene Vergleiche.....	20
3.3.1	Vergleich von Offerten und Rechnungen:	20
3.3.2	Vergleich von bestehenden und neuen Gebäuden:.....	22
3.3.3	Vergleich, ob die Baustellenabsicherung eingeschlossen ist oder nicht:.....	22
3.3.4	Vergleich verschiedener Wechselrichtertypen:.....	25
3.3.5	Vergleich verschiedener Dacharten:	26
3.3.6	Schlussfolgerungen aus den verschiedenen Vergleichen.....	28
4	Gesamtergebnisse	29
4.1	Bezugskurve	29
4.2	Statistische Verteilung der spezifischen Kosten auf die Leistungsbereiche.....	31
4.3	Diskussion.....	33
5	Kostenverteilung	35
5.1	Gesamtüberblick	35
5.2	Detaillierte Betrachtung	37
6	Entwicklung im Zeitverlauf	40
7	Nebenkosten und tatsächliche Kosten	43
7.1	Nebenkosten.....	43
7.2	Auswirkungen auf verschiedene Projektarten	45
7.3	Zusammenfassung.....	47

8	Kostenbeeinflussende Faktoren	49
9	Zusammenfassung	54
10	Danksagungen	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Quelle. SOC steht für Offerten, die im Rahmen des Solar-Offerte-Checks eingegangen sind. SA steht für Anlagen, die aufgrund von Sammelausschreibungen seitens der Planungsunternehmen realisiert werden konnten. BH kennzeichnet Daten, die direkt durch die Bauherren bereitgestellt wurden.	11
Abbildung 2: Verteilung nach Quellen (freiwillige Studienteilnehmer).	11
Abbildung 3: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Leistungsbereich.	12
Abbildung 4: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Kanton (Standort der Anlagen).	12
Abbildung 5: Für die einzelnen Datensätze zwingend anzugebende Merkmale. Die meisten eingegangenen Datensätze beziehen sich auf Offerten sowie auf angebaute Anlagen.	13
Abbildung 6: Optional anzugebende Merkmale, die angeben, ob das Monitoring, die Baustellenabsicherung oder permanente Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen und Installationskosten der untersuchten PV-Anlagen enthalten waren. Die Angaben in den ersten drei Zeilen beziehen sich auf alle Anlagen (angebaut und installiert, offeriert und in Rechnung gestellt, alle Leistungsbereiche). Die vierte Zeile gibt ausschliesslich für Anlagen über 30 kWp an, ob auch die permanenten Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen enthalten waren.	14
Abbildung 7: Für 1'445 Anlagen, das sind 61,6 % der erhobenen Datensätze, wurde der Typ des offerierten oder installierten Wechselrichters angegeben. Bei 48,4 % der Anlagen kamen Strangwechselrichter zum Einsatz, bei 38,7 % Leistungsoptimierer und bei 12,9 % Modulwechselrichter.	14
Abbildung 8: Für 442 Anlagen (18,8 %) wurde die Gebäudeart angegeben. In über 80 % dieser Fälle wurde die Anlage an einem bestehenden Gebäude angebracht oder war dafür vorgesehen.	15
Abbildung 9: Die Art des Gebäudedachs wurde für 336 Anlagen (14,3 %) angegeben. In 60 % dieser Fälle handelte es sich um ein ziegelgedecktes Schrägdach.	15
Abbildung 10: Darstellung der 2'347 für die Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019 erhobenen Datensätze mit den spezifischen Kosten zzgl. MWST (in CHF/kWp) der einzelnen Anlagen.	16
Abbildung 11: Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbereich 0 bis 100 kWp, mit Unterscheidung zwischen angebauten und integrierten Anlagen.	18
Abbildung 12: Vergleich der Kosten angebaute Anlagen nach Quelle: Daten aus dem Solar-Offerte-Check, Daten aus Sammelausschreibungen und direkt durch Installationsbetriebe bereitgestellte Daten.	

Die drei Trendlinien wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion und der Option «Potenzkurve» erstellt.
 19

Abbildung 13: Vergleich der spezifischen Kosten gemäss Offerten und Rechnungen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.....21

Abbildung 14: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen auf bestehenden und Anlagen auf neuen Gebäuden. Die ungefüllten roten Rauten stehen für alle angebauten Anlagen, für die keine Angaben zur Gebäudeart vorliegen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.....23

Abbildung 15: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen, bei denen die Baustellenabsicherung eingeschlossen ist, mit jenen, bei denen dies nicht der Fall ist. Die ungefüllten roten Rauten stehen für alle angebauten Anlagen, für die keine Angaben zur Baustellenabsicherung vorliegen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.....24

Abbildung 16: Schnittmengen zwischen Anlagen auf neuen Gebäuden und Anlagen ohne Baustellenabsicherung.....25

Abbildung 17: Vergleich der spezifischen Anlagenkosten in Abhängigkeit von der Art des/der offerierten bzw. installierten Wechselrichter(s) gemäss Offerte bzw. Rechnung. Datenpunkte von Modulwechselrichtern sind ausschliesslich im unteren Leistungsbereich zu finden. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.....26

Abbildung 18: Vergleich der spezifischen Kosten nach Dachart. Die für ziegelgedeckte Schrägdächer stehenden Datenpunkte liegen fast ausschliesslich im unteren Leistungsbereich. Daher wurde die entsprechende Trendlinie nicht aufgetragen. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.....27

Abbildung 19: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) angebauter Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Darstellung des gesamten Leistungsbereichs.30

Abbildung 20: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) angebauter Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 30 kWp.31

Abbildung 21: Statistische Verteilung der spezifischen Kosten angebauter Photovoltaikanlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Der rote Balken in der Mitte kennzeichnet den Median aller Werte im jeweiligen Leistungsbereich. Die beiden schwarzen Balken an den Enden entsprechen den minimalen (Min) und maximalen (Max) spezifischen Kosten im jeweiligen Leistungsbereich. Das mittlere Rechteck um den Median kennzeichnet den Interquartilsabstand: 50 % aller Werte im jeweiligen Leistungsbereich liegen innerhalb dieses Rechtecks. Die Kreuze schliesslich stehen für die Medianwerte aus dem Jahr 2018. Dies zeigt, wie wenig sich die Kosten im Zeitverlauf geändert haben.33

Abbildung 22: Kostenverteilung bei angebauten Photovoltaikanlagen in sechs Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für die die betreffenden Werte bekannt sind.36

Abbildung 23: Detaillierte Kostenverteilung bei angebauten Photovoltaikanlagen, aufgeschlüsselt in neun Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für die die betreffenden Werte bekannt sind.....39

Abbildung 24: Entwicklung der statistischen Verteilung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Dargestellt werden fünf Leistungsbereiche und in allen Leistungsbereichen die Daten für 2018, 2019 sowie die Halbjahre 1 und 2 des Jahres 2019. Die farbigen Balken stehen für die Medianwerte. Die Enden der vertikalen Linien markieren die maximalen und minimalen spezifischen Kosten in den jeweiligen Kategorien. Die dünneren Querlinien kennzeichnen die ersten und dritten Quartile (25 % und 75 %).40

Abbildung 25: Entwicklung der Kostenverteilung zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2019 für die Leistungsbereiche 2 bis 10 kWp und 10 bis 30 kWp.41

Abbildung 26: Entwicklung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2019. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Die Trendlinien (Potenzkurven) wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion erstellt.42

Abbildung 27: Grafische Darstellung der Auswirkungen der Nebenkosten in den drei Szenarien bei einem Projekt mit 200 kWp.47

1 Zusammenfassung der Studie

Der Schweizer Photovoltaikmarkt befindet sich – übereinstimmend mit der weltweiten Situation – bereits seit einigen Jahren im Aufschwung. Die Anzahl neuer Photovoltaikanlagen und die kumulierte Leistung der schweizweit installierten Anlagen haben im Zeitverlauf exponentiell zugenommen, während die Preise für PV-Module gefallen sind. Das Volumen des Schweizer Marktes ist Gegenstand mehrerer nationaler Studien¹. Der vorliegende Bericht zielt darauf ab, diese Studien zu ergänzen, indem er den Schweizer Markt insbesondere hinsichtlich der Kosten von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) analysiert und bei der Betrachtung der Gesamtkosten sämtliche für die Projektrealisierung erforderlichen Parameter berücksichtigt.

Die Studie ist zweiteilig angelegt. Eine erste Analyse befasst sich mit den Kosten der Installateurleistungen; diese beinhalten den Einkauf der Einrichtungen und den Arbeitsaufwand bis zur Inbetriebnahme. Dieser Teil umfasst die Kapitel 2 bis 6 und stützt sich auf einen umfangreichen Datenbestand, dessen Quellen Installationsbetriebe, Planungsunternehmen und Bauherren sind. Der zweite Teil der Studie analysiert diejenigen Kosten, die nicht durch die Installationsbetriebe in Rechnung gestellt werden, und soll dazu dienen, die tatsächlichen Kosten abzuschätzen, die der Bauherr einer Photovoltaikanlage zu tragen hat. Kapitel 7 benennt die betreffenden Kosten auf Grundlage von Gesprächen mit Bauherren. Kapitel 8 enthält eine qualitative Betrachtung aller Faktoren, die sich auf die Kosten auswirken.

Hinsichtlich der Kosten der durch den Installationsbetrieb erbrachten Leistungen wurden im Rahmen der vorliegenden Studie 2'347 Datensätze erhoben. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf den 2'126 Datensätzen, die angebaute Anlagen betreffen. Die Analyse der kostenbeeinflussenden Faktoren ergibt keinen besonders herausragenden Faktor. Da alle Datensätze beibehalten werden konnten, war aufgrund des Volumens ein statistischer Ausgleich der unterschiedlichen Faktoren möglich. Es zeigt sich ein allgemeiner Trend zu einer sehr starken Abnahme der spezifischen Kosten (CHF/kWp) bei Anlagen mit einem sehr geringen Leistungsbereich (< 10 kWp), während bei Anlagen mit grosser Leistung (> 100 kWp) die Kurve sehr flach ausfällt. Die Analyse der Kostenverteilung ergibt eine Abhängigkeit dieser Verteilung von der Anlagenleistung. Unter anderem fällt der Modulpreis umso stärker ins Gewicht, je grösser die Leistung wird. Der auf die Arbeitskosten entfallende Anteil sinkt mit steigender Leistung. Zusammengenommen machen diese beiden Kostenbestandteile unabhängig von der Leistung rund 50 % der Gesamtkosten aus. Aus dem Vergleich mit den im Rahmen der Marktbeobachtung 2018 erhobenen Daten ergibt sich keinerlei signifikante Entwicklung der spezifischen Kosten, was die Stabilität des Marktes in diesem Zeitraum belegt. Der Medianwert der spezifischen Kosten in Abhängigkeit vom Leistungsbereich hat sich zwischen 2018 und 2019 nicht verändert (Abbildung 21).

Neben den direkt mit der Arbeit des Installateurs zusammenhängenden Kosten müssen die Bauherren gegebenenfalls auch eine Reihe zusätzlicher Kosten tragen, die den Gesamtpreis der Anlage in die Höhe treiben. Zu diesen Nebenkosten zählen unter anderem die internen Kosten für die Projektverwaltung, die Kosten für die externe Planung, die Geschäftskosten, die Architekturkosten und gegebenenfalls Kosten für statische und Dichtheitsgutachten. Besonders bei mittelgrossen und grossen Anlagen schlagen diese

¹ Beispielsweise die jährlichen Markterhebungen Sonnenenergie, die Swissolar im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE durchführt, oder die Berichte des IEA PVPS (International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme).

Kosten stark zu Buche. Sie können die Gesamtkosten der Anlage um 5 % bis 50 % verteuern. Die tatsächlichen Kosten eines Photovoltaikprojekts entsprechen nicht den durch die Installationsbetriebe ausgewiesenen Preisen. Eine vollständige Analyse muss auch die genannten Nebenkosten mit einbeziehen. Spezielle Projekte, wie beispielsweise ZEV-Projekte oder Projekte, für die erst eine Trägerstruktur (Carport) errichtet werden muss, führen zu weiteren Mehrkosten.

2 Erhebung und Herkunft der Daten

Der vorliegende Bericht analysiert Daten, die im Rahmen der Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019 erhoben wurden. Die betreffenden Daten beziehen sich auf sämtliche Kosten für Leistungen, die Installationsbetriebe bei schlüsselfertigen Photovoltaikanlagen erbringen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Analysen und Diskussionen in den Kapiteln 2 à 6.

2.1 Methodik

Die Studie basiert auf im Jahr 2019 erstellten Offerten und Rechnungen für Photovoltaikanlagen. Ein Teil dieser Daten wurde im Rahmen einer Befragung von Installationsbetrieben, Planungsunternehmen und Bauherren erhoben (für insgesamt 1'304 Anlagen). Hierunter fallen auch 143 Datensätze aus umgesetzten kommunalen Fördermassnahmen für die Errichtung von PV-Anlagen. Da die betreffenden Massnahmen mehrere Eigentümer in einer einzigen Sammelausschreibung gruppieren, wird die entsprechende Datenquelle im Folgenden mit «SA» abgekürzt. Der verbleibende Teil der Daten stammt aus Offerten, die im Rahmen des von EnergieSchweiz angebotenen Service «Solar-Offerte-Check» für Anlagen mit einer Leistung unter 30 kWp stammen (Vergleich von Solaranlagen-Offerten durch die Experten von EnergieSchweiz). Aus dem «Solar-Offerte-Check» stammen 1'043 einzelne Datensätze (im Folgenden mit «SOC» gekennzeichnet). Somit ergibt sich eine Gesamtzahl von 2'347 Datensätzen, die für diese Studie herangezogen wurden.

Laut der von Swissolar durchgeführten Markterhebung Sonnenenergie 2018² wurden in diesem Jahr 13'916 ans Netz angeschlossene Photovoltaikanlagen errichtet. Unter Berücksichtigung der um 12 % gestiegenen Anlagenzahl (sie entspricht dem Wachstum zwischen 2017 und 2018) und der Annahme, dass lediglich ein Drittel der Offerten auch als Auftrag ausgeführt werden, würden die in der vorliegenden Studie erhobenen Daten zwischen 5 % und 10 % des Gesamtmarktes 2019 abdecken.

2.1.1 Rahmen der Studie

Die Studie bezieht sich auf Photovoltaikanlagen mit den unten genannten Merkmalen. Die Gesamtkosten der einzelnen Anlagen beinhalten die nachfolgend aufgeführten Elemente, sofern sie in den Installateurleistungen enthalten sind. Dieser erste Teil der Studie berücksichtigt ausschliesslich Leistungen, die der Installationsbetrieb erbringt.

Allgemeiner Rahmen:

- Die Daten basieren auf Rechnungen für Anlagen, die im Jahr 2019 errichtet wurden, sowie auf Offerten aus demselben Jahr.
- Die Studie berücksichtigt ausschliesslich Photovoltaikanlagen auf bestehenden oder neuen Gebäudedächern. An Fassaden oder auf Carports installierte Anlagen wurden nicht für die Studie berücksichtigt.
- Die angegebenen Preise verstehen sich zzgl. MWST.

² Die Markterhebung 2019 war zum Zeitpunkt dieser Studie noch nicht veröffentlicht worden.

In den Installationskosten der Photovoltaikanlagen enthaltene Leistungen:

- Lieferung und Aufbau der elektrischen Komponenten von den Modulen bis zum (inklusive) Netzanschlussstrennschalter des Gebäudes, einschliesslich der Zubehörteile (Kabelrinnen und Kabelführungen, Elektrokästen)
- Lieferung und Aufbau des Modulbefestigungssystems einschliesslich allfälliger Beschwerungen und Befestigungselemente auf dem Dach
- Lieferung und Installation des Monitoringsystems
- Planungsaufwand des Solartechnik-Installationsbetriebs einschliesslich der behördlichen Formalitäten sowie der Ausführungs- und Betriebsunterlagen
- Lieferung und Aufstellung der Baustellenabsicherung (Absturzsicherung und Sicherung des Dachzugangs) und der Hebemittel
- Lieferung und Einrichtung permanenter Sicherheitsmassnahmen (Sicherungsseile, Verankerungspunkte, Geländer)
- Bei integrierten Anlagen: Traglattung für die Module

Nicht enthaltene Leistungen:

- Nicht durch den Installationsbetrieb geleisteter Planungsaufwand: Ingenieurbüros (PV-Planer, statische Berechnungen, Dichtheitsgutachten, Architekt, Bauüberwachung, Bauleitung)
- Arbeiten für den Aufbau eines ZEV: Verkabelung, Zählertafeln
- Speichersysteme und deren Zubehör
- Regelungselemente für die Verbrauchssteuerung: Steuerung und Regelung von Verbrauchern, beispielsweise Wärmepumpe oder Haushaltsgeräte
- Anpassungsarbeiten am Gebäude: Dachrenovierung, statische Verstärkungen, Verstärkung des elektrischen Netzes, Versetzen bestehender elektrischer Anlagen in einen normgerechten Zustand
- Bei integrierten Systemen: Unterkonstruktion der Photovoltaikanlage (Unterspannbahn, Konterlattung) sowie Spenglerarbeiten rund um das Modulfeld

2.2 Statistiken zur Verteilung der Daten

Die herangezogenen Daten stammen überwiegend von Installationsbetrieben, während Planungsunternehmen und Bauherren nur in begrenztem Umfang dazu beigetragen haben (Abbildung 1 und Abbildung 2). Die Daten sind entsprechend der Leistungsverteilung der tatsächlich realisierten Anlagen sehr gut auf sämtliche Leistungsbereiche zwischen 2 kWp und 1'440 kWp (Abbildung 3) verteilt. Ebenso ist die Verteilung der Daten auf das gesamte Gebiet der Schweiz sehr gut (Abbildung 4).

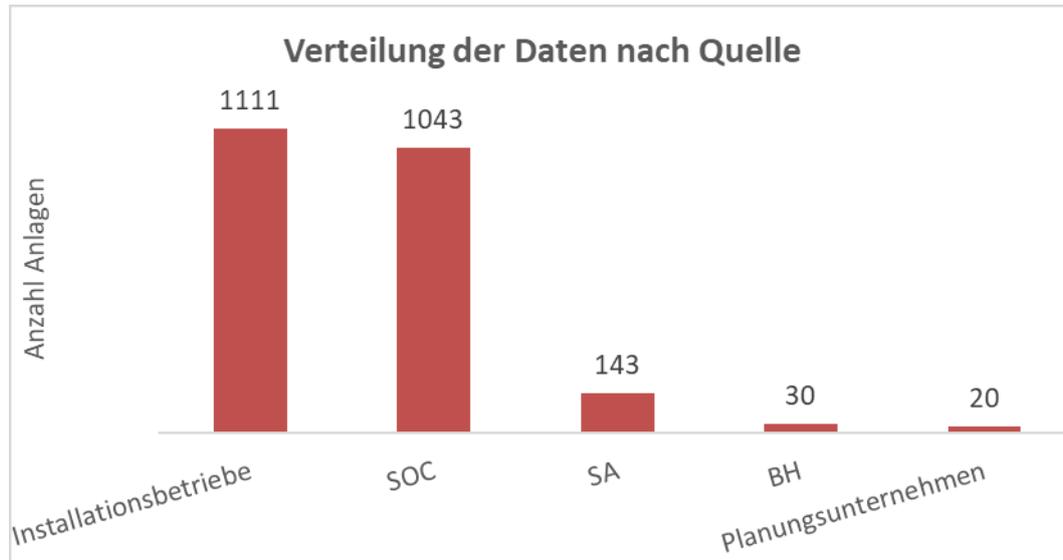


Abbildung 1: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Quelle. SOC steht für Offerten, die im Rahmen des Solar-Offerte-Checks eingegangen sind. SA steht für Anlagen, die aufgrund von Sammelausschreibungen seitens der Planungsunternehmen realisiert werden konnten. BH kennzeichnet Daten, die direkt durch die Bauherren bereitgestellt wurden.

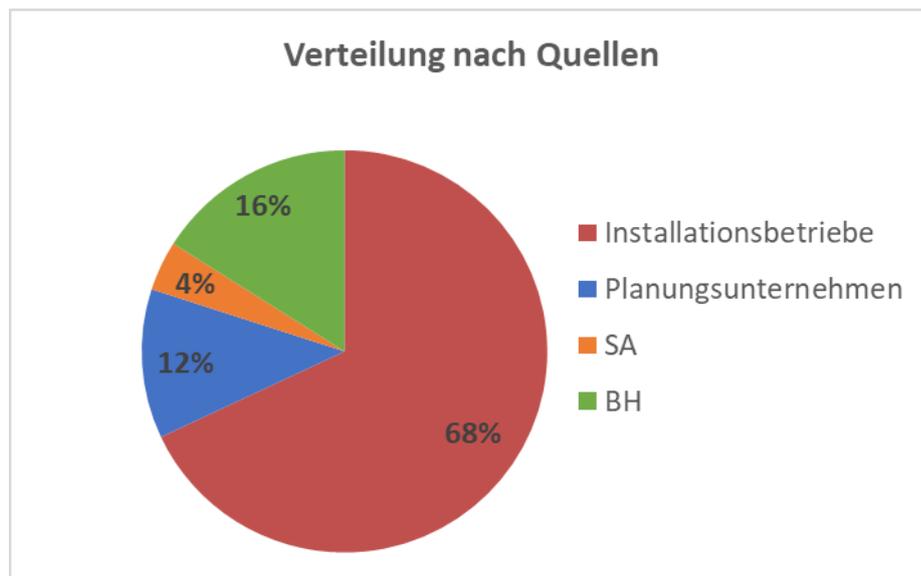


Abbildung 2: Verteilung nach Quellen (freiwillige Studienteilnehmer).

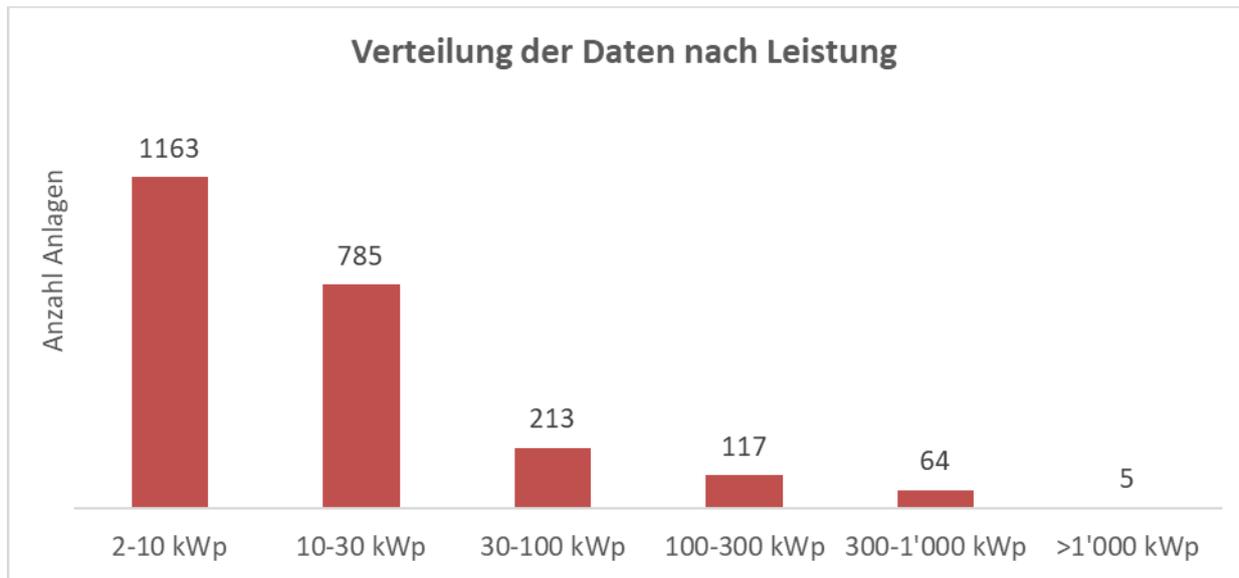


Abbildung 3: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Leistungsbereich.

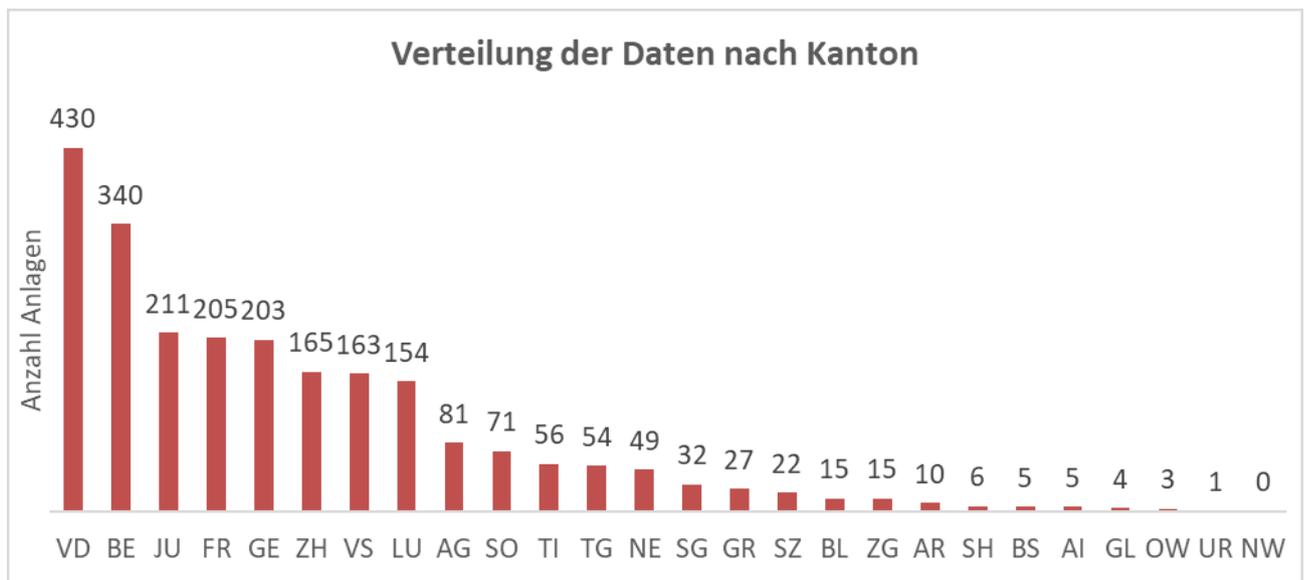


Abbildung 4: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Kanton (Standort der Anlagen).

2.3 Statistische Untersuchung der für die Datensätze erhobenen Merkmale

Bestimmte Daten zu den jeweiligen Anlagen mussten zwingend zusammen mit den Gesamtkosten zur Verfügung gestellt werden. Dabei ging es darum, angebaute von integrierten Anlagen zu unterscheiden und die Entwicklung zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr nachvollziehen zu können. Darüber hinaus konnte optional eine Reihe weiterer Merkmale angegeben werden. Dieser Absatz geht auf die Gesamtheit der für die Datensätze erhobenen Merkmale ein.

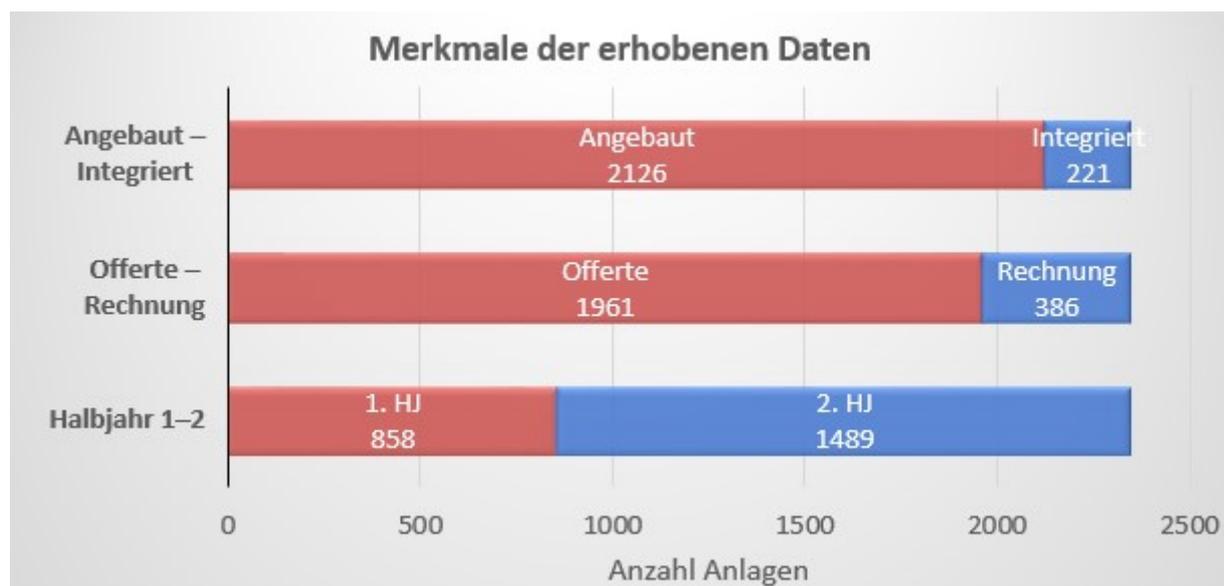


Abbildung 5: Für die einzelnen Datensätze zwingend anzugebende Merkmale. Die meisten eingegangenen Datensätze beziehen sich auf Offerten sowie auf angebaute Anlagen.

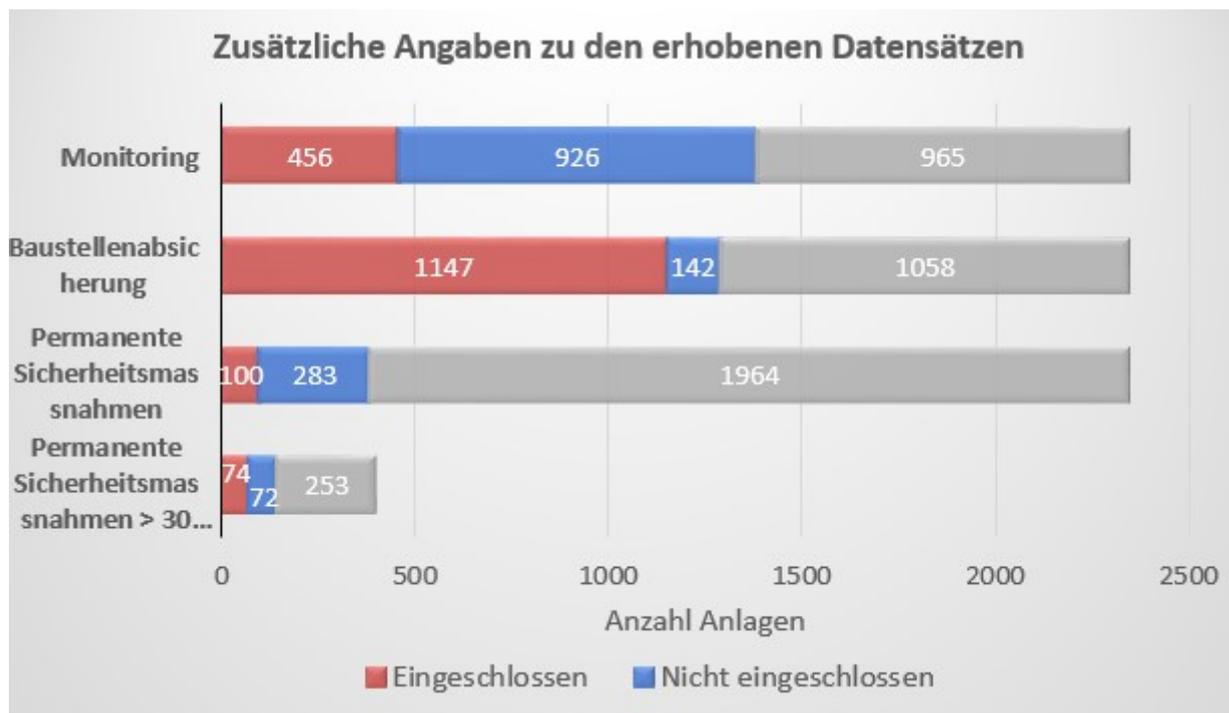


Abbildung 6: Optional anzugebende Merkmale, die angeben, ob das Monitoring, die Baustellenabsicherung oder permanente Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen und Installationskosten der untersuchten PV-Anlagen enthalten waren. Die Angaben in den ersten drei Zeilen beziehen sich auf alle Anlagen (angebaut und installiert, offeriert und in Rechnung gestellt, alle Leistungsbe- reiche). Die vierte Zeile gibt ausschliesslich für Anlagen über 30 kWp an, ob auch die permanenten Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen enthalten waren.

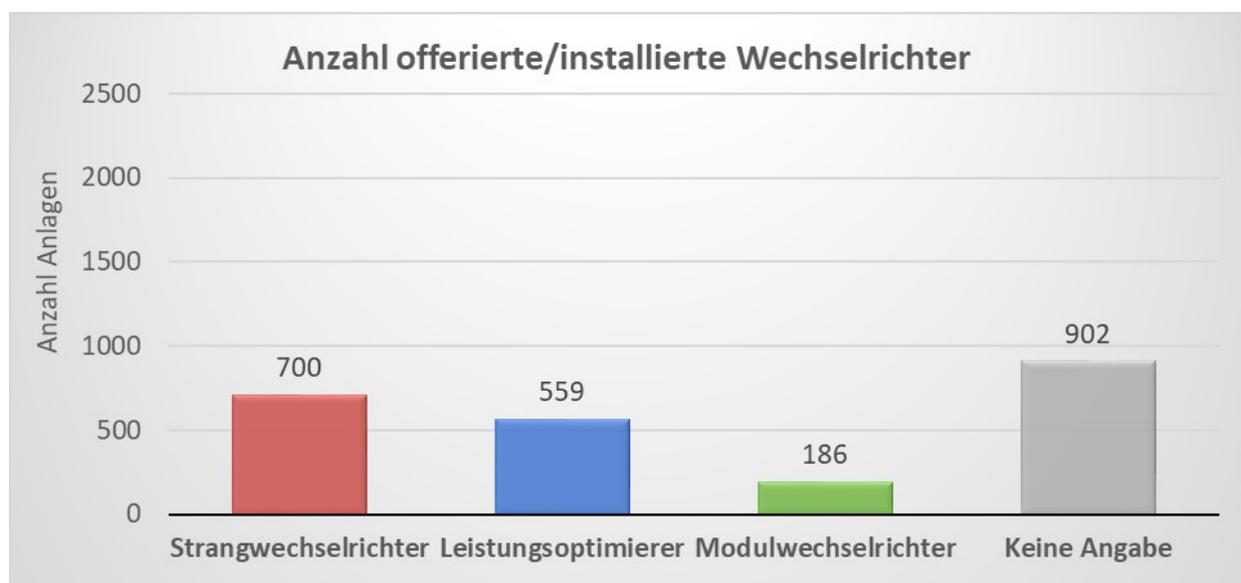


Abbildung 7: Für 1'445 Anlagen, das sind 61,6 % der erhobenen Datensätze, wurde der Typ des offerierten oder installierten Wechselrichters angegeben. Bei 48,4 % der Anlagen kamen Strangwechselrichter zum Einsatz, bei 38,7 % Leistungsoptimierer und bei 12,9 % Modulwechselrichter.

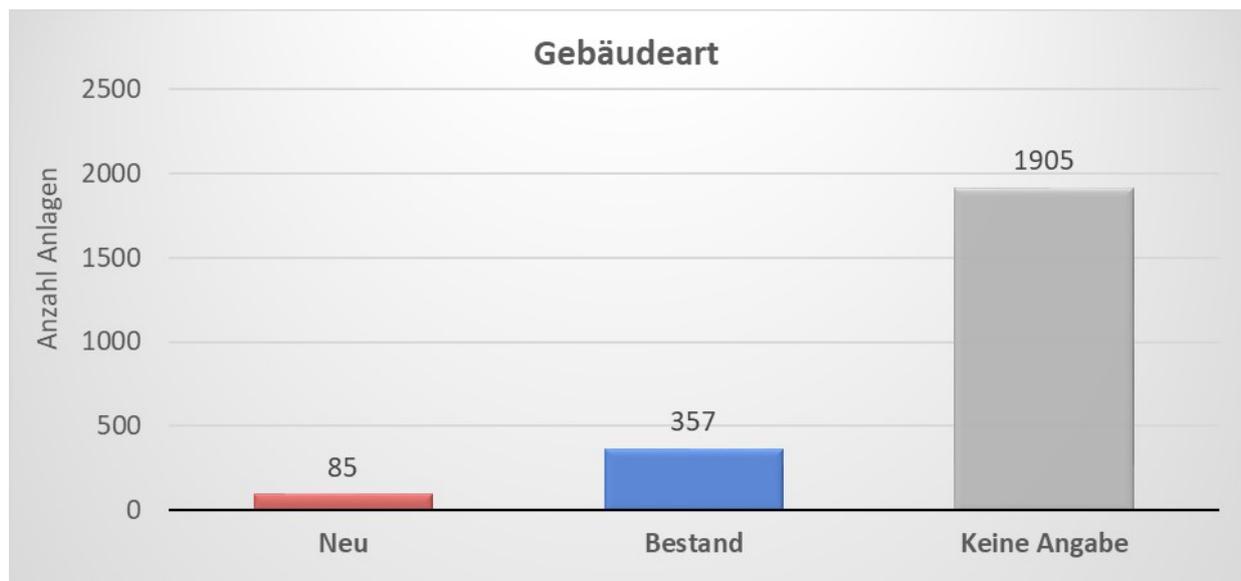


Abbildung 8: Für 442 Anlagen (18,8 %) wurde die Gebäudeart angegeben. In über 80 % dieser Fälle wurde die Anlage an einem bestehenden Gebäude angebracht oder war dafür vorgesehen.

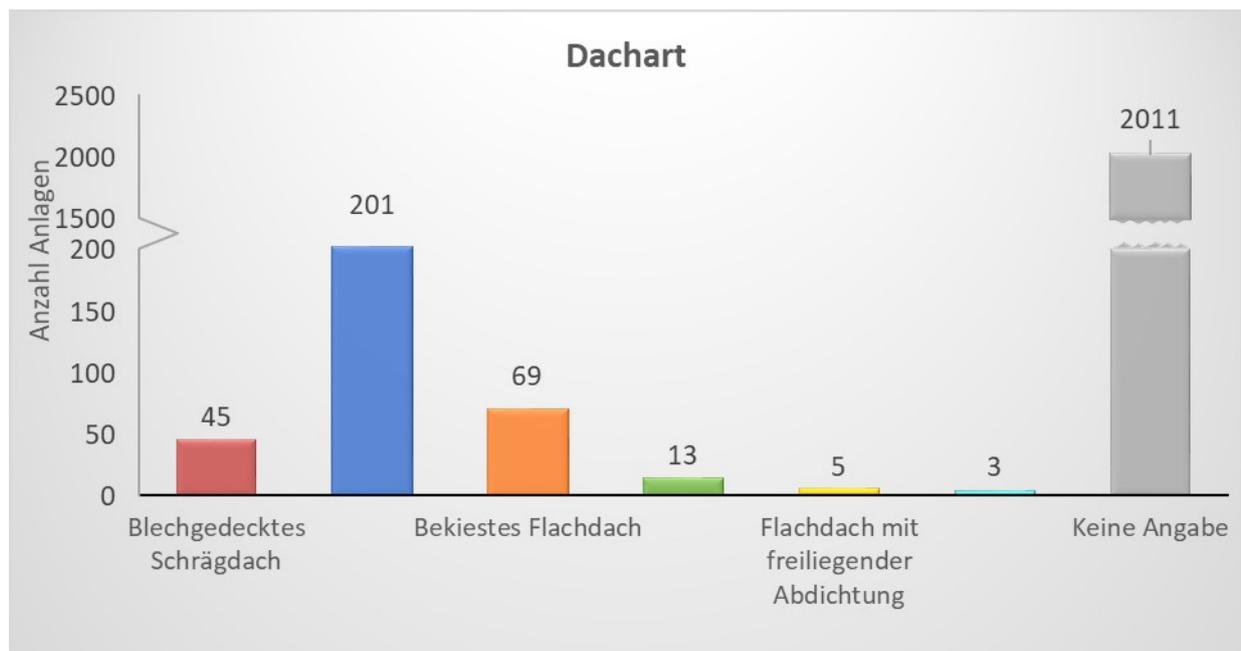


Abbildung 9: Die Art des Gebäudedachs wurde für 336 Anlagen (14,3 %) angegeben. In 60 % dieser Fälle handelte es sich um ein ziegelgedecktes Schrägdach.

3 Analyse der Daten

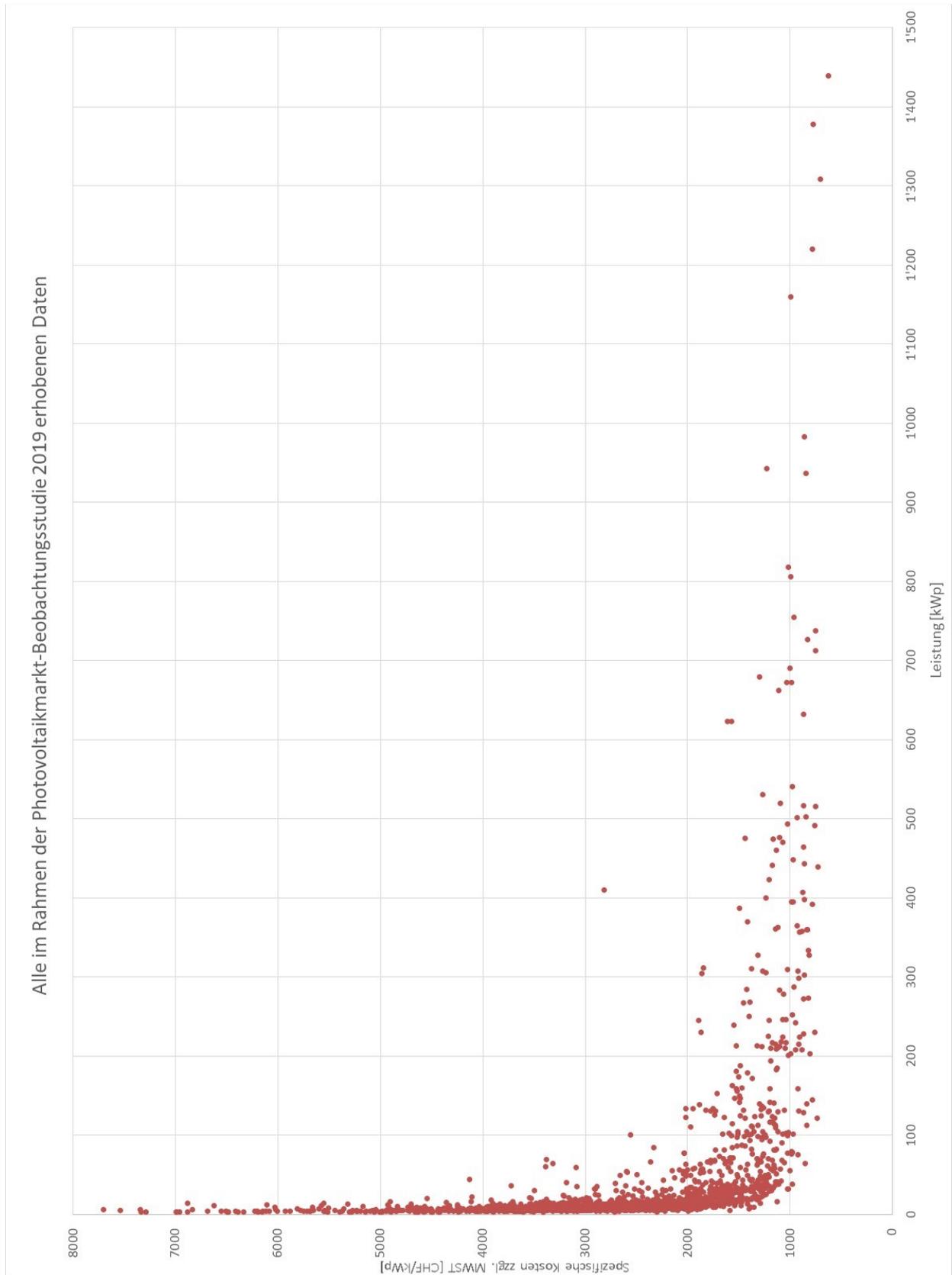


Abbildung 10: Darstellung der 2'347 für die Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019 erhobenen Datensätze mit den spezifischen Kosten zzgl. MWST (in CHF/kWp) der einzelnen Anlagen.

3.1 Angebaut – integriert

Abbildung 11 zeigt die Unterschiede der spezifischen Kosten bei angebauten und integrierten Anlagen. Der dargestellte Leistungsbereich ist auf 0 bis 100 kWp eingeschränkt, weil nur eine einzige integrierte Anlage ausserhalb dieses Bereichs liegt. Dabei handelt es sich um eine Anlage mit 2'800 CHF/kWp bei einer Leistung von 410 kWp. Diese Anlage ist in Abbildung 10 deutlich ausserhalb der Punktwolke zu erkennen.

Die Kosten der integrierten Anlagen weisen eine deutlich stärkere Streuung auf als die Kosten der angebauten Anlagen. Tatsächlich liegen die spezifischen Kosten mancher dieser Anlagen unter dem Mittelwert der spezifischen Kosten angebaute Anlagen. Insgesamt gesehen sind integrierte Anlagen jedoch logischerweise teurer als angebaute Anlagen. Die Kosten der integrierten Anlagen lassen sich nur schwer analysieren, da es in Bezug auf die Installateurleistungen an Kontrolle bzw. Vereinheitlichung fehlt. Die Arbeitsteilung zwischen Dachdecker und Solartechnik-Installateur ist flexibler und der jeweilige Leistungsumfang ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Die in Abbildung 11 erkennbare breite Streuung der Kosten verdeutlicht dies.

Die Daten der integrierten Anlagen wurden für den weiteren Studienverlauf nicht berücksichtigt. Die betreffenden Analysen beziehen sich daher ausschliesslich auf die 2'126 angebauten Anlagen.

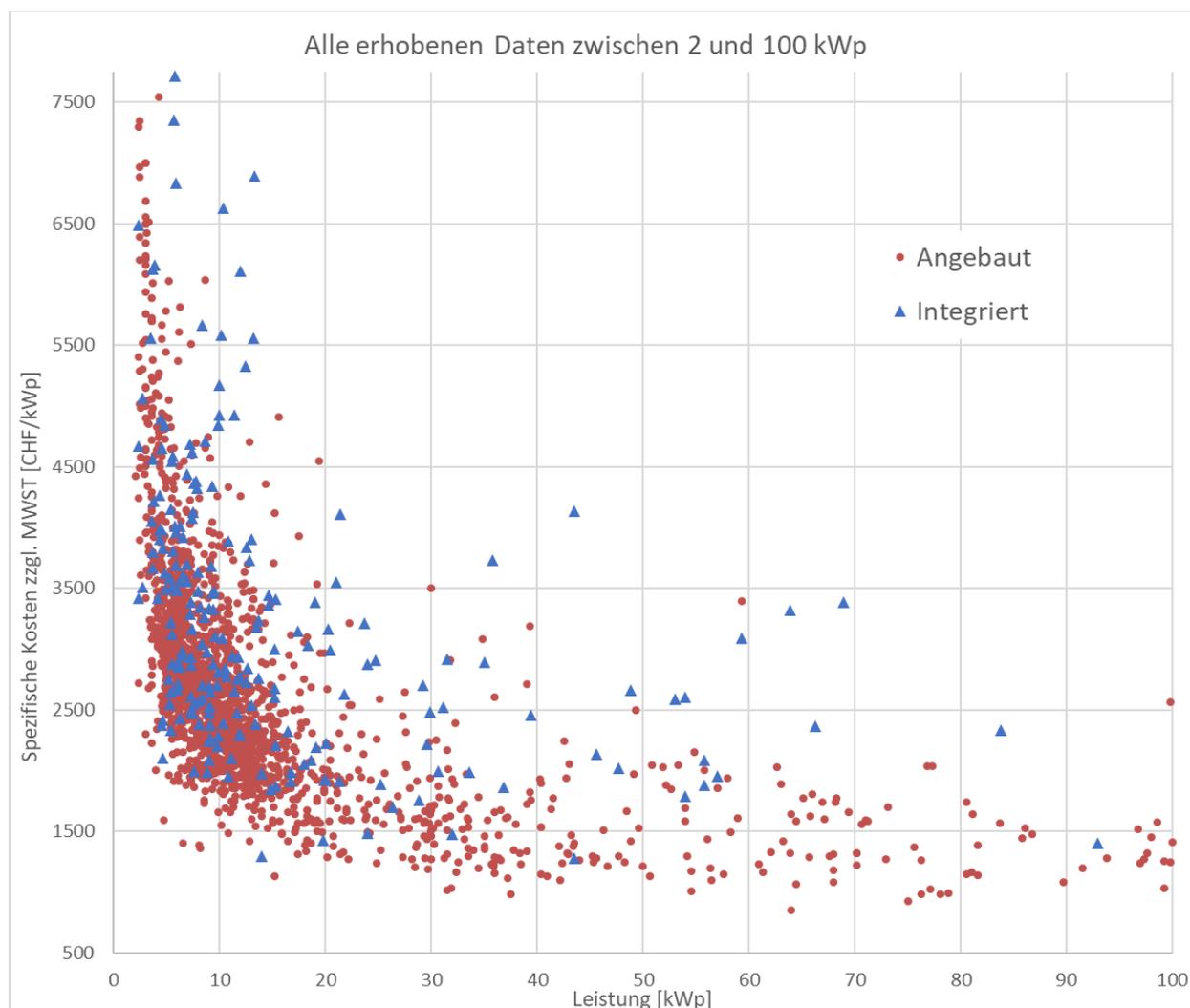


Abbildung 11: Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbereich 0 bis 100 kWp, mit Unterscheidung zwischen angebauten und integrierten Anlagen.

3.2 Relevanz der Quellen SOC und SA

Die aus dem Solar-Offerte-Check (SOC) stammenden Daten können nicht kontrolliert werden und könnten den Rahmenbedingungen der Studie nicht entsprechen (also nicht mehr und nicht weniger als den in Kapitel 2.1 für PV-Anlagen definierten Leistungen).

Die aus Sammelausschreibungen (SA) stammenden Daten weisen die Besonderheit auf, dass sie einem durch ein Planungsbüro definierten Rahmen entsprechen. Sie setzen mindestens drei Installationsbetriebe in Konkurrenz und fassen insbesondere mehrere kleine Anlagen zusammen, um das Auftragsvolumen zu vergrößern. Allfällige ausdrücklich angegebene Volumenrabatte wurden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt. Dessen ungeachtet führen der starke Konkurrenzdruck und allfällige stillschweigende Volumenrabatte bei derartigen Anlagen insgesamt zu niedrigeren Preisen.

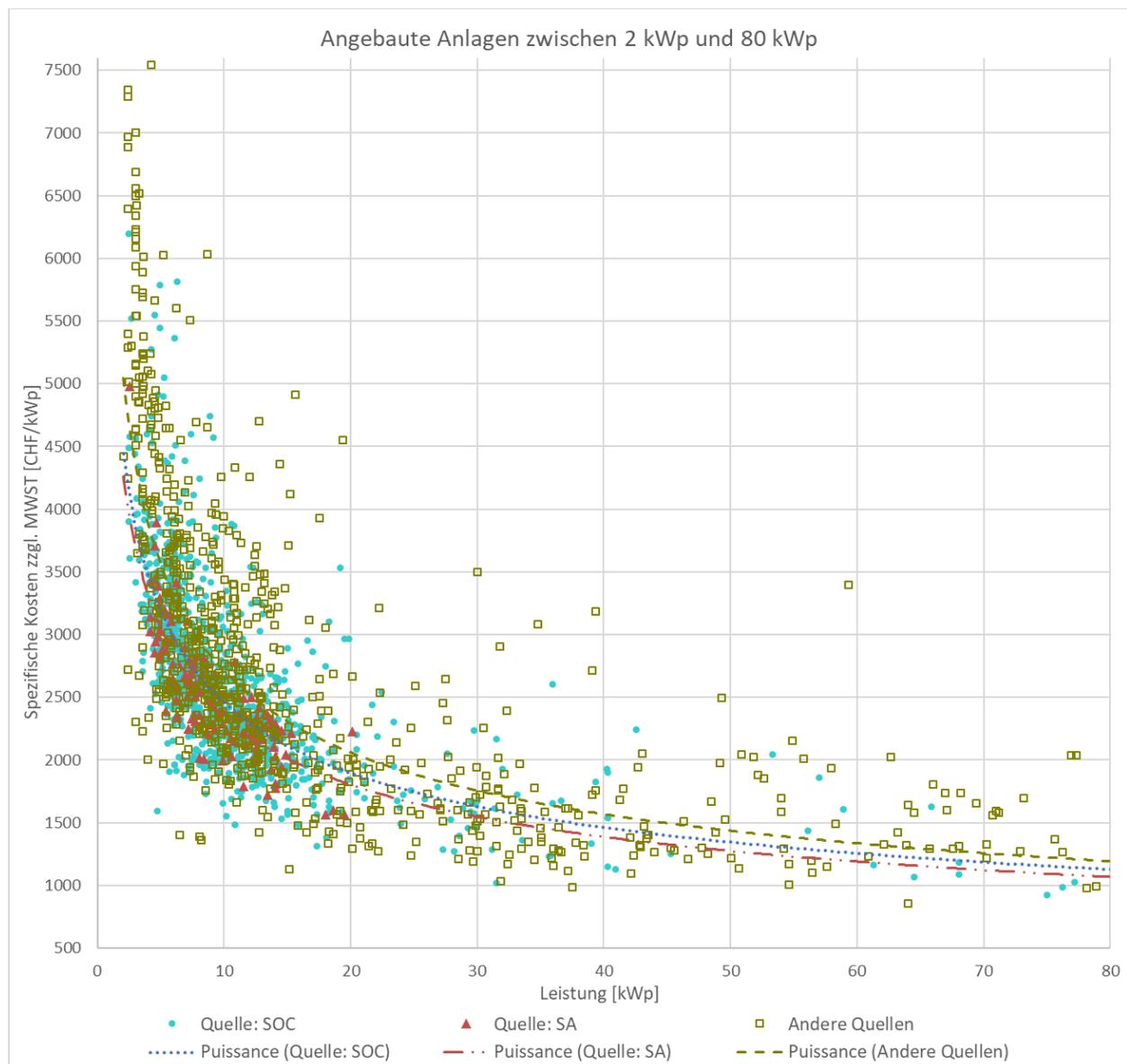


Abbildung 12: Vergleich der Kosten angebaute Anlagen nach Quelle: Daten aus dem Solar-Offerte-Check, Daten aus Sammelausschreibungen und direkt durch Installationsbetriebe bereitgestellte Daten. Die drei Trendlinien wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion und der Option «Potenzkurve» erstellt.

Die Daten aus der Quelle SA liegen im Bereich zwischen 2 und 20 kWp, die Daten aus der Quelle SOC reichen bis zu 80 kWp. 971 Datensätze stammen aus dem SOC, 134 aus SA und 809 aus anderen Quellen.

Wie Abbildung 12 zeigt, stimmen die aus den drei Quellen stammenden Punktwolken gut überein. Die Daten aller Quellen bilden eine einzige gemeinsame Punktwolke. Darüber hinaus liegen die Daten aus SOC und SA vollständig im Inneren der Punktwolke, die durch die Daten aus den anderen Quellen gebildet wird. Bei den anderen Quellen weisen die spezifischen Kosten – anders als beim SOC – eine starke Streuung auf. Bei Letzteren ist die Streuung gering und die Datenpunkte liegen näher an der Trendkurve. Auf die aus SA stammenden Daten trifft dies sogar noch stärker zu. Anhand dieser Feststellungen lassen sich die einzelnen Datenquellen bewerten.

Die stärkere Gruppierung der aus SA stammenden Daten erklärt sich durch den klar definierten Rahmen, aus dem sie stammen. Dieser ist im Prinzip von Ansatz zu Ansatz ähnlich.

Abbildung 12 zeigt zusätzlich drei Trendkurven. Diese wurden mit der Excel-Funktion «*Trendlinie – Option Potenzkurve*» erstellt. Die SA-Kurve liegt um rund 10 % unterhalb der Kurve der «anderen Quellen». Sie widerspiegelt den starken Konkurrenzdruck und das durch SA generierte Auftragsvolumen. Die SOC-Kurve verläuft zwischen den beiden anderen Kurven; im Bereich von 2 kWp nähert sie sich der SA-Kurve, bei 30 kWp verläuft sie jedoch leicht oberhalb der Kurve der «anderen Quellen». Da der Solar-Offerte-Check eine Dienstleistung ist, die drei Offerten miteinander vergleicht, kann es vorkommen, dass diejenigen, die diese Dienstleistung in Anspruch genommen haben, auch Mitbewerber mit einbezogen haben. Dies erklärt die hohe Übereinstimmung mit den direkt von Installationsbetrieben stammenden Daten.

Insgesamt betrachtet stimmen die Daten aus allen Quellen gut überein. Alle Datensätze wurden für den weiteren Studienverlauf übernommen.

3.3 Verschiedene Vergleiche

3.3.1 Vergleich von Offerten und Rechnungen:

Abbildung 13 zeigt einen Vergleich der Offerten und Rechnungen. Bei den kleinen Anlagen liegen die erhobenen Rechnungsbeträge um rund 10 % unter den offerierten Preisen. Bei grossen Anlagen ergibt sich eine Differenz von rund 3 %. Selbstverständlich müssen die in Rechnung gestellten Beträge allfällige Mehrkosten berücksichtigen. Der Mittelwert der Offerten ist im Gegensatz dazu durch sämtliche zu hoch angesetzten Offerten, die a priori nicht durch die Kunden ausgewählt wurden, nach oben verschoben. Diese gesammelten Daten lassen den Schluss zu, dass die allfälligen Mehrkosten den Anteil der zu hoch angesetzten Offertpreise nicht ausgleichen. Dies ist ein gutes Indiz für die Stabilität zwischen Offerten und Rechnungen.



Abbildung 13: Vergleich der spezifischen Kosten gemäss Offerten und Rechnungen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

3.3.2 Vergleich von bestehenden und neuen Gebäuden:

Abbildung 14 vergleicht Anlagen auf bestehenden mit Anlagen auf neuen Gebäuden. Unterhalb von 15 kWp liegen alle Datenpunkte, zu denen die Gebäudeart angegeben wurde, unterhalb der Trendline aller Daten. Dies lässt sich durch eine schlechte statistische Abdeckung erklären. Jenseits von 15 kWp folgt die Kurve der bestehenden Gebäude perfekt der Trendlinie aller Daten. Dies zeigt, dass praktisch alle erhobenen Daten von Anlagen auf bestehenden Gebäuden stammen und bestätigt die Kohärenz der Daten. Dennoch liegen bei allen neuen Gebäuden nur etwa zehn Anlagenpreise oberhalb der Kurve aller Daten. Anlagen auf neuen Gebäuden kosten rund 10 % bis 14 % weniger. Dies ergibt sich aus möglichen Synergien zwischen den einzelnen Gewerken und Arbeiten, die bei neuen Gebäuden realisiert werden können. Beispielsweise kann die Baustellenabsicherung bereits vorhanden sein und muss nicht in den Leistungen für die PV-Anlage enthalten sein. Dasselbe gilt für bestimmte Kosten im Bereich der Verkabelung und der elektrischen Anschlüsse.

3.3.3 Vergleich, ob die Baustellenabsicherung eingeschlossen ist oder nicht:

Abbildung 15 vergleicht die Preise von Photovoltaikanlagen, bei denen die Baustellenabsicherung nicht in den Leistungen enthalten ist, mit jenen, bei denen dies der Fall ist, und jenen, für die keine Angaben vorliegen. Von allen Datensätzen, für die diese Information vorliegt, ist die Absicherung bei 91 % (1'094 von 1'196) in den Leistungen enthalten (in Abbildung 6 nicht sichtbar, da hier auch die integrierten Anlagen enthalten sind). Dies scheint auch auf die Daten ohne vorliegende Informationen zuzutreffen, da die beiden Trendlinien (mit Baustellenabsicherung und allen Datenpunkten) sehr nahe beieinander liegen. Bei Anlagen ohne Baustellenabsicherung (lediglich 102 Anlagen oder 5 % aller Datensätze) ergibt sich im Vergleich zur Gesamtheit der Daten bei mittleren und grossen Leistungen ein um 4 % bis 6 % geringerer Preis. Bei Leistungen unter 15 kWp liegt die Preisersparnis eher im Bereich zwischen 10 % und 14 %.



Abbildung 14: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen auf bestehenden und Anlagen auf neuen Gebäuden. Die ungefüllten roten Rauten stehen für alle angebaute Anlagen, für die keine Angaben zur Gebäudeart vorliegen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.



Abbildung 15: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen, bei denen die Baustellenabsicherung eingeschlossen ist, mit jenen, bei denen dies nicht der Fall ist. Die ungefüllten roten Rauten stehen für alle angebotenen Anlagen, für die keine Angaben zur Baustellenabsicherung vorliegen. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

Wie Abbildung 16 zeigt, korrelieren die Anlagen < 30 kWp auf neuen Gebäuden stark mit den Anlagen ohne Baustellenabsicherung. Die betreffenden Trendlinien sind identisch (Abbildung 14 und Abbildung 15). Bei Leistungen > 30 kWp ist die Korrelation dagegen geringer und die Trendlinien weichen voneinander ab, wobei die Preise bei Anlagen auf Neubauten insgesamt geringer sind. Dies weist neben der wegfallenden Baustellenabsicherung auf zusätzliche Faktoren hin, die die Kosten von Anlagen auf neuen Gebäuden senken. Diese hinsichtlich der Kostenreduktion relevantesten Faktoren sind typisch für grosse Anlagen; als Beispiele seien eine koordinierte Bekiesung, die nicht in den Leistungen für die PV-Anlage enthaltenen permanenten Sicherheitsmassnahmen oder ein architektonischer Entwurf, der bereits eine Photovoltaikanlage beinhaltet (Installationskanäle und Kabelführungen sind schon vorgesehen), genannt.

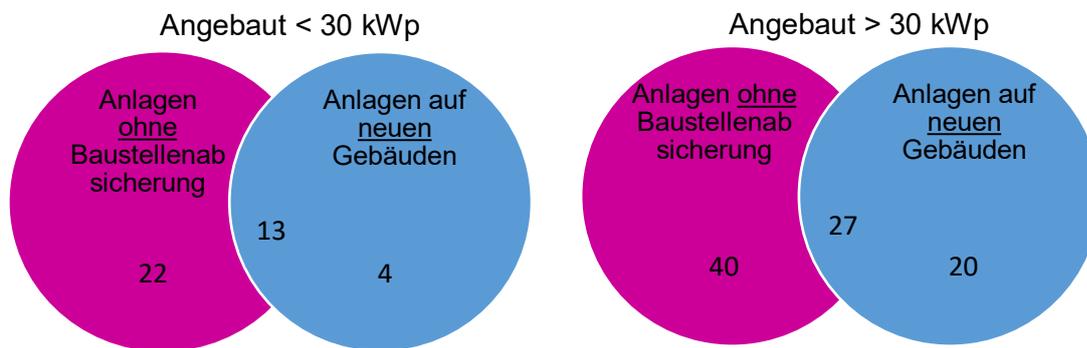


Abbildung 16: Schnittmengen zwischen Anlagen auf neuen Gebäuden und Anlagen ohne Baustellenabsicherung.

3.3.4 Vergleich verschiedener Wechselrichtertypen:

Abbildung 17 vergleicht die Preise von Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Art des/der offerierten bzw. installierten Wechselrichter(s) gemäss Offerte bzw. Rechnung. Für Modulwechselrichter liegen 165 Datensätze vor, von denen lediglich ein einziger eine Leistung von 35 kWp aufweist. Alle übrigen liegen im Bereich zwischen 2 und 20 kWp. Für Leistungsoptimierer liegen 527 Datensätze im Bereich zwischen 2 und 110 kWp vor. Unter den erhobenen Datensätzen befand sich auch eine 360-kWp-Anlage mit Leistungsoptimierern. Dieser Fall war jedoch zu isoliert, um daraus Schlussfolgerungen ziehen zu können. Die 561 Datensätze für Anlagen mit Strangwechselrichtern decken den gesamten in Abbildung 17 dargestellten Leistungsbereich zwischen 2 und 110 kWp ab.

Im Rahmen der für die vorliegende Studie erhobenen Daten sind Anlagen mit Modulwechselrichtern um 15 % bis 25 % teurer als andere Anlagen. Abbildung 17 zeigt eine bis auf wenige Ausnahmen deutliche Differenz der spezifischen Kosten zwischen Anlagen mit Modulwechselrichtern und anderen Anlagen.

Die spezifischen Kosten von Anlagen mit Leistungsoptimierern und Anlagen mit Strangwechselrichter(n) sind praktisch identisch. Die beiden Punktwolken für kleine Anlagen sind auf der Grafik genau deckungsgleich, mit einigen wenigen Abweichungen bei den Leistungsoptimierern oberhalb der Wolke. Bei genauer Betrachtung der Trendlinien ist eine leichte Abweichung zu erkennen: Anlagen mit Leistungsoptimierern sind bei Leistungen < 20 kWp geringfügig teurer (um 1 % bis 4 %). Diese Tendenz kehrt sich allerdings jenseits von 40 kWp um. Angesichts der wenigen vorliegenden Daten können jedoch keine Schlussfolgerungen daraus gezogen werden. Insgesamt ergeben sich aus der Studie keinerlei signifikante Preisunterschiede zwischen Anlagen mit Leistungsoptimierern und Anlagen mit Strangwechselrichter(n).

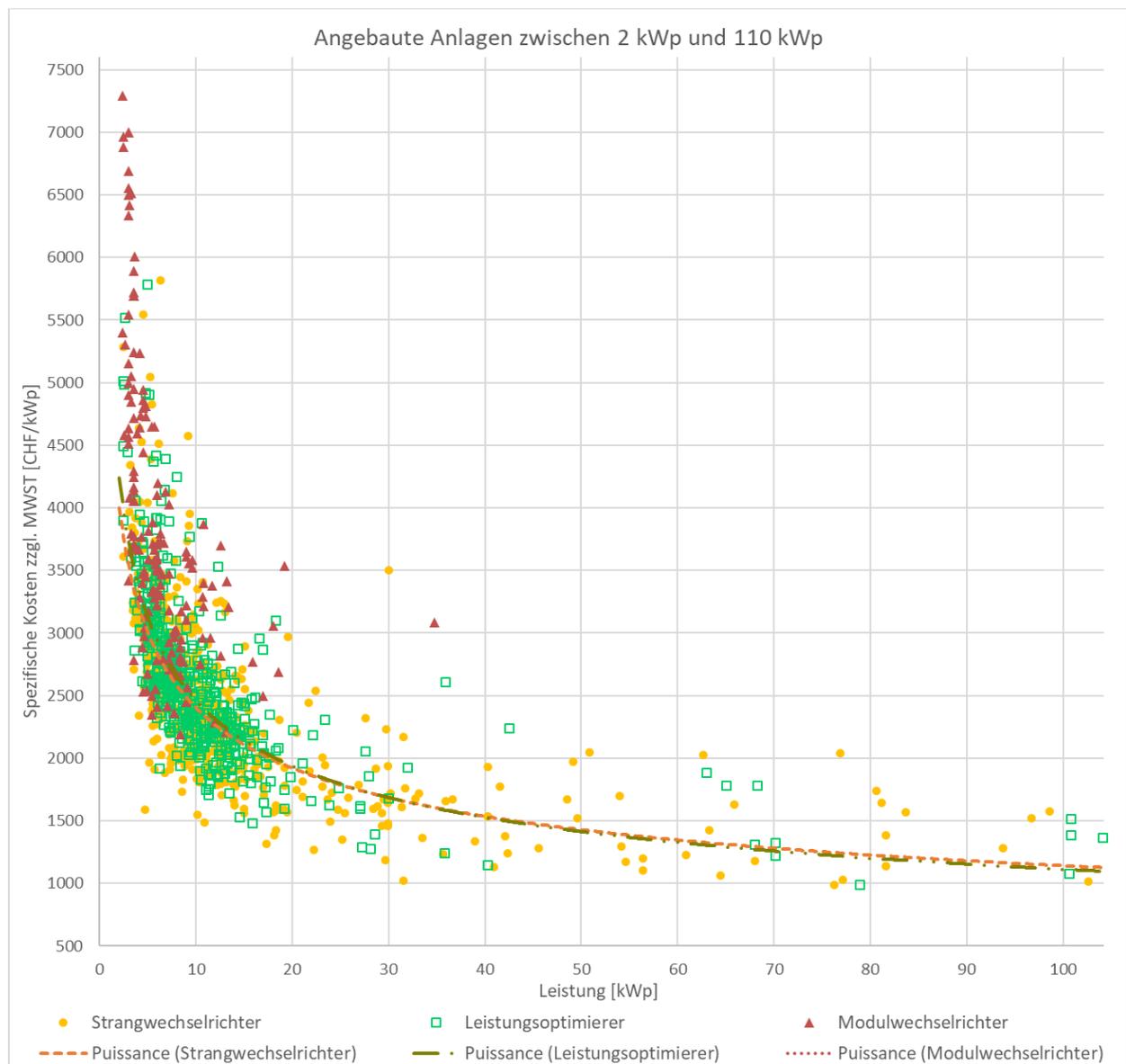


Abbildung 17: Vergleich der spezifischen Anlagenkosten in Abhängigkeit von der Art des/der offerierten bzw. installierten Wechselrichter(s) gemäss Offerte bzw. Rechnung. Datenpunkte von Modulwechselrichtern sind ausschliesslich im unteren Leistungsbereich zu finden. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

3.3.5 Vergleich verschiedener Dacharten:

Abbildung 18 vergleicht den Preis von Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Dachart. Angesichts mangelnder Daten (siehe Abbildung 9) ergeben sich für drei Dacharten lediglich im Leistungsbereich zwischen 30 und 800 kWp relevante Ergebnisse. Dies sind blechgedeckte Schrägdächer, bekieste Flachdächer und begrünte Flachdächer, die in diesem Leistungsbereich logischerweise am stärksten vertreten sind. Abbildung 18 zeigt tendenziell einen deutlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Dacharten. Anlagen auf blechgedeckten Schrägdächern kosten mehrheitlich 10 % bis 15 % weniger. Anlagen auf begrünten Flachdächern kosten 10 % bis 15 % mehr und Anlagen auf bekiesten Flachdächern befinden sich im mittleren Bereich. Aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Daten kann jedoch nur die Tendenz angegeben werden.

Betrachtet man die Daten zu den begrünten Flachdächern genauer, scheint sich zu ergeben, dass es sich dabei um PV-Anlagen handelt, die ohne Blastechnik über der Begrünung installiert wurden. Eine nachträgliche Begrünung hätte die Kosten noch erhöht.

Bei ziegelgedeckten Schrägdächern liegen die Datenpunkte nahezu vollständig im Bereich zwischen 2 und 15 kWp, was im Wesentlichen Anlagen auf Einfamilienhäusern (EFH) entspricht. In diesem Leistungsbereich wurden nur einige wenige Datensätze erhoben, die sich auf bekieste Flachdächer beziehen. Da es sich hier im Wesentlichen um Anlagen kleiner Industrieunternehmen oder Geschäfte handelt, müssten für einen Vergleich mit den Anlagenkosten auf ziegelgedeckten EFH-Dächern zu viele andere Parameter berücksichtigt werden. Dessen ungeachtet scheint es hinsichtlich des Gesamtpreises keine grossen Unterschiede zu geben.

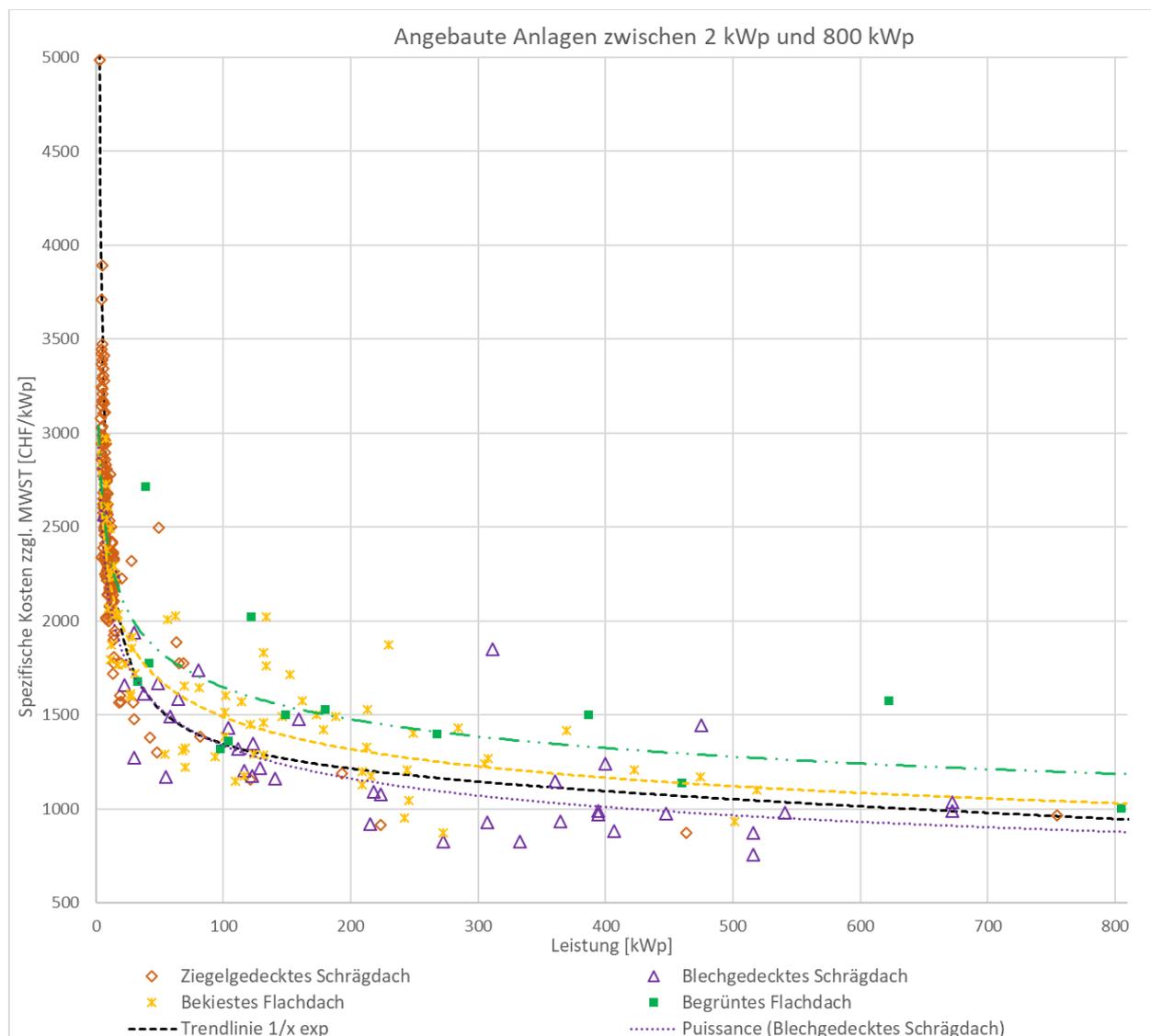


Abbildung 18: Vergleich der spezifischen Kosten nach Dachart. Die für ziegelgedeckte Schrägdächer stehenden Datenpunkte liegen fast ausschliesslich im unteren Leistungsbereich. Daher wurde die entsprechende Trendlinie nicht aufgetragen. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

3.3.6 Schlussfolgerungen aus den verschiedenen Vergleichen

Es gibt viele Faktoren, die bei Photovoltaikanlagen preissteigernd oder preissenkend wirken können. Eine detaillierte Kostenanalyse sämtlicher möglicher Kombinationen der einzelnen Einflussfaktoren wäre äusserst aufwändig und böte keine Garantie, zu schlüssigen Ergebnissen zu gelangen. Darüber hinaus sind der Umfang der fehlenden Informationen sowie die Fehlerwahrscheinlichkeit bestimmter erhobener und nicht verifizierbarer Daten zu berücksichtigen. Letztlich wurde entschieden, sämtliche Datensätze beizubehalten, um ein Volumen zu erreichen, in dem sich «Ausreisser» statistisch ausgleichen.

Für den weiteren Studienverlauf wurde kein spezieller Datensatz verworfen (abgesehen von den Datensätzen zu den integrierten Anlagen). Der für die Analyse der Marktpreise herangezogene Datenbestand beinhaltet alle nachfolgend aufgeführten Merkmale und deren Einflüsse. Insgesamt ergeben sich 2'126 Datensätze, die Folgendes enthalten:

- die nicht realisierten Offerten, die tendenziell preissteigernd wirken,
- die Anlagen auf neuen Gebäuden, die tendenziell preissenkend wirken,
- die Anlagen ohne Baustellenabsicherung, die tendenziell preissenkend wirken,
- die Anlagen mit permanenten Sicherheitsmassnahmen, die tendenziell preissteigernd wirken,
- die Anlagen mit Monitoring, die tendenziell preissteigernd wirken,
- die Daten aus SA, die tendenziell preissenkend wirken,
- die Anlagen mit Modulwechselrichtern, die tendenziell preissteigernd wirken,
- die Anlagen auf blechgedeckten Schrägdächern, die tendenziell preissenkend wirken, sowie die Anlagen auf begrünten Flachdächern, die tendenziell preissteigernd wirken.
- Darüber hinaus wurden alle übrigen Parameter sowie die verschiedenen Arten von Wechselrichtern und Dächern übernommen und im Datenbestand verwendet.

4 Gesamtergebnisse

4.1 Bezugskurve

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die leistungsabhängigen spezifischen Kosten (zzgl. MWST) von 2'126 angebauten Anlagen, deren Daten im Rahmen der Studie erhoben und analysiert wurden. Anhand der erhaltenen Datenpunkte liess sich eine Trendlinie bestimmen, die die spezifischen Kosten in Abhängigkeit von der Leistung wiedergibt.

Diese Bezugskurve wurde mithilfe der Matlab-Funktion `lsqcurvefit` errechnet. Mit Matlab³ lassen sich mit der Methode der kleinsten Quadrate nichtlineare Näherungskurven berechnen. Nach Prüfung mehrerer Potenz- und Exponentialkurven ergab sich die beste Lösung schliesslich aus einer Kombination beider Varianten. Mit der (negativen) Potenzfunktion lässt sich der sehr schnelle Rückgang der spezifischen Kosten kleiner Anlagen bei abnehmender Steilheit der Kurve im Bereich mittelgrosser Anlagen beschreiben. Die Exponentialfunktion eignet sich für die Beschreibung der spezifischen Kosten bei grossen Anlagen. Die Funktion ergibt eine weniger steile, jedoch nicht zu stark abgeflachte Kurve.

Da die Daten nicht gleichförmig über den gesamten Leistungsbereich hinweg verteilt sind, war eine Gewichtung erforderlich, damit alle Daten mit gleichem Gewicht in die Näherungskurve einfließen. Die spezifische Gewichtung der einzelnen Leistungsbereiche wurde so gewählt, dass über alle Leistungsbereiche hinweg die gleiche Datendichte erreicht wird. Die Daten wurden wie folgt gewichtet:

0–30 kWp	30–100 kWp	100–300 kWp	> 300 kWp	zur Erreichung einer Dichte von 58,5 Datensätzen pro kWp.
1	22	100	1032	

Es ergibt sich folgende endgültige Funktion (auf drei signifikante Stellen gerundet):

$$y = \frac{8120}{x^{0,766}} + 1140 \cdot e^{-2,99 \cdot 10^{-4} \cdot x}$$

Wobei

x die Leistung in kW_p ist,

y die spezifischen Kosten in CHF zzgl. $MWST/kW_p$ sind.

³ MATLAB Version 9.2.0.556344 (R2017a), The Mathworks, Inc., 2017.

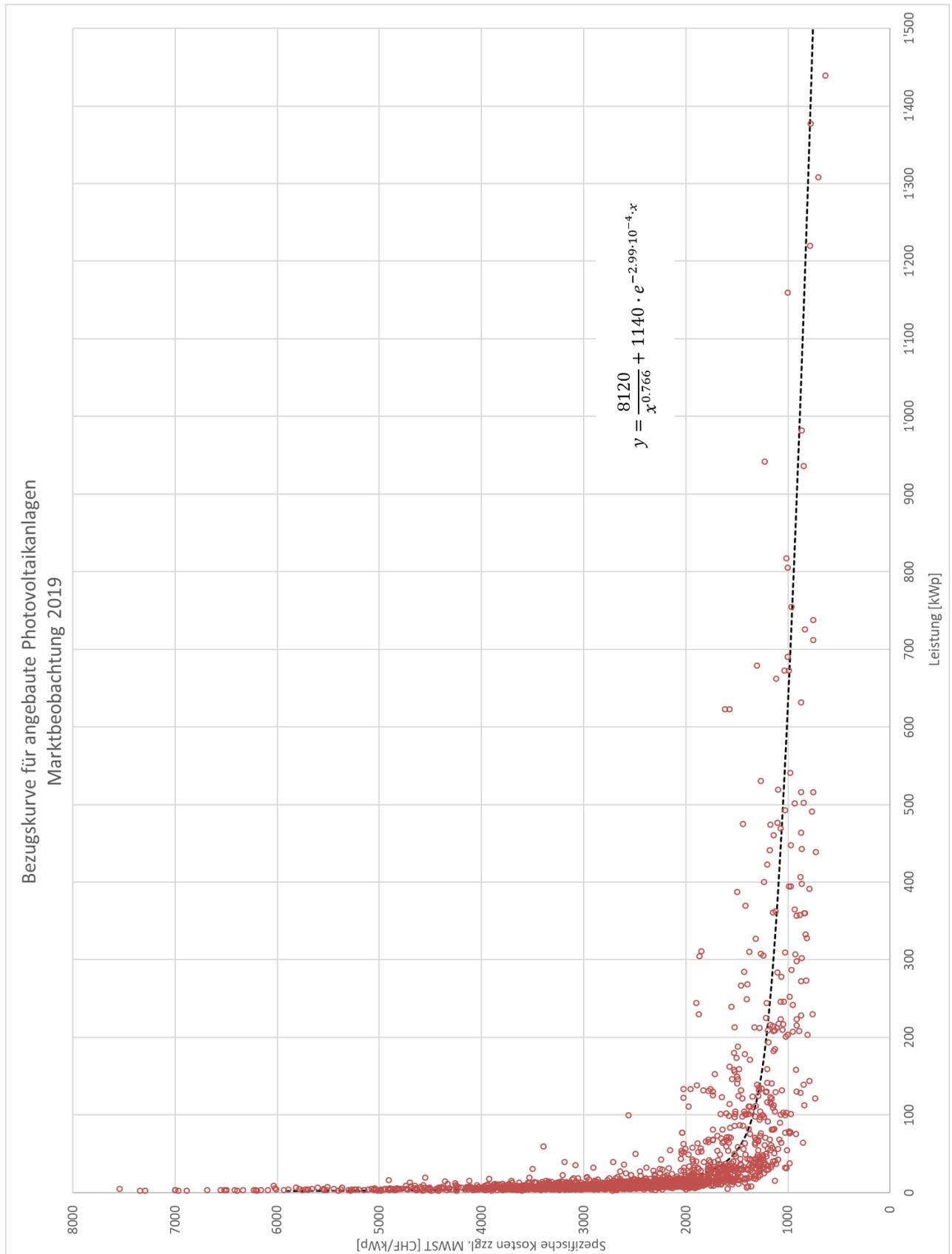


Abbildung 19: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) angebauter Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Darstellung des gesamten Leistungsbereichs.

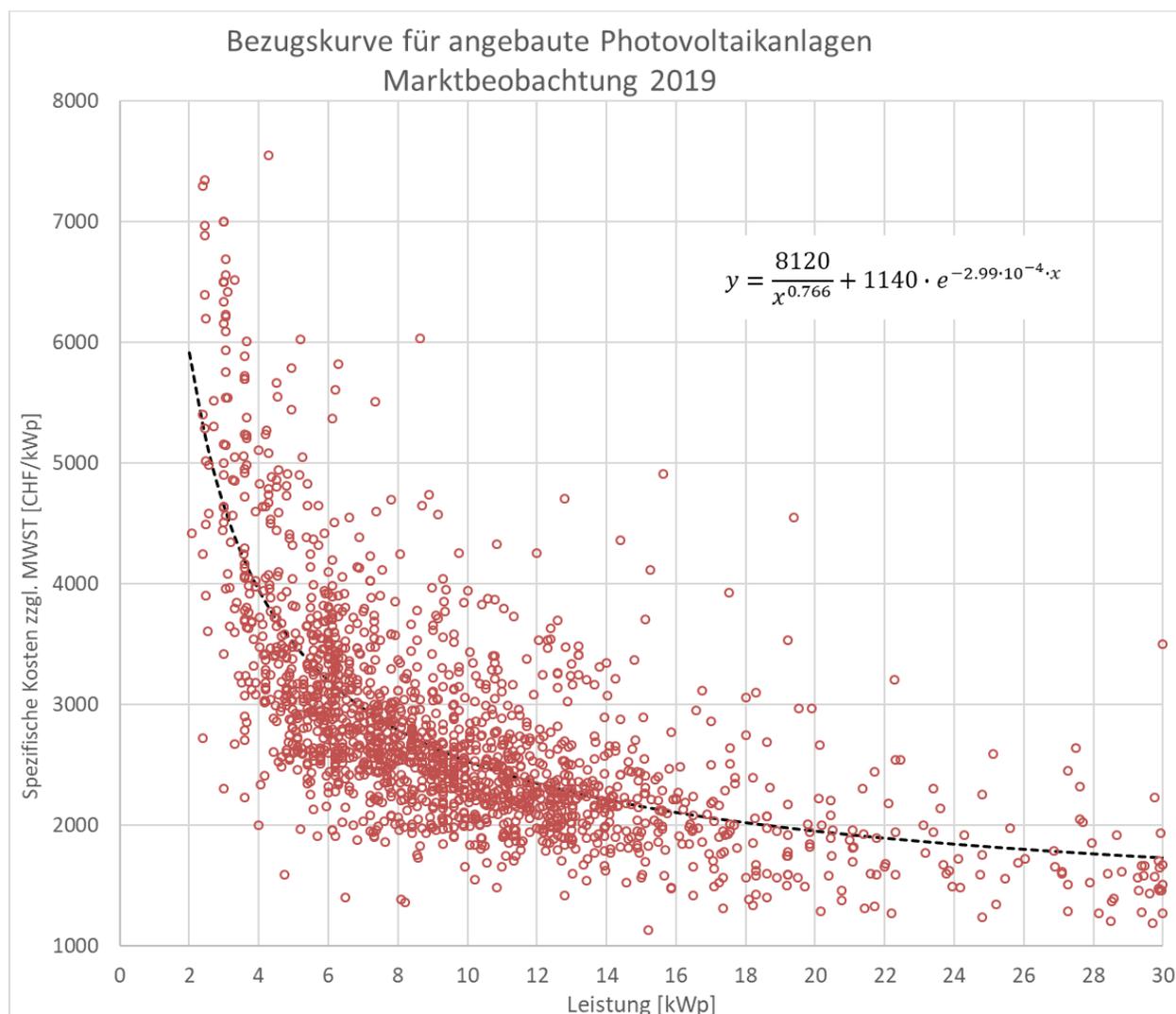


Abbildung 20: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) angebauter Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 30 kWp.

4.2 Statistische Verteilung der spezifischen Kosten auf die Leistungsbereiche

Tabelle 1 und Abbildung 21 zeigen die statistischen Ergebnisse der Studie als statistische Verteilung der spezifischen Kosten in verschiedenen Leistungsbereichen.

Es wurden sieben verschiedene Grössen berechnet; die fünf letzten sind in Abbildung 21 dargestellt:

- Die mittleren spezifischen Kosten entsprechen dem Durchschnitt der spezifischen Kosten aller Anlagen im betreffenden Leistungsbereich.
- Die mittleren Kosten pro kWp ergeben sich aus der Summe der Anlagenkosten dividiert durch die installierte Gesamtleistung innerhalb eines Leistungsbereichs.
- Min gibt die niedrigsten spezifischen Kosten im jeweiligen Leistungsbereich an.

- 25 % kennzeichnet das erste Quartil. Die spezifischen Kosten von 25 % der Anlagen liegen im betreffenden Leistungsbereich unter diesem Wert, die Kosten von 75 % darüber.
- Der Median gibt diejenigen spezifischen Kosten an, die von 50 % der Anlagen unterschritten und von 50 % überschritten werden.
- 75 % kennzeichnet das dritte Quartil. Die spezifischen Kosten von 75 % der Anlagen liegen im betreffenden Leistungsbereich unter diesem Wert, die Kosten von 25 % darüber.
- Max gibt die höchsten spezifischen Kosten im jeweiligen Leistungsbereich an.

Leistungs- bereich [kW _p]	Anz. Anla- gen	Mittlere spez. Kos- ten [CHF zzgl. MWST/kW _p]	Mittlere Kosten pro kWp	Min	25 %	Median	75 %	Max
2–10	1'043	3'158	2'985	1'359	2'538	2'914	3'528	7'545
10–30	711	2'256	2'184	1'129	1'920	2'201	2'493	4'910
30–100	187	1'542	1'512	855	1'254	1'466	1'737	3'394
100–300	117	1'283	1'254	737	1'064	1'217	1'496	2'022
300–1'000	63	1'060	1'045	730	865	990	1'206	1'868
> 1'000	5	780	772	633	670	777	893	1'001

Tabelle 1: Statistische Merkmale der in der Studie betrachteten Photovoltaikanlagen. Analysiert werden die spezifischen Kosten in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Die statistischen Merkmale wurden für sechs unabhängige Leistungsbereiche berechnet.

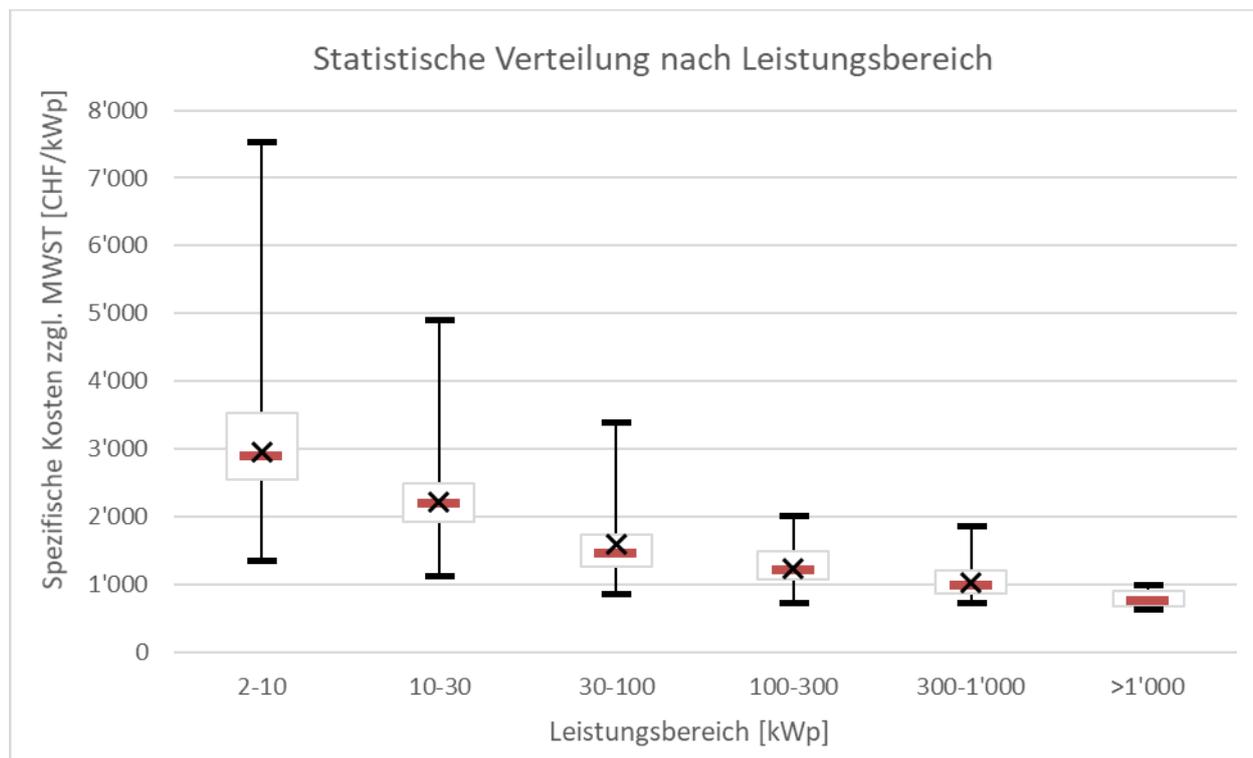


Abbildung 21: Statistische Verteilung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Der rote Balken in der Mitte kennzeichnet den Median aller Werte im jeweiligen Leistungsbereich. Die beiden schwarzen Balken an den Enden entsprechen den minimalen (Min) und maximalen (Max) spezifischen Kosten im jeweiligen Leistungsbereich. Das mittlere Rechteck um den Median kennzeichnet den Interquartilsabstand: 50 % aller Werte im jeweiligen Leistungsbereich liegen innerhalb dieses Rechtecks. Die Kreuze schliesslich stehen für die Medianwerte aus dem Jahr 2018. Dies zeigt, wie wenig sich die Kosten im Zeitverlauf geändert haben.

4.3 Diskussion

Die Funktion `lsqcurvefit` führte, wie aus Abbildung 19 und Abbildung 20 ersichtlich, zu einer sehr guten Konvergenz und Darstellung der Werte. Die Analyse der Bezugskurve ergibt einen sehr starken Abfall der spezifischen Kosten bei sehr kleinen Anlagen und eine nahezu flache Kurve mit einem Abfall von nur $0,000299 \text{ kW}_p^{-1}$ bei grossen Anlagen. Die spezifischen Kosten verringern sich im Intervall zwischen 2 und 10 kWp über nur 8 Leistungseinheiten hinweg von 6'000 CHF/kWp auf 2'500 CHF/kWp. Jenseits von 10 kWp nehmen die Kosten weitaus langsamer ab und unterschreiten bei 20 kWp den Wert von 2'000 CHF/kWp. Ab 50 kWp (1'500 CHF/kWp) verläuft die Kurve nahezu flach, sodass der Wert von 1'000 CHF/kWp erst bei 640 kWp unterschritten wird.

Die Daten weisen trotz einer klaren allgemeinen Tendenz eine grosse Streuung auf. So liegen beispielsweise bei einer Betrachtung eines Bandes von $\pm 20\%$ um die Bezugskurve je nach Leistungsbereich nur 60 % bis 70 % der Werte innerhalb des betreffenden Intervalls. Die grosse Streuung zeigt sich auch in Abbildung 21, wo 50 % aller Werte ausserhalb der Rechtecke liegen. Dies ist im Wesentlichen auf die Vielzahl der Parameter zurückzuführen, die sich auf die Kosten von PV-Anlagen auswirken. Kapitel 3.3 nennt mehrere Beispiele für den Einfluss solcher Parameter auf die spezifischen Kosten der Anlagen. Die genannte Streuung der Kosten kann auch durch grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Baustellen erklärt werden, auf denen bestimmte Schwierigkeiten auftreten können oder auch nicht. Auch die Margen

der Installationsbetriebe können eine Rolle spielen. Diese sind potenziell nicht einheitlich oder die Unternehmen versuchen, auf bestimmten Baustellen durch minimale Margen den Zuschlag zu gewinnen, während sich ihnen auf anderen die Möglichkeit komfortablerer Margen bietet.

5 Kostenverteilung

Bei angebauten Photovoltaikanlagen, zu deren Kosten Einzelheiten bekannt waren, wurde die Kostenverteilung analysiert. Es handelte sich hierbei um 460 Anlagen. Im Rahmen der Analyse wurden die Anteile der einzelnen Kostenkomponenten an den Gesamtkosten des Systems bestimmt. Die Werte wurden in die schon in Kapitel 4.2 verwendeten Leistungsbereiche eingeordnet, da sich in Abhängigkeit von der Grösse der PV-Anlagen grosse Unterschiede ergaben.

5.1 Gesamtüberblick

Im Rahmen einer ersten Analyse wurden die Gesamtkosten in sechs Kategorien aufgeteilt, was die Berücksichtigung der Daten aus dem SOC ermöglichte, zu denen als einzigen die betreffenden Einzelheiten vorlagen. Dies sind:

- Kosten der Module,
- Kosten der Wechselrichter,
- Kosten des Tragwerks,
- Kosten der Baustellenabsicherung,
- Verwaltungs- und Planungskosten,
- sonstige Kosten.

Die Analyse basiert auf den folgenden, nach Leistungsbereichen aufgeschlüsselten Datensatzmengen:

2-10 kWp	10-30 kWp	30-100 kWp	100-300 kWp	300-1000 kWp	>1000 kWp
202	185	28	26	18	1

Die Ergebnisse sind in Abbildung 22 zusammengestellt. Die Abbildung zeigt deutlich, wie der Anteil der Modulkosten an den Gesamtkosten der Anlage mit steigender Leistung ansteigt. Je grösser die Anlage ist, desto stärker wirken sich die Module auf die Gesamtkosten aus. Ihr Anteil steigt von 19 % auf 35 %.

Der Anteil der Wechselrichterkosten bleibt sehr stabil und stets im Bereich von 9 %, ausgenommen im Leistungsbereich von 2 bis 10 kWp. Hieraus ergibt sich, dass die spezifischen Kosten der Wechselrichter proportional zu den spezifischen Gesamtkosten abnehmen.

Alle übrigen Kosten sinken proportional zu den Gesamtkosten, je grösser die Photovoltaikanlage wird. Am stärksten sinken die Kosten der Baustellenabsicherung. Sie gehen von 9 % auf 4 % der Gesamtkosten zurück.

Die spezifischen Kosten für das Tragwerk bleiben bei Anlagen unter 30 kWp stabil bei 270 bis 300 CHF/kWp (steigender prozentualer Anteil zwischen den beiden ersten Leistungsbereichen). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Kosten des Tragwerks bei kleinen Anlagen proportional zur Leistung bleiben und in Richtung grösserer Konstruktionen nicht sinken. Jenseits von 30 kWp bleibt der prozentuale Anteil der spezifischen Kosten des Tragwerks bis zu 100 kWp sehr stabil bei 12 % und sinkt dann langsam bis auf 8 %.

Die Verwaltungs- und Planungskosten sind sehr konstant und machen in allen Fällen zwischen 6 % und 8 % der Gesamtkosten aus. Dies zeigt, dass diese Kosten keineswegs eine feste Konstante darstellen, sondern sich proportional zu den Gesamtkosten bewegen. Dieses Ergebnis ist vorsichtig zu interpretieren, da die Mittelwerte der spezifischen Kosten für die Leistungsbereiche 2 bis 10 kWp und 10 bis 30 kWp im Wesentlichen durch die Daten aus dem SOC dominiert werden. Es ist somit möglich, dass der SOC in den

Verwaltungs- und Planungskosten bestimmte Leistungen nicht berücksichtigt, die in den anderen Datensätzen enthalten sind. Im Gegensatz dazu stellen wir unabhängig von den SOC-Daten einen Anstieg der Verwaltungs- und Planungskosten zwischen den Leistungsbereichen 30 bis 100 kWp und 100 bis 300 kWp fest (Anstieg von 86 auf 93 CHF/kWp). Dies ist in allen Kategorien und Leistungsbereichen der einzige Wert, bei dem ein spezifischer Kostenbestandteil mit steigender Leistung ansteigt. Es scheint zwischen den Leistungsbereichen 30 bis 100 kWp und 100 bis 300 kWp eine Grenze zu geben, jenseits derer die Planung einen höheren Stellenwert einnimmt und zu zusätzlichen Kosten führt.

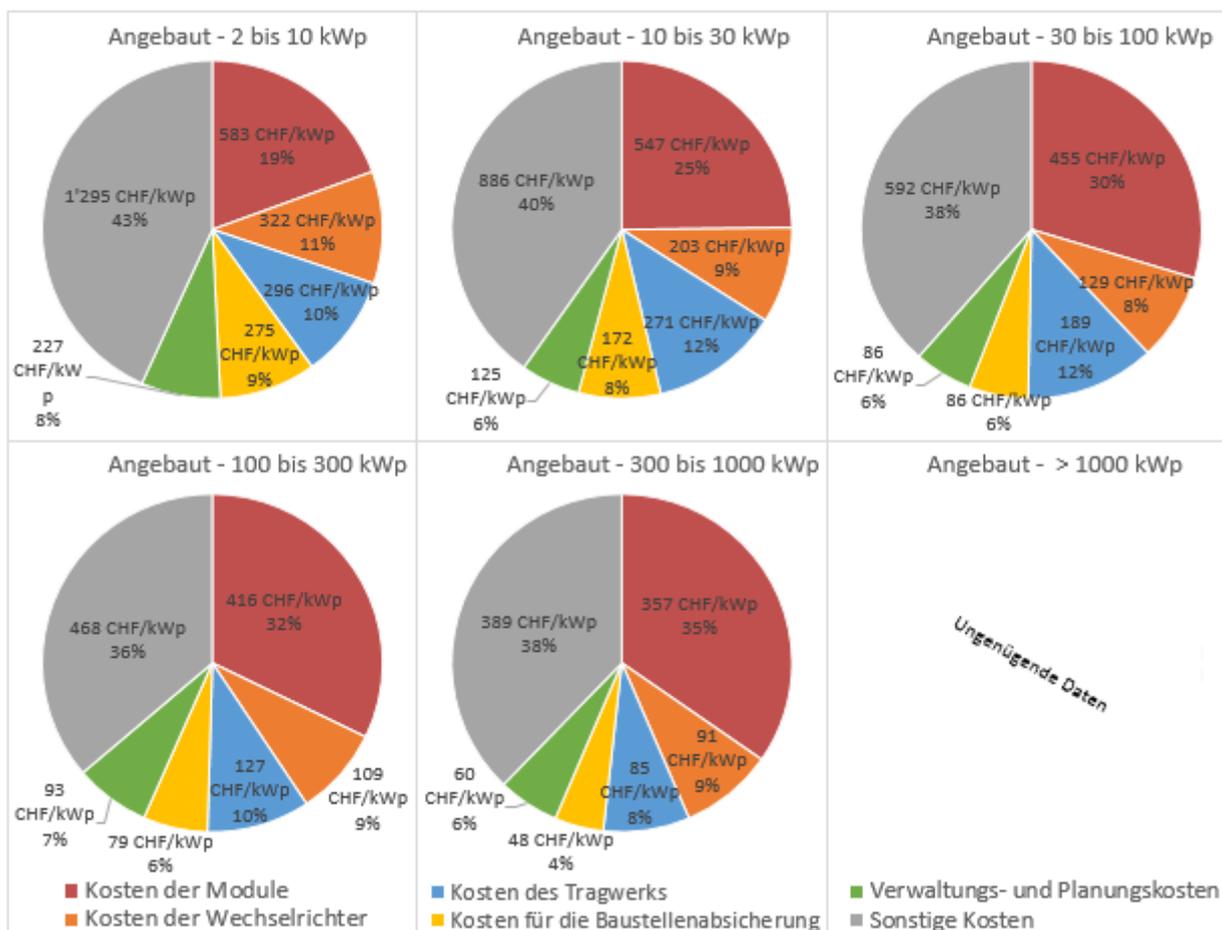


Abbildung 22: Kostenverteilung bei angebauten Photovoltaikanlagen in sechs Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für die die betreffenden Werte bekannt sind.

5.2 Detaillierte Betrachtung

Die nicht definierten «sonstigen Kosten» spielen im Rahmen der im vorigen Kapitel besprochenen Werte eine grosse Rolle und erlauben keine vollständige Kostenanalyse. Das vorliegende Kapitel konzentriert sich auf 71 angebaute Photovoltaikanlagen, zu denen vollständige detaillierte Angaben gemacht werden konnten. Die betreffenden Daten wurden anhand eingehender Gespräche mit bestimmten Installateuren erhoben. Die Gesamtkosten wurden in dieser Analyse in neun Kategorien aufgeschlüsselt, wobei die Arbeitskosten, die Kosten des Elektromaterials sowie die Logistik- und Transportkosten aus den «sonstigen Kosten» herausgenommen wurden. Auch die Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen wurden separiert, jedoch mit den Kosten für die Baustellenabsicherung zusammengefasst.

Es ergeben sich somit die folgenden neun Kategorien:

- Kosten der Module,
- Kosten der Wechselrichter,
- Kosten des Tragwerks,
- Kosten der Baustellenabsicherung und permanenter Sicherheitsmassnahmen,
- Verwaltungs- und Planungskosten,
- Arbeitskosten,
- Kosten des Elektromaterials,
- Logistik- und Transportkosten,
- sonstige Kosten.

Die Analyse basiert auf den folgenden, nach Leistungsbereichen aufgeschlüsselten Datensatzmengen:

2–10 kWp	10–30 kWp	30–100 kWp	100–300 kWp	300–1'000 kWp	> 1'000 kWp
16	18	3	18	15	1

Abbildung 23 zeigt eine detaillierte Verteilung der Kosten photovoltaischer Anlagen. Die Daten sind allerdings angesichts des kleineren Datenbestands weniger zuverlässig. Sie enthalten jedoch keine SOC-Daten und weisen aufgrund der für die Studie festgelegten Kriterien eine gewisse Homogenität auf. Somit ergeben sich gewisse Abweichungen zu Abbildung 22, insbesondere in den Leistungsbereichen 2 bis 10 kWp und 10 bis 30 kWp.

Es wurde ein erster Vergleich zwischen Abbildung 22 und Abbildung 23 durchgeführt. Die Modulkosten und deren Verlauf bleiben unverändert. Auch der Verlauf der Tragwerkskosten ist ähnlich, wobei die Werte und Prozentsätze leicht abweichen. Dies bestätigt, dass sich der Anteil der Tragwerkskosten an den Gesamtkosten bei kleinen Anlagen mit steigender Leistung erhöht, bei mittelgrossen Anlagen stabil bleibt und lediglich bei Anlagen ab 100 kWp abnimmt. Demgegenüber weisen die Kosten der Wechselrichter sowie die Verwaltungs- und Planungskosten bei dieser detaillierten Auswahl ein anderes Profil auf als bei der Auswahl, die die SOC-Daten miteinschliesst. Auf Ebene der kleinen Anlagen sind diese Kosten höher, was zeigt, dass sie durch die SOC-Daten nach unten gezogen werden. Bei den Verwaltungs- und Planungskosten ist der Effekt leicht mit Leistungen in dieser Kategorie zu erklären, die der SOC nicht berücksichtigt, wohl aber die vorliegende Studie (siehe Kapitel 5.1). Auf Ebene der Wechselrichter scheint die Definition offensichtlich, sodass es hier schwieriger ist, die Abweichungen zu erklären. Möglicherweise wurden die Kosten für Leistungsoptimierer in bestimmten Fällen nicht berücksichtigt. Im Rahmen dieser neuen Analyse ergeben sich fallende Kostenanteile der Wechselrichter an den Gesamtkosten – im Vergleich zu gleichbleibenden Kosten bei der vorhergehenden Analyse. Dies scheint schlüssiger zu sein und zeigt, dass die Wechselrichter bei grossen Anlagen weniger zu den Gesamtkosten beitragen als bei kleinen Anlagen, während ihr prozentualer Anteil bei mittelgrossen Anlagen im Verhältnis zu Grossanlagen stabil bleibt. Da die Verwaltungs- und Planungskosten bei kleinen Anlagen höher sind, nimmt ihr Anteil an den

Gesamtkosten stärker ab. Diese Kosten wirken sich somit bei allen kleinen Anlagen stärker aus. Jenseits von 10 kWp ergibt sich demgegenüber keine signifikante Verringerung ihres finanziellen Beitrags.

Die Kosten für die Sicherheit haben sich logischerweise erhöht, da sie nun auch die Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen beinhalten. Dies wirkt sich lediglich bei grossen Anlagen aus. Eine detaillierte Analyse scheint zu ergeben, dass die spezifischen Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen (und nicht nur ihr prozentualer Anteil an den Gesamtkosten) mit der Grösse der Anlagen ansteigen. Angesichts der geringen Datenbasis kann dieses Ergebnis jedoch nicht verifiziert werden.

Mit der vorliegenden Analyse war eine Aufschlüsselung der Position «sonstige Kosten» aus Kapitel 5.1 möglich. Der höchste Anteil entfällt auf die Arbeitskosten. Bei kleinen Anlagen handelt es sich hier mit einem Viertel der Gesamtkosten um die grösste Kategorie. Bei steigender Anlagengrösse sinkt der Anteil der Arbeitskosten an den Gesamtkosten immer weiter ab. Weitere Kategorien sind die Kosten des Elektromaterials sowie die Logistik- und Transportkosten. Der Anteil der ersteren Position an den Gesamtkosten nimmt mit steigender Anlagengrösse zu. Dies ist neben den Modulkosten die einzige Kostenposition, die dieses Verhalten zeigt. Die Logistik- und Transportkosten wirken sich nur geringfügig aus und verändern sich nicht. Und schliesslich verbleibt eine Kategorie «sonstige Kosten», die auf ein Minimum reduziert werden konnte und im Wesentlichen die Monitoringkosten enthält.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Modulkosten und die Arbeitskosten am stärksten preisbestimmend sind. Sie sind zusammengenommen für die Hälfte der Kosten verantwortlich. Bei den Arbeitskosten zeigen sich die deutlichsten Skaleneffekte. Die Kosten der Module und des Elektromaterials sind die einzigen, die sich mit steigender Leistung stärker auf den Gesamtpreis auswirken.

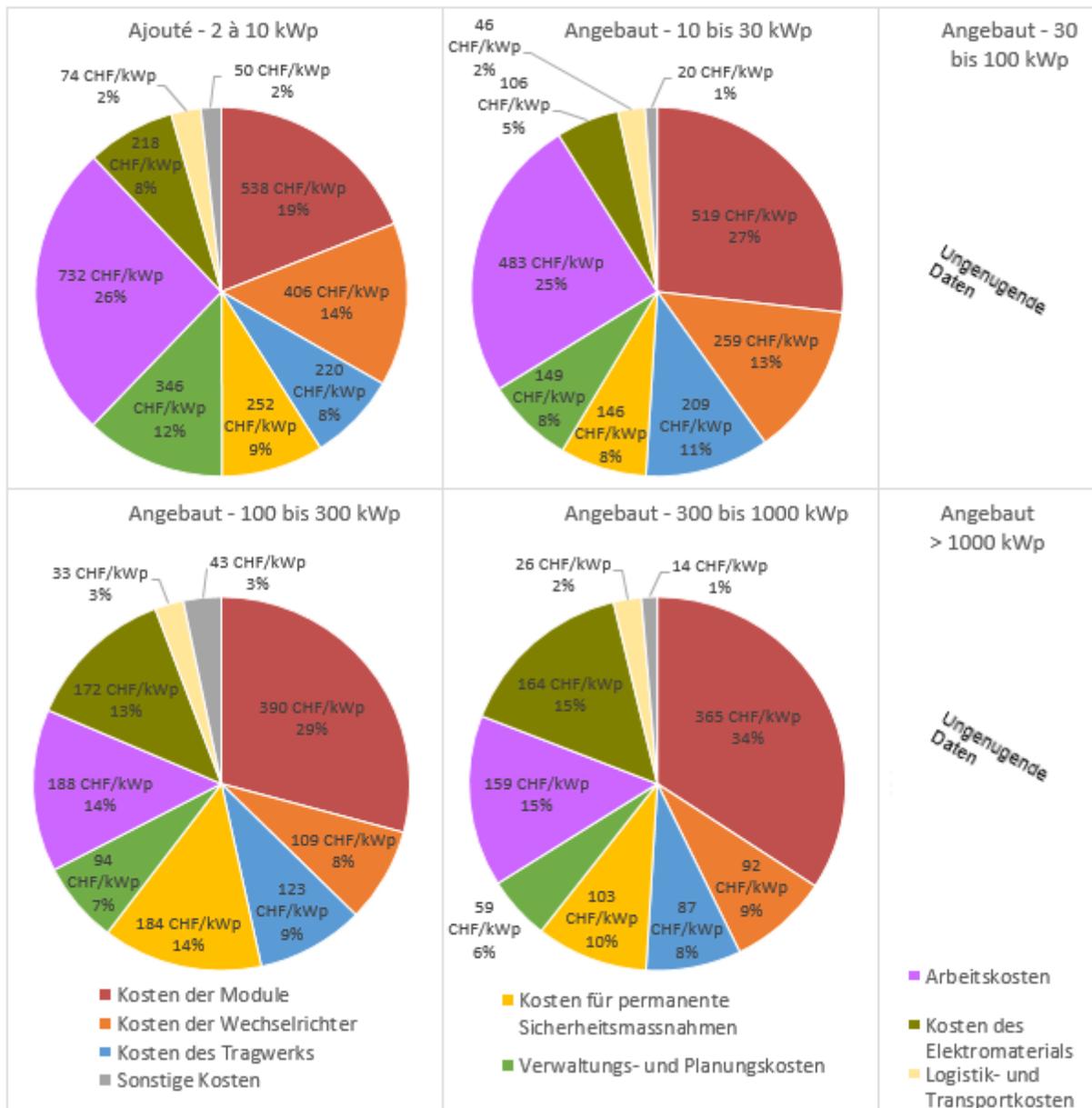


Abbildung 23: Detaillierte Kostenverteilung bei angebauten Photovoltaikanlagen, aufgeschlüsselt in neun Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für die die betreffenden Werte bekannt sind.

6 Entwicklung im Zeitverlauf

Jeder erhobene Datensatz enthält das Datum, zu dem die Offerte oder die Rechnung erstellt wurde. Die folgende Analyse wertet die Entwicklung der Kosten zwischen 2018 und 2019 sowie zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr 2019 aus.

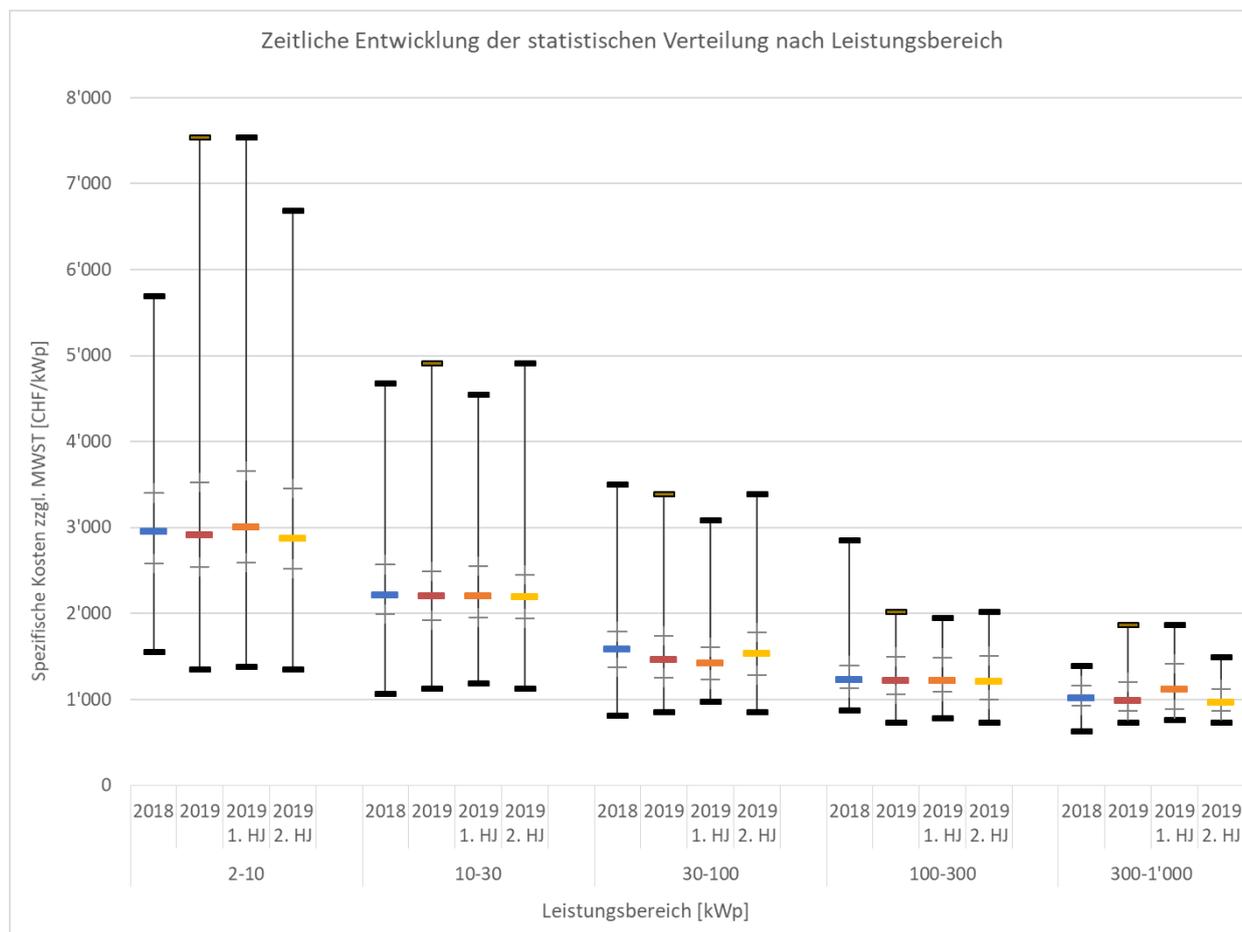


Abbildung 24: Entwicklung der statistischen Verteilung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Dargestellt werden fünf Leistungsbereiche und in allen Leistungsbereichen die Daten für 2018, 2019 sowie die Halbjahre 1 und 2 des Jahres 2019. Die farbigen Balken stehen für die Medianwerte. Die Enden der vertikalen Linien markieren die maximalen und minimalen spezifischen Kosten in den jeweiligen Kategorien. Die dünneren Querlinien kennzeichnen die ersten und dritten Quartile (25 % und 75 %).

Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 verdeutlichen auf unterschiedliche Weise die zeitliche Entwicklung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen, die im Rahmen der Studie untersucht wurden. Die in Abbildung 25 dargestellten Werte basieren auf den gleichen Kriterien und der gleichen Analyse wie in Kapitel 5.1. Die vorliegende Analyse berücksichtigt auch Daten aus dem SOC. Die statistischen Merkmale von Abbildung 24 entsprechen den in Kapitel 4.2 definierten Vorgaben. Das in Abbildung 26 dargestellte Auseinanderlaufen der beiden Kurven jenseits von 200 kWp ist tatsächlich darauf zurückzuführen, dass für sehr grosse Anlagen nur wenige Daten vorliegen. Dies führt dazu, dass sich nur schlecht Näherungslösungen für die Potenzkurven berechnen lassen.

Alle Analysen führen zum gleichen Ergebnis: Es lassen sich keine signifikanten Veränderungen der spezifischen Kosten beobachten. Die Preise für angebaute Photovoltaikanlagen haben sich weder zwischen 2018 und 2019 noch zwischen den beiden Halbjahren 2019 verändert.

Der Markt ist somit stabil und insbesondere mit einer nahezu identischen Kostenverteilung in beiden Halbjahren 2019 in dieser Hinsicht sehr ausgereift.

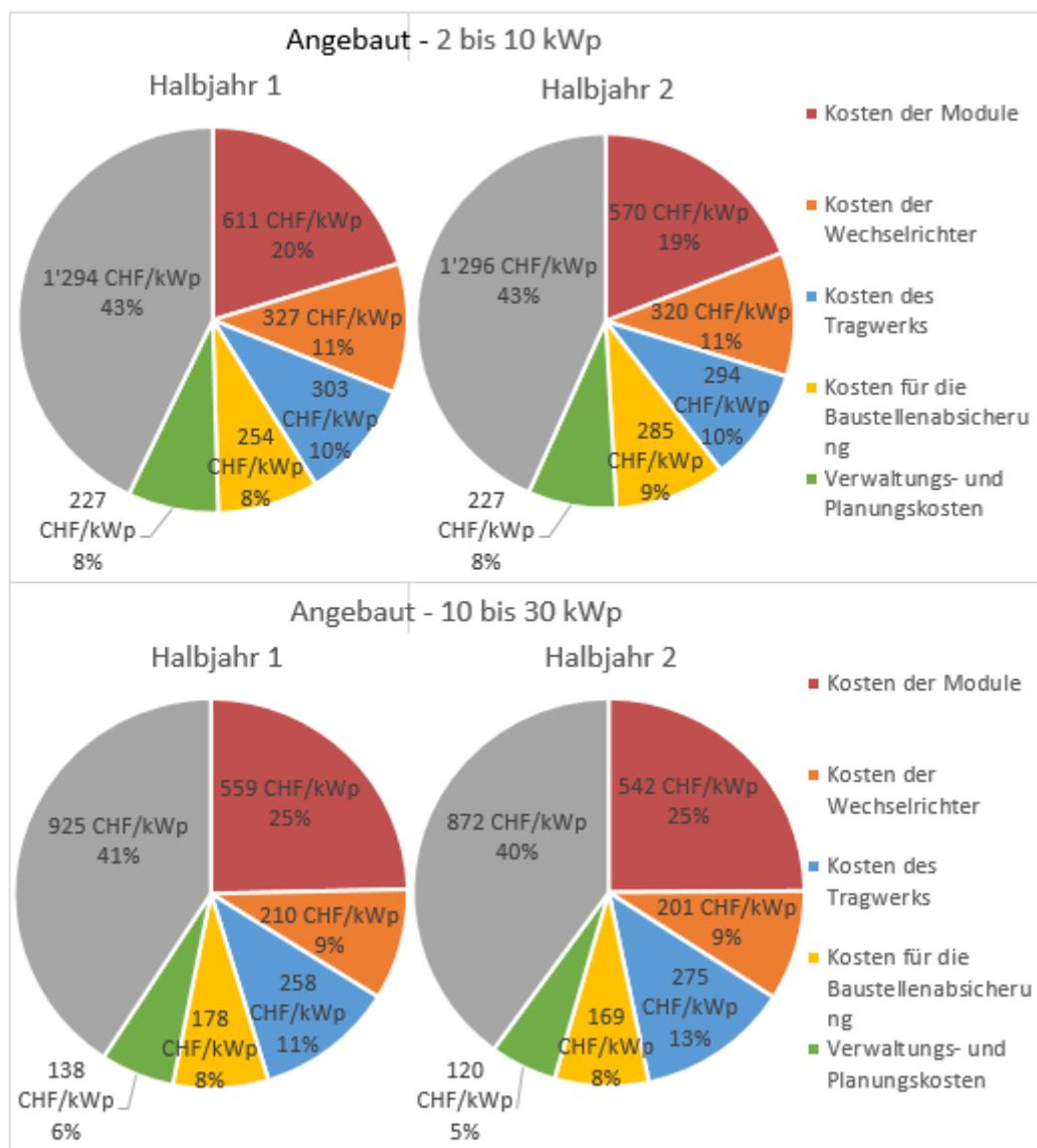


Abbildung 25: Entwicklung der Kostenverteilung zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2019 für die Leistungsbereiche 2 bis 10 kWp und 10 bis 30 kWp.



Abbildung 26: Entwicklung der spezifischen Kosten angebaute Photovoltaikanlagen zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2019. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Die Trendlinien (Potenzkurven) wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion erstellt.

7 Nebenkosten und tatsächliche Kosten

Der wesentliche Teil der Umfrage bezieht sich auf die Kosten im Zusammenhang mit der Lieferung und Installation einer Photovoltaikanlage gemäss der in Kapitel 2.1.

angegebenen Definition. Die betreffenden Kosten decken ausschliesslich die Leistungen des Installationsbetriebs ab. Das vorliegende Kapitel soll die nicht auf der Rechnung des Installateurs auftauchenden Nebenkosten beziffern, die durch den Bauherrn zu tragen sind. Dazu wurden Gespräche mit fünf Bauherren geführt. Um objektive Daten zu erhalten, werden die Namen der Bauherren und die betreffenden Projekte im vorliegenden Dokument nicht genannt.

Hier eine kurze Beschreibung der Bauherren:

- Bauherr Nr. 1: Netzbetreiber, der die Bauüberwachung der Photovoltaikanlagen durchführt; bietet seinen Kunden Energie-Contracting an
- Bauherr Nr. 2: Netzbetreiber, der die Bauüberwachung der Photovoltaikanlagen durchführt; bietet seinen Kunden Energie-Contracting an
- Bauherr Nr. 3: Grosser Immobilieneigentümer auf Bundesebene, entwickelt einen Solarpark auf seinen neuen oder in Renovierung befindlichen Gebäuden
- Bauherr Nr. 4: Gemeinde in der Romandie mit weniger als 2'000 Einwohnern
- Bauherr Nr. 5: Privater Eigentümer eines Mehrfamilienhauses

7.1 Nebenkosten

Geschäftskosten

Diejenigen Bauherren, die die Projekte nicht auf ihren eigenen Gebäuden realisieren, tragen Geschäftskosten für den Abschluss von Energieliefer- und Dienstbarkeitsverträgen, die ihnen den Bau und den Betrieb der Anlage gestatten.

- Bauherr Nr. 1: Die Geschäftskosten werden in Höhe von 0,6 Rp./kWh beim Energieverkaufspreis mit eingepreist. Bezogen auf die Investition ergibt sich ein Betrag von 120 bis 150 CHF/kWp.
- Bauherr Nr. 2: Die betriebswirtschaftlichen Kosten beinhalten die Gehälter der für die Bauüberwachung zuständigen Projektbeauftragten beim Kunden. Die Vollzeitäquivalente, bezogen auf die innerhalb des Jahres installierte Photovoltaikleistung, ergeben Kosten von rund 50 CHF/kWp.
- Bauherr Nr. 3: Die Anlagen werden auf den eigenen Gebäuden installiert, daher entstehen keine Geschäftskosten.
- Bauherr Nr. 4: Die Anlagen werden auf den eigenen Gebäuden installiert, daher entstehen keine Geschäftskosten.
- Bauherr Nr. 5: Die Anlagen werden auf den eigenen Gebäuden installiert, daher entstehen keine Geschäftskosten.

Interne Projektmanagementkosten

Die Bauherren Nr. 1 und Nr. 2 nehmen nur punktuell externe Planungsunternehmen in Anspruch und besitzen ein internes Projektmanagement (verschiedene Projektbeauftragte). Die betreffenden Kosten – einschliesslich Planung der Arbeiten (Bauleitung) – belaufen sich je nach Projekt und Unternehmen auf 50 bis 200 CHF/kWp. Auf die Kosten der Bauüberwachung entfallen 50 bis 100 CHF/kWp, die Planungskosten betragen 0 bis 130 CHF/kWp.

Bauherr Nr. 3 beauftragt ein externes Planungsunternehmen. Die internen Projektmanagementkosten sind daher deutlich geringer und machen lediglich 1,5 % der Investitionssumme aus. Sie liegen im Bereich von 15 CHF/kWp.

Die Gemeinde (Bauherr Nr. 4) beauftragt ein externes Planungsunternehmen. Die internen Projektmanagementkosten liegen bei 7 % der Investitionssumme oder rund 10 CHF/kWp.

Bauherr Nr. 5 ist eine Privatperson, die die Bauüberwachung während ihrer Freizeit durchführt.

Externe Planung

Die externen Planungskosten sind stark von den erbrachten Dienstleistungen und der installierten Leistung abhängig. Bei vollständigen Planungsleistungen haben sie folgende Grössenordnung:

- Bei Anlagen mit einer Leistung < 50 kWp zwischen 200 und 500 CHF/kWp
- Bei Anlagen mit einer Leistung von 50 bis 100 kWp zwischen 120 und 250 CHF/kWp
- Bei Anlagen mit einer Leistung von 100 bis 300 kWp zwischen 60 und 150 CHF/kWp
- Bei Anlagen mit einer Leistung > 300 kWp zwischen 40 und 80 CHF/kWp

Die Ingenieurbüros können partielle Planungsleistungen für diejenigen Bauherren erbringen, die sich bereits mit Photovoltaikanlagen auskennen. Dies kann verschiedene SIA-Planungsphasen betreffen und zielt oft darauf ab, zusätzliche Ressourcen zu gewinnen und Zeit zu sparen. Die Kosten derartiger Leistungen schwanken sehr stark und bewegen sich in einem Bereich zwischen 10 und 60 CHF/kWp.

Bauherr Nr. 5 führt eine umfangreiche Renovierung seines Einfamilienhauses durch und beauftragt hierfür ein Architektur- und Ingenieurbüro mit der elektrischen Planung. Für die Photovoltaikplanung nimmt er jedoch keinen externen Dienstleister in Anspruch. Die Mehrkosten durch die betreffenden Honorare belaufen sich auf CHF 1'000.

Architektur

Wird die Anlage auf einem neuen Gebäude oder im Zuge einer Renovierung unter Einbeziehung eines Architekten errichtet, können in der Konzeptionsphase und bei der Bauleitung architektonische Mehrkosten entstehen. Je nach Projektumfang können diese Kosten zwischen 0 % und 15 % der Bausumme ausmachen.

Sonstige Kosten

Die sonstigen mit dem Projektmanagement zusammenhängenden Kosten sind im Folgenden genannt.

- Notarkosten, insbesondere für die Schaffung von Grunddienstbarkeiten: CHF 1'000 bis 3'000 pro Projekt.
- Bereitstellung der Messtechnik (Zähler) für das Contracting. Diese Kosten können insbesondere bei einem Zusammenschluss für den Eigenverbrauch erheblich sein.
- Bautechnische Gutachten:
 - Statische Berechnungen: Die betreffenden Kosten variieren stark in Abhängigkeit vom Gebäude, von den bereits vorhandenen Daten und vom Umfang der Untersuchungen: CHF 500 bis 10'000.
 - Dichtheitsgutachten: Sofern nicht vorgesehen ist, die Dachabdichtung vor der Errichtung der Anlage zu erneuern, kann ein Dichtheitsgutachten zu einem Preis von CHF 500 bis 3'000 erforderlich sein.

Gründe für Mehrkosten

Nachstehende Beispiele verdeutlichen einige Umstände, unter denen im Zusammenhang mit der Photovoltaikanlage weitere Mehrkosten entstehen können:

- Aufbau eines ZEV: Beim Aufbau eines ZEV entstehen Mehrkosten für die Planung und Installation der Zählereinrichtungen sowie Verwaltungs- und Vertragskosten
- Photovoltaikanlage auf einem Fahrzeugunterstand (Carport)
- Neues Gebäude: Die Baukosten sind geringer (wie in Kapitel 3.3 analysiert und in Abbildung 14 dargestellt), die Planungskosten jedoch höher (Abstimmung mit den anderen Gewerken, geringere Freiheiten beim Entwurf)

7.2 Auswirkungen auf verschiedene Projektarten

Im Folgenden werden die Auswirkungen in drei konkreten Fällen untersucht. Die Leistung der Anlage beträgt 200 kWp bei Baukosten von CHF 240'000 (zzgl. MWST).

Fall 1:

- Geringe Kosten für die technische Planung der Installation (neue Dachabdichtung, statische Reserven bekannt und komfortabel)

- Einfache Bauüberwachung und technische Planung durch ein Planungsunternehmen durchgeführt
- Gebäude fertiggestellt, keine anderen Gewerke am Projekt beteiligt
- Bauherr ist Gebäudeeigentümer (keine Geschäfts- oder Notarkosten)

Fall 2:

- Deutlich teurere technische Planung (statische Reserven bekannt und komfortabel, Dichtheitsgutachten erforderlich)
- Lösung mit Energie-Contracting: teurere Bauüberwachung, Geschäfts- und Notarkosten
- Geringe Beteiligung an den Architekturkosten (umfangreiche Renovierung des Gebäudes)

Fall 3:

- Hohe Kosten für die technische Planung: komplexe statische Berechnungen, Dichtheitsgutachten
- Energie-Contracting: hohe Kosten für die Bauüberwachung, Notarkosten
- In Bau befindliches Gebäude mit zwei Bauherren (Gebäude und Photovoltaikanlage): hohe Architektur- und Bauleitungskosten

Die folgende Tabelle fasst die verschiedenen Fälle zusammen:

Kosten in CHF zzgl. MWST	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Rechnung des Installateurs	240 000	240 000	240 000
Geschäftskosten	-	10 000	30 000
Statische Berechnungen / Dichtheitsgutachten	1 000	3 000	13 000
Bauüberwachung	3 000	6 000	20 000
Bauleitung	10 000	20 000	25 000
Architektur	-	12 000	30 000
Notarkosten	-	1 000	3 000
Gesamt	254 000	292 000	361 000

Die Gesamtkosten des Projekts sind somit stark von den jeweiligen Konfigurationen abhängig. Im oben genannten Beispiel führen die gesamten Nebenkosten je nach Einzelfall zu einem Mehraufwand zwischen 5 % und 50 %. Dies ist in Abbildung 27 nochmals dargestellt.

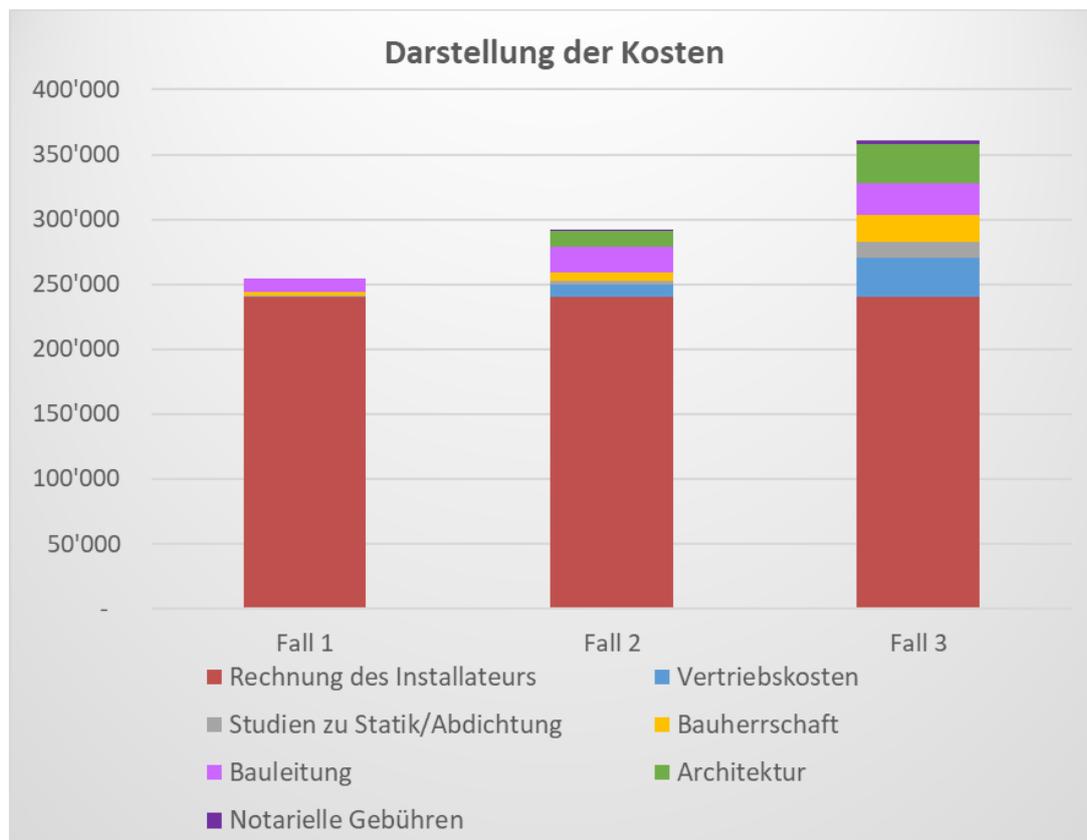


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Auswirkungen der Nebenkosten in den drei Szenarien bei einem Projekt mit 200 kWp.

7.3 Zusammenfassung

Die genannten Daten widerspiegeln die Gesamtsituation eines Projekts mit mittelgrossen bis grossen Anlagen in einem professionellen Umfeld. Bei kleinen Anlagen wirken sich die in diesem Kapitel behandelten Kosten im Allgemeinen nur sehr wenig oder überhaupt nicht aus. Tatsächlich wird ein privater EFH-Eigentümer, dessen Gebäude bereits fertiggestellt ist, nur sehr selten statische Berechnungen oder Dichtheitsgutachten benötigen. Die Bauüberwachung ist kostenlos und der Eigentümer greift im Allgemeinen nicht auf ein Planungsunternehmen zurück. Der Bauherr muss somit oftmals lediglich die Rechnung des Installationsbetriebs bezahlen.

Bei mittelgrossen und grossen Anlagen ist es im Gegensatz dazu sehr selten, dass auf den Bauherrn neben den durch den Installateur berechneten Kosten keine weiteren Kosten zukommen. Im oben genannten beispielhaften Fall 1 ist zu erkennen, dass der Bauherr sogar in einer sehr einfachen Situation Zusatzkosten in Höhe von 6 % des Rechnungsbetrags des Installateurs zu tragen hat. Im genannten Beispiel sind dies 70 CHF/kWp.

Die tatsächlichen Kosten eines Photovoltaikprojekts gehen bei allen diesen Anlagen somit über den Rechnungsbetrag des Installationsbetriebs und die in den bisherigen Kapiteln analysierten Kosten hinaus. Hinzu kommen Nebenkosten in Höhe von 5 % bis 50 % der Kosten des Installateurs. Eine vollständige Analyse muss auch diese Kosten mit einbeziehen.

Die vollständigen Kosten einer angebauten Photovoltaikanlage lassen sich am besten durch folgendes Modell beschreiben:

$$y = \left(\frac{8120}{x^{0,766}} + 1140 \cdot e^{-2,99 \cdot 10^{-4} \cdot x} \right) \cdot (1 + a)$$

a ist hier ein Prozentsatz zwischen 0 % und 50 %, der für die Nebenkosten steht.

Die Mehrkosten a sind von vielen Parametern abhängig. Um sie abzuschätzen, verweisen wir auf die Analyse in Kapitel 7.2 und die in Kapitel 7.1 genannten Einzelheiten.

8 Kostenbeeinflussende Faktoren

Dieses Kapitel greift die Schlussfolgerungen des Berichts zur «Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2018» auf und ergänzt sie hinsichtlich der im Jahr 2019 zu beobachtenden Entwicklungen. Es nennt die technischen Faktoren, die sich auf die Kosten auswirken. Obwohl es keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, zeigt es, wie die Eigenschaften des Gebäudes ein Projekt mehr oder weniger kostspielig machen können.

Kabelführung

Angesichts der gesunkenen Materialkosten im Photovoltaikbereich steigt der Anteil der Verkabelung – durch Material- und insbesondere Arbeitskosten – an den Gesamtkosten.

Die auf Dächern unterhalb der Module geführten Kabel müssen nicht in Kanälen verlegt werden. Ausserhalb der Modulfelder müssen die Kabel jedoch gegen äussere Einflüsse geschützt werden. Die Länge der Dachverkabelung ausserhalb der Modulfelder (zum Beispiel bis zur Fassade, bei einer Schwanenhalsausführung oder zur Verbindung zweier Felder) ist somit ein wichtiger Kostenfaktor.

Innerhalb des Gebäudes wirken sich die Anzahl der Bohrungen, die zur Verfügung stehenden Kabelkanäle sowie Kabelführungen durch nicht technischen Zwecken dienende Räume aus. Ausserdem können grosse Kabellängen zusätzliche Blitzschutzanforderungen nach sich ziehen. Bei Kabelführungen durch brandgefährdete Bereiche sind zudem bestimmte Anforderungen hinsichtlich der verwendeten Kanalart zu beachten.

Bei einem Anschluss ausserhalb des Gebäudes können gegebenenfalls erforderliche Ausschachtungen sehr schnell erhebliche Kosten verursachen.

Dacharten und zur Verfügung stehende Flächen

Die Dachart wirkt sich deutlich auf den Preis aus:

- Anlagen auf geneigten Trapezblechdächern sind am günstigsten, sofern sie direkt am Blech befestigt werden können. Da die Unterkonstruktion leicht ist und aus wenigen Elementen besteht, ist sie entsprechend kostengünstig. Darüber hinaus lässt sich die Anlage schneller installieren.
- Anlagen auf anders garteten Schrägdächern (Ziegel- bzw. Wellblechdach) oder auf Trapezblechdächern, die am Gebälk befestigt sind, sind etwas kostspieliger. Ihre Montage dauert länger und der Aufbau besteht aus einer grösseren Anzahl Teile und mehr Material.
- Bei Anlagen auf Flachdächern wirken sich noch weitere Faktoren aus. Auf bekiesten Dächern sind Beschwerungssysteme zur Modulbefestigung möglich. Sie bringen jedoch auch Einschränkungen hinsichtlich der Dachpräparierung mit sich (das Tragwerk muss unterhalb der Kiesschicht angebracht werden). Bei abgestimmter Montage (Bau oder Renovierung) kann das Tragwerk zur Kostenminimierung somit vor der Bekiesung aufgestellt und dann mit Kies beschwert werden. In anderen Fällen (Bekiesung mittels Blastechnik oder Lieferung und Verlegung von Ballastplatten) können höhere Material- und insbesondere Arbeitskosten anfallen.

- Die Entwicklung von Verfahren für zwei verschiedene Ausrichtungen ermöglicht wirtschaftlichere Projekte: Die Tragwerke kosten weniger und durch höhere Leistungen lassen sich Skaleneffekte erzielen. Die Energieausbeute im Verhältnis zur installierten Leistung ist jedoch etwas geringer.

Die Dachkonfiguration sowie die auf dem Dach vorhandenen technischen Elemente (Lüftungssysteme, Schornsteine usw.) wirken sich stark auf die Kosten aus:

- Eine Anordnung in mehreren Zonen verändert den Umfang der Verkabelung und Kabelführungen, die Kosten des Tragwerks und das Volumen der erforderlichen Beschwerung.
- Dächer oder Modulfelder in rechteckiger Form und mit grösseren Abmessungen sind somit unter Kostengesichtspunkten sinnvoller.
- Angesichts steigender Energieeffizienz-Anforderungen und Vorgaben der Energielabel werden immer mehr technische Einrichtungen auf den Dächern installiert. Diese Einrichtungen verkomplizieren die Modulanordnungen und schränken die verfügbare Fläche ein. Daher sind beispielsweise Anlagen auf Minergie-Gebäuden vergleichsweise teuer.

Architektonische Einschränkungen (Farbe, Integration)

Abhängig von den für das Gebäude bestehenden architektonischen Anforderungen (spezielle Wünsche des Eigentümers, Planung des Architekten, behördliche Vorgaben, Gebietsausweisung, Modellcharakter des Gebäudes) kann spezielles Material eingesetzt werden, beispielsweise Module mit Rahmen und schwarzer Tedlar-Folie, diskretere Befestigungssysteme oder kompliziertere Aufbauvarianten (unsichtbare Kabelführung, spezielle Modulanordnung). Je nach Umfang der Anforderungen können sich erhebliche Mehrkosten ergeben.

Bauliche Situation

Photovoltaikanlagen können als eigenständige Projekte, im Rahmen von Dachrenovierungen oder auf Neubauten installiert werden. Dies kann sich in vielerlei Hinsicht auf die Kosten auswirken:

- Es sind Kosten für die Abstimmung mit den anderen Gewerken zu berücksichtigen.
- Ausserdem können Architekturkosten und Kosten für die Bauleitung anfallen.
- Eine gute Abstimmung kann die Kosten für die Baustellenvorbereitung stark senken.
- Manche Kosten können mit den anderen Unternehmen gemeinsam getragen werden (insbesondere Baustellenabsicherungskosten).

Sicherheit

Die Konfiguration des Gebäudes und die Modulanordnung kann sich auf die Kosten der Baustellenabsicherung auswirken (besonders hohes Gebäude, erforderliche Gerüste). Auch diese Kosten können bei Neubauten oder Renovierungen geteilt werden oder sie werden durch ein anderes Unternehmen oder die Bauleitung getragen.

Auch die permanenten Sicherheitsmassnahmen können mit erheblichen Kosten zu Buche schlagen. Selbst wenn diese nicht nur dem Betrieb der Photovoltaikanlage zugutekommen, werden sie oft deren Budget zugeordnet. Dessen ungeachtet bedeuten sie einen echten Mehrwert für das Gebäude.

Die Auswahl der permanenten Sicherungselemente wirkt sich erheblich aus: Sicherungselemente mit kies-beschwerten Verankerungspunkten kosten erheblich weniger als eine Sicherung mit am Bauwerk befestigtem Sicherungsseil. Allerdings bietet die zweite Lösung mehr Sicherheit. Sicherungsseile, die am Tragwerk der Photovoltaikanlage befestigt werden, sind preisgünstiger als Seile, die am Gebäude verankert sind. Allerdings entspricht ihre Lebensdauer dann derjenigen der Photovoltaikanlage, während die Seile im anderen Fall auch darüber hinaus verwendet werden können.

Verwaltungskosten

Nicht für alle Baustellen gelten die gleichen Anforderungen. Die Pläne müssen nur bei Anlagen über 30 kVA durch das ESTI bewilligt werden. Zudem müssen für die meisten Anlagen keine Baubewilligungen beantragt werden. Diese Formalitäten führen somit bei bestimmten Anlagenarten zu Mehrkosten.

Seit 2018 ist auch für Anlagen unter 30 kVA eine Abnahmekontrolle vorgeschrieben. Diese Prüfung verursacht beim Installateur Mehrkosten, die er auf den Bauherrn abwälzt. Der Anteil der administrativen Kosten am Gesamtbudget eines Projekts ist im Vergleich zu anderen Ländern (Belgien, Australien) sehr hoch.

Monitoring, Leistung und Energiemanagement

Da ein möglichst grosser Teil der erzeugten Energie selbst verbraucht werden muss, bietet sich die Möglichkeit an, die Produktion und den Verbrauch zu überwachen. Zu diesem Zweck werden Datenlogger oder Wechselrichter mit Kommunikationsfunktion sowie Messvorrichtungen an der Einspeisestelle eingesetzt. Dank dieser Vorrichtungen kann der Verbraucher seine Gewohnheiten entsprechend anpassen und seinen Eigenverbrauch optimieren. Sie verteuern jedoch das Projekt.

Immer mehr Projekte beinhalten ausserdem Steuerungen für Wärmepumpen oder Elektromobilität. Hierfür sind Datenlogger, Messvorrichtungen sowie smarte Hardware für die betreffenden Einrichtungen erforderlich.

Und schliesslich entstehen auch für die Möglichkeit, mittels Modulwechselrichtern oder Leistungsoptimierern – insbesondere bei Abschattung – die Anlagenleistung zu optimieren, erhebliche Mehrkosten.

Elektrische Anschlüsse, Installationen und Sicherheitsmassnahmen

Falls die bestehenden Elektroschränke bereits ausreichend dimensioniert sind, trägt der Anschluss der Eigenverbrauchsanlage nicht wesentlich zur Gesamtinvestition bei. Die Kosten können jedoch rapide steigen, wenn ein neuer Elektroschrank installiert werden muss, der Elektroraum nicht ausreichend gross ist oder die Zuleitung ersetzt werden muss. Diese Kosten können bis zu 30 % des Gesamtbudgets ausmachen.

Abhängig von der Gebäudeart sind darüber hinaus allfällige Brandschutzvorgaben einzuhalten. Möglicherweise müssen Wechselrichter, erforderliche Notabschaltvorrichtungen zur Arbeitserleichterung der Feuerwehr sowie zusätzliche Schalt- und Trennvorrichtungen in einem Brandschutzraum untergebracht werden.

Markt und Wettbewerb

Die Marktsituation ist ein echter kostenbeeinflussender Faktor. In einem dynamischen Markt mit einer grösseren Anzahl potenzieller Zielkunden lassen sich die Geschäftskosten senken. Im Gegenzug übt intensiver Wettbewerb zwischen den Installationsbetrieben Druck auf die Margen der Unternehmen aus.

Öffentliche oder private Aufträge

Bei öffentlichen Aufträgen können die Kosten höher ausfallen als bei privaten. Bei öffentlichen Aufträgen muss der Installateur entsprechend den gesetzlichen Vorgaben eine Reihe behördlicher Dokumente vollständig beibringen und Ausschreibungsunterlagen an den Bauherrn einreichen, der in den meisten Fällen ein externes Planungsunternehmen beauftragt. Anlagen, die im Rahmen öffentlicher Aufträge realisiert werden, können erheblich teurer sein.

Zusammenschlüsse für den Eigenverbrauch

Seit Erscheinen der überarbeiteten Energieverordnung Anfang 2018 wird eine steigende Anzahl Anlagen in Zusammenschlüssen für den Eigenverbrauch (ZEV) zusammengefasst. Daraus ergeben sich höhere Kosten sowohl für die Montage als auch für das Projektmanagement. Die Mehrkosten der Anlage entstehen hier durch die Anpassung bestehender Elektroschränke, die Lieferung und den Einbau privater Zähler sowie die Veränderung der Eigentumsgrenzen in Bezug auf das Netz / die Innenanlagen. Weitere durch den Bauherrn zu tragende Projektmanagementkosten fallen durch die administrativen Massnahmen für die Bewerkerstellung des Zusammenschlusses, die Einholung der verschiedenen Einwilligungen (Eigentümer, Mieter, Netzbetreiber), die Kommunikation und die Auswahl des Dienstleisters an.

NIN 2020 (trifft nicht auf 2019 zu)

Die noch nicht auf das Jahr 2019 anwendbare NIN 2020 beinhaltet hinsichtlich der Vorgaben für Elektroinstallationen im Rahmen von Photovoltaikanlagen keine wesentlichen Änderungen.

Sie gestattet einen verminderten Blitzschutz bei Gebäuden, die nicht mit einem Blitzableiter ausgestattet sind. Unter bestimmten Voraussetzungen (Art und Länge der Kabelführungen) ist dagegen kein Überspannungsschutz mehr vorgeschrieben. Daraus ergeben sich Kostenvorteile, insbesondere bei Einfamilienhäusern, die selten Blitzableiter besitzen. Auf der Gleichstromseite kann zudem häufiger auf einen Schutzkasten verzichtet werden.

Schlussfolgerung hinsichtlich der kostenbeeinflussenden Faktoren

Vergleicht man die Jahre 2018 und 2019, gab es keine oder nur wenige Faktoren, die die Kosten von Photovoltaikanlagen verändert haben. Der Markt blieb daher in diesem gesamten Zeitraum relativ stabil.

Die mit den Installateuren geführten Gespräche deuten auf einen dynamischeren Markt hin, in dem Preise und Margen allerdings unter starkem Druck stehen.

Die meisten oben genannten Faktoren sind nicht neu. Sie ergeben sich aus den Eigenschaften der jeweiligen Gebäude und aus dem Stand der Technik. Dessen ungeachtet wirkt sich der Preisverfall beim Material, insbesondere im Bereich der PV-Module, weit stärker auf die anfallenden Mehrkosten aus. Somit werden die geringeren Unsicherheiten bei den Anlagenkosten, die sich aus der Standardisierung der Technik und der gestiegenen Kompetenz der Installateure ergeben, durch diese Einflussfaktoren mehr als ausgeglichen.

9 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Kosten von 2'347 Photovoltaikanlagen entsprechend den Leistungen der Installateure analysiert. Die Daten wurden bei Installationsbetrieben, Planungsunternehmen und Bauherren erhoben. Mit entsprechender Schwerpunktsetzung, insbesondere auf die 2'126 Datensätze zu den angebauten Anlagen, konnte die Studie die Medianwerte der spezifischen Kosten nach Leistungsbereichen aufschlüsseln und eine geschlossene Bezugskurve bestimmen. Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Kosten analysiert. Es stellte sich auch heraus, dass es keinen für sich genommen herausragenden Faktor gibt und dass der Umfang der Datenbasis einen statistischen Ausgleich der einzelnen Faktoren ermöglicht.

Die Analyse der Kostenverteilung ergab eine Abhängigkeit dieser Verteilung von der Anlagenleistung. Unter anderem fällt der Modulpreis umso stärker ins Gewicht, je grösser die Leistung wird. Der auf die Arbeitskosten entfallende Anteil sinkt mit steigender Leistung. Zusammengenommen machen diese beiden Kostenbestandteile – unabhängig von der Leistung – rund 50 % der Gesamtkosten aus.

Aus dem Vergleich mit den im Rahmen der Marktbeobachtung 2018 erhobenen Daten ergab sich keinerlei signifikante Entwicklung der spezifischen Kosten, was die Stabilität des Marktes in diesem Zeitraum belegt. Der Medianwert der spezifischen Kosten in Abhängigkeit vom Leistungsbereich hat sich zwischen 2018 und 2019 nicht verändert.

Neben den direkt mit der Arbeit des Installateurs zusammenhängenden Kosten müssen die Bauherren gegebenenfalls auch eine Reihe zusätzlicher Kosten tragen, die den Gesamtpreis der Anlage in die Höhe treiben. Die Studie konnte zeigen, dass diese Kosten besonders bei mittelgrossen und grossen Anlagen stark zu Buche schlagen. Sie können die Gesamtkosten der Anlage um 5 % bis 50 % verteuern. Die tatsächlichen Kosten eines Photovoltaikprojekts entsprechen nicht den durch die Installationsbetriebe ausgewiesenen Preisen. Eine vollständige Analyse muss auch die genannten Nebenkosten mit einbeziehen. Projekte mit ZEV oder auf Carports installierte Anlagen bringen noch weitere Mehrkosten mit sich.

Die vorliegende Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie ermöglichte eine vollständige – sowohl qualitative als auch quantitative – Untersuchung der Kosten der im Jahr 2019 in der Schweiz errichteten Photovoltaikanlagen. Um den Gehalt der Analyse in den kommenden Jahren weiter zu verbessern, wäre es wichtig, eine gleichbleibende Anzahl Datensätze und insbesondere mehr Einzelheiten über die Anlagen zu erhalten. Tatsächlich konnten gewisse Faktoren aufgrund fehlender Informationen in den betreffenden Datensätzen nicht vollständig analysiert werden. Darüber hinaus wäre es wichtig, auch über die bekannte Kostenverteilung ein Höchstmass an Daten zu erhalten. Ideal für die Analyse wäre schliesslich die Erhebung einer ausreichenden Datenbasis mit Angabe der Nebenkosten, damit diese in der Gesamtbetrachtung und für die Erstellung einer Bezugskurve herangezogen werden können, um den Bauherren somit statistische Daten zu den tatsächlichen Kosten von Photovoltaikprojekten zur Verfügung zu stellen.

10 Danksagungen

Wir danken allen Unternehmen und Privatpersonen, die uns bei der Erhebung der Daten unterstützt haben. Vor allem danken wir allen Installationsbetrieben, Planungsunternehmen und Bauherren, die mit den durch sie bereitgestellten Daten indirekt zu diesem Bericht beigetragen haben. Der vorliegende Bericht wäre insbesondere ohne jene, die viel Zeit in die Zusammenstellung der Merkmale der jeweiligen Photovoltaikanlagen investiert haben, und jene, die uns die Einzelheiten zu den Anlagenkosten übermittelt haben, nicht möglich gewesen.

Wir danken auch den Bauherren, die sich die Zeit genommen haben, gemeinsam mit uns die Gesamtkosten ihrer Photovoltaikanlage zu berechnen und dabei auch die Nebenkosten zu ermitteln, die zusätzlich zu den durch die Installateure in Rechnung gestellten Kosten entstanden sind.

Und schliesslich danken wir auch MER Dr. Olivier Sauter, Ing. Phys. EPFL, für seine Mithilfe bei der Erstellung des Programms für die Ermittlung der Bezugskurven.