

Abschlussbericht, 17. Oktober 2022

Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2021

Autoren

Lionel Bloch, 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	4
2.	Erhebung und Herkunft der Daten	5
2.1	Methodik.....	5
2.2	Repräsentativität des Marktes	7
2.3	Rahmen der Studie	8
3.	Analyse der Daten.....	9
3.1	Statistiken zur Herkunft der Daten	9
3.2	Statistische Untersuchung der Datensatz-Merkmale	10
3.3	Preise von Aufdachanlagen	13
3.4	Preise integrierter Solarstromanlagen	16
3.5	Preise von Aufdachanlagen bei Bestands- oder Neubauten	19
3.6	Preise von Aufdachanlagen mit oder ohne Baustellenabsicherung	20
3.7	Anlagenpreise nach Wechselrichtertyp	20
3.8	Anlagenpreise nach Dachart	22
3.9	Kostenaufschlüsselung	22
3.9.1	Gesamtüberblick	23
3.9.2	Detaillierte Betrachtung.....	24
3.10	Entwicklung im Zeitverlauf	27
4.	Kostenbeeinflussende Faktoren	28
5.	Zusammenfassung	31
6.	Danksagungen	31
7.	Referenzen.....	31

1. Zusammenfassung der Studie

Der Schweizer Photovoltaikmarkt befindet sich bereits seit einigen Jahren im Aufschwung. Wie in Abbildung 1 aus der neuesten *Statistik Sonnenenergie* [1] hervorgeht, nimmt die in der Schweiz jährlich installierte Photovoltaikleistung schnell zu.

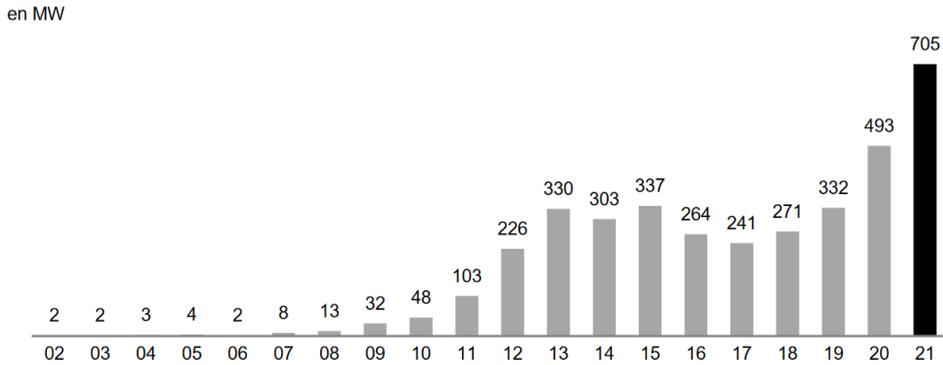


Abbildung 1: Entwicklung der jährlich verkauften PV-Leistungen in der Schweiz [1]

Bislang führte dieses Marktwachstum zu sinkenden Kosten bei den Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen). Der aktuelle Bericht analysiert diese Kosten für das Jahr 2021 und nennt die für die Kostenentwicklung massgeblichsten Merkmale (Leistung, Anlagentyp usw.) unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussgrössen (Module, Arbeitskosten usw.).

Für die Studie wurden 3'306 Einzelbeobachtungen ausgewertet. Die Analysen konzentrierten sich insbesondere auf die 3'070 Datensätze zu Aufdachanlagen. Die spezifischen Kosten (CHF/kW) dieser Anlagen nehmen – wie in Abbildung 2 dargestellt – mit der installierten Leistung (kW) ab. Dies ist deutlich bei Anlagen bis 50 kW zu sehen und erst überhalb von 50 kW weniger stark ausgeprägt.

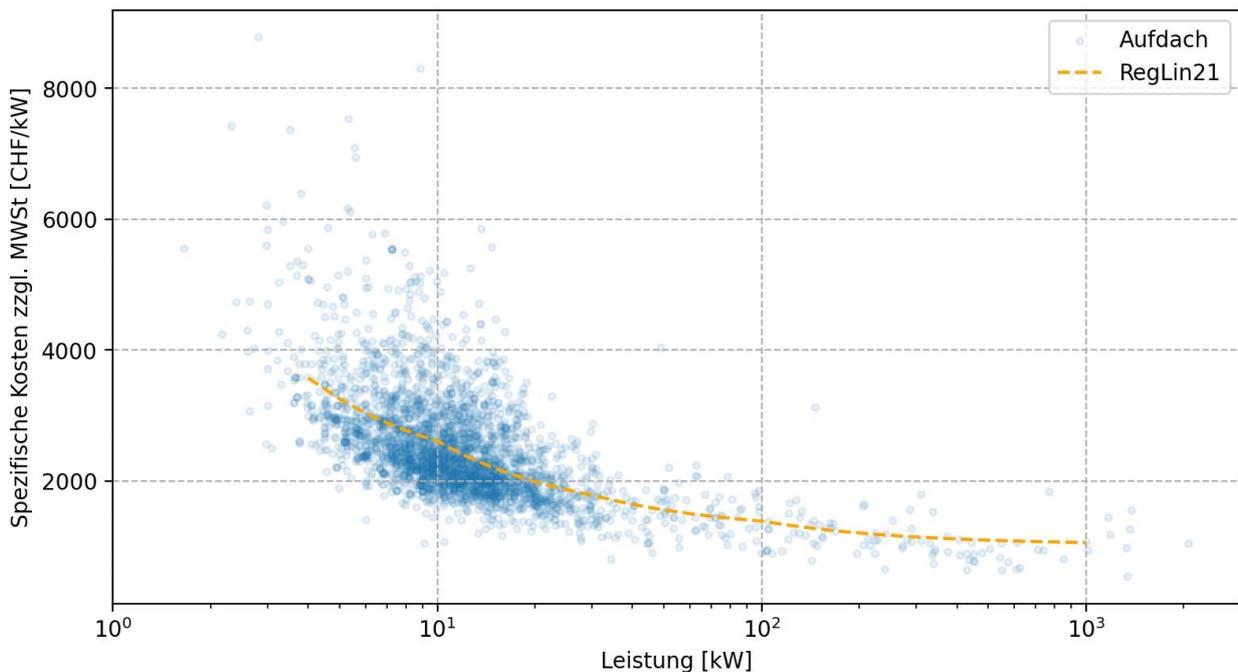


Abbildung 2: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung (logarithmischer Massstab). Die orangefarbene Kurve ist die auf den Kostenbereichen von Aufdachanlagen basierende lineare Regression (hier als spezifische Kosten dargestellt).

Der Trend einer jährlichen Abnahme der spezifischen Kosten, die in den Jahren zuvor zu beobachten war, bestätigte sich für den Zeitraum 2020 – 2021 nicht. Tatsächlich zeigt Tabelle 5, dass die Veränderung der spezifischen Kosten zwischen 2020 und 2021 – in Abhängigkeit vom Leistungsbereich – entweder Null oder positiv ist. Das verdeutlicht, dass die Kosten für Aufdachanlagen insgesamt anziehen.

Aus der Analyse der einzelnen Kostenkomponenten ergibt sich eine leistungsabhängige Zusammensetzung dieser Einflussgrössen (siehe Abbildung 24 und Abbildung 26). Insbesondere nimmt bei steigender Leistung der auf die Module entfallende Kostenanteil zu: Zwischen 100 und 300 kW ist er für ein Drittel der Gesamtkosten verantwortlich. Die nach den Modulen zweitwichtigste Komponente im gleichen Leistungsbereich sind die Arbeitskosten. Diese beiden Kostenbestandteile machen zusammengenommen über die Hälfte der Kosten aus. Auch bei kleineren Anlagen sind sie dominierend, erreichen jedoch nicht mehr als einen Anteil von 40 % der Gesamtkosten. Dicht darauf folgen die Kosten der Wechselrichter und Tragwerke.

2. Erhebung und Herkunft der Daten

Der vorliegende Bericht analysiert Daten, die im Rahmen der Photovoltaikmarkt-Preisbeobachtungsstudie 2021 erhoben wurden. Die betreffenden Daten beziehen sich auf sämtliche Kosten für Leistungen, die Installationsbetriebe bei schlüsselfertigen PV-Anlagen erbringen.

2.1 Methodik

Die Studie basiert auf im Jahr 2021 erstellten Offerten und Rechnungen für PV-Anlagen. Ein Teil dieser Daten wurde im Rahmen einer Befragung von Installationsbetrieben erhoben (für insgesamt **514** Anlagen). Der verbleibende Teil der Daten stammt aus Offerten, die im Rahmen des von EnergieSchweiz angebotenen Services «Solar-Offerte-Check» (Vergleich von PV-Offerten durch Experten von EnergieSchweiz) erstellt wurden und sich im Wesentlichen auf Anlagen mit einer Leistung unter 30 kW beziehen. Aus dem «Solar-Offerte-Check» stammen **2'792** einzelne Datensätze (im Folgenden mit «SOC» gekennzeichnet). Somit ergibt sich eine Gesamtzahl von **3'306** Datensätzen, die für diese Studie herangezogen wurden.

Sämtliche Anlagenmerkmale, deren Daten bei den Installationsbetrieben erhoben wurden, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Die Kosten der Anlagen verstehen sich zzgl. MWST. Die spezifischen Kosten berechnen sich als Verhältnis dieser Kosten zur Leistung der Anlage (DC-Nennleistung).

Tabelle 1: Bei den Installationsbetrieben erhobene Angaben.

WESENTLICHE ANGABEN	Offerte oder Rechnung Erstellungsdatum der Offerte oder Rechnung Leistung [kW] Kosten der Anlage [CHF zzgl. MWST] Postleitzahl Anlagentyp	Offerte oder Rechnung
	Neubau oder Bestandsgebäude	Integriert, Aufdach oder Fassade
ERGÄNZENDE ANGABEN	Dachart	Neu oder Bestand Bekiestes Flachdach, Flachdach mit freiliegender Abdichtung, begrüntes Flachdach, blechgedecktes Steildach, ziegelgedecktes Steildach, Sonstiges
	Wechselrichtertyp	Strangwechselrichter, Wechselrichter mit Leistungsoptimierern, Modulwechselrichter
	Monitoring in den Anlagenkosten enthalten	Ja/Nein
	Baustellenabsicherung in den Anlagenkosten enthalten	Ja/Nein
	Permanente Sicherheitsmassnahmen in den Anlagenkosten enthalten	Ja/Nein
Hinweise		
INFORMATIONEN FACULTATIVES	Kosten der Module	
	Kosten der Wechselrichter	
	Kosten des Tragwerks	
	Kosten des Elektromaterials	
	Kosten für die Baustellenabsicherung	
	Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen	
	Arbeitskosten	
	Verwaltungs- und Planungskosten	
	Logistik- und Transportkosten	
	Monitoringkosten	
Sonstige Kosten		
GESAMT		

2.2 Repräsentativität des Marktes

Um einschätzen zu können, ob die im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten hinsichtlich der Verteilung der installierten Leistungen für den Schweizer Markt repräsentativ sind, muss diese Verteilung mit derjenigen der im gleichen Jahr errichteten Anlagen verglichen werden. Letztere kann der *Statistik Sonnenenergie* [1] entnommen werden, die – wie in Abbildung 3 dargestellt – die Anzahl der installierten Anlagen in allen Leistungsbereichen enthält. Wie die Abbildung zeigt, liegt der Anteil der Anlagen im Leistungsbereich 4 bis 20 kW bei den im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten um 10 % über dem Anteil bei den errichteten Anlagen. Die Übergewichtung dieses Leistungsbereichs führt zu einer Untergewichtung aller anderen Bereiche mit Ausnahme des Bereichs über 1'000 kW. Abbildung 4 zeigt die gleiche Verteilung, hier jedoch nach Leistung statt nach Anzahl. Auch hier ist hinsichtlich der Repräsentativität die gleiche Tendenz zu beobachten.

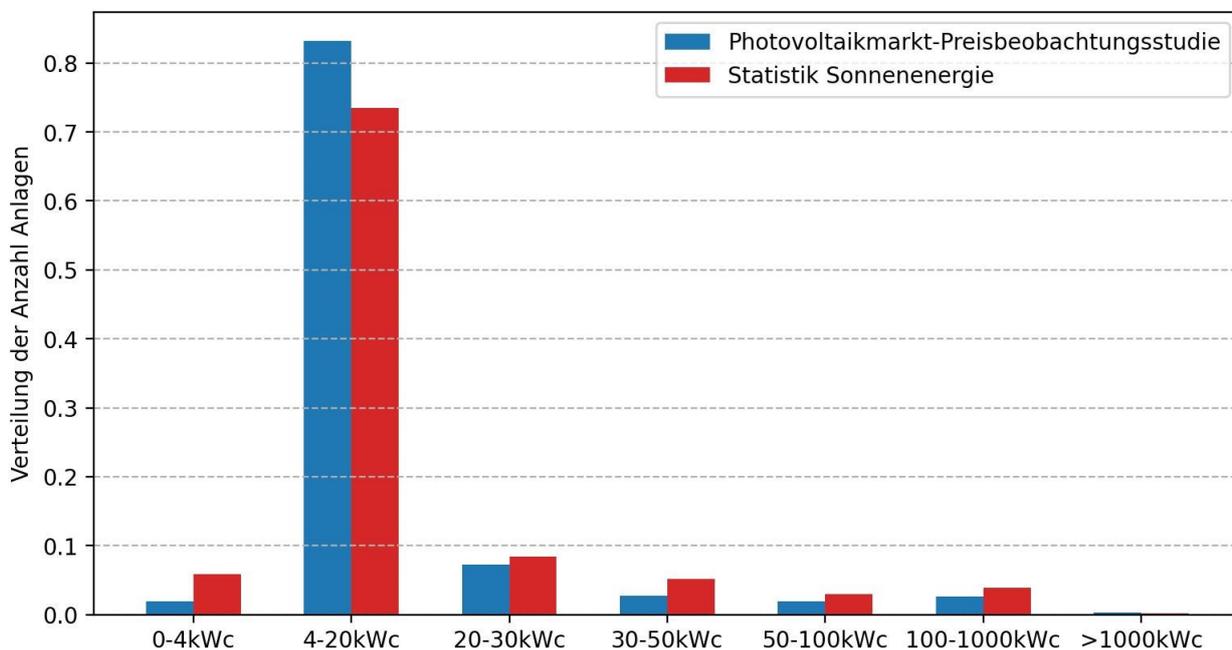


Abbildung 3: Zahlenmässige Aufteilung der PV-Anlagen nach Spitzenleistungsbereich [kW].

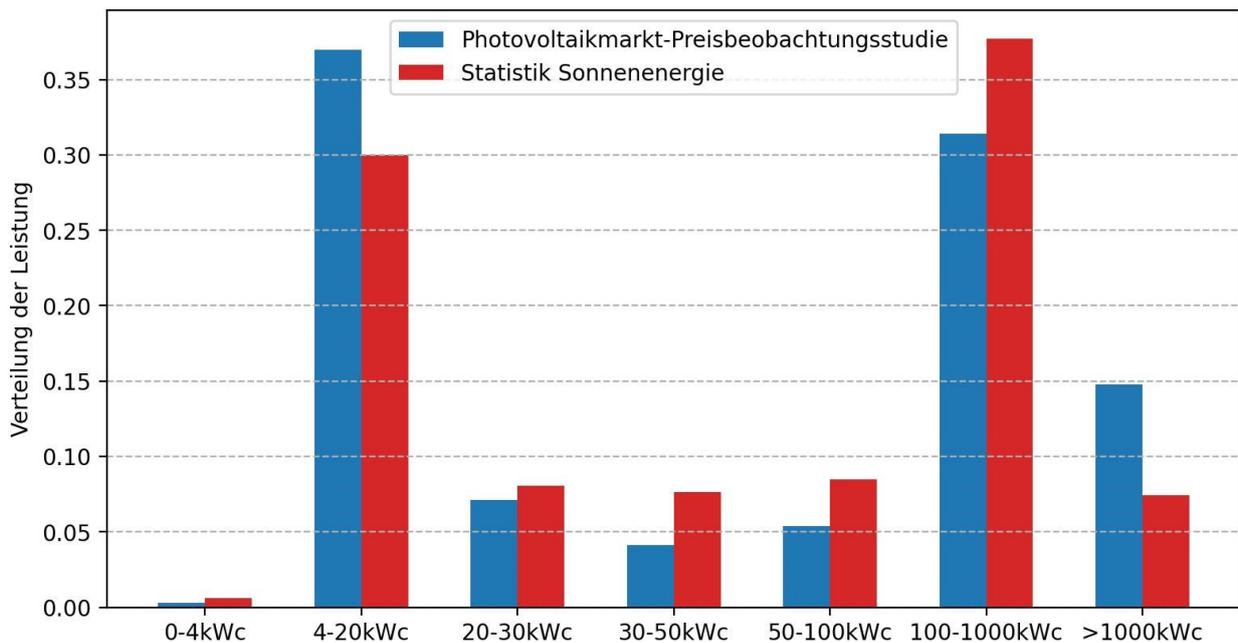


Abbildung 4: Leistungsmässige Aufteilung der PV-Anlagen nach Leistungsbereich [kW].

Es wäre möglich, einen Teil der Daten zu filtern, um die Repräsentativität zu verbessern. Dies würde jedoch die Anzahl der Beobachtungen verringern und die Unsicherheit der daraus errechneten statistischen Variablen erhöhen. Da die Repräsentativität der Daten aber als ausreichend gut einzustufen ist, werden alle Datensätze berücksichtigt. Ausserdem ist zu beachten, dass die Repräsentativität der Daten für andere Merkmale (Anlagentyp, Dachart usw.) nicht eingeschätzt werden kann, da die Verteilungen der errichteten Anlagen auf diese Kategorien nicht in allen Fällen bekannt sind.

Letztendlich repräsentieren die 3'306 erhobenen Datensätze 12.3 % der 26'890 im Jahr 2021 errichteten Anlagen [1].

2.3 Rahmen der Studie

Die Studie bezieht sich auf PV-Anlagen mit den unten genannten Merkmalen. Die Gesamtkosten der einzelnen Anlagen beinhalten die nachfolgend aufgeführten Elemente, sofern diese in den Leistungen der Installationsbetriebe 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 2021 errichtet wurden, sowie auf im Jahr 2021 erstellten Offerten.
- Die Studie berücksichtigt ausschliesslich PV-Anlagen auf Bestands- oder Neubauten.
- Die angegebenen Preise verstehen sich zzgl. MWST.

In den Kosten der PV-Anlagen enthaltene Leistungen:

- Lieferung und Aufbau der elektrischen Komponenten von den Modulen bis und mit Netzanschlussstrennschalter des Gebäudes, einschliesslich der Zubehöerteile (Kabelrinnen und Kabelführungen, Elektrokästen)
- Lieferung und Aufbau des Modulbefestigungssystems einschliesslich allfälliger Beschwerungs- und Befestigungselemente für das 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

3. Analyse der Daten

Dieses Kapitel analysiert Daten, die im Rahmen der vorliegenden Studie erhoben wurden. In den beiden ersten Abschnitten wird auf die Herkunft der Daten und Statistiken hinsichtlich der Merkmale eingegangen. Die darauffolgenden Abschnitte enthalten die Analyse der Kosten und der Merkmale, die Mehrkosten nach sich ziehen.

3.1 Statistiken zur Herkunft der Daten

Die herangezogenen Daten stammen von Installationsbetrieben: Antworten aus der Befragung und den Solar-Offerte-Checks (SOCs) (Abbildung 5). Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Anlagenanzahl und der kumulierten Leistung auf die Leistungsbereiche zwischen 2 kW und 2'068 kW. Abbildung 7 zeigt die Verteilung der Daten auf die gesamte Schweiz.

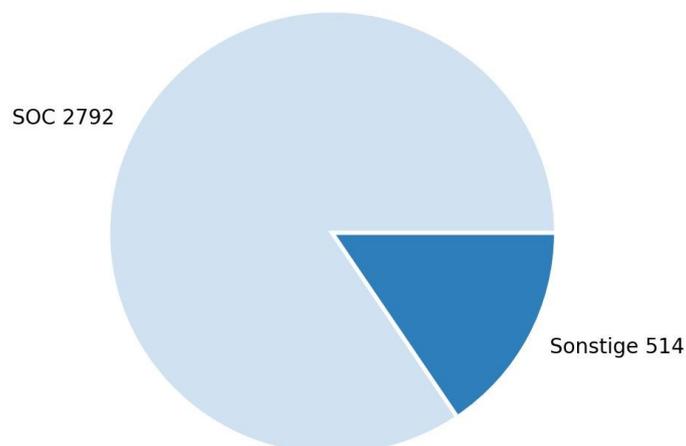


Abbildung 5: Anzahl der im Rahmen der SOCs erhobenen Datensätze sowie der von Installationsbetrieben stammenden Datensätze (sonstige).

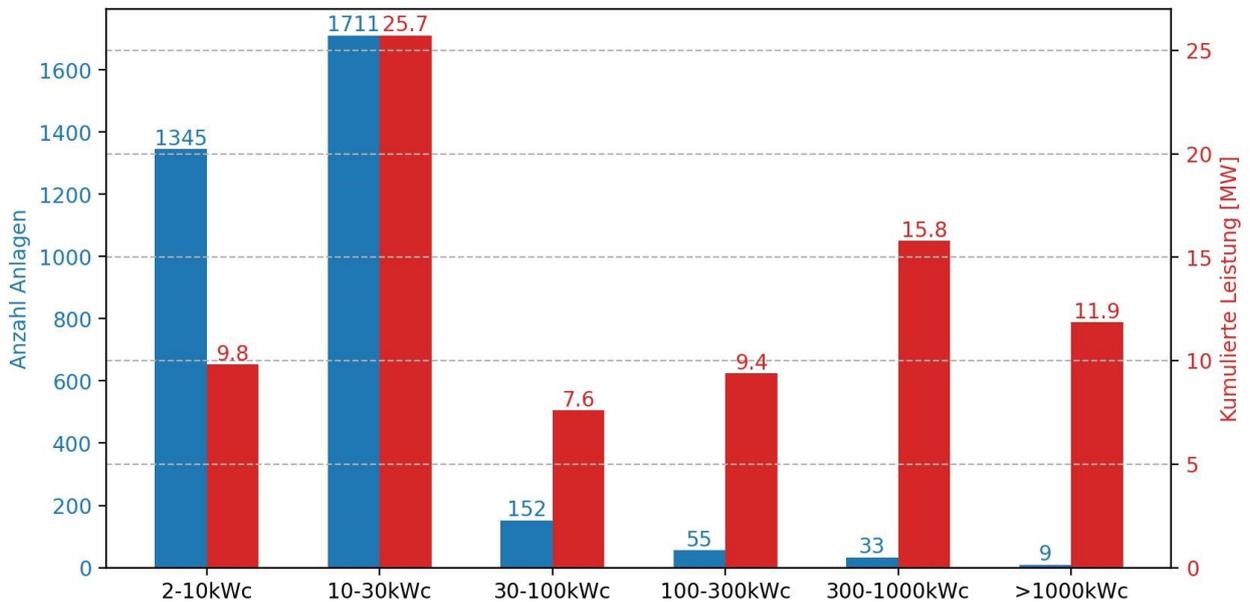


Abbildung 6: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Leistungsbereich.

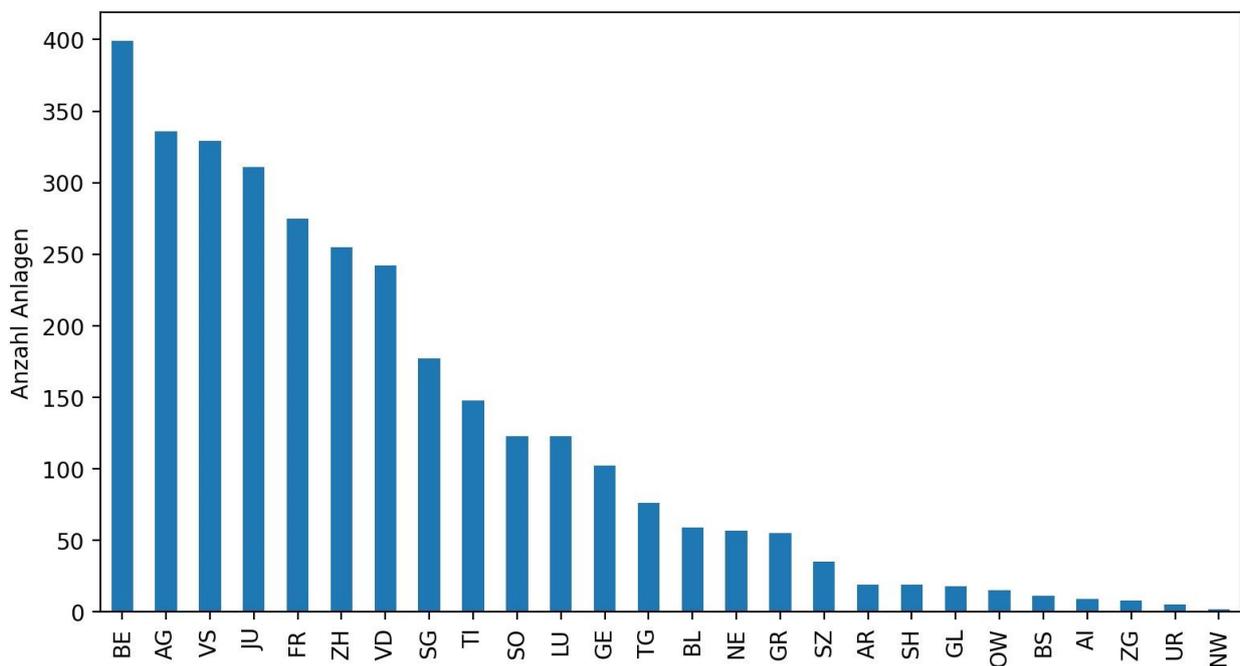


Abbildung 7: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Kanton (Standort der Anlagen).

3.2 Statistische Untersuchung der Datensatz-Merkmale

Neben der Leistung und den Gesamtkosten wurden bei der Befragung und den SOC's noch weitere Daten zu den Anlagen erhoben. Dabei ging es darum, Aufdachanlagen 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.

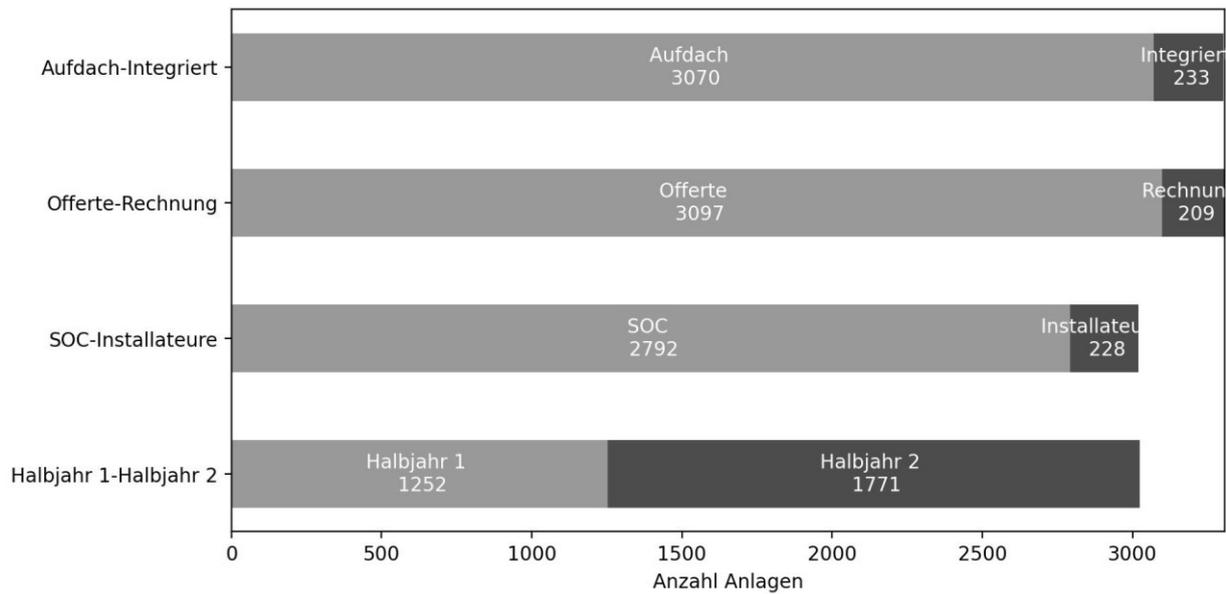


Abbildung 8: Erforderliche Merkmale, die für jede Anlage anzugeben waren. Die meisten eingegangenen Datensätze beziehen sich auf Offerten sowie auf Aufdachanlagen.

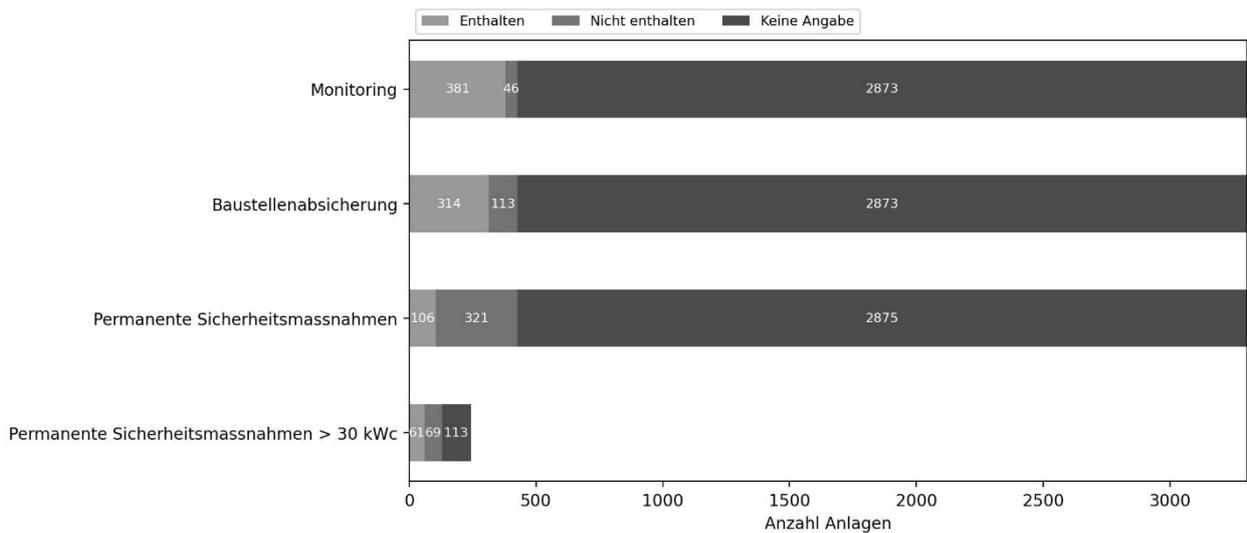


Abbildung 9: Optional anzugebende Merkmale, die belegen, ob das Monitoring, die Baustellenabsicherung oder permanente Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen und Kosten der untersuchten PV-Anlagen enthalten waren. Die Angaben in den ersten drei Zeilen beziehen sich auf alle Anlagen (Aufdachanlagen und integrierte Anlagen, offeriert und in Rechnung gestellt, alle Leistungsbe- reiche). Die vierte Zeile gibt ausschliesslich für Anlagen über 30 kW an, ob auch die permanenten Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen enthalten waren.

Modulwechselrichter werden seit einigen Jahren immer weniger verwendet. Im Jahr 2021 kamen sie nur noch in 2 % der Anlagen zum Einsatz. Der Anteil der Anlagen mit Strangwechselrichter nimmt zu und lag 2021 bei 62 % aller Anlagen.

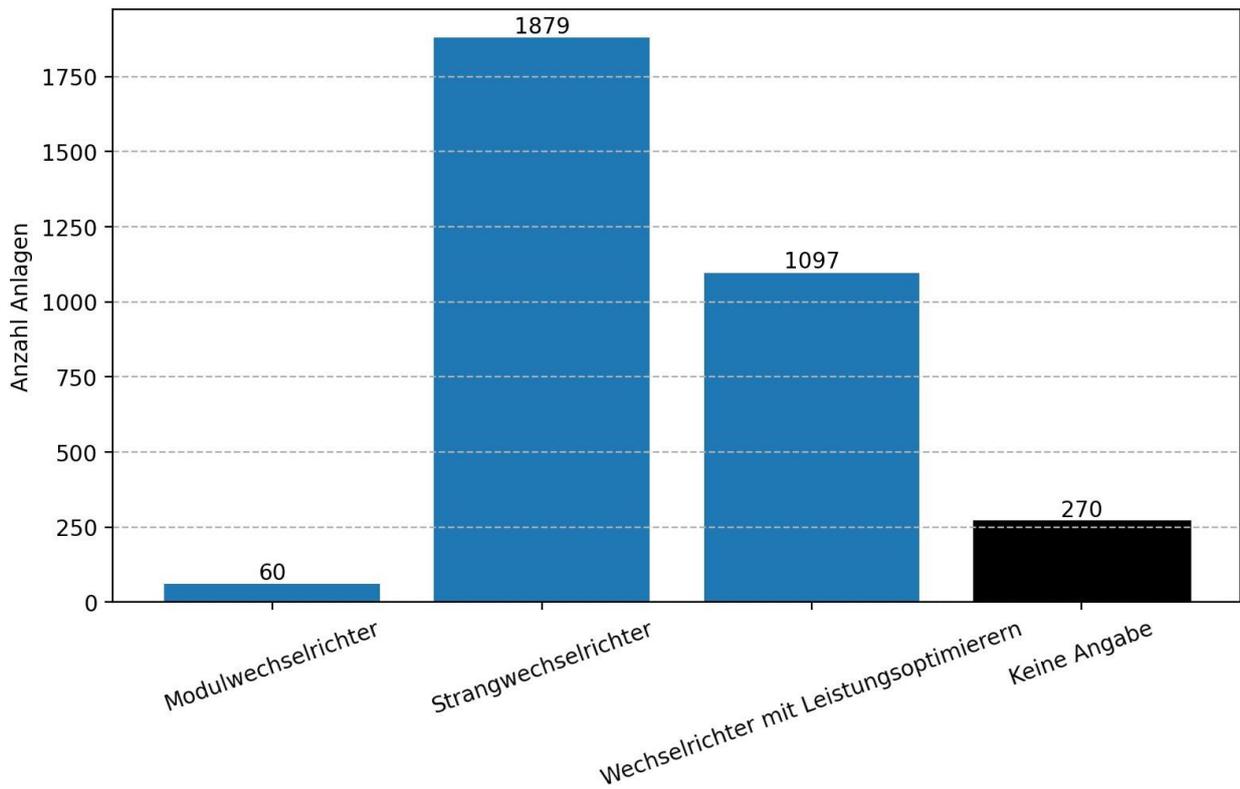


Abbildung 10: Für 3'036 Anlagen – das sind 92 % der erhobenen Datensätze – wurde der Typ des offerierten oder installierten Wechselrichters angegeben. Unter diesen Anlagen verwendeten 62 % Strangwechselrichter (2020: 53 %), 36 % Leistungsoptimierer (2020: 43 %) und 2 % Modulwechselrichter (2020: 4 %).

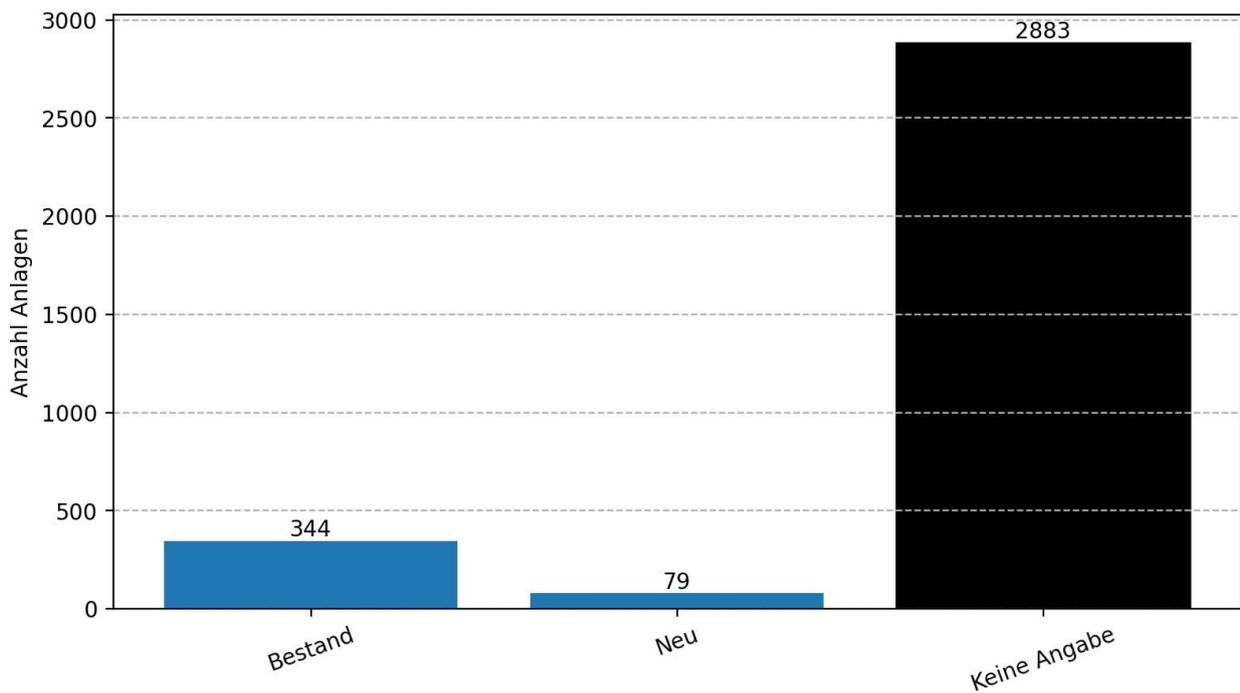


Abbildung 11: Die Gebäudeart wurde für 423 Anlagen (13 % der Datensätze) angegeben. In 81 % der erhobenen Fälle wurde die Anlage auf einem Bestandsgebäude errichtet oder war dafür vorgesehen.

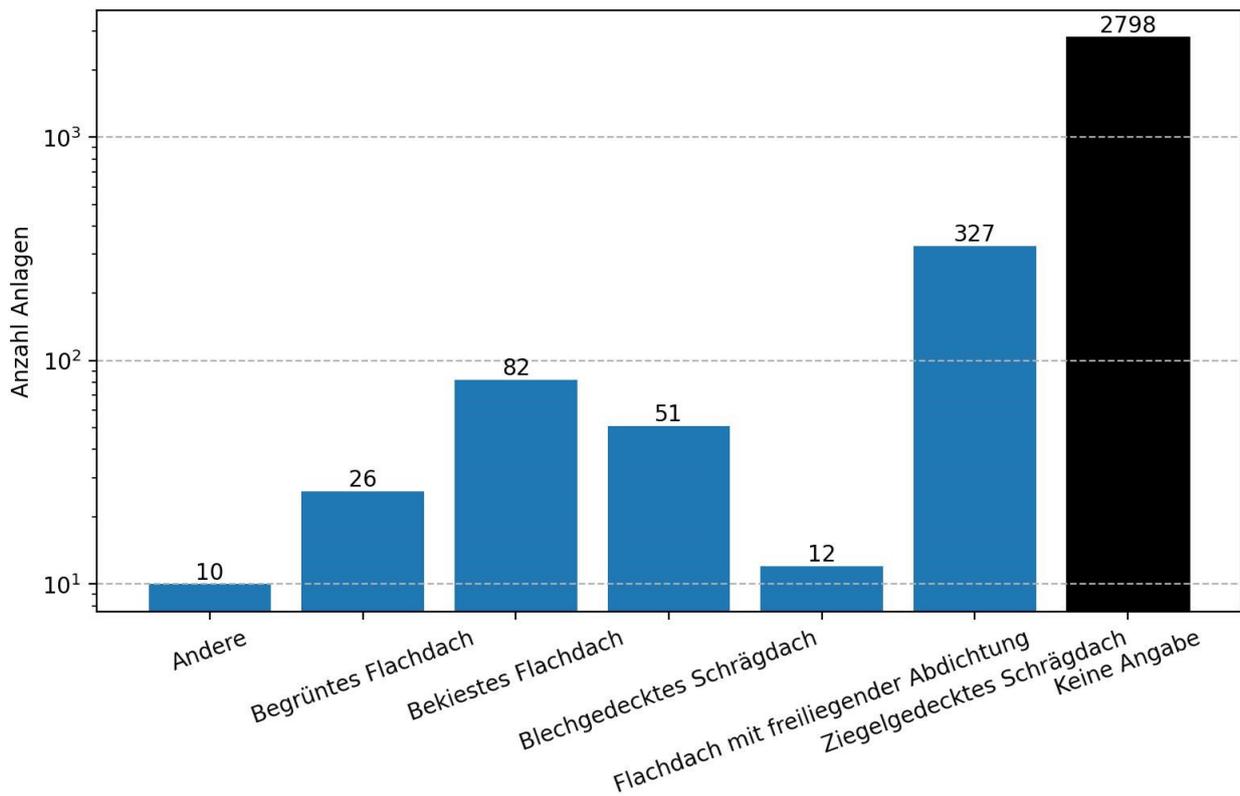


Abbildung 12: Die Art des Gebäudedachs wurde für 508 Anlagen (15 % der Datensätze) angegeben. 64 % der Anlagen wurden auf ziegelgedeckten Schrägdächern und 16 % auf bekiesten Flachdächern errichtet.

3.3 Preise von Aufdachanlagen

Abbildung 13 zeigt die Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen mit einer Nennleistung unterhalb 300 kW. Wie bereits in Abbildung 6 zu erkennen ist, bezieht sich ein Grossteil der erhobenen Datensätze auf Leistungen unter 30 kW.

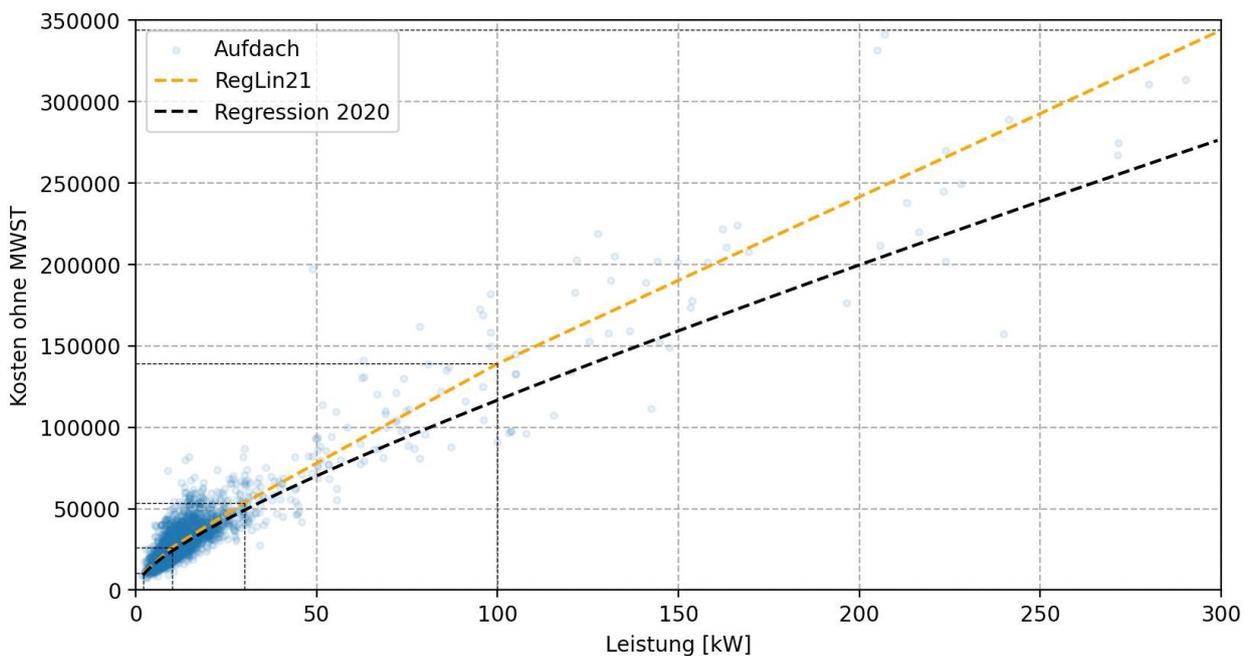


Abbildung 13: Kosten von Aufdachanlagen unter 300 kW im Jahr 2021. Die orangefarbene Kurve ist die auf den entsprechenden Kostenbereichen basierende lineare Regression. Die schwarze Kurve entspricht der Regression des Vorjahres.

Um sowohl diese hohe Datensatzdichte bei geringen Leistungen als auch die Datensätze mit Leistungen über 1'000 kW darstellen zu können, wurde für die Leistung auf der Abszisse ein logarithmischer Massstab gewählt. Abbildung 14 zeigt diese Verteilung; auf der Ordinate sind die spezifischen Kosten (anstelle der Kosten) angegeben.

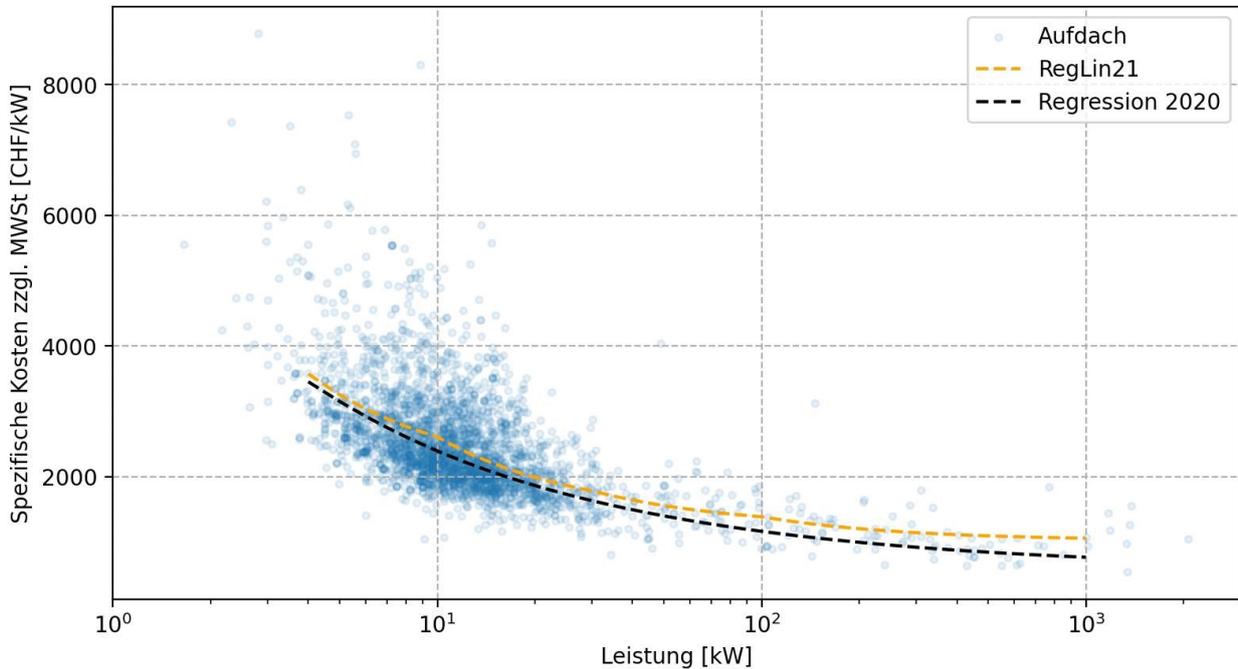


Abbildung 14: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung (logarithmischer Massstab). Die orangefarbene Kurve ist die auf den Kostenbereichen von Aufdachanlagen im Jahr 2021 basierende lineare Regression (hier als spezifische Kosten dargestellt). Die schwarze Kurve zeigt die nichtlineare Regression der im Jahr 2020 installierten Aufdachanlagen.

Abbildung 14 zeigt die beiden Regressionskurven für 2020 und 2021. Der Trend 2020 ergibt sich aus einer Regression auf Grundlage der Gleichung (1), wobei x die Leistung in kW darstellt und y den spezifischen Kosten (zzgl. MWST) in CHF/kW entspricht. Ihre Gewichtung korreliert mit der Datenpunktdichte pro Leistungsbereich.

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

Dieser Ansatz wurde auch auf die Daten des Jahres 2021 angewandt, wobei sich jedoch gezeigt hat, dass das Bestimmtheitsmass R^2 dieser Regression einer linearen Regression nicht überlegen ist. Diese lineare Regression wurde allerdings nicht auf die spezifischen Kosten, sondern auf die Bruttokosten (zzgl. MWST) in CHF angewandt. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht in einer Regression, deren Parameter anders als die der Gleichung (1) interpretierbar sind. Da die Regression für die Kosten (statt die spezifischen Kosten) errechnet wird, ist keine Gewichtung zur Berücksichtigung der ungleichmässigen Datenverteilung erforderlich.

Um die Nichtlinearität der Abhängigkeit der Kosten von der Leistung zu berücksichtigen, wird die lineare Regression bereichsweise berechnet. Diese Art der Regressionsberechnung minimiert den Kostenfehler mit einer affinen Funktion für die einzelnen Leistungsbereiche unter Wahrung der Kontinuität dieser Funktion an den Bereichsgrenzen. Tabelle 2 enthält die linearen Regressionskoeffizienten der einzelnen Kurvenabschnitte. Das Bestimmtheitsmass dieser Regression beträgt $R^2 = 0.92$ im Bereich 0 bis 300 kW. Wegen fehlender Daten ist für die höheren Bereiche keine bereichsweise lineare Regression möglich.

Tabelle 2: Parameter der bereichsweisen linearen Regression (RegLin21) der Kosten von Aufdachanlagen. In jedem Leistungsbereich ist eine affine Funktion durch $y = a \cdot x + b$ gegeben, wobei x die Leistung in kW ist und y den Kosten in CHF (zzgl. MWST) entspricht.

Leistungs- bereich [kW]	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2 des Bereichs
2 – 10	1'970	6'420	0.24
10 – 30	1'374	12'382	0.35
30 – 100	1'221	16'979	0.63
100 – 300	1'024	36'606	0.53

Die bereichsweise lineare Approximation der Kosten von Aufdachanlagen lässt sich somit wie folgt ausdrücken:

$$\text{RegLin21 : coût HT [CHF]} = \min_k (a_k \cdot (\text{puissance [kW]}) + b_k) \quad (2)$$

Leserinnen und Leser, die an einer Nachbildung dieser Regression in Excel interessiert sind, erhalten die Kosten in CHF mit folgender Funktion:

=MIN({1970;1374;1221;1024}*A1+{6420;12382;16979;36606}), wobei A1 die Leistung in kW ist.

Diese Regression basiert somit für jeden Leistungsbereich auf einem variablen (a) und einem festen Kostenbestandteil (b). Der variable Bestandteil ist streng abnehmend, während der feste Bestandteil streng ansteigend ist.

Eine weitere Möglichkeit, die Korrelation zwischen spezifischen Kosten und Anlagenleistung zu untersuchen, ist die Betrachtung des Medians der Kosten für jeden Leistungsbereich. Dies ist in Abbildung 15 dargestellt. Wie bereits in der vorherigen Abbildung gezeigt, ist die Varianz der spezifischen Kosten in den beiden ersten Leistungsbereichen ganz erheblich. Die Medianwerte haben für diese Bereiche folglich nur eine geringe Aussagekraft. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Medianwerte 2021 (orangefarbene Balken) den Werten aus 2020 entsprechen oder darüber liegen (Sterne). Dies zeigt, dass sich der Trend der vergangenen Jahre – nämlich fallende Kosten für PV-Anlagen – im Zeitraum 2020 – 2021 invertiert hat.

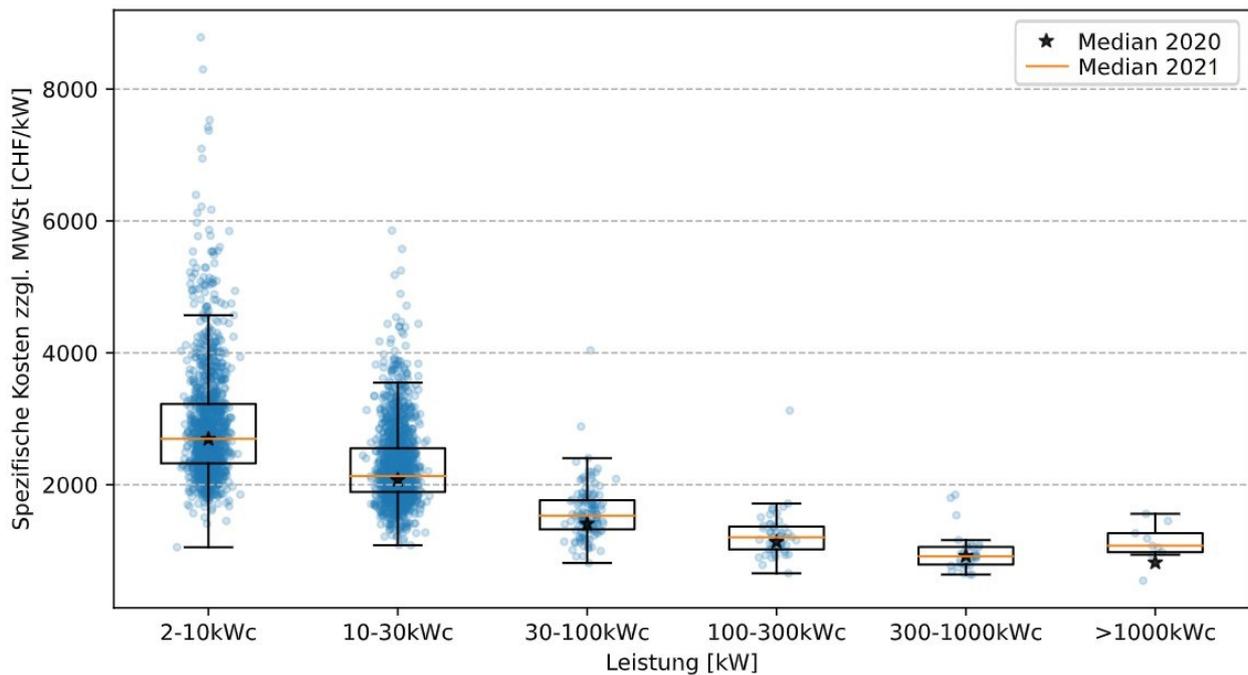


Abbildung 15: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen als Boxplots nach Leistungsbereich. Der orangefarbene Balken kennzeichnet den Medianwert der spezifischen Kosten für den jeweiligen Bereich im Jahr 2021, der Stern den Medianwert für 2020. Die Ränder der Box stehen für die 25%- und 75%-Perzentile, was bedeutet, dass sich 50 % aller Datensätze innerhalb des betreffenden Intervalls befinden.

Global gesehen sinken die spezifischen Kosten tendenziell mit steigender Anlagenleistung. Eine Ausnahme bilden die Kosten im Leistungsbereich über 1'000 kW. Diese Unregelmässigkeit ist durch die geringe Anzahl der in diesem Bereich verfügbaren Beobachtungen zu erklären, aus der sich kein Kostentrend bei diesen sehr grossen Anlagen ableiten lässt. Es fällt auf, dass der Median der spezifischen Kosten grosser Anlagen im Bereich 300 bis 1'000 kW bei 913 CHF/kW liegt und damit nur ein Drittel des Wertes kleiner Anlagen beträgt (2'696 CHF/kW).

Tabelle 3: Statistische Merkmale von Aufdachanlagen. Die Tabelle nennt die 0-%-, 25-%-, 50-%-, 75-%- und 100-%-Perzentile der spezifischen Kosten in den einzelnen Leistungsbereichen.

Leistungsbe- reich [kW]	Anzahl Anlagen	Spezifische Kosten [CHF/kW]				
		Min	25 %	Median	75 %	Max
2 – 10	1'265	1'051	2'324	2'696	3'223	8'785
10 – 30	1'585	1'081	1'888	2'131	2'553	5'855
30 – 100	128	812	1'323	1'529	1'764	4'038
100 – 300	50	656	1'019	1'202	1'364	3'124
300 – 1000	32	638	791	913	1'056	1'846
>1'000	9	544	977	1'075	1'265	1'559

3.4 Preise integrierter PV-Anlagen

Abbildung 16 fasst die spezifischen Kosten von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen zusammen. Die integrierten Anlagen konzentrieren sich im Leistungsbereich zwischen 4 kW und 50 kW. Ihre spezifischen

Kosten weisen eine stärkere Streuung auf als die von Aufdachanlagen. Das Bestimmtheitsmass der bereichsweisen linearen Regression beträgt bei integrierten Anlagen 0.62, was bedeutet, dass die Beobachtungen nicht mittels Regression interpretiert werden können.

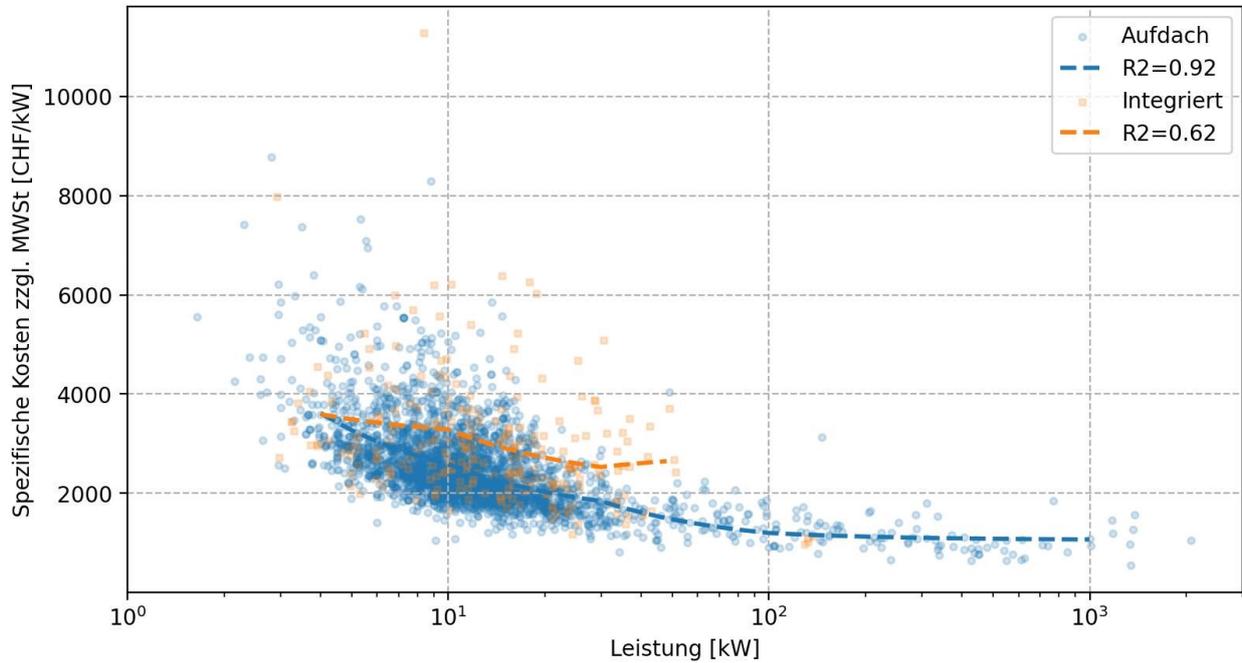


Abbildung 16: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen mit linearen Regressionen.

Um die Preisdifferenz zwischen Aufdachanlagen und integrierten Anlagen zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 17 die Verteilung der spezifischen Kosten nach Leistungsbereich. Wie zu erkennen ist, liegen die Medianwerte der integrierten Anlagen in allen Fällen über denen der Aufdachanlagen. Die jeweiligen Differenzen der Mediane sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Der Anstieg der Differenz von 13 % auf 63 % mit zunehmender Leistung lässt sich dadurch erklären, dass der Anteil der Materialkosten mit zunehmender Leistung steigt und die Materialkosten für integrierte Anlagen höher sind als die für Aufdachanlagen.

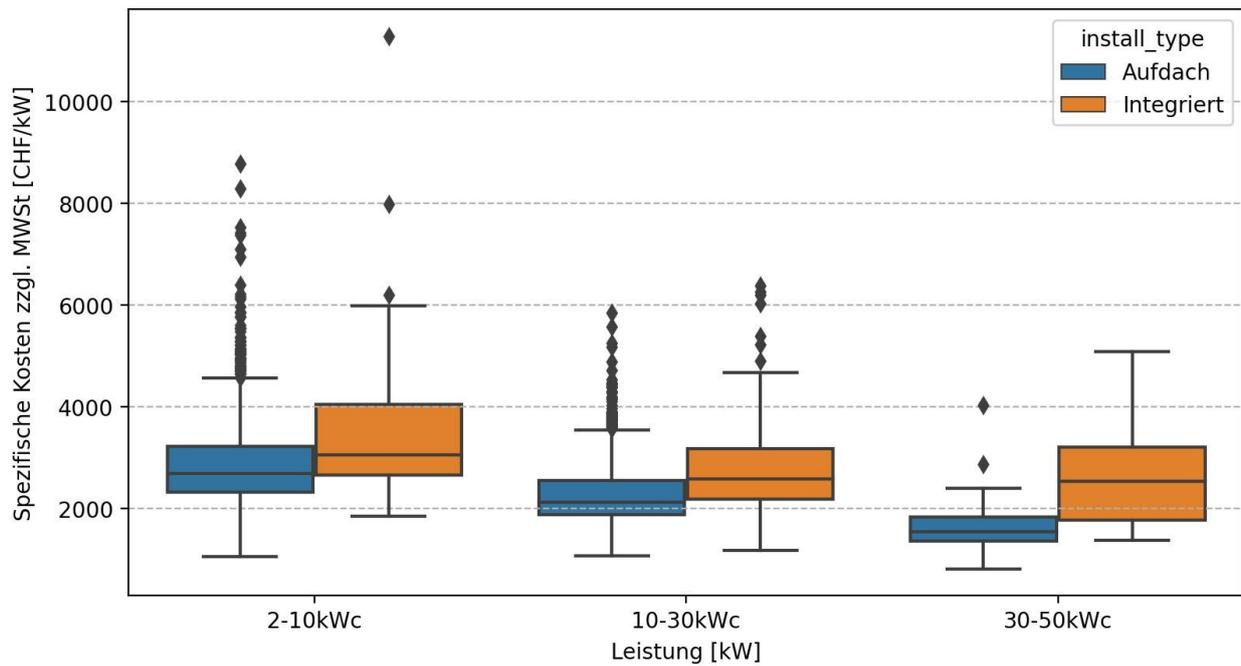


Abbildung 17: Verteilung der spezifischen Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen in drei Leistungsbereichen.

Tabelle 4: Mediane der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen nach Leistungsbereich.

	Spezifische Kosten zzgl. MWSt [CHF/kW]		Mehrkosten integriert [%]
	Aufdach	Integriert	
2 – 10 kW	2'696	3'059	13 %
10 – 30 kW	2'131	2'583	21 %
30 – 50 kW	1'553	2'533	63 %

3.5 Preise von Aufdachanlagen bei Bestands- oder Neubauten

Abbildung 18 ermöglicht einen Vergleich der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen bei Bestands- oder Neubauten. Aufgrund fehlender Daten können keine Schlussfolgerungen gezogen werden. Dennoch scheint es, als wären Aufdachanlagen bei neuen Gebäuden zumindest unterhalb von 50 kW mit höheren Kosten verbunden. Dieser Trend widerspricht den Beobachtungen von 2020. Eine mögliche Erklärung wäre, dass sich nun eine grössere Anzahl Akteure mit Anlagen auf Neubauten befasst, was zu zusätzlichen organisatorischen Anforderungen und in der Folge zu höheren Kosten führt. Der Trend wird anhand der Daten von 2022 zu überprüfen sein.

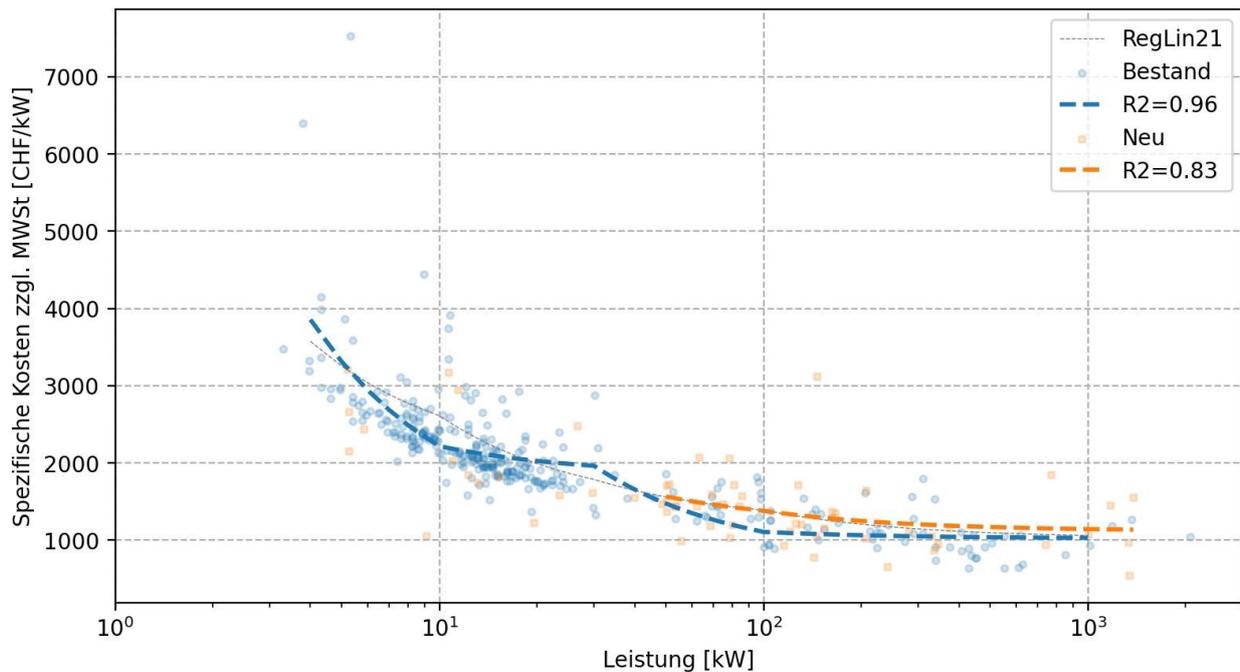


Abbildung 18: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen auf Bestands- oder Neubauten mit linearen Regressionen.

3.6 Preise von Aufdachanlagen mit oder ohne Baustellenabsicherung

Abbildung 19 ermöglicht einen Vergleich der spezifischen Kosten von Anlagen, bei denen angegeben wurde, ob die Baustellenabsicherung beinhaltet ist oder nicht. Fehlende Daten schliessen eine Regression oder Quantifizierung aus. Wie zu erwarten ist, scheinen die spezifischen Kosten bei Anlagen ohne Baustellenabsicherung geringer auszufallen als bei Anlagen mit Baustellenabsicherung.

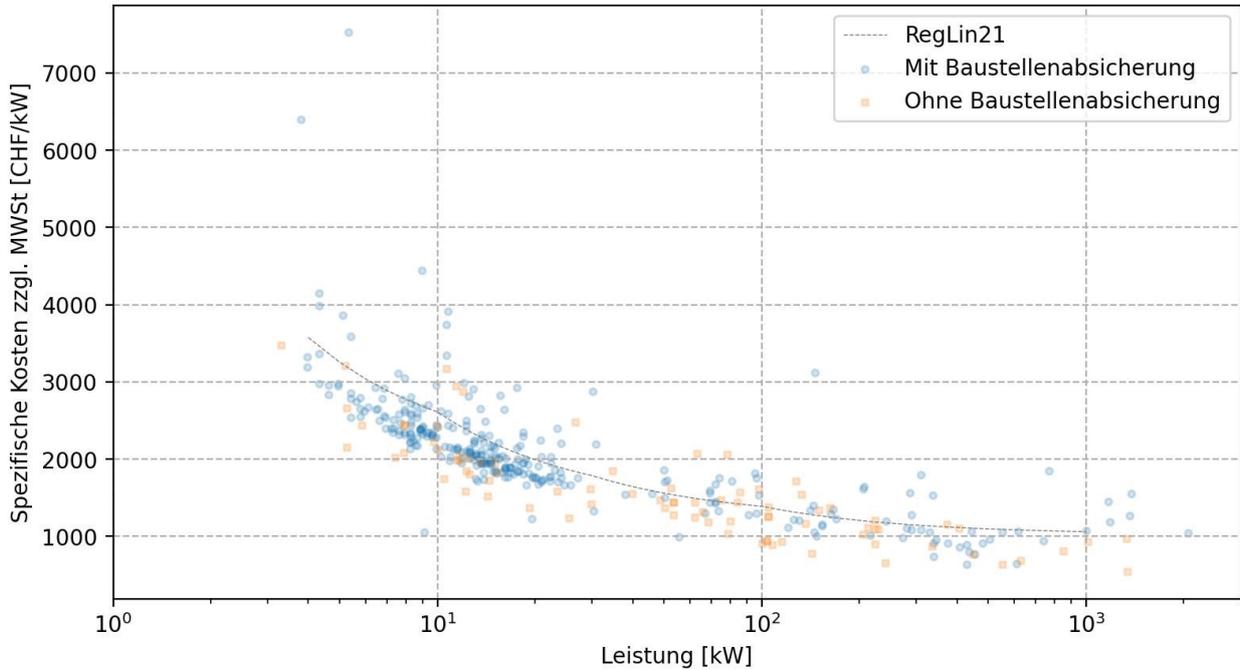


Abbildung 19: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen mit oder ohne Baustellenabsicherung.

3.7 Anlagenpreise nach Wechselrichtertyp

Abbildung 20 ermöglicht einen Vergleich der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in Abhängigkeit vom Wechselrichtertyp. Die wenigen für Anlagen mit Modulwechselrichter vorliegenden Beobachtungen gestatten keine Interpretation der Ergebnisse. Für Wechselrichter mit Leistungsoptimierern wurde bis 100 kW die Regression durchgeführt. Oberhalb dieses Bereichs liegen zu wenige Beobachtungen vor. Bei einem Vergleich der Regressionen für Anlagen mit Leistungsoptimierern oder Strangwechselrichtern lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den betreffenden Anlagen bzw. Wechselrichtertypen erkennen. Eine alternative Methode für die Untersuchung dieser Unterschiede ist die Betrachtung der Mediane der spezifischen Kosten nach Leistungsbereich und Wechselrichtertyp. Abbildung 21 zeigt diese Betrachtung. Wie zu erkennen ist, weichen die Mediane in den drei Leistungsbereichen nur sehr wenig voneinander ab, wobei es eine kleine Tendenz zu geringeren spezifischen Kosten bei Anlagen mit Leistungsoptimierern gibt. Die betreffende Differenz ist nicht quantifizierbar, da sie wahrscheinlich kleiner ist als die durch den vorliegenden Studienansatz bedingte Unsicherheit.

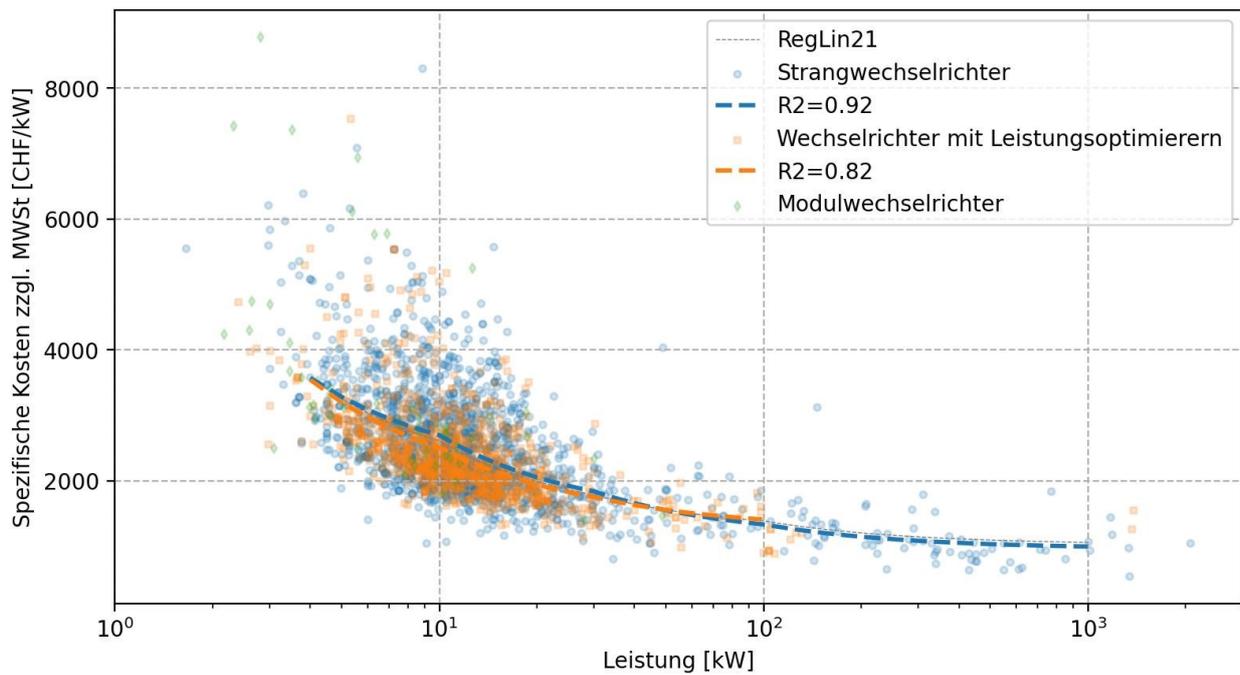


Abbildung 20: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen in Abhängigkeit vom Wechselrichtertyp.

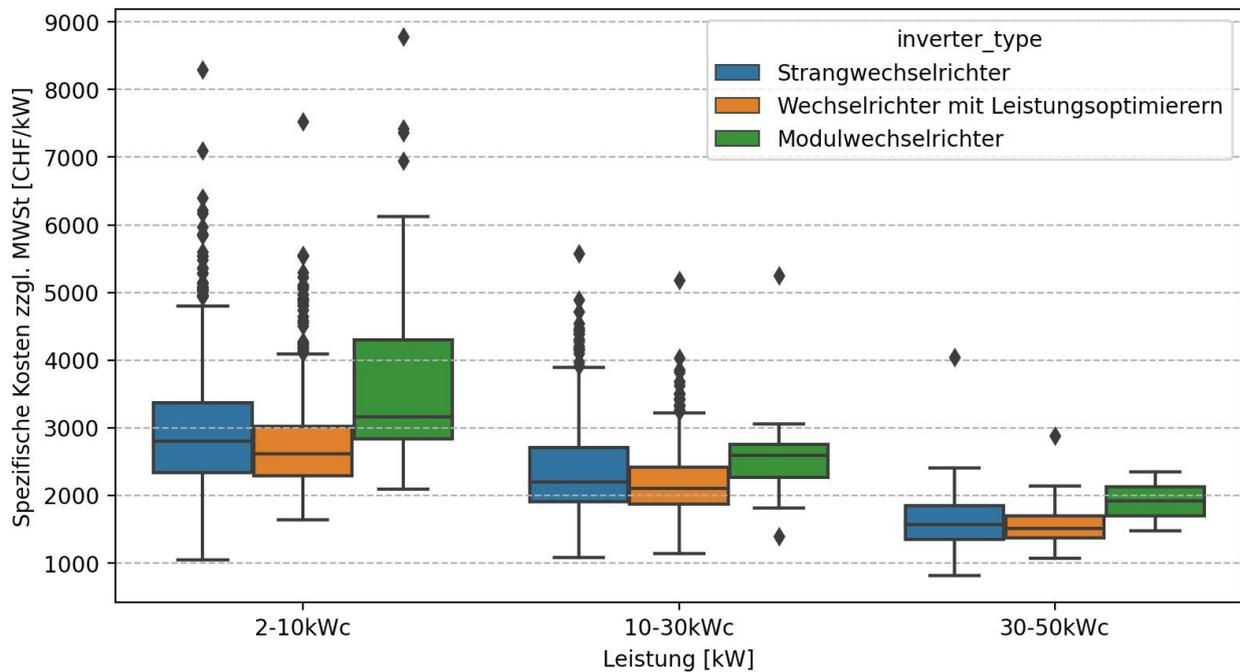


Abbildung 21: Verteilung der spezifischen Kosten (zzgl. MWST) für drei Wechselrichtertypen und drei Leistungsbereiche.

3.8 Anlagenpreise nach Dachart

Abbildung 22 zeigt die spezifischen Anlagenkosten nach Dachart für die drei im Rahmen der Beobachtungen am häufigsten vorkommenden Dacharten. Obwohl 460 Beobachtungen vorliegen, ist die Leistungsverteilung nicht hinreichend gleichförmig, um einen Vergleich zu gestatten. Tatsächlich werden auf ziegelgedeckten Schrägdächern in erster Linie Anlagen unter 30 kW eingesetzt, während sich die wenigen Beobachtungen für Anlagen auf bekiesten Flachdächern sowie blechgedeckten Schrägdächern über alle Leistungsbereiche hinweg erstrecken.

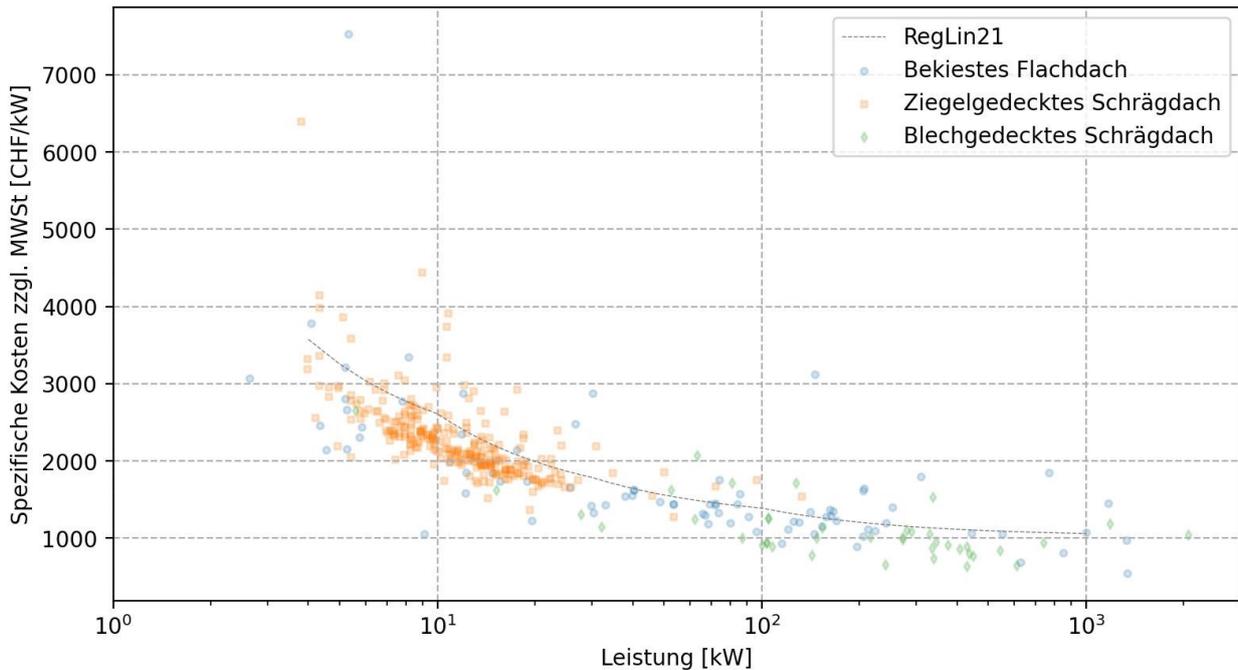


Abbildung 22: Spezifische Kosten (zzgl. MWST) von Aufdachanlagen auf verschiedenