

Abschlussbericht, 30. Juni 2021

Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2020

Autoren

Guillaume Leguay, Planair SA

Yannick Sauter, Planair SA

Florent Jacqmin, Planair SA

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung der Studie	5
2.	Erhebung und Herkunft der Daten	7
2.1	Methodik.....	7
2.2	Repräsentativität des Marktes	7
2.3	Rahmen der Studie	8
2.4	Statistiken zur Verteilung der Daten	8
2.5	Statistische Untersuchung der für die Datensätze erhobenen Merkmale	10
3.	Analyse der Daten.....	13
3.1	Aufdach-PV-Anlagen – Integrierte Anlagen.....	14
3.2	Relevanz der SOC-Daten	15
3.3	Verschiedene Vergleiche	17
3.3.1	Vergleich der Offerten und Rechnungen:	17
3.3.2	Vergleich der bestehenden und neuen Gebäude:	17
3.3.3	Vergleich der Kosten von Anlagen mit eingeschlossener bzw. nicht eingeschlossener Baustellenabsicherung.....	18
3.3.4	Vergleich der verschiedenen Wechselrichtertypen:	20
3.3.5	Vergleich der verschiedenen Dacharten:.....	21
3.3.6	Schlussfolgerungen aus den verschiedenen Vergleichen	23
4.	Gesamtergebnisse	25
4.1	Bezugskurve	25
4.2	Statistische Verteilung der spezifischen Kosten nach Leistungsbereich.....	30
4.3	Diskussion.....	31
5.	Kostenverteilung.....	33
5.1	Gesamtüberblick	33
5.2	Detaillierte Betrachtung.....	34
6.	Entwicklung im Zeitverlauf	37
7.	Nebenkosten und tatsächliche Kosten.....	40
7.1	Nebenkosten	40
7.2	Auswirkungen auf verschiedene Projektarten	42
7.3	Zusammenfassung	43

8.	Kostenbeeinflussende Faktoren	45
9.	Zusammenfassung	49
10.	Danksagungen	50

1. Zusammenfassung der Studie

Der Schweizer Photovoltaikmarkt befindet sich – übereinstimmend mit der weltweiten Situation – bereits seit einigen Jahren im Aufschwung. Die Anzahl neuer Solarstromanlagen 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 Solarstromanlagen (PV-Anlagen) analysiert und bei der Betrachtung der Gesamtkosten sämtliche für die Projektrealisierung erforderlichen Parameter berücksichtigt. Die Studie besteht aus zwei Teilen. Eine erste Analyse befasst sich mit den Kosten der von Installationsbetreibern erbrachten Leistungen; diese beinhalten den Einkauf des Materials und den Arbeitsaufwand bis zur Inbetriebnahme. Dieser Teil umfasst die Kapitel 2 bis 6 und basiert auf dem umfangreichen Datenbestand der Installationsbetriebe. Der zweite Teil der Studie analysiert diejenigen Kosten, die nicht durch die Installationsbetriebe in Rechnung gestellt werden, wie Planungskosten oder Architektenhonorare, und soll dazu dienen, die tatsächlichen Kosten abzuschätzen, die der Bauherr einer Solarstromanlage 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 3'533 Datensätze erhoben. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf den 3'088 Datensätzen, die Aufdach-PV-Anlagen betreffen. Die Analyse der kostenbeeinflussenden Faktoren ergibt keinen Faktor, der besonders herausragen und die globalen Daten verfälschen würde. Somit konnten alle Datensätze beibehalten werden, was aufgrund des Volumens einen statistischen Ausgleich der unterschiedlichen Faktoren ermöglichte. Es zeigt sich ein allgemeiner Trend zu einer sehr starken Abnahme der spezifischen Kosten (CHF/kWp) bei Anlagen mit sehr geringer Leistung (< 10 kWp), während bei Anlagen mit grosser Leistung (> 300 kWp) die Kurve sehr flach ausfällt.

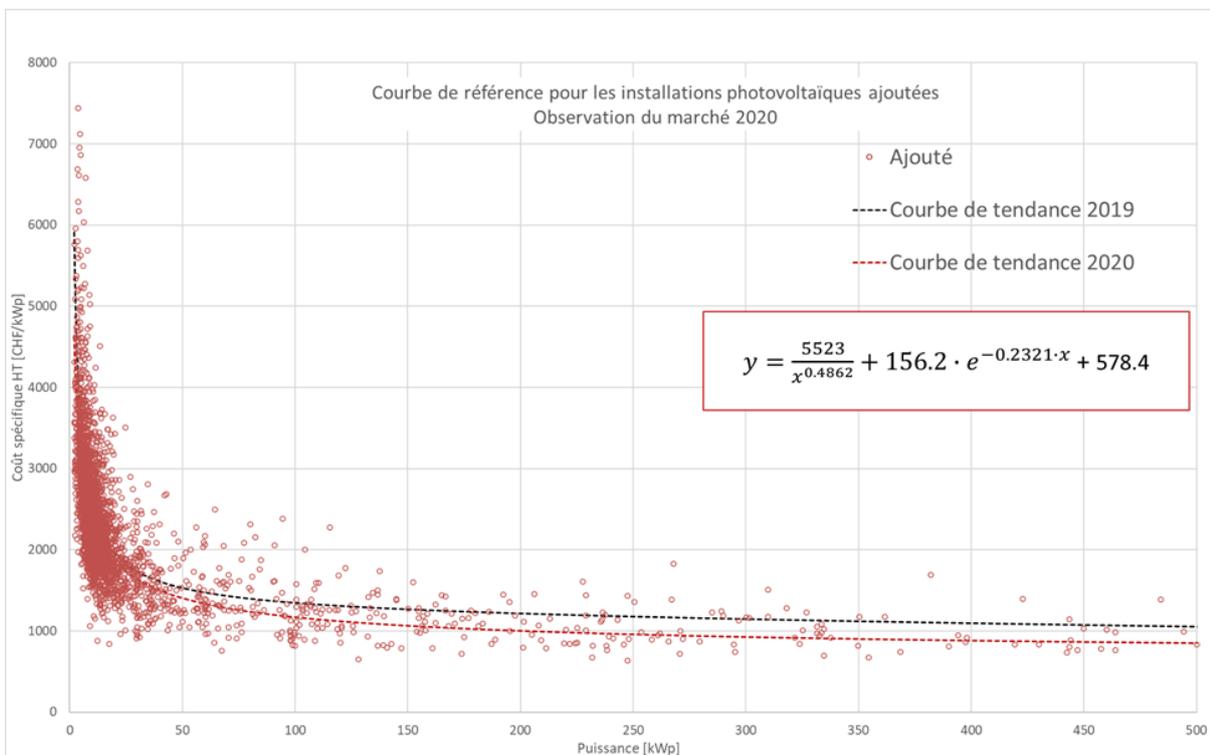


Abbildung 21: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdach-PV-Anlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 500 kWp.

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).

Der Vergleich mit den im Rahmen der Marktbeobachtung 2019 erhobenen Daten zeigt, dass die Preise in allen betrachteten Leistungsbereichen gesunken sind. Aus der Analyse der Kostenverteilung ergibt sich eine Abhängigkeit dieser Verteilung von der Anlagenleistung (siehe Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22): Unter anderem gewinnen die Modulkosten mit steigender Leistung immer mehr an Bedeutung, während der Arbeitskostenanteil in etwa stabil bleibt. Zusammengenommen machen diese beiden Kostenbestandteile – unabhängig von der Leistung – mindestens 50 % der Gesamtkosten aus.

Neben den Kosten der Leistungen von Installationsbetrieben 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 Kosten für die Projektverwaltung, externe Planungskosten, die Geschäftskosten, die Architekturkosten und gegebenenfalls auch Kosten für statische und Dichtheitsgutachten. Besonders bei mittelgrossen und grossen Anlagen schlagen diese Kosten stark zu Buche. Sie können die Gesamtkosten der Anlage um 5 % bis 50 % verteuern. Die tatsächlichen Kosten eines Photovoltaikprojekts entsprechen nicht einfach den durch die Installationsbetriebe ausgewiesenen Preisen. Eine vollständige Analyse muss auch die genannten Nebenkosten mit einbeziehen. Spezielle Projekte, wie beispielsweise ZEV-Projekte (Zusammenschlüsse für den Eigenverbrauch) oder Projekte, für die erst eine Trägerstruktur (z. B. Carport) errichtet werden muss, führen zu weiteren Mehrkosten.

2. Erhebung und Herkunft der Daten

Der vorliegende Bericht analysiert Daten, die im Rahmen der Photovoltaikmarkt-Preisbeobachtungsstudie 2020 erhoben wurden. Die betreffenden Daten beziehen sich auf sämtliche Kosten für Leistungen, die Installationsbetriebe bei schlüsselfertigen Solarstromanlagen erbringen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Analysen und Diskussionen in den Kapiteln 2 bis 6.

2.1 Methodik

Die Studie basiert auf im Jahr 2020 erstellten Offerten und Rechnungen für Solarstromanlagen. Ein Teil dieser Daten wurde im Rahmen einer Befragung von Installationsbetrieben erhoben (für insgesamt **1'833** Anlagen). Der verbleibende Teil der Daten stammt aus Offerten aus dem von EnergieSchweiz angebotenen Service «Solar-Offerte-Check» (Vergleich von Solaranlagen-Offerten durch die Experten von EnergieSchweiz), die sich im Wesentlichen auf Anlagen mit einer Leistung unter 30 kWp beziehen. Aus dem «Solar-Offerte-Check» stammen **1'699** einzelne Datensätze (im Folgenden mit «SOC» gekennzeichnet). Somit ergibt sich eine Gesamtzahl von **3'533** Datensätzen, die für diese Studie herangezogen wurden. Da im Jahr 2020 aufgrund der COVID-Situation nur wenige Daten zur Verfügung standen, wurden im Gegensatz zum Vorjahr keine Daten aus Sammelausschreibungen (SA), mit denen die Gemeinden die Errichtung von Solarstromanlagen fördern, in die vorliegende Studie aufgenommen.

2.2 Repräsentativität des Marktes

Der Vergleich der vorliegenden Studie mit der jährlich von Swissolar durchgeführten Markterhebung Sonnenenergie liefert interessante Ergebnisse. Da beide Berichte parallel herausgegeben werden, schlagen wir vor, die Daten aus der Markterhebung Sonnenenergie 2019 von Swissolar² mit den Preisbeobachtungsstudien 2019 und 2020 zu vergleichen. Es ist zu erkennen, dass die beobachteten Marktpreisverteilungen nahe an den durch Swissolar erhobenen tatsächlichen Daten liegen, obwohl die Daten im Bereich 100 bis 1000 kWp überrepräsentiert sind.

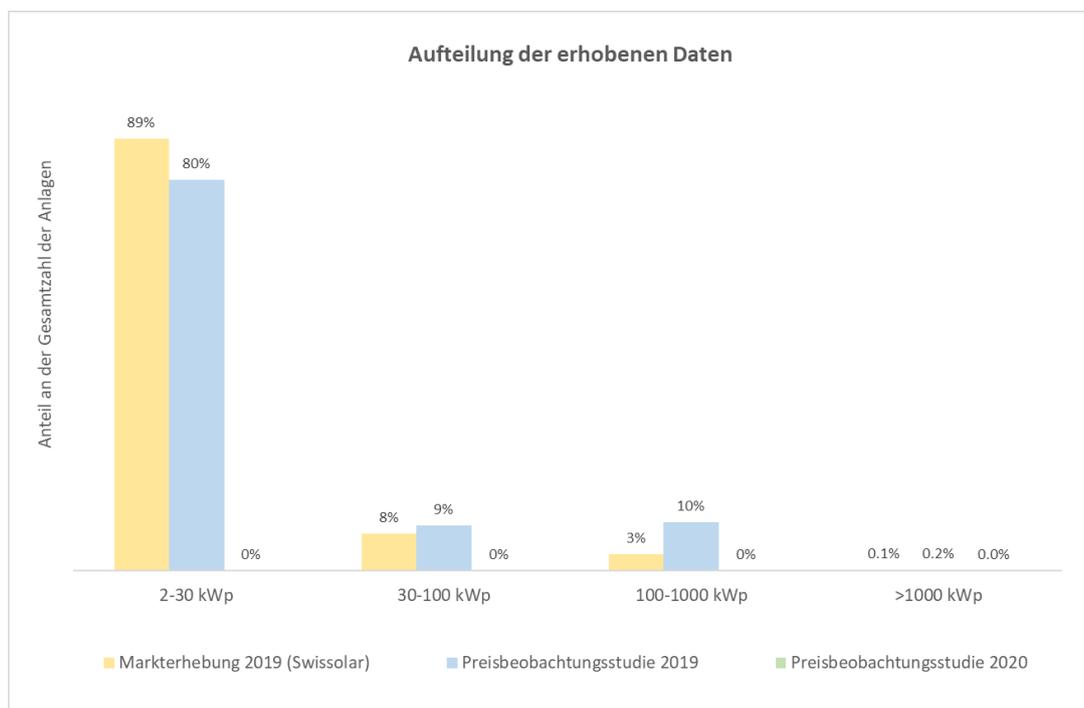


Abbildung 1: Prozentuale Aufteilung der insgesamt im Rahmen der durch Swissolar durchgeführten Markterhebung Sonnenenergie 2019 und der Preisbeobachtungsstudien 2019 und 2020 erhobenen Daten.

² Die Markterhebung 2020 war zum Zeitpunkt dieser Studie noch nicht veröffentlicht.

Im Jahr 2019 gingen 15'580 Solarstromanlagen ans Netz. Unter Berücksichtigung der um 12 % gestiegenen Anlagenzahl (entspricht dem Wachstum zwischen 2017 und 2018 sowie zwischen 2018 und 2019) und der Annahme, dass lediglich ein Viertel der Offerten auch als Auftrag ausgeführt werden, würden die in der vorliegenden Studie erhobenen Daten rund 10 % des Gesamtmarktes 2020 abdecken.

2.3 Rahmen der Studie

Die Studie bezieht sich auf Solarstromanlagen mit den unten genannten Merkmalen. Die Gesamtkosten der einzelnen Anlagen beinhalten die nachfolgend aufgeführten Elemente, sofern sie in den Leistungen von Installationsbetrieben 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 2020 errichtet wurden, sowie auf im Jahr 2020 erstellten Offerten.
- Die Studie berücksichtigt ausschliesslich Solarstromanlagen 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.

In den Installationskosten der Solarstromanlagen enthaltene Leistungen:

- Lieferung und Aufbau der elektrischen Komponenten von den Modulen bis zum (inklusive) Netzanschlussstrennschalter des Gebäudes, einschliesslich der Zubehöerteile (Kabelrinnen und Kabelführungen, Elektrokästen)
- Lieferung und Aufbau des Modulbefestigungssystems einschliesslich allfälliger Beschwerung und Befestigungselemente auf dem Dach
- Lieferung und Installation des Monitoringsystems (Erzeugung und/oder Verbrauch)
- Planungsaufwand des Solartechnik-Installationsbetriebs einschliesslich der behördlichen Formalitäten sowie der Ausführungs- und Betriebsunterlagen
- Lieferung und Aufstellung der Baustellenabsicherung (Absturzsicherung und Sicherung des Dachzuges) 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 der Verbraucher (z. B. Wärmepumpe oder Haushaltsgeräte)
- Anpassungsarbeiten am Gebäude: Dachrenovierung, statische Verstärkungen, Verstärkung des elektrischen Netzes, Versetzung der bestehenden Schalttafeln in einen normgerechten Zustand
- Bei integrierten Systemen: Unterkonstruktion der Solarstromanlage (Unterspannbahn, Konterlattung) sowie Spenglerarbeiten rund um das Modulfeld

2.4 Statistiken zur Verteilung der Daten

Die herangezogenen Daten stammen von Installationsbetrieben: Antworten aus der Befragung und den Solar-Offerte-Checks (SOC) (Abbildung 2). Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Datensätze auf alle Leistungsbereiche zwischen 2 kWp und 2'300 kWp. Sie entspricht der Leistungsverteilung der gemäss Swisolar-Erhebung 2019 tatsächlich realisierten Anlagen (siehe Kapitel 2.2). Abbildung 4 zeigt die Verteilung der Daten auf die gesamte Schweiz.

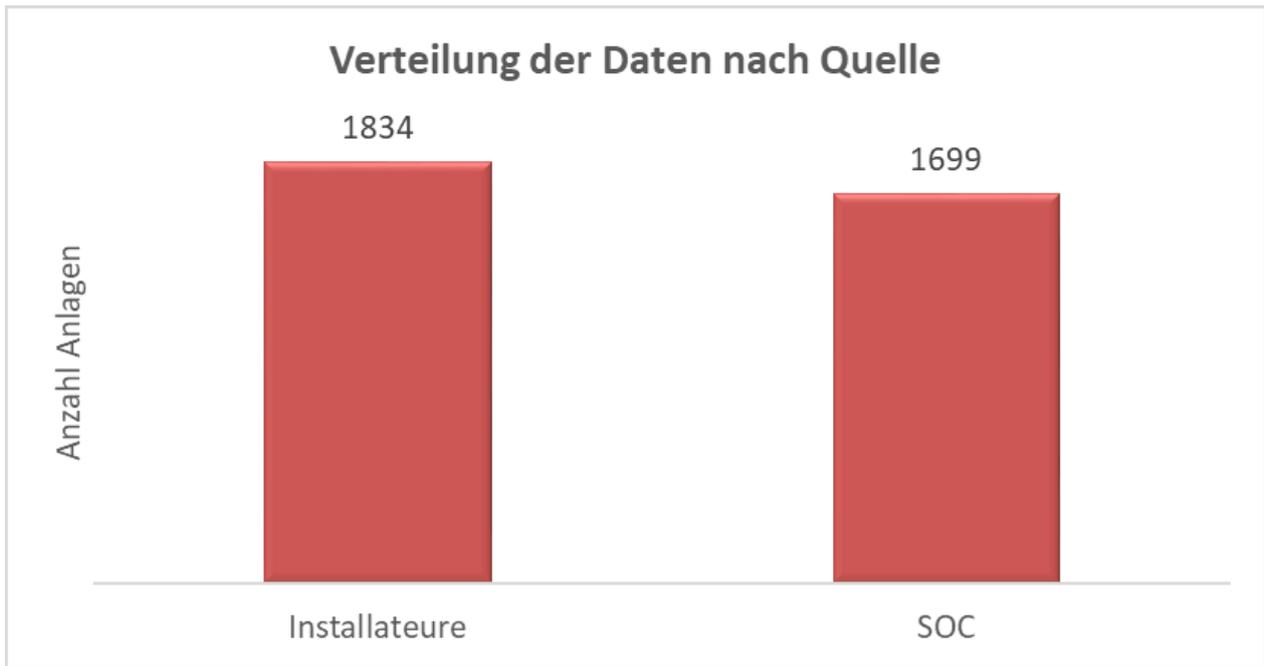


Abbildung 2: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Quelle. «SOC» entspricht den im Rahmen des Solar-Offerte-Checks eingegangenen Angeboten.

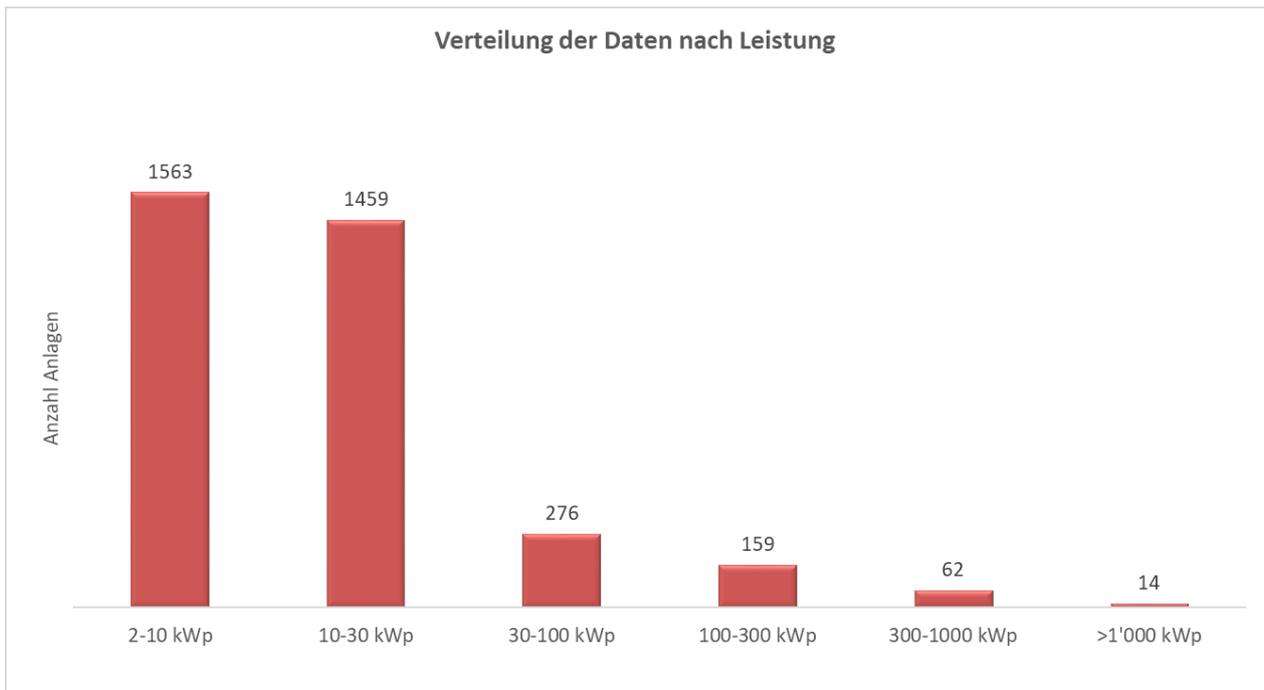


Abbildung 3: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Leistungsbereich.

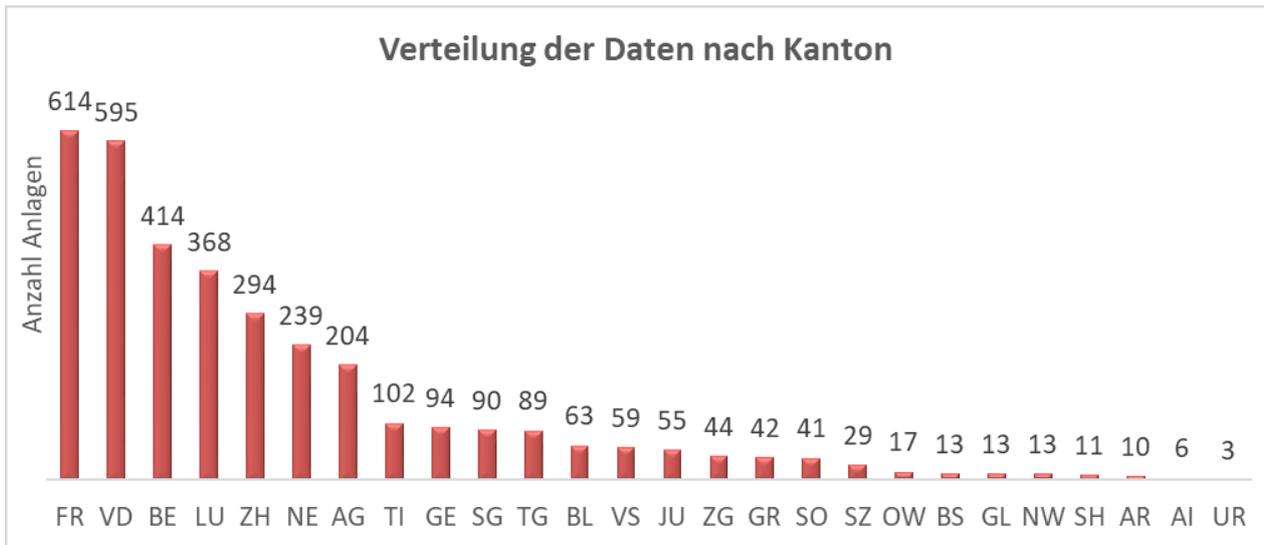


Abbildung 4: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Kanton (Standort der Anlagen).

2.5 Statistische Untersuchung der für die Datensätze erhobenen Merkmale

Neben der Leistung und den Gesamtkosten wurden bei der Befragung und den SOC noch weitere Daten zu den Anlagen erhoben. Dabei ging es darum, Aufdach-PV-Anlagen 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 im gesamten Leistungsbereich für die Datensätze erhobenen Merkmale ein.

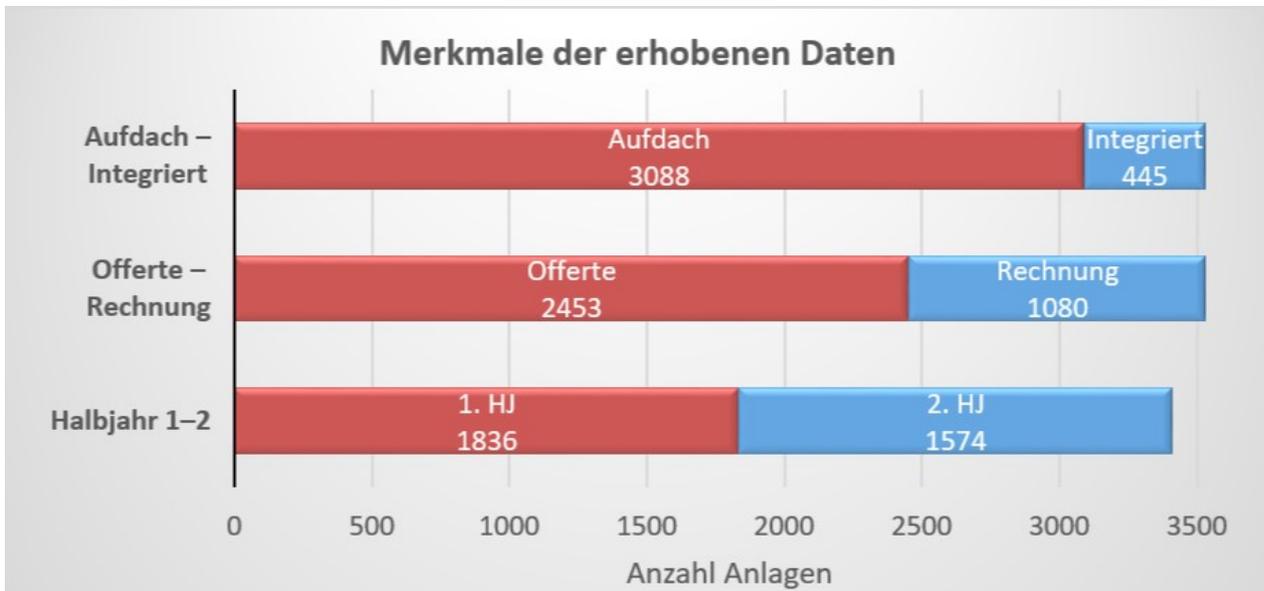


Abbildung 5: Erforderliche Merkmale, die für jede Anlage anzugeben waren. Die meisten eingegangenen Datensätze beziehen sich auf Offerten sowie auf Aufdach-PV-Anlagen.

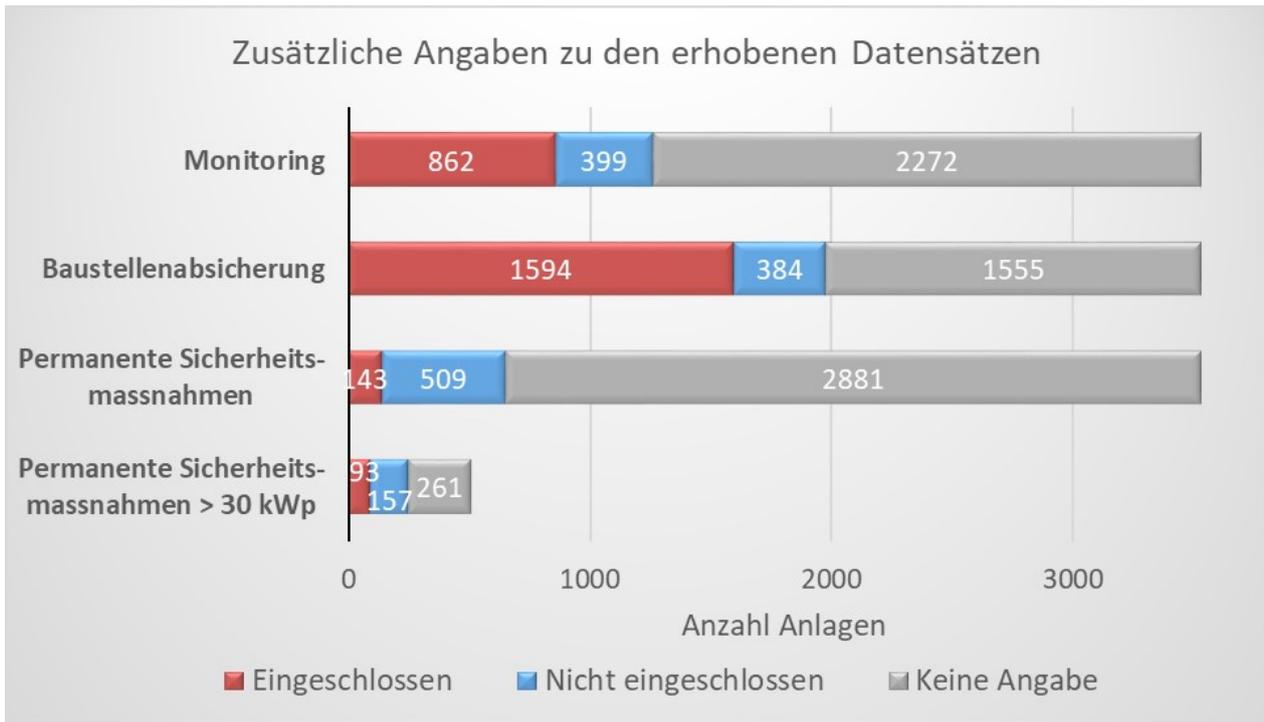


Abbildung 6: Optional anzugebende Merkmale, die angeben, ob das Monitoring, die Baustellenabsicherung oder permanente Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen und Installationskosten der untersuchten Solarstromanlagen enthalten waren. Die Angaben in den ersten drei Zeilen beziehen sich auf alle Anlagen (Aufdach-PV-Anlagen und integrierte Anlagen, 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.

Im Vergleich zu den Werten von 2019 ist eine geringere Verwendung von Modulwechselrichtern zu verzeichnen. Der Anteil der Anlagen, bei denen Wechselrichter mit Leistungsoptimierern zum Einsatz kommen, hat dagegen zugenommen.

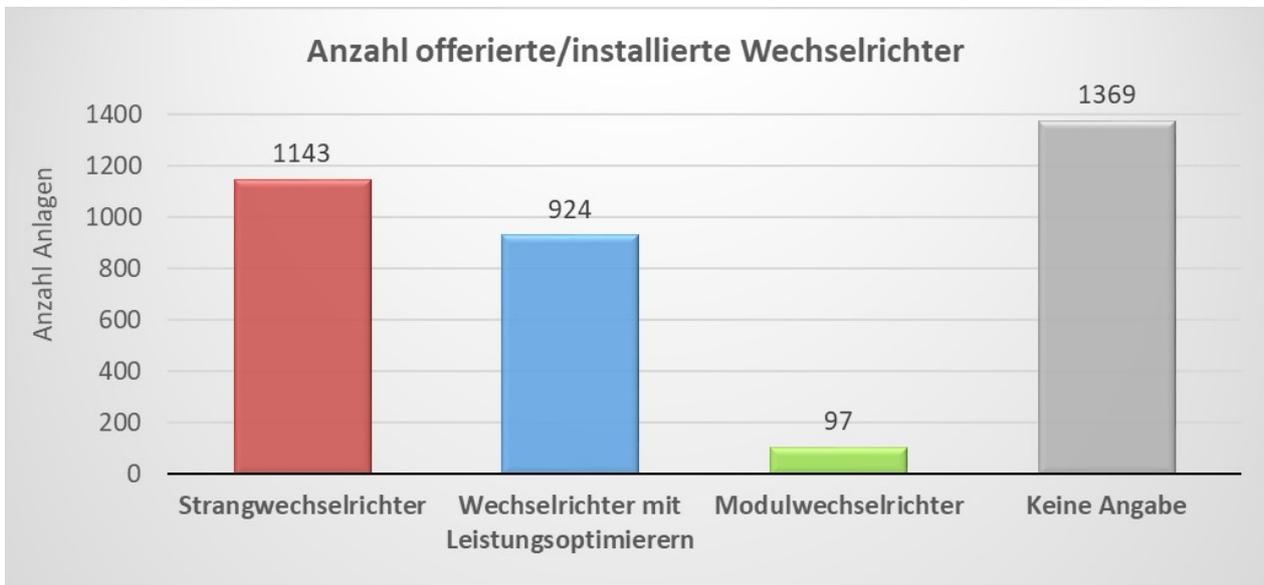


Abbildung 7: Für 2'164 Anlagen, das sind 61 % der erhobenen Datensätze, wurde der Typ der offerierten oder installierten Wechselrichter angegeben. Unter diesen Anlagen verwendeten 53 % Strangwechselrichter (2019: 48 %), 43 % Leistungsoptimierer (2019: 39 %) und 4 % Modulwechselrichter (2019: 13 %).

Der im Rahmen der erhobenen Daten genannte Neubautenanteil ist sehr hoch und gibt offensichtlich nicht die tatsächliche Verteilung der Anlagen auf neue und bestehende Gebäude wieder. Die erhobenen Daten stammen mehrheitlich aus dem Kanton Waadt, wo Solarstromanlagen auf Neubauten vorgeschrieben sind.

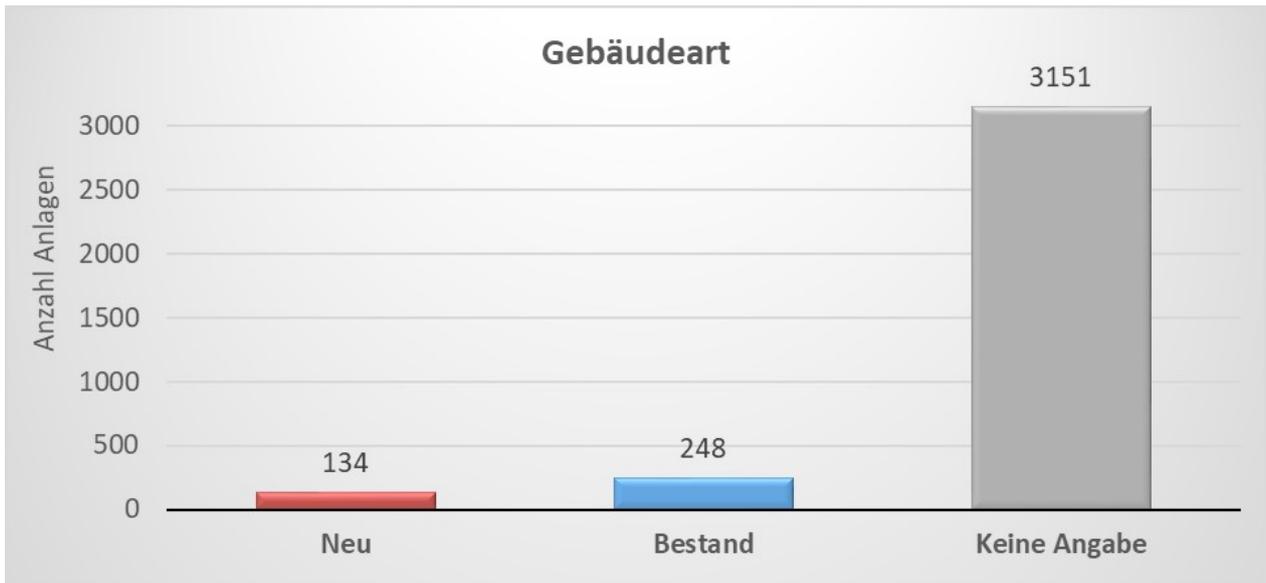


Abbildung 8: Für 382 Anlagen (11 %) wurde die Gebäudeart angegeben. In 65 % dieser Fälle wurde die Anlage an einem bestehenden Gebäude angebracht oder war dafür vorgesehen.

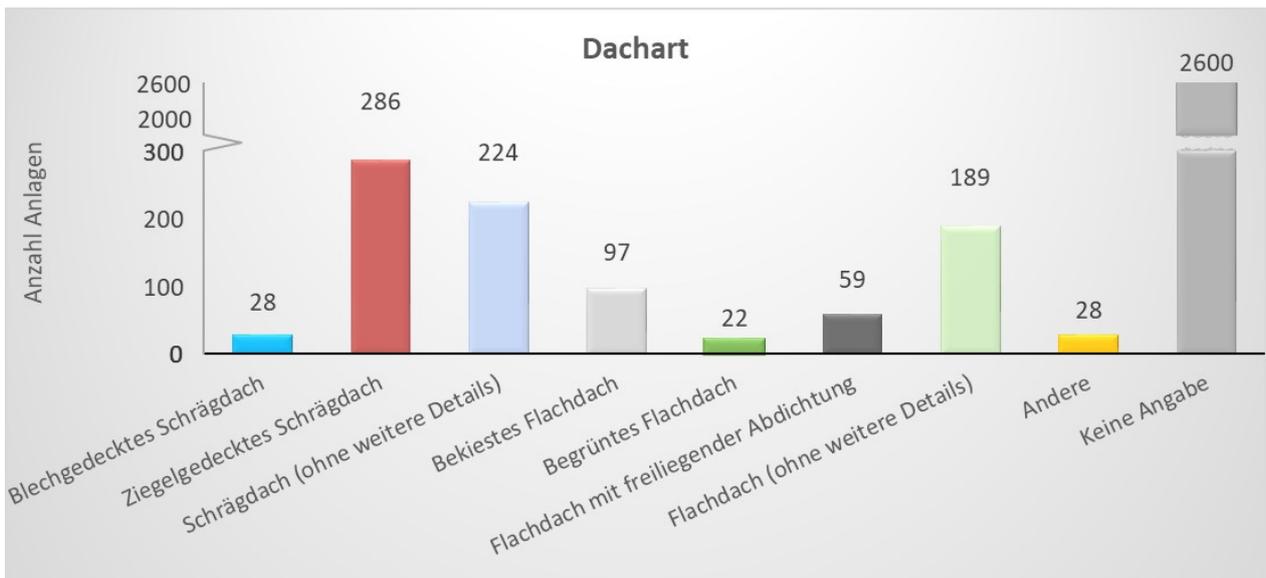


Abbildung 9: Die Art des Gebäudedachs wurde für 933 Anlagen (26 %) angegeben. 58 % waren Schrägdächer, 38 % Flachdächer.

3. Analyse der Daten

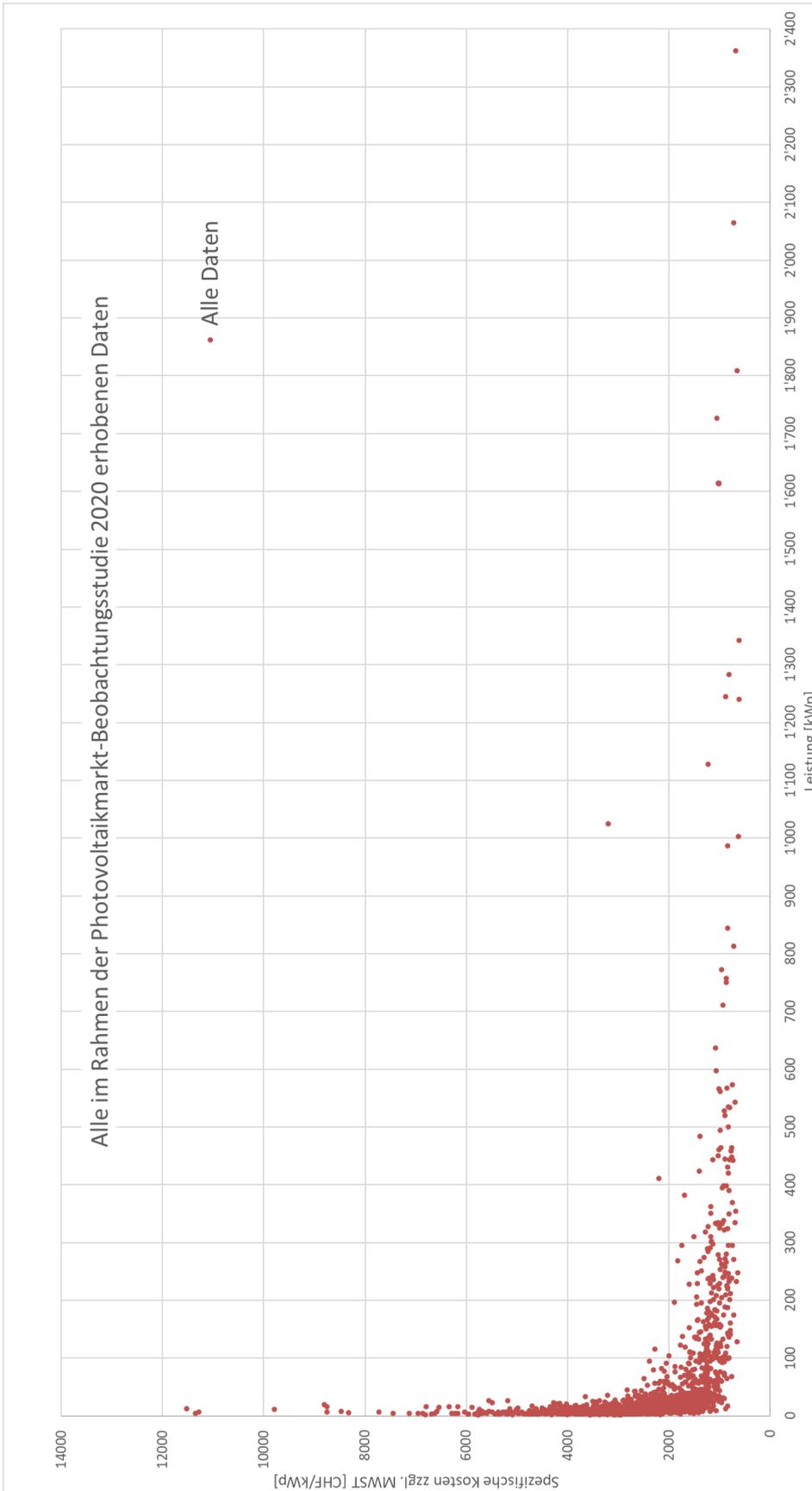


Abbildung 10: Darstellung der 2'347 für die Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019 erhobenen Datensätze mit den spezifischen Kosten zzgl. MWST (in CHF/kWp) der einzelnen Anlagen.

3.1 Aufdach-PV-Anlagen – Integrierte Anlagen

Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die Unterschiede der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen und integrierten Anlagen. Der dargestellte Leistungsbereich ist auf 2 bis 500 kWp eingeschränkt, weil nur eine einzige integrierte Anlage ausserhalb dieses Bereichs liegt. Dabei handelt es sich um eine Anlage mit 3'200 CHF/kWp bei einer Leistung von 1'024 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 Aufdach-PV-Anlagen. Tatsächlich liegen die spezifischen Kosten mancher dieser Anlagen unter dem Mittelwert der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen. Insgesamt gesehen sind integrierte Anlagen jedoch logischerweise teurer als Aufdach-PV-Anlagen. Die Daten scheinen sich in zwei Punktwolken aufzuteilen, woraus sich zwei Trends ergeben. Dies ist möglicherweise auf Unterschiede zwischen Anlagen zurückzuführen, die auf renovierten oder nicht renovierten Dächern installiert werden. Die Kosten der integrierten Anlagen lassen sich nur schwer analysieren, da es in Bezug auf die Leistungen von Installationsbetrieben an Kontrolle bzw. Vereinheitlichung fehlt. Die Arbeitsteilung zwischen Dachdecker und Solar-technik-Installateur ist flexibler und der jeweilige Leistungsumfang ist von Projekt zu Projekt unterschiedlich. Die in Abbildung 11 und Abbildung 12 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 3'088 Aufdach-PV-Anlagen.

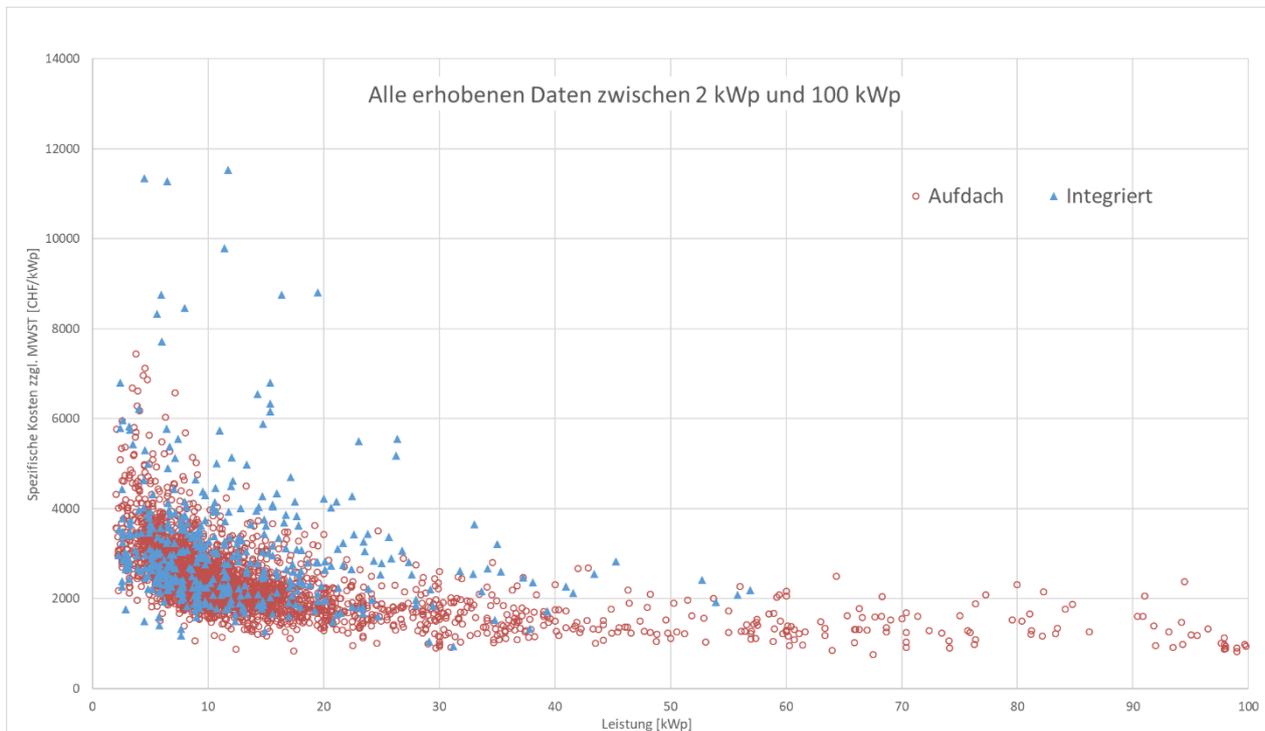


Abbildung 11: Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbereich 2 bis 100 kWp, mit Unterscheidung zwischen Aufdach-PV-Anlagen und integrierten Anlagen.

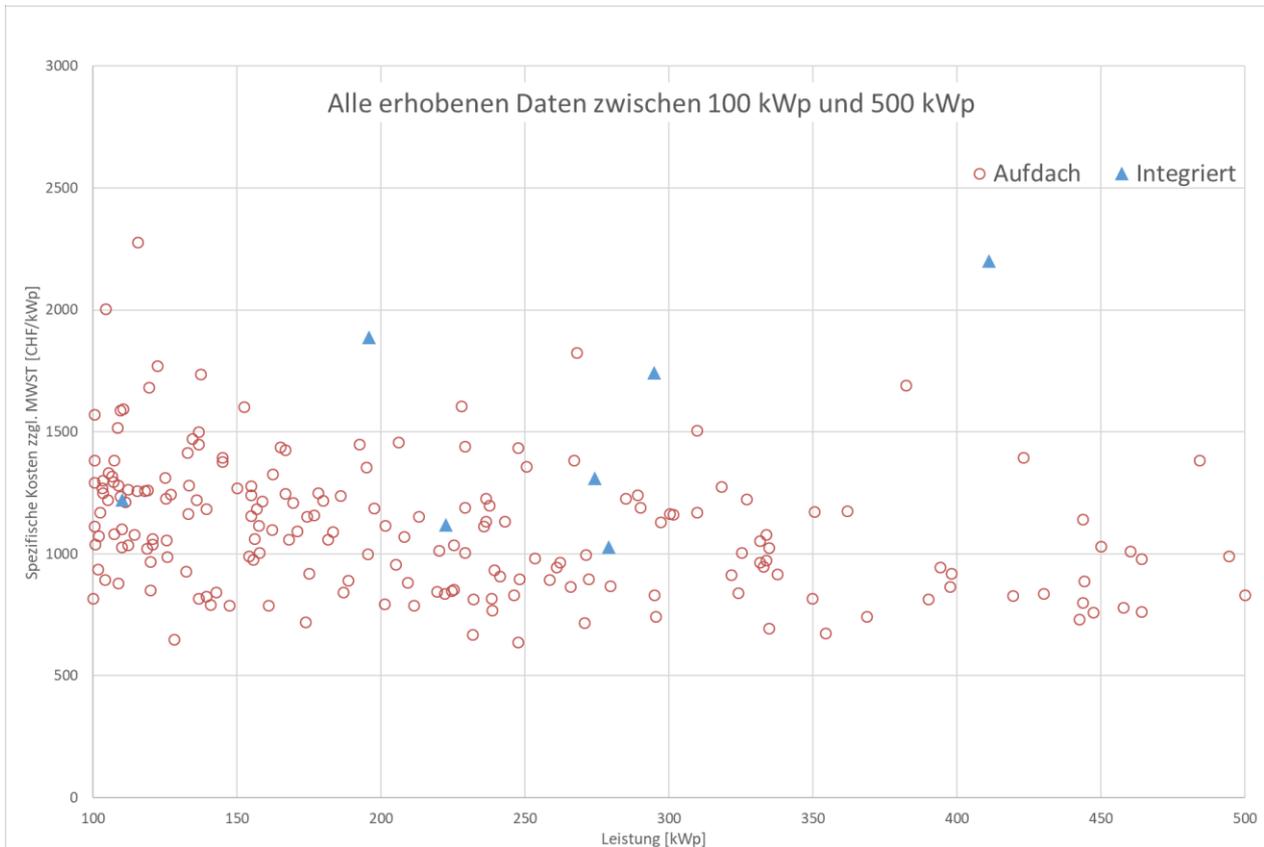


Abbildung 12: Darstellung der Daten mit Einschränkung auf den Leistungsbereich 100 bis 500 kWp, mit Unterscheidung zwischen Aufdach-PV-Anlagen und integrierten Anlagen.

3.2 Relevanz der SOC-Daten

Die aus dem Solar-Offerte-Check (SOC) stammenden Daten von verschiedenen Installationsbetrieben können nicht kontrolliert werden und könnten den Rahmenbedingungen der Studie (d. h. den in Kapitel 2.3 Rahmen der Studie für Solarstromanlagen definierten Leistungen) nicht entsprechen. In diesem Absatz soll die Relevanz der beiden Datenquellen validiert werden.

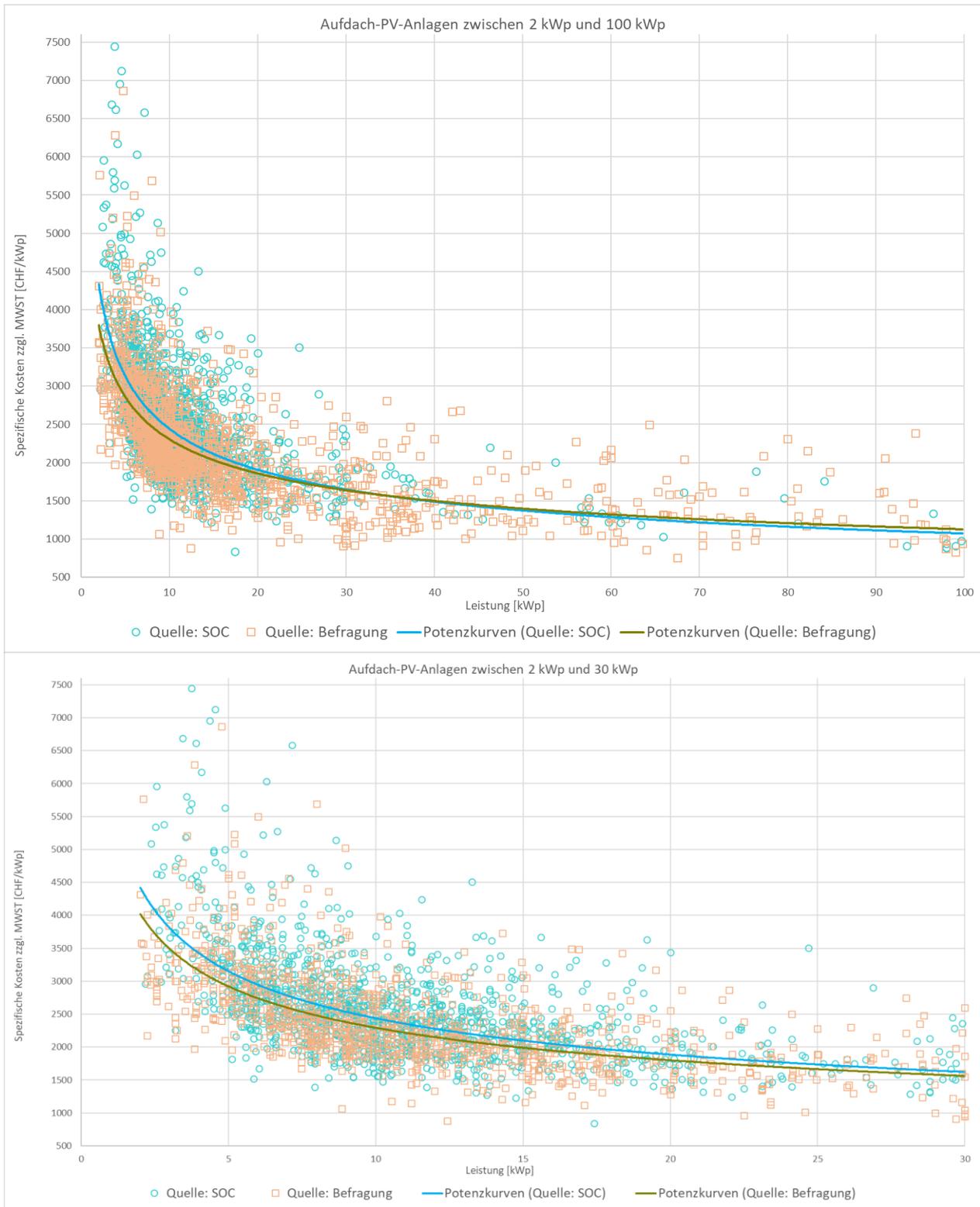


Abbildung 13: Vergleich der Kosten von Aufdach-PV-Anlagen nach Quelle: Daten aus dem Solar-Offerte-Check und direkt durch Installationsbetriebe bereitgestellte Daten. Die beiden Trendlinien wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion und der Option «Potenzkurve» erstellt.

Die SOC-Daten befinden sich zu 97 % im Bereich zwischen 2 und 30 kWp (rund 1'600 Datensätze). Auf den Bereich 30 bis 100 kWp entfallen rund 50 Datensätze (sowie 8 auf höhere Bereiche). Im Rahmen der Befragung wurden rund 1'400 Datensätze für den Bereich 2 bis 30 kWp sowie 230 Datensätze für den Bereich 30 bis 100 kWp erhoben.

Abbildung 13 zeigt, dass die Punktwolken aus den beiden Quellen übereinstimmen; sowohl die Konzentration als auch die Streuung ähneln sich. Die SOC-Daten scheinen jedoch breiter gestreut zu sein als die Daten aus der Befragung.

Abbildung 13 zeigt zusätzlich zwei Trendlinien. Diese wurden mit der Excel-Funktion «Trendlinie – Option Potenzkurve» erstellt. Die beiden Kurven liegen dicht beieinander, was die Konsistenz der Daten bestätigt. Allerdings liegt die SOC-Kurve bei den Datensätzen zwischen 2 und 15 kWp um rund 10 % höher. Diese Abweichung ist wahrscheinlich auf die mangelnde Homogenität der mittels SOC erhobenen Daten in diesem Leistungsbereich zurückzuführen.

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

3.3 Verschiedene Vergleiche

3.3.1 Vergleich der Offerten und Rechnungen:

Die Vergleichsanalyse zwischen Offerten und Rechnungen entfällt aufgrund der geringen Repräsentativität der eingegangenen Daten.

Es ist oft festzustellen, dass die Eigentümer zwei bis drei Offerten für ihre Anlage einholen und die preiswerteste auswählen, die dann der Rechnung entspricht. Dies passt im Übrigen zu der Tatsache, dass wir 2,5 Mal so viele Offerten als Rechnungen erhalten haben. Bei den kleinen Anlagen liegen die Rechnungsbeträge somit im Allgemeinen unter den offerierten Preisen. Dieser Trend schwächt sich hin zu grösseren Anlagen ab, ohne sich jedoch umzukehren. Dies liegt möglicherweise daran, dass bei diesen Anlagen im Verlauf der Bauarbeiten eher Zusatzoptionen genutzt werden, die sich als Mehrkosten in der Rechnung niederschlagen.

Sollte sich dieser Trend in der Realität bestätigen, wäre die in diesem Bericht gezeigte Bezugskurve, in die Rechnungen und Offerten einfließen, hinsichtlich der tatsächlichen Marktkosten wohl etwas zu pessimistisch.

3.3.2 Vergleich der bestehenden und neuen Gebäude:

Abbildung 14 vergleicht Anlagen auf bestehenden Gebäuden mit Anlagen auf Neubauten. Unterhalb von 30 kWp liegt die Trendlinie für Neubauten unterhalb der Kurve der Gesamtdaten. Darüber liegen zu wenige Daten vor, um einen konsistenten Trend zu bestimmen. Die Kurve für Bestandsgebäude deckt sich über den gesamten Leistungsbereich hinweg mit jener der Gesamtdaten.

Aus diesen Feststellungen lassen sich zwei Schlussfolgerungen ableiten. Zunächst sind Anlagen auf Neubauten um 10 bis 20 % preiswerter als Anlagen auf Bestandsgebäuden, was sich wahrscheinlich daraus ergibt, dass die Kosten, die beispielsweise für die Baustellenabsicherung oder bestimmte Verkabelungen und elektrische Anschlüsse anfallen, aufgeteilt werden. Zum Zweiten stammen praktisch alle erhobenen Daten von Anlagen auf bestehenden Gebäuden, was auch der tatsächlichen Situation entspricht.

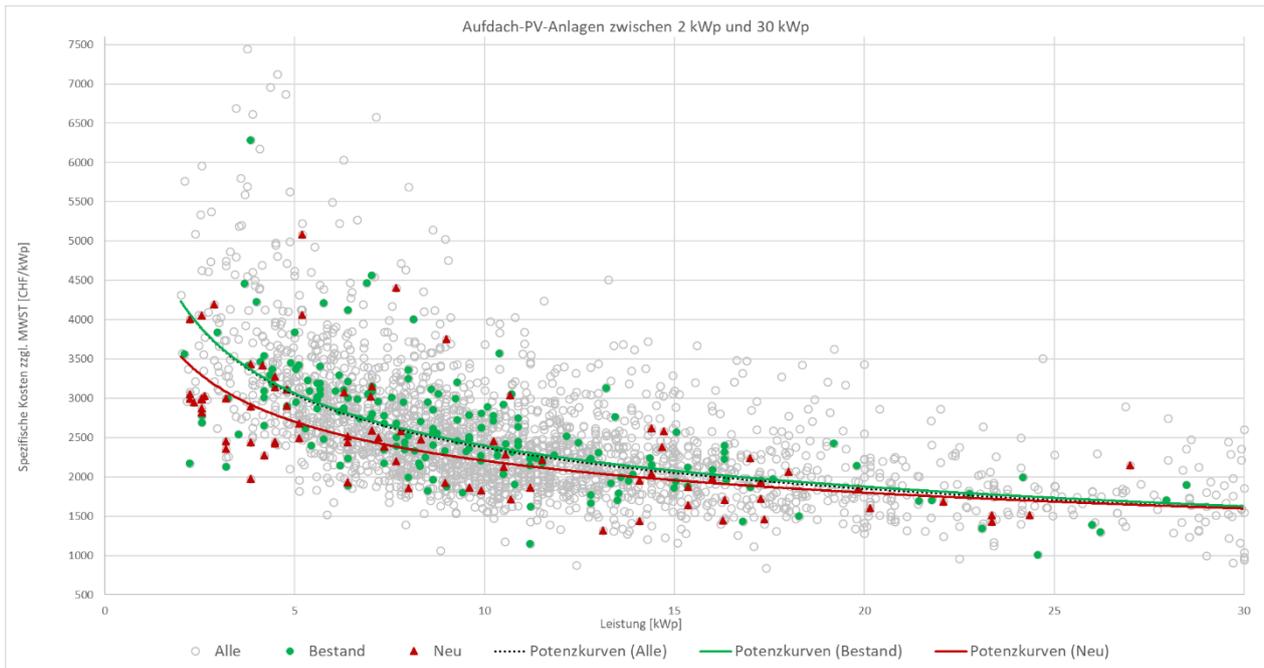


Abbildung 14: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen auf bestehenden und neuen Gebäuden. Die grauen Kreise stehen für alle Aufdach-PV-Anlagen und beinhalten auch Anlagen, für die keine Angaben zur Gebäudeart vorliegen. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

3.3.3 Vergleich der Kosten von Anlagen mit eingeschlossener bzw. nicht eingeschlossener Baustellenabsicherung

Abbildung 15 vergleicht die Preise von Solarstromanlagen, bei denen die Baustellenabsicherung in den Leistungen enthalten ist, mit jenen, bei denen dies nicht der Fall ist, und jenen, für die keine Angaben vorliegen. Von allen Datensätzen, für die diese Angabe vorliegt (56 % der erhobenen Daten), ist die Absicherung bei 81 % (1'594 von 1'978) in den Leistungen enthalten (in Abbildung 6 nicht sichtbar, da hier auch die integrierten Anlagen berücksichtigt sind). Dies scheint auch auf die Daten ohne diesbezügliche Angabe zuzutreffen, da die beiden Trendlinien (mit Baustellenabsicherung und allen Datenpunkten) sehr nahe beieinanderliegen. Bei Anlagen ohne Baustellenabsicherung (384 Anlagen) ergibt sich im Vergleich zur Gesamtheit der Daten bei kleinen Leistungen ein um rund 10 % geringerer Preis. Diese Differenz ist bei mittleren Leistungen geringer und bei hohen Leistungen nur noch klein. Das Ergebnis entspricht in jeder Hinsicht der Kostenverteilung (Kapitel 5.1), die den Anteil der Baustellenabsicherung bei kleinen Anlagen mit 10 % und bei grossen Anlagen mit 5 % beziffert.



Abbildung 15: Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen, bei denen die Baustellenabsicherung eingeschlossen ist, mit jenen, bei denen dies nicht der Fall ist. Die grauen Kreise stehen für alle Aufdach-PV-Anlagen und beinhalten auch Anlagen, für die keine Angaben zur Baustellenabsicherung vorliegen.

Wie Abbildung 16 zeigt, korrelieren die Anlagen auf neuen Gebäuden stark mit den Anlagen ohne Baustellenabsicherung: Bei 94 % (74 von 79) der Anlagen < 30 kWp auf Neubauten ist die Baustellenabsicherung nicht enthalten. Bei Anlagen > 30 kWp sind es sogar 100 %.

Zudem ist festzustellen, dass die betreffenden Trendlinien sehr eng beieinander liegen (Abbildung 14 und Abbildung 15).

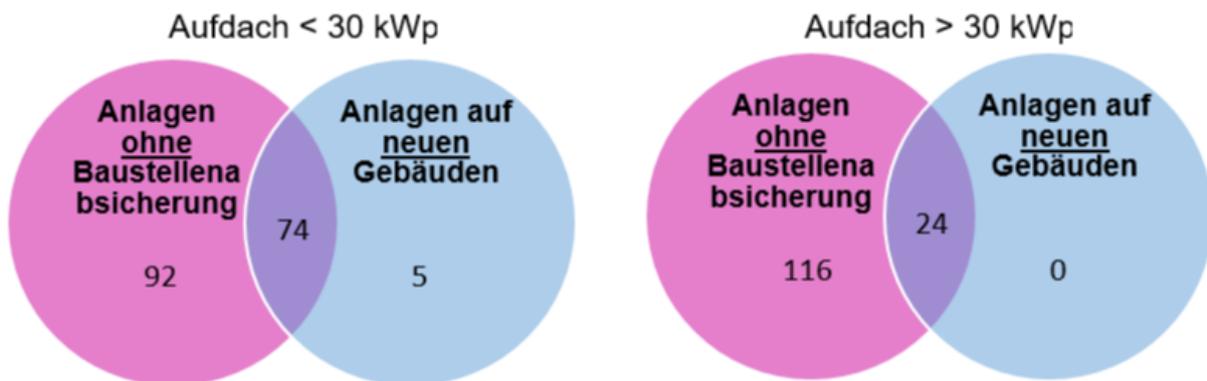


Abbildung 16: Schnittmengen zwischen Anlagen auf neuen Gebäuden und Anlagen ohne Baustellenabsicherung.

Wahrscheinlich sind neben der entfallenden Baustellenabsicherung noch weitere Faktoren für die bei Neubauten geringeren Kosten verantwortlich, beispielsweise eine koordinierte Bekiesung von Flachdächern, die nicht in den Leistungen für die Solarstromanlage enthaltenen permanenten Sicherheitsmassnahmen oder ein architektonischer Entwurf, der die Solarstromanlage bereits berücksichtigt (Installationskanäle und Kabelführungen schon vorgesehen). Umgekehrt müssen für einen ordnungsgemässen Ablauf

der Bauarbeiten auch Kostenfaktoren berücksichtigt werden, die nur sehr eingeschränkt in den Installationsrechnungen auftauchen, wie Koordinations- und Bauleitungskosten oder Architektenhonorare.

3.3.4 Vergleich der verschiedenen Wechselrichtertypen:

Abbildung 17 vergleicht die Preise von Solarstromanlagen in Abhängigkeit von der Art des/der offerierten bzw. installierten Wechselrichter(s) gemäss Offerte bzw. Rechnung.

Für Modulwechselrichter liegen 97 Datensätze vor, von denen lediglich ein einziger eine Leistung über 30 kWp aufweist (38 kWp). Alle übrigen liegen im Bereich zwischen 2 und 30 kWp. Für Leistungsoptimierer liegen 924 Datensätze im Bereich zwischen 2 und 1'200 kWp vor. Die Punktwolke endet jedoch bei etwa 100 kWp. Die Daten für Anlagen mit Strangwechselrichter(n) decken den gesamten Leistungsbe-
reich ab.

Die drei Trendlinien verlaufen im Bereich zwischen 2 und 30 kWp sehr ähnlich, mit einer praktisch überall gleichen Preisdifferenz. Anlagen mit Modulwechselrichtern sind rund 15 % teurer als Anlagen mit Strangwechselrichter(n). Anlagen mit Leistungsoptimierern sind zwischen 1 und 4 % teurer. Diese Werte stimmen mit der Beobachtung 2019 überein.

Jenseits von 30 kWp ist die Trendlinie für Modulwechselrichter nicht mehr aussagekräftig. Für Anlagen mit Leistungsoptimierern ist die Trendlinie bis etwa 100 kWp zuverlässig und zeigt ebenfalls Mehrkosten zwischen 1 und 4 % gegenüber Anlagen mit Strangwechselrichter(n) auf.

Die Daten jenseits von 300 kWp zeigen einige Anlagen mit Leistungsoptimierern, deren Preise deutlich über denen von Anlagen mit Strangwechselrichter(n) liegen. Diese Abweichung über 300 kWp deutet möglicherweise auf tatsächliche Mehrkosten für Anlagen mittlerer und hoher Leistung mit Leistungsoptimierern hin. Der Datenbestand ist für eine sichere Aussage jedoch nicht ausreichend.



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 der verschiedenen Dacharten:

Abbildung 18 und Abbildung 19 vergleichen den Preis von Solarstromanlagen in Abhängigkeit von der Dachart. Die Grafiken zeigen die statistisch repräsentativen Daten. Im vorliegenden Fall sind ziegelgedeckte Schrägdächer oberhalb von 30 kWp fast nicht vertreten (was verständlich sein dürfte, da diese

Dachart insbesondere bei Einfamilienhäusern verwendet wird). Das Gleiche gilt für begrünte Flachdächer und blechgedeckte Schrägdächer unterhalb von 30 kWp.

Die Datensätze mit der Angabe «Schrägdach (ohne weitere Details)» liegen fast alle unter 30 kWp und sind aufgrund fehlender weiterer Angaben in diesen Grafiken nicht enthalten. Es ist möglich, dass diese Gruppe mehrheitlich Anlagen auf ziegelgedeckten Schrägdächern umfasst. Die Datensätze mit der Angabe «Flachdach (ohne weitere Details)» verteilen sich auf den gesamten Bereich und es lässt sich auch hier kein besonderer Trend erkennen. Auch sie sind in den Grafiken nicht enthalten. Dächer der Kategorien «begrüntes Flachdach», «Flachdach mit freiliegender Abdichtung» und «bekiestes Flachdach» liegen in ausreichender Anzahl vor, um Trendlinien zu ermöglichen.

Unterhalb von 10 kWp reichen die Daten für die Ableitung eines Trends nicht aus. Zwischen 10 und 30 kWp ist jedoch festzustellen, dass die Trendlinie für Flachdächer mit freiliegender Abdichtung der Trendlinie für bekieste Flachdächer entspricht. Die Preise liegen hier um rund 15 % unter denen für ziegelgedeckte Schrägdächer. Die Mehrkosten bei Schrägdächern gegenüber Flachdächern erklären sich aus der gegenüber ziegelgedeckten Schrägdächern einfacheren Montage auf Flachdächern. Dadurch sind die Arbeitskosten bei Flachdächern geringer, allerdings fallen leicht erhöhte Kosten für das Tragwerk an.

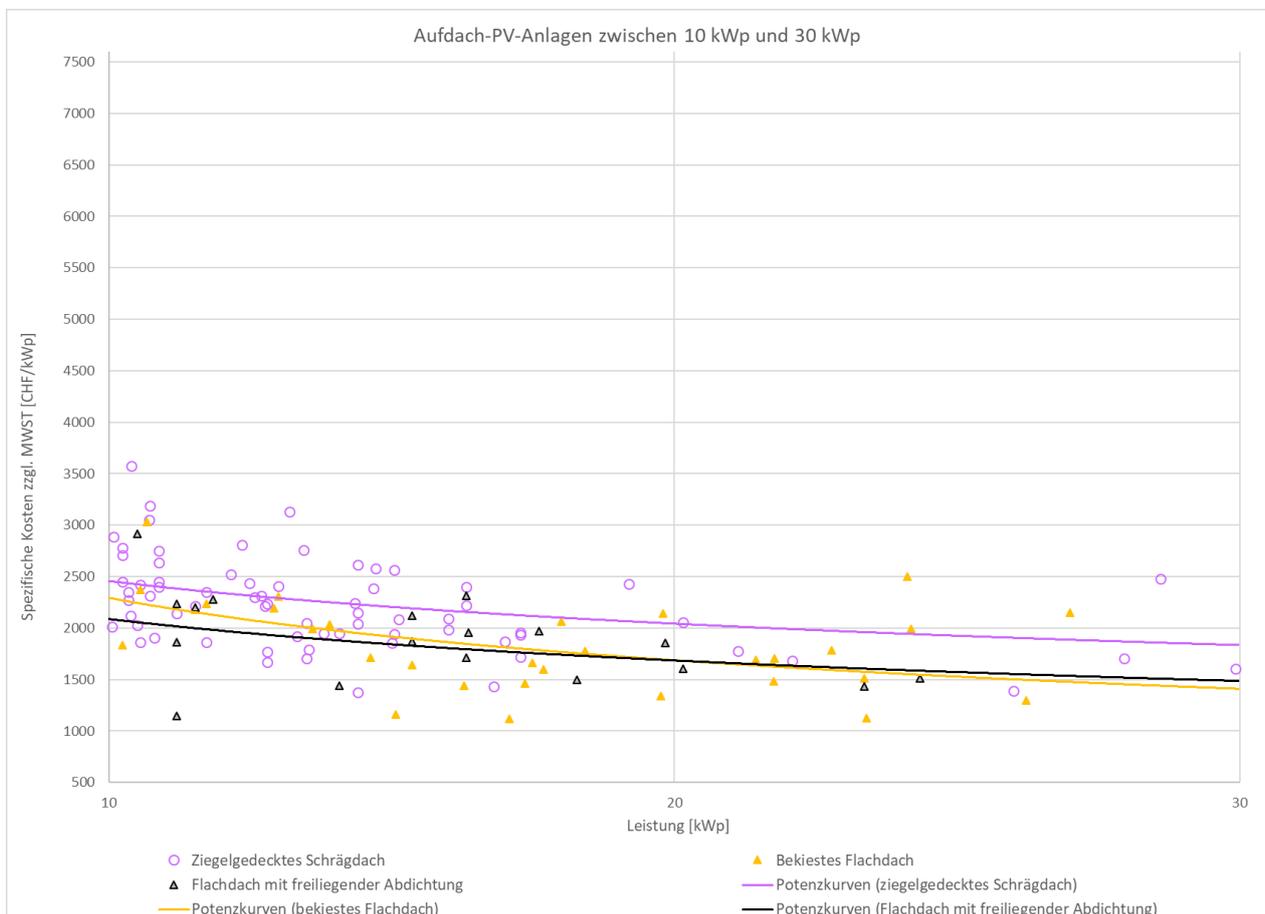


Abbildung 18: Vergleich der spezifischen Kosten in Abhängigkeit von der Dachart. Diese Grafik zeigt die Trendlinien im Bereich 10 bis 30 kWp. Die gelbe und die schwarze Kurve sind deckungsgleich. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

Im Bereich 2 bis 300 kWp (jenseits dessen keine ausreichenden und aussagekräftigen Daten vorliegen) sind übereinstimmende Trendlinien für blechgedeckte Schrägdächer, Flachdächer mit freiliegender Abdeckung sowie bekieste oder begrünte Flachdächer zu erkennen. Am niedrigsten sind die Kosten bei Anlagen auf blechgedeckten Schrägdächern. Die Kostendifferenz zwischen den Dacharten nimmt mit zunehmender Anlagengrösse ab.

Basierend auf Blechdächern als Bezugsgrösse:

- Anlagen auf Flachdächern mit freiliegender Abdichtung sind 3 bis 8 % teurer.
- Anlagen auf bekiesten Flachdächern sind 12 bis 17 % teurer.

- Anlagen auf begrünten Flachdächern sind mit plus 18 bis 28 % gegenüber Blechdächern am teuersten.

Anlagen auf Blechdächern sind am einfachsten zu installieren und besitzen die kostengünstigsten Tragwerke, was ihren Preisvorteil erklärt. Anlagen auf Flachdächern mit freiliegender Abdichtung erfordern die kostspieligsten Tragwerke sowie eine Beschwerung und sind somit teurer als Anlagen auf Blechdächern. Bei Anlagen auf bekiesten Flachdächern muss der Kies umgeschichtet oder mittels Blastechnik verarbeitet werden. Daraus ergeben sich höhere Arbeitskosten oder zusätzliche Auftragsvergaben, was hier wahrscheinlich die Mehrkosten gegenüber Flachdächern mit freiliegender Abdichtung erklärt. Und schliesslich erfordern Anlagen auf begrünten Flachdächern oftmals Tragwerke, die an das Wachstum der Vegetation angepasst und teurer als Standardlösungen sind. Das Umsetzen des pflanzlichen Substrats oder die entsprechende Blastechnik sind ebenfalls arbeitsintensiver als bei Kies, woraus sich der bei diesen Dächern am höchsten liegende Preis ergibt.

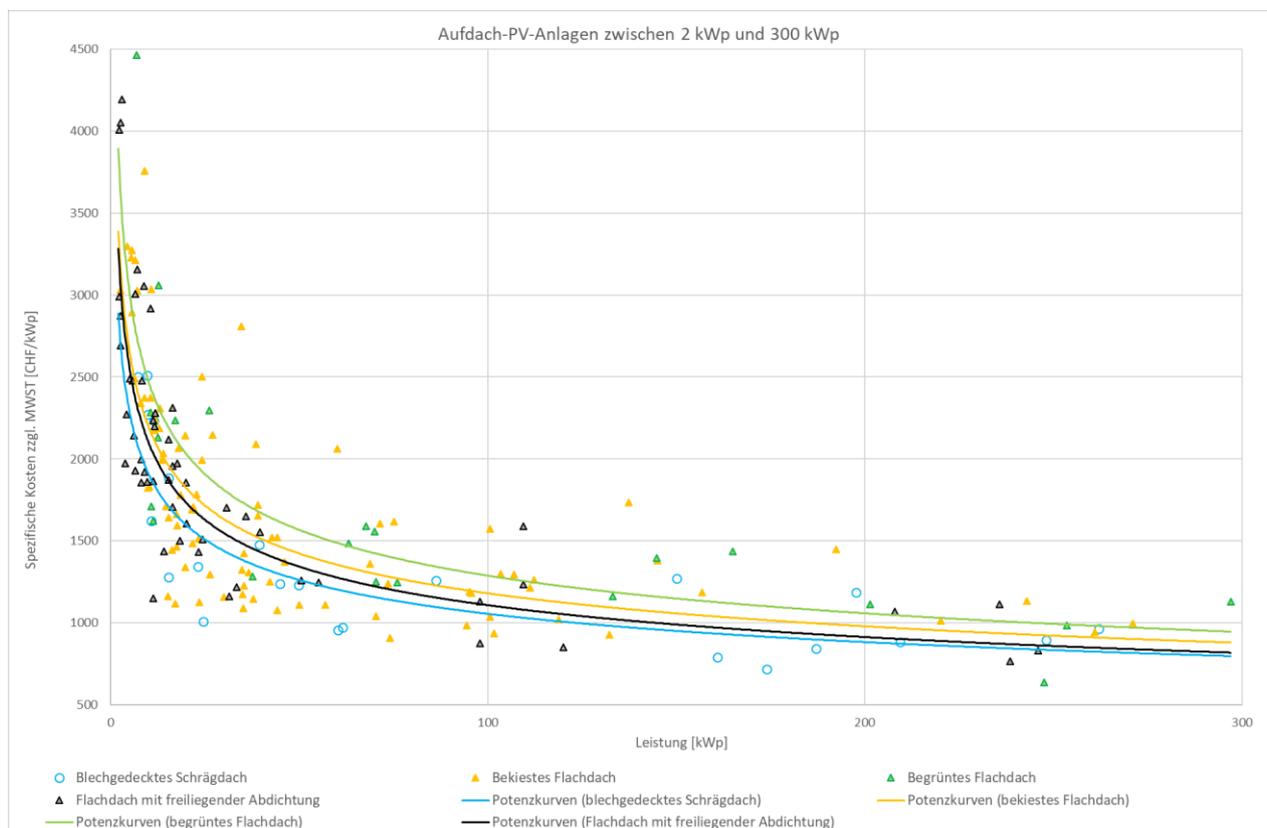


Abbildung 19: Vergleich der spezifischen Kosten nach Dachart. Die für ziegelgedeckte Schrägdächer stehenden Datenpunkte liegen fast ausschliesslich im unteren Leistungsreich. Daher wurde die entsprechende Trendlinie in der dritten Grafik nicht dargestellt. Trendlinien (Potenzkurven) mittels Excel erstellt.

3.3.6 Schlussfolgerungen aus den verschiedenen Vergleichen

Es gibt viele verschiedene Faktoren, die sich auf die Preise von Solarstromanlagen auswirken. Eine detaillierte Kostenanalyse sämtlicher möglicher Kombinationen der einzelnen Einflussfaktoren wäre äusserst mühsam und böte keine Garantie, zu schlüssigen Ergebnissen zu gelangen. Darüber hinaus sind der Umfang der fehlenden Angaben 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 3'088 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 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 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die leistungsabhängigen spezifischen Kosten (zzgl. MWST) von 3'088 Aufdach-PV-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 Python-Funktion `scipy.optimize.curve_fit` errechnet. Mit Python lassen sich nichtlineare Näherungskurven mit der Methode der kleinsten Quadrate 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. Die Konstante gibt den theoretischen Grenzwert an, wenn x gegen unendlich geht.

Da die Daten nicht gleichförmig über den gesamten Leistungsbereich hinweg verteilt sind, war eine Gewichtung erforderlich, damit alle Daten sinnvoll in die Näherungskurve einfließen. Dazu wurde das Gewicht jedes Datenpunktes umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der lokalen Dichte an diesem Punkt definiert, wobei die lokale Dichte der Anzahl Punkte pro Leistungseinheit um den betrachteten Punkt entspricht. Ein isolierter Datenpunkt erhält also ein höheres Gewicht als ein Punkt in einer dichten Punktwolke. Durch die Quadratwurzel werden zu grosse Abweichungen in den Gewichtungen vermieden.

Es ergibt sich folgende endgültige Funktion:

$$y = \frac{5523}{x^{0.4862}} + 156.2 \cdot e^{-0.2321 \cdot x} + 578.4$$

Wobei

x die Leistung in kW_p ist,

y die spezifischen Kosten in $CHF HT/kW_p$ sind.

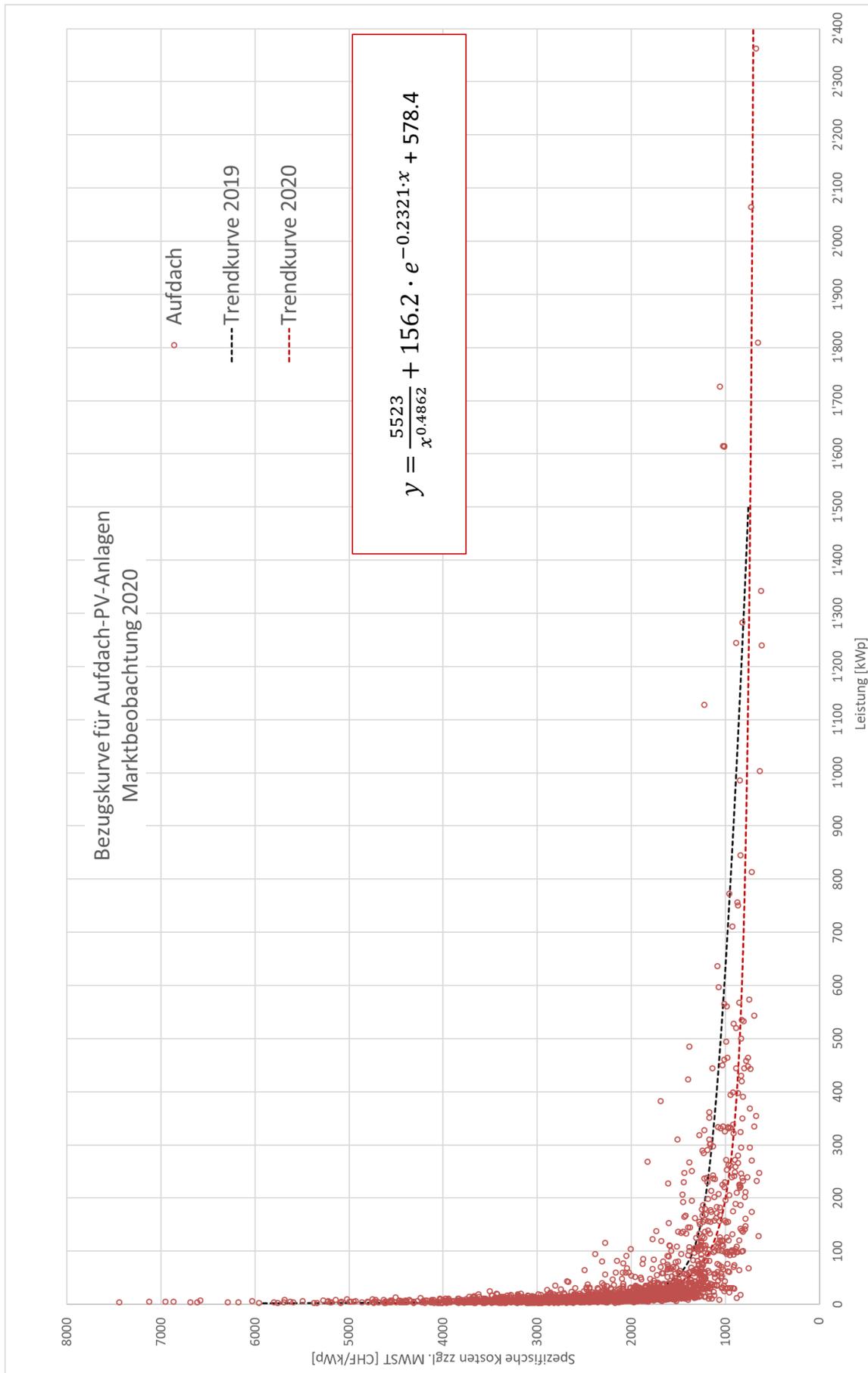


Abbildung 20: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdach-PV-Anlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Darstellung des gesamten Leistungsbereichs.

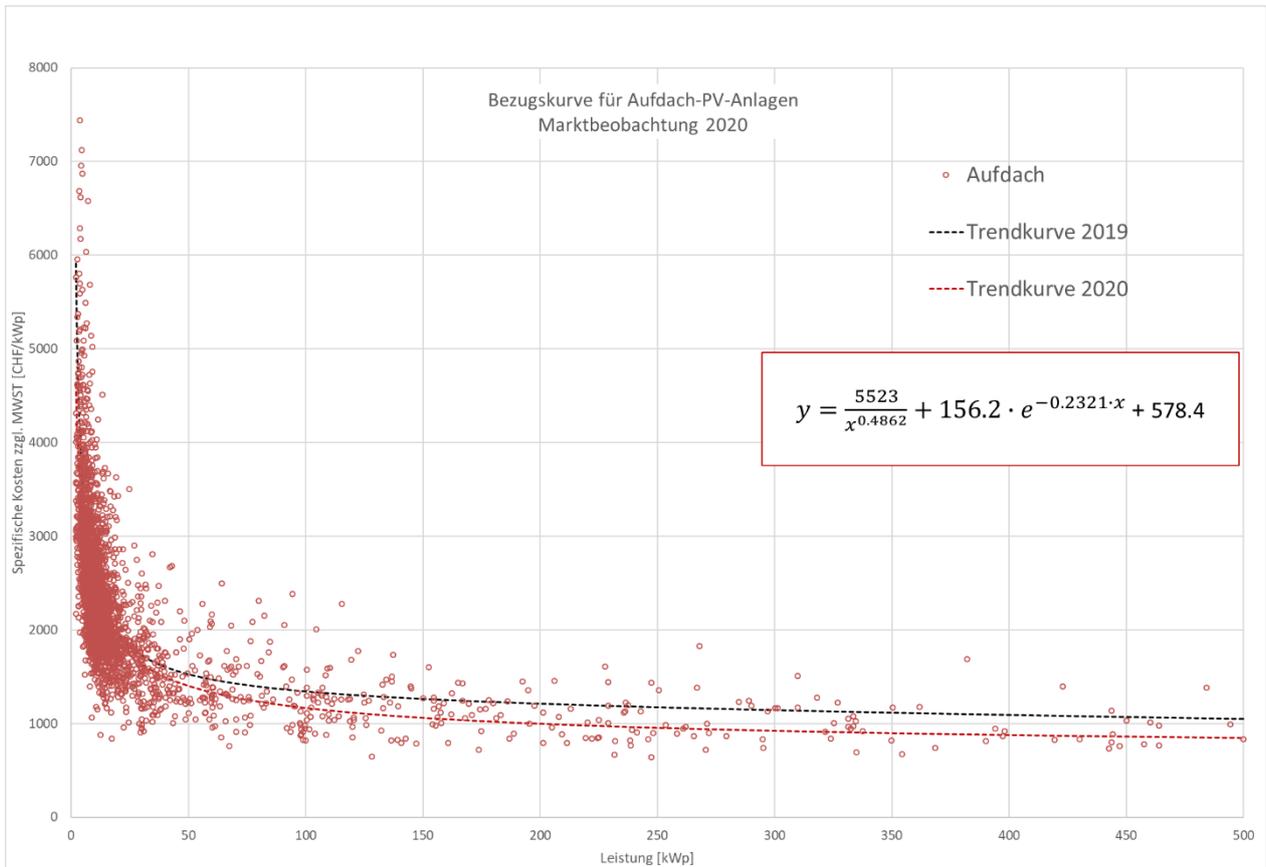


Abbildung 21: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdach-PV-Anlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 500 kWp.

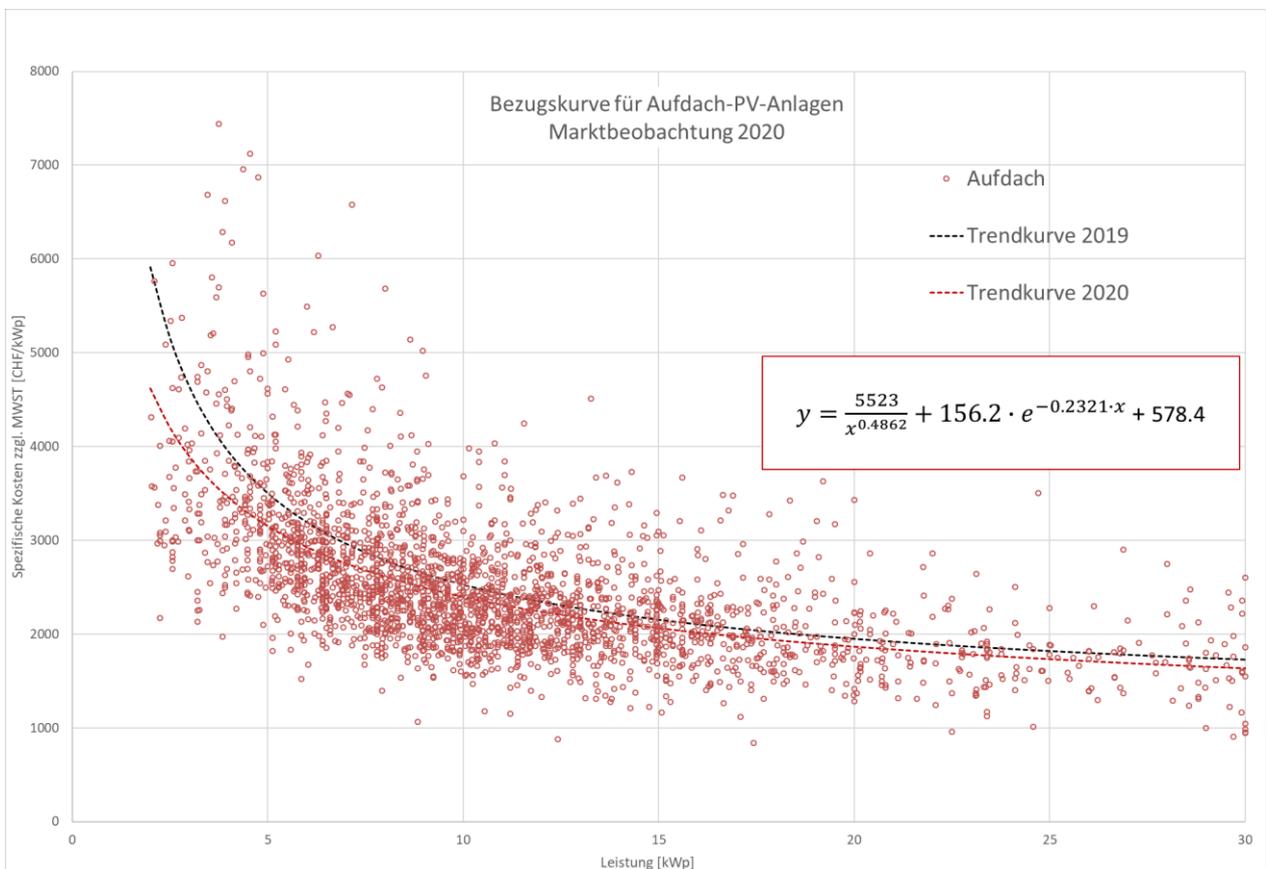


Abbildung 22: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdach-PV-Anlagen in Abhängigkeit von der Leistung, mit Bezugskurve. Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 30 kWp.

Vereinfachte Bezugskurve

Eine vereinfachte Darstellung der Datenverteilung und der Trendlinie erhält man, wenn man die Kosten (und nicht die spezifischen Kosten) in Abhängigkeit von der Leistung aufträgt. Es ergibt sich ein linearer Zusammenhang, den wir separat für verschiedene Leistungsbereiche aufgetragen haben, um die Punktwolke schlüssiger darzustellen.

Die Parameter der linearen Kurven in den einzelnen Leistungsbereichen können in Excel mit der Option «Linear» ermittelt werden:

Parameter für lineare Kurven			
P min	P max	A	B
2	5	3'201.80	1'483.70
5	30	1'449.90	9'297.10
30	100	1'103.10	17'950.00
100	400	896.29	38'204.00
400	2'400	773.72	80'973.00

$$y = Ax + B$$

Tabelle 1: Parameter der linearen Bezugskurven – P_{min} und P_{max} sind die Grenzleistungen der jeweiligen Leistungsbereiche in kWp.

Die schwarze Kurve unten ist also einfach das Minimum (Excel-Formel «MIN») der fünf oben berechneten linearen Kurven $Ax+B$. Die Verbindungsstellen zwischen den Kurven liegen somit nicht genau an den in Tabelle 1 definierten Grenzleistungen.

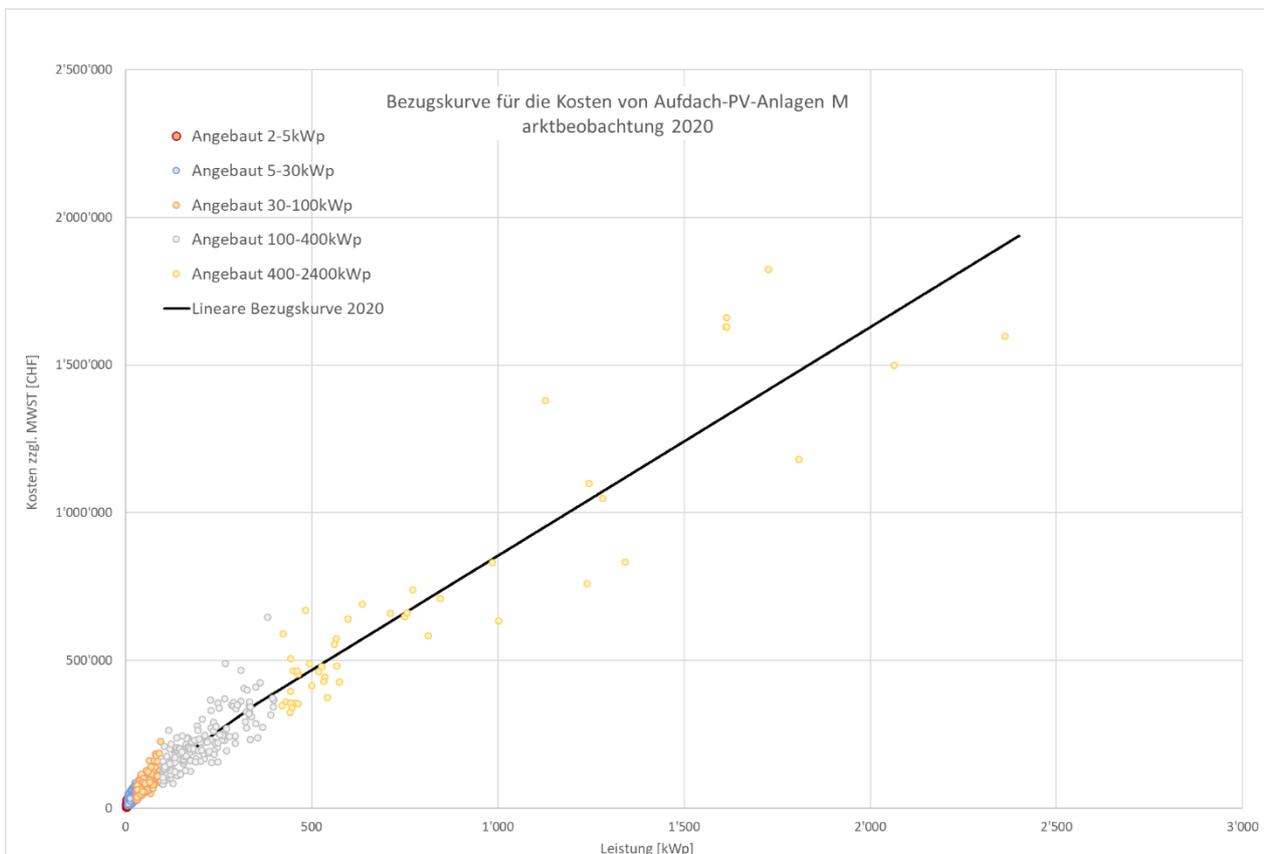


Abbildung 23: Kosten zzgl. MWST in Abhängigkeit von der Leistung. Die schwarze Kurve ist das Minimum (Excel-Formel «MIN») der fünf oben parametrisch angegebenen Kurven $Ax+B$.

Dieses lineare Modell ist gegenüber dem durch Python generierten «komplexen» Modell bei kleineren Leistungen weniger genau. Bei Datenpunkten im Bereich grösserer Leistungen scheint es dagegen besser zu funktionieren. Aufgrund der kleinen Datenmenge in diesen Bereichen kann dies allerdings nicht bestätigt werden.

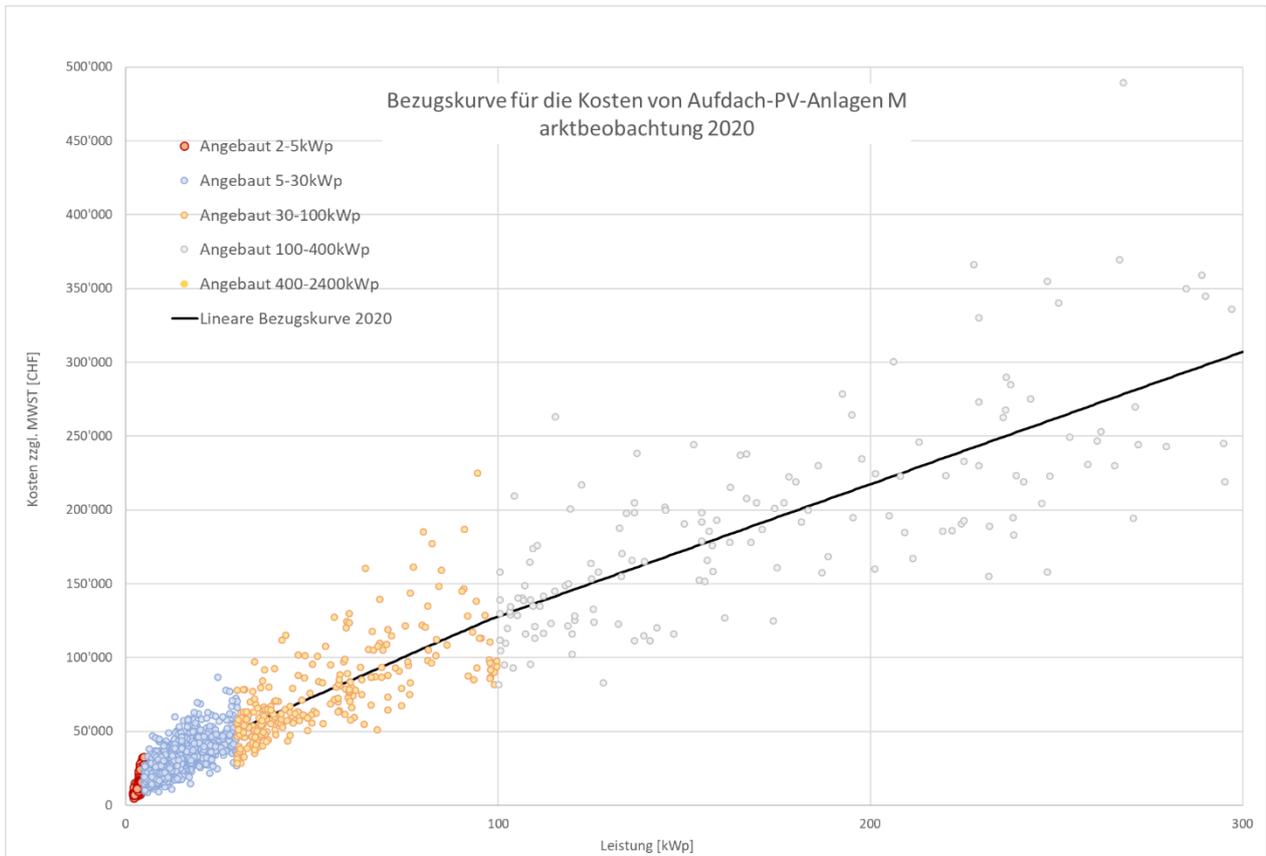


Abbildung 24: Kosten zzgl. MWST in Abhängigkeit der Leistung, Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 300 kWp. Die schwarze Kurve unten ist das Minimum (Excel-Formel «MIN») der fünf oben parametrisch angegebenen Kurven Ax+B.



Abbildung 25: Kosten zzgl. MWST in Abhängigkeit der Leistung, Detaildarstellung des Bereichs 2 bis 40 kWp. Die schwarze Kurve unten ist das Minimum (Excel-Formel «MIN») der fünf oben parametrisch angegebenen Kurven Ax+B.

4.2 Statistische Verteilung der spezifischen Kosten nach Leistungsbereich

Tabelle 2 und Abbildung 26 zeigen die statistischen Ergebnisse der Studie als statistische Verteilung der spezifischen Kosten in verschiedenen Leistungsbereichen.

Es wurden sieben verschiedene Grössen berechnet; die fünf letzten Grössen sind in Abbildung 26 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.

Leistungsbereich	Anzahl Anlagen	Mittlere spezif. Kosten [CHF/kWp]	Mittlere Kosten pro kWp [CHF/kWp]	Min	25 %	Median 2020	75%	Max
2-10	1'335	2'838	2'730	1'063	2'332	2'692	3'156	7'443
10-30	1'271	2'123	2'067	838	1'805	2'071	2'373	4'509
30-100	255	1'487	1'444	757	1'230	1'407	1'702	2'809
100-300	153	1'140	1'113	638	931	1'132	1'280	2'278
300-1'000	61	964	945	676	828	919	1'063	1'691
>1'000	13	843	837	613	643	819	1'019	1'223

Tabelle 2: Statistische Merkmale der in der Studie betrachteten Aufdach-PV-Anlagen. Analysiert wurden die spezifischen Kosten in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Die statistischen Merkmale wurden für sechs unabhängige Leistungsbereiche berechnet.

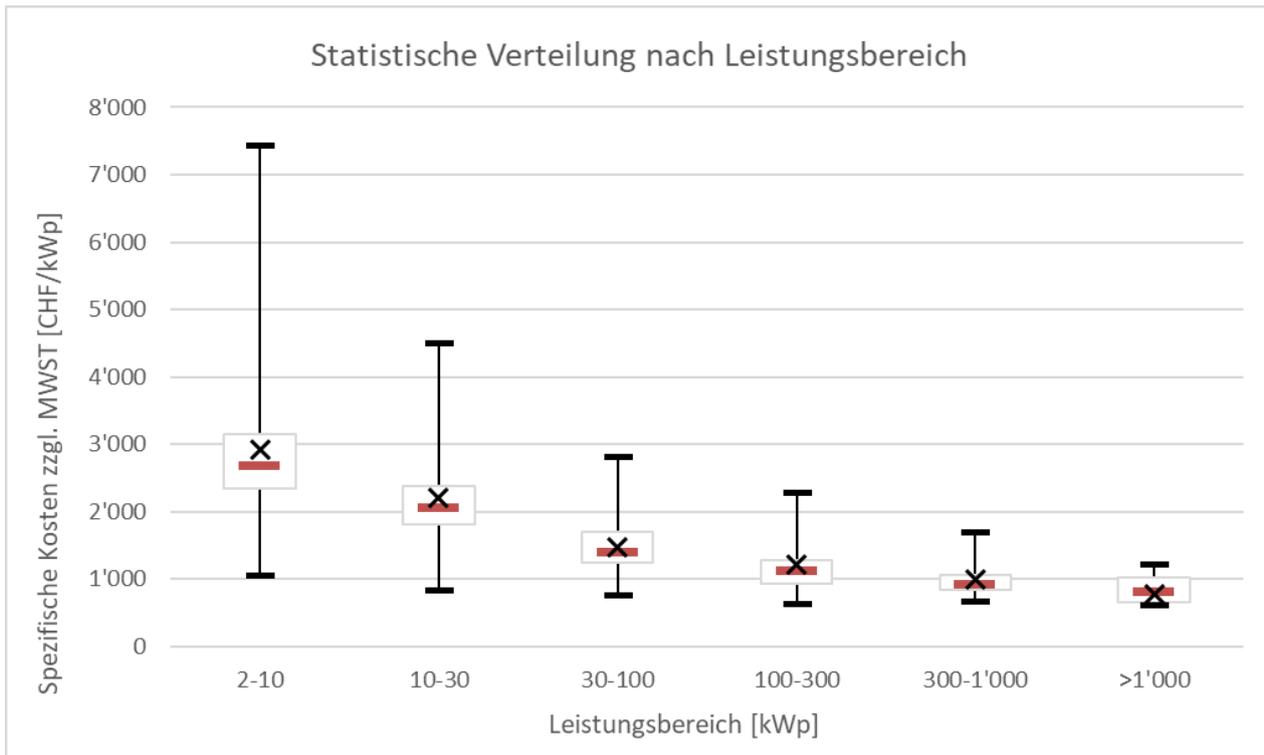


Abbildung 26: Statistische Verteilung der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Der rote Balken in der Mitte kennzeichnet den Median aller Werte 2020 im jeweiligen Leistungsbereich. Das schwarze Kreuz steht für den Median 2019. Die 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.

4.3 Diskussion

Die Funktion `scipy.optimize.curve_fit` führte, wie aus Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 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 bei grossen Anlagen. Die spezifischen Kosten verringern sich im Intervall zwischen 2 und 10 kWp über nur 8 Leistungseinheiten hinweg von 4'600 CHF/kWp auf 2'400 CHF/kWp. Jenseits von 10 kWp nehmen die Kosten weitaus langsamer ab und unterschreiten bei 16 kWp den Wert von 2'000 CHF/kWp. Zwischen 50 kWp (1'400 CHF/kWp) und 100 kWp (1'200 CHF/kWp) stabilisiert sich die Kurve und der Wert von 1'000 CHF/kWp wird im Bereich von 200 kWp unterschritten.

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 nur 70 % der Werte innerhalb des betreffenden Intervalls. Die grosse Streuung zeigt sich auch in Abbildung 26, wo 50 % aller Werte ausserhalb der Rechtecke liegen. Dies ist im Wesentlichen der Vielzahl der Parameter geschuldet, die sich auf die Kosten von Solarstromanlagen 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.

Der Vergleich mit der Trendlinie 2019 zeigt bei kleinen Anlagen von 30 kWp und weniger einen Preisrückgang von rund 5 %. Bei Anlagen im Bereich von 100 kWp gingen die Preise um etwa 10 % zurück, bei den grössten Anlagen sogar um rund 15 %. Die Unterschiede sind wahrscheinlich auf den Rückgang der Materialkosten zurückzuführen, insbesondere der Modulpreise, was sich mit zunehmender Grösse der Anlagen natürlich verstärkt auf die Kosten auswirkt. Dieser Vergleich 2019/2020 ist ab etwa 600 kWp nicht mehr aussagekräftig, da für grosse Leistungen weniger Daten aus 2019 vorliegen als aus 2020. Die Trendlinie 2019 ist daher ungenau und weist ab 600 kWp gegenüber der Trendlinie 2020 eine zu hohe Steilheit auf.

5. Kostenverteilung

Bei Aufdach-PV-Anlagen, 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 Solarstromanlagen grosse Unterschiede ergeben.

5.1 Gesamtüberblick

Im Rahmen einer ersten Analyse wurden die Gesamtkosten in sechs Hauptkategorien aufgeteilt, was die Berücksichtigung der Daten aus dem SOC ermöglichte, zu denen als einzigen die betreffenden Details vorlagen. Es ergeben sich die folgenden sechs Kategorien:

- 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	300–1'000 kWp	> 1'000 kWp
245	306	29	22	5	0

Bei den betreffenden Datensätzen lagen die Einzelkosten zu den sechs Kategorien vor; sie beinhalteten in keinem Fall eine Null. Dies reduzierte allerdings die Anzahl der insgesamt untersuchten Datensätze, insbesondere im Bereich zwischen 300 und 1'000 kWp. Würden beispielsweise Datensätze akzeptiert, bei denen die Kosten der Baustellenabsicherung gleich Null sind, würde sich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Datensätze ungefähr verdoppeln (und im Bereich 300 bis 1'000 kWp sogar auf 30 steigen). Da die endgültigen Ergebnisse unabhängig von den betrachteten Daten sehr nahe beieinanderliegen, haben wir uns dafür entschieden, nur jene Datensätze zu verwenden, bei denen in allen Kategorien Angaben zu den Einzelkosten vorliegen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 27 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 17 % auf 39 %.

Der Anteil der Wechselrichterkosten bleibt einigermaßen stabil und stets im Bereich von 8 %, 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 Solarstromanlage wird.

Die spezifischen Kosten für das Tragwerk bleiben bei Anlagen unter 30 kWp stabil bei 260 bis 280 CHF/kWp (ihr prozentualer Anteil nimmt zwischen den beiden ersten Leistungsbereichen zu). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Kosten des Tragwerks bei kleinen Anlagen proportional zur Leistung bleiben und dass ihr Kostenanteil mit zunehmender Grösse nicht sinkt. 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 %.

Der Anteil der Kosten für die Baustellenabsicherung sowie für die Verwaltung und Planung verringert sich von 8 bis 9 % der Gesamtkosten auf 5 %, bleibt jedoch relativ stabil. Die betreffenden Kosten sind keineswegs konstant, sondern im Gegenteil proportional zu den Gesamtkosten. Dabei sollte das Ergebnis hinsichtlich der Verwaltungs- und Planungskosten jedoch vorsichtig interpretiert werden, 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 und es möglich ist, dass der SOC die Kosten bestimmter Leistungen nicht berücksichtigt, die in den anderen Datensätzen enthalten sind.

Insgesamt stimmen die Ergebnisse sehr gut mit jenen aus der Beobachtung 2019 überein.

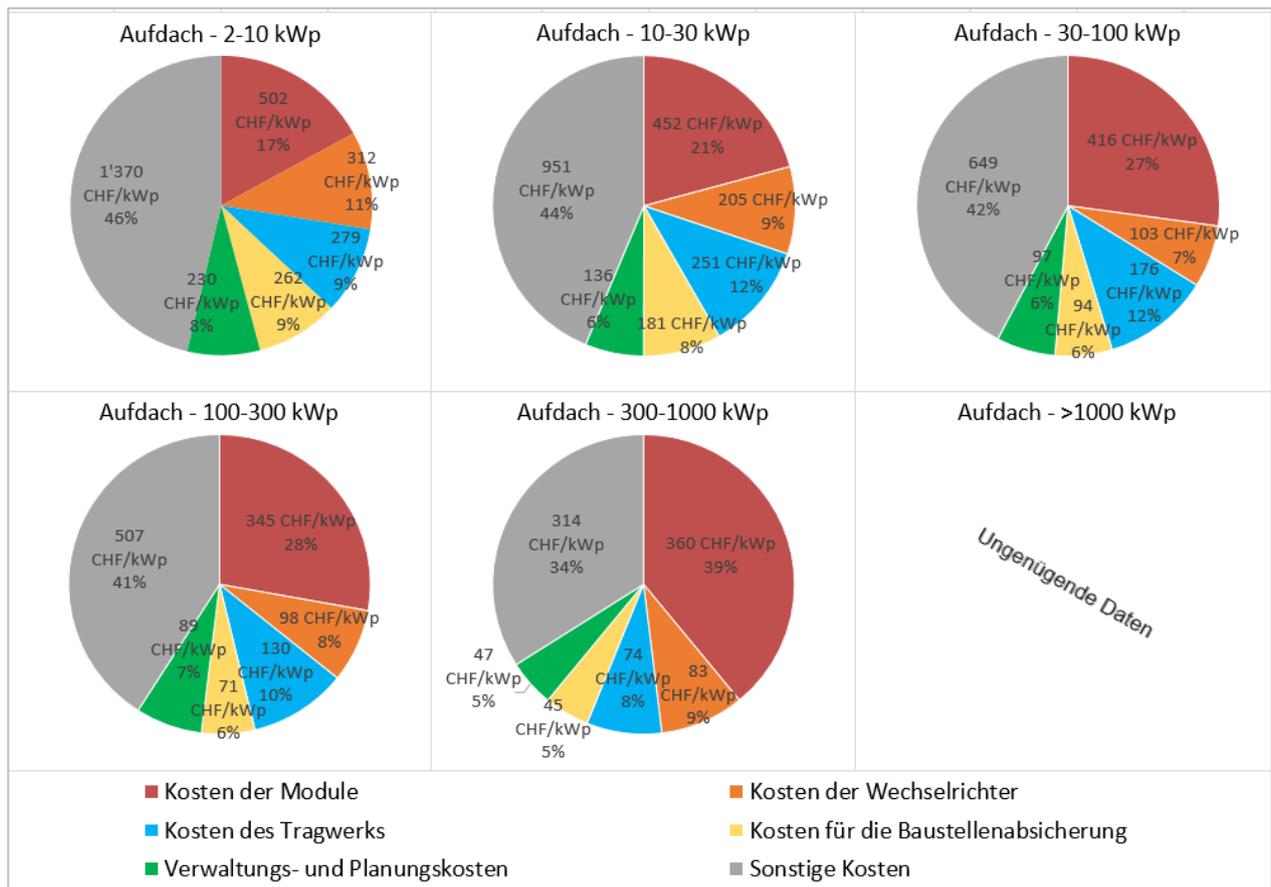


Abbildung 27: Kostenverteilung bei Aufdach-PV-Anlagen in sechs Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für welche die betreffenden Werte bekannt sind.

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 86 Aufdach-PV-Anlagen, zu denen vollständige detaillierte Angaben gemacht werden konnten. Die Gesamtkosten wurden in dieser Analyse in neun Hauptkategorien aufgeschlüsselt, wobei auch die Arbeitskosten, die Kosten des Elektromaterials sowie die Logistik- und Transportkosten von den «sonstigen Kosten» separiert wurden. Auch die Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen wurden separiert, jedoch mit den Kosten für die Baustellenabsicherung zusammengefasst.

Es ergeben sich die folgenden neun Kategorien:

- Kosten der Module,
- Kosten der Wechselrichter,
- Kosten des Tragwerks,
- Kosten für die Baustellenabsicherung und für permanente 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
13	22	20	26	5	0

Abbildung 28 zeigt eine detaillierte Verteilung der Kosten von Solarstromanlagen. 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. Zu Abbildung 27 sind somit gewisse Unterschiede festzustellen.

Es wurde ein erster Vergleich zwischen Abbildung 27 und Abbildung 28 durchgeführt. Die Kosten und die Kostenentwicklung der Module ändern sich nur wenig, die Werte weichen nur leicht ab. Auch die Kostenentwicklung des Tragwerks verläuft ähnlich. Auch hier findet sich eine leichte Kostendifferenz zwischen zwei Bereichen, was zu einer Zunahme dieses Kostenanteils an den Gesamtkosten führt; im Vergleich zu Abbildung 27 ist diese leichte Kostendifferenz jedoch etwas verschoben. Daraus lässt sich schliessen, dass es im Bereich zwischen 2 und 100 kWp eine Grenze gibt, ab der sich die Tragwerkkosten stabilisieren und einen grösseren Anteil der Gesamtkosten ausmachen. Dies liegt jedoch möglicherweise an einem Übergang zwischen der Anzahl Anlagen auf Schrägdächern und der Anzahl Anlagen auf Flachdächern, die etwas teurer sind. Ausserdem ist zu erkennen, dass die Kosten der Wechselrichter und die Kosten für die Verwaltung und Planung von den in Abbildung 27 gezeigten Profilen abweichen. 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). Die Differenz bei den Wechselrichterkosten ist schwerer zu erklären. Möglicherweise wurden die Kosten für Leistungsoptimierer in bestimmten Fällen nicht berücksichtigt. Im Rahmen dieser neuen Analyse ergeben sich sinkende 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 den kleinsten Anlagen am stärksten aus. Jenseits von 30 kWp ergibt sich demgegenüber keine signifikante Verringerung ihres Kostenanteils. 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 Anlage ansteigen. Angesichts der geringen Datenbasis kann dieses Ergebnis jedoch nicht verifiziert werden, auch wenn die Beobachtung 2019 den gleichen Trend zeigt.

Mit der vorliegenden Analyse war eine Aufschlüsselung der Position «sonstige Kosten» aus Kapitel 5.1 möglich. Der höchste Anteil entfällt auf die Arbeitskosten. Sie machen in allen Leistungsbereichen ein Viertel der Gesamtkosten aus. Die Daten für 2019 zeigten im Gegensatz dazu einen mit zunehmender Anlagenleistung abnehmenden Arbeitskostenanteil. Weitere Kategorien sind die Kosten des Elektromaterials sowie die Logistik- und Transportkosten. Erstere schlagen bei Anlagen unter 300 kWp mit einem stabilen Anteil von rund 10 % der Gesamtkosten zu Buche, der sich in Richtung höherer Anlagenleistungen zu verringern scheint. Die wenigen Daten in diesem Leistungsbereich machen diese Aussage jedoch unsicher. Die Logistik- und Transportkosten wirken sich mit rund 3 % der Gesamtkosten nur geringfügig aus und verändern sich nicht. Und schliesslich verbleibt noch die Kategorie «sonstige Kosten», die jetzt 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.

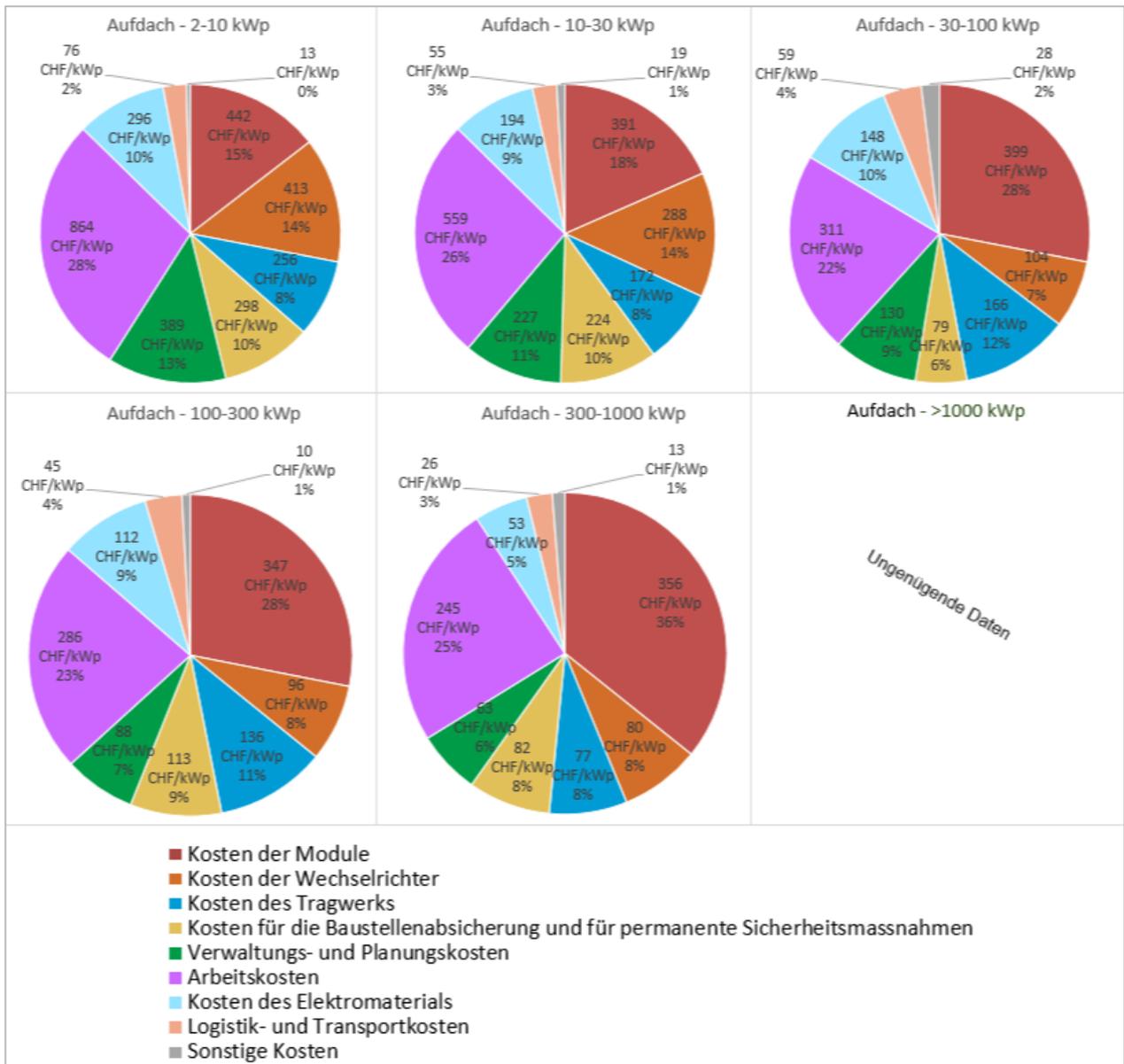


Abbildung 28: Detaillierte Kostenverteilung bei Aufdach-PV-Anlagen, aufgeschlüsselt in neun Hauptkategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien bei allen Anlagen eines Leistungsbereichs, für welche die betreffenden Werte bekannt sind.

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, 2019 und 2020 sowie zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr 2020 aus.

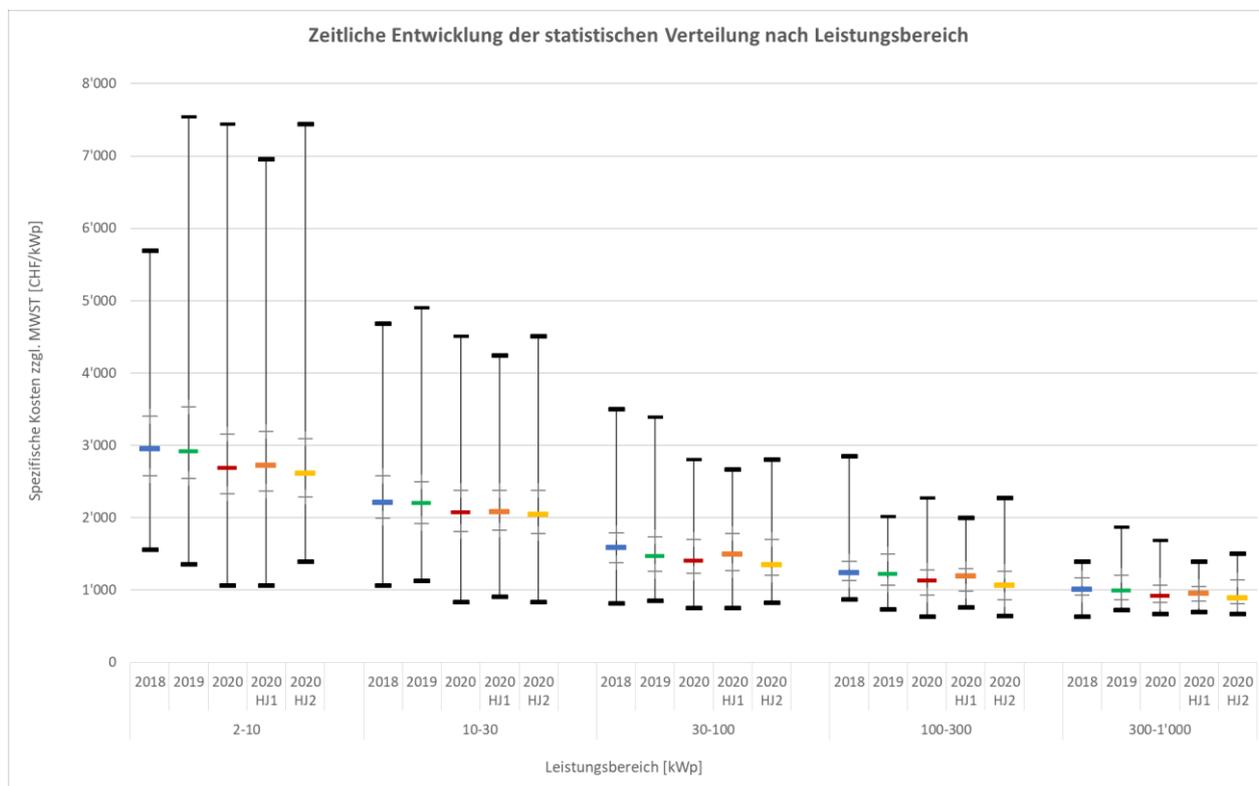


Abbildung 29: Entwicklung der statistischen Verteilung der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF (zzgl. MWST) pro kWp. Dargestellt werden fünf Leistungsbereiche und in allen Leistungsbereichen die Daten für 2018, 2019 und 2020 sowie die Halbjahre 1 und 2 des Jahres 2020. Die farbigen Balken stehen für die Medianwerte. Die beiden schwarzen Balken an den 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 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 verdeutlichen auf unterschiedliche Weise die zeitliche Entwicklung der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen, die im Rahmen der Studie untersucht wurden. Die statistischen Merkmale von Abbildung 29 entsprechen den in Kapitel 4.2 definierten Vorgaben. Die in Abbildung 30 dargestellten Werte basieren auf den gleichen Kriterien und der gleichen Analyse wie in Kapitel 5.1. Die vorliegende Analyse berücksichtigt somit auch Daten aus dem SOC. Die beiden Kurven in Abbildung 31 zeigen für den gesamten Leistungsbereich deutlich eine leichte Abweichung zwischen dem ersten und dem zweiten Halbjahr.

Alle Analysen führen zum gleichen Ergebnis: Die Photovoltaikkosten sind im Jahr 2020 gegenüber 2019 zurückgegangen und auch zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr 2020 ist ein Rückgang zu verzeichnen. Abbildung 29 zeigt, dass die Kosten im ersten Halbjahr 2020 unter denen im Jahr 2019 lagen. Ausgenommen ist nur der Bereich zwischen 30 und 100 kWp, in dem die Kosten nahezu gleichgeblieben sind. Es kann angenommen werden, dass die COVID-Situation den Preisrückgang zu Jahresbeginn etwas verlangsamt hat. Für eine Stabilisierung der Preise auf dem Niveau von 2019 hat dies jedoch nicht ausgereicht.

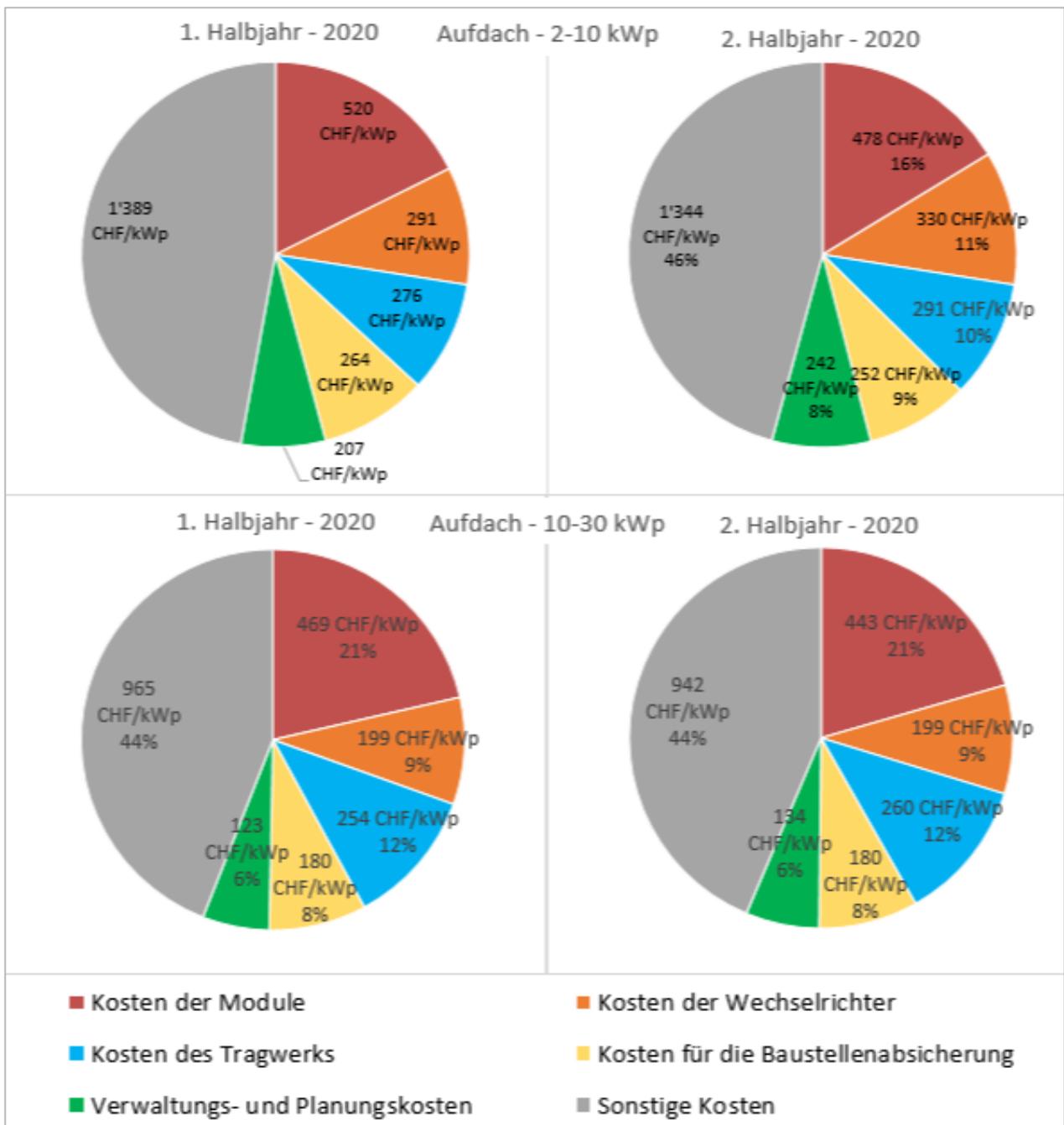


Abbildung 30: Entwicklung der Kostenverteilung zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2020 für die Leistungsbereiche 2 bis 10 kWp und 10 bis 30 kWp.

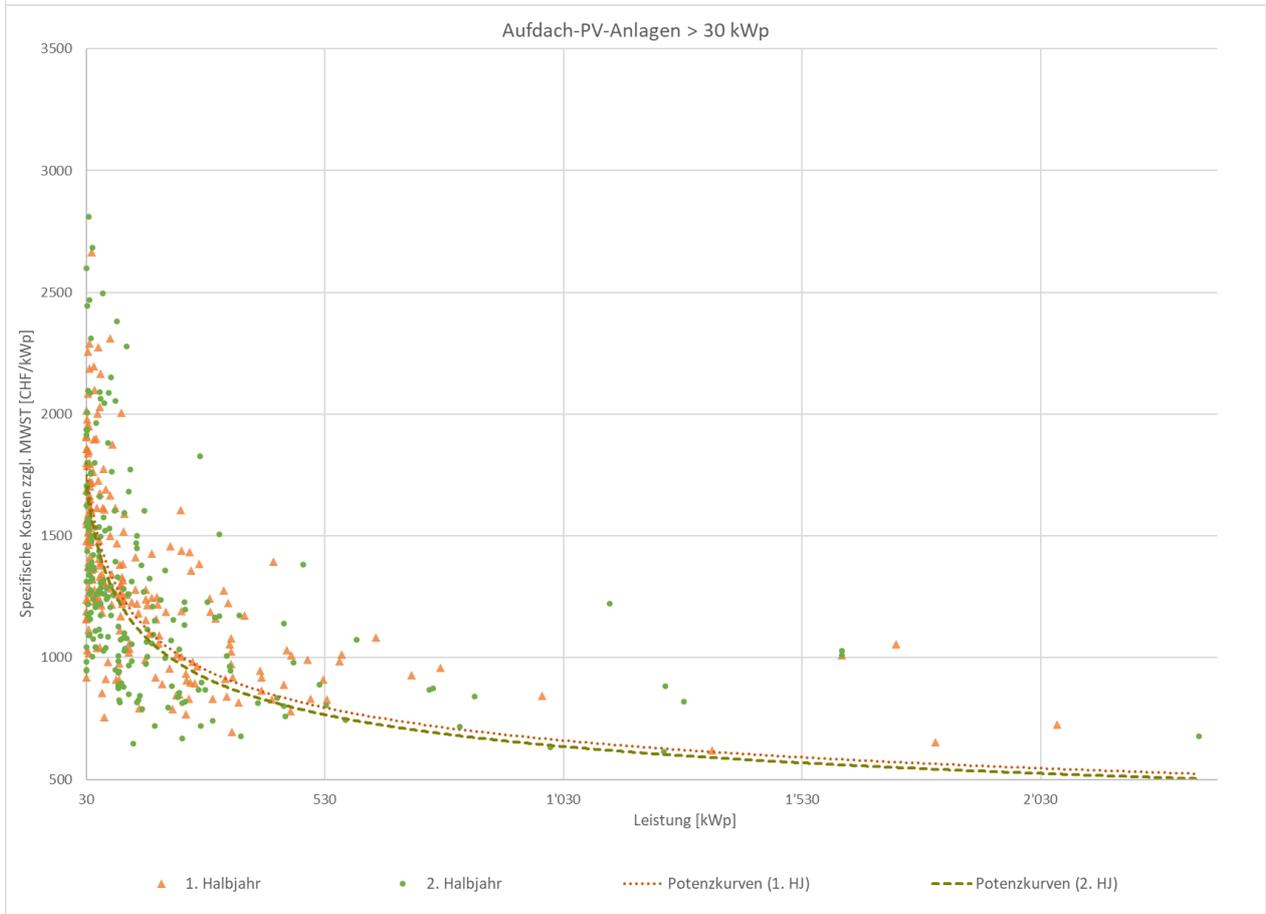
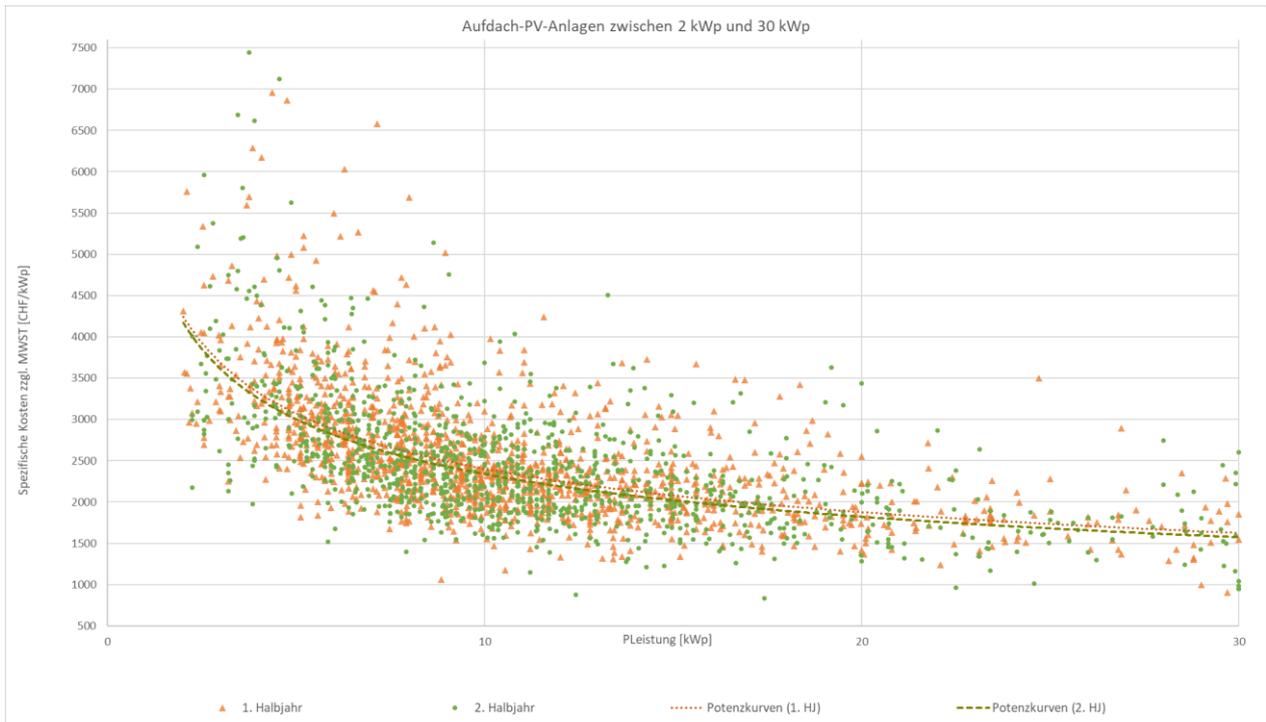


Abbildung 31: Entwicklung der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen zwischen den Halbjahren 1 und 2 des Jahres 2020. Oben die Daten für 2 bis 30 kWp, unten jene für > 30 kWp. Die Trendlinien (Potenzkurven) wurden mit der entsprechenden Excel-Funktion erstellt.

7. Nebenkosten und tatsächliche Kosten

Der wesentliche Teil der Umfrage bezieht sich auf die Kosten im Zusammenhang mit der Lieferung und Installation der Solarstromanlage gemäss der in Kapitel 2.1 Methodik 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. Zu diesem Zweck wurden Gespräche mit fünf Bauherren geführt. Um objektive Daten zu erhalten, wurden die Namen der Kunden und die betreffenden Projekte im vorliegenden Dokument nicht genannt.

Hier eine kurze Beschreibung der Bauherren:

- Bauherr Nr. 1: Netzbetreiber, der die Bauüberwachung der Solarstromanlagen durchführt; bietet seinen Kunden Energie-Contracting an
- Bauherr Nr. 2: Netzbetreiber, der die Bauüberwachung der Solarstromanlagen 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. 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 230 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 100 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 Solarstromanlagen 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 Projektierungsphase 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 (ZEV) 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 Solarstromanlage weitere Mehrkosten entstehen können:

- Aufbau eines ZEV: Beim Aufbau eines ZEV entstehen Mehrkosten für die Planung und Installation der Zählereinrichtungen sowie Verwaltungs- und Vertragskosten.

- Solarstromanlage 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 Solarstromanlage): 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 32 nochmals dargestellt.

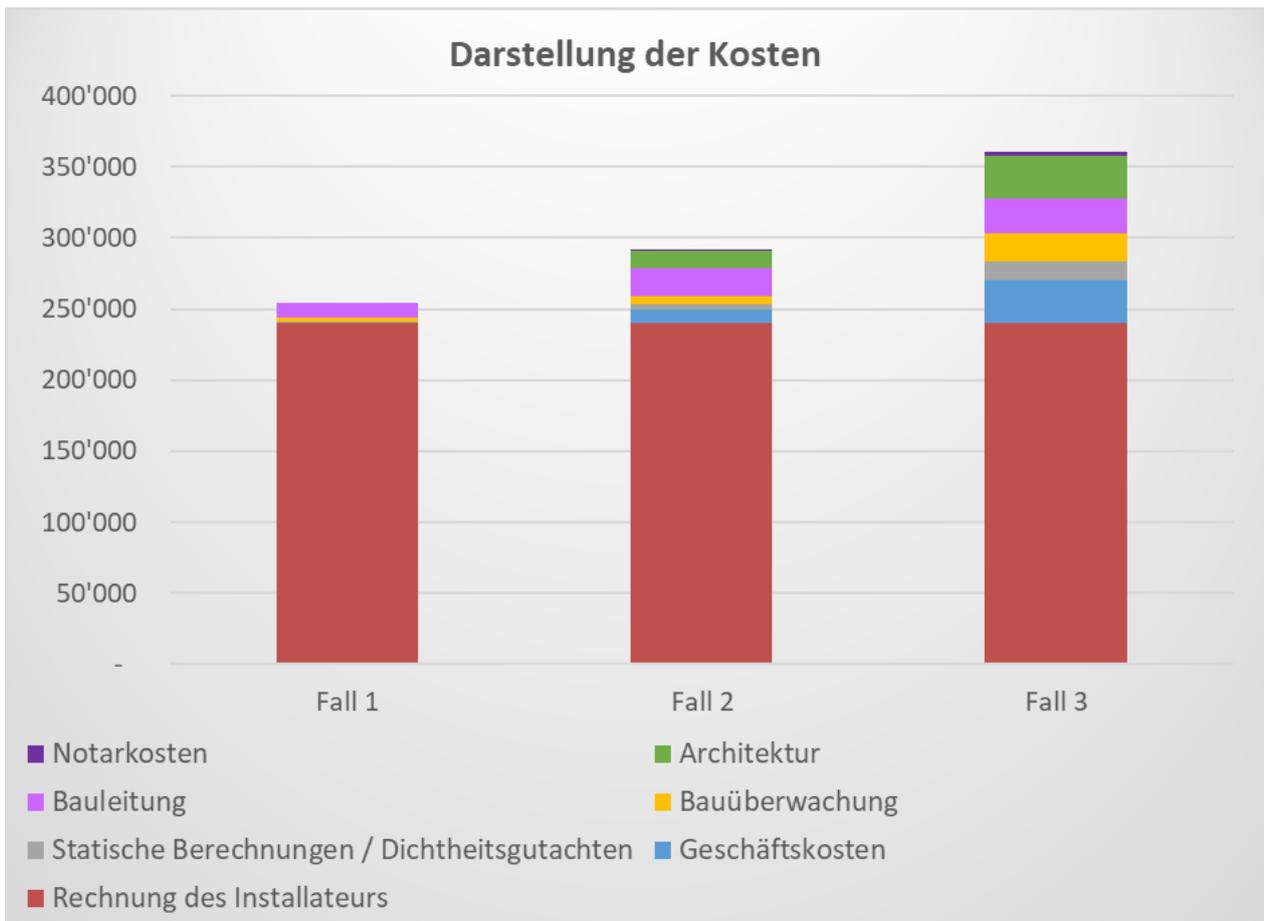


Abbildung 32: Grafische Darstellung der Auswirkungen der Nebenkosten in den drei Szenarien bei einem Projekt mit 200 kWp.

7.3 Zusammenfassung

Die genannten Daten widerspiegeln die Gesamtsituation eines Projekts mit Anlagen im mittleren bis hohen Leistungsbereich 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 Aufdach-PV-Anlage lassen sich am besten durch folgendes Modell beschreiben:

$$y = \left(\frac{5523}{x^{0.4862}} + 156.2 \cdot e^{-0.2321 \cdot x} + 578.4 \right) \cdot (1+a)$$

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 2019» auf und ergänzt sie hinsichtlich der im Jahr 2020 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.

Die Norm für elektrische Installationen ist im Jahr 2020 in Kraft getreten. Die Norm ist für jede nach dem Monat Juni angekündigte Anlage bindend; das neue Regelwerk beinhaltet jedoch keine grösseren Änderungen hinsichtlich der Projektierung der Anlage.

Kabelführung

Angesichts der in den letzten Jahren stetig sinkenden 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 im Allgemeinen am günstigsten, sofern sie direkt am Blech befestigt werden können (siehe Abbildung 18). 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 gearteten 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 Beschwerungs-systeme 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.
- Generalistischere Verfahren für zwei verschiedene Ausrichtungen ermöglichen wirtschaftlichere Projekte: Die Tragwerke kosten weniger und es lassen sich Skaleneffekte durch höhere Leistungen erzielen. Die Energieausbeute im Verhältnis zur installierten Leistung ist jedoch etwas geringer.
- Mehr und mehr Dächer werden begrünt: Anlagen auf solchen Dächern sind vergleichsweise kostspielig und beinhalten auch ein wartungsbedingtes Risiko, da die Dächer gepflegt werden müssen, um die Vegetation einzudämmen.

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 der 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. Module mit Rahmen und schwarzer Tedlar-Folie werden auf Wohngebäuden mehr und mehr zur Norm, da sie günstig in der Beschaffung sind.

Bauliche Situation

Solarstromanlagen 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 Koordination 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 können 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.

Permanente Sicherheitsmassnahmen (Dachzugang und Sicherung der Dachkanten) können ebenfalls sehr kostenintensiv sein. Selbst wenn diese nicht nur dem Betrieb der Solarstromanlage 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 kiesbeschwerten Verankerungspunkten kosten erheblich weniger als eine Sicherung mit am Bauwerk befestigtem Sicherungsseil. Allerdings bietet die zweite Lösung mehr Sicherheit. Sicherungsseile, die am Tragwerk der Solarstromanlage befestigt werden, sind preisgünstiger als Seile, die am Gebäude verankert sind. Allerdings entspricht ihre Lebensdauer dann derjenigen der Solarstromanlage, 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. Die Aufhebung des Plangenehmigungsverfahrens des ESTI im Jahr 2021 sollte sich jedoch positiv auf die administrativen Kosten auswirken.

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 für die Elektromobilität. Somit 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 Schalttafeln 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 Bewerksstellung des Zusammenschlusses, die Einholung der verschiedenen Einwilligungen (Eigentümer, Mieter, Netzbetreiber), die Kommunikation und die Auswahl des Dienstleisters an.

NIN 2020

Die NIN 2020 beinhaltet hinsichtlich der Vorgaben für Elektroinstallationen im Rahmen von Solarstromanlagen 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.

COVID

Bei der Suche nach Faktoren, die im Jahr 2020 kostenbeeinflussend waren, richtet sich der gedankliche Fokus sehr rasch auf die seit März 2020 vorherrschende COVID-Situation. Abbildung 29 (Kapitel 6) zeigt dennoch für das erste Halbjahr 2020 einen Rückgang der Anlagenkosten im Vergleich zu 2019. Auch wenn es möglich oder sogar wahrscheinlich ist, dass die Pandemie zu Kostensteigerungen geführt hat, waren diese weniger stark als der allgemeine Rückgang der Materialkosten.

Schlussfolgerung hinsichtlich der kostenbeeinflussenden Faktoren

Die oben genannten Faktoren hatten im Jahresvergleich 2019/2020 keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Kosten von Solarstromanlagen. 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 3'533 Solarstromanlagen entsprechend den Leistungen der Installateure analysiert. Die Daten wurden im Wesentlichen bei den Installationsbetrieben erhoben. Mit entsprechender Schwerpunktsetzung, insbesondere auf die 3'088 Datensätze zu den Aufdach-PV-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. Dabei ergab sich kein Faktor, der besonders herausragen und die globalen Daten verfälschen würde. Somit konnten alle Datensätze beibehalten werden, was aufgrund des Volumens einen statistischen Ausgleich der unterschiedlichen Faktoren ermöglichte.

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 bleibt relativ konstant. Zusammengenommen machen diese beiden Kostenbestandteile – unabhängig von der Leistung – mindestens 50 % der Gesamtkosten aus.

Der Vergleich mit den im Rahmen der Marktbeobachtung 2019 erhobenen Daten zeigt, dass die Preise in allen betrachteten Leistungsbereichen gesunken sind.

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 insbesondere 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-Preisbeobachtungsstudie ermöglichte eine vollständige – sowohl qualitative als auch quantitative – Untersuchung der Kosten der im Jahr 2020 in der Schweiz errichteten Solarstromanlagen. Um den Gehalt der Analyse in den kommenden Jahren weiter zu verbessern, wäre es wichtig, eine gleichbleibende Anzahl Datensätze und insbesondere mehr Details zu den 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, 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 Solarstromanlagen 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 Solarstromanlage zu berechnen und dabei auch die Nebenkosten zu ermitteln, die zusätzlich zu den durch die Installateure in Rechnung gestellten Kosten entstanden sind.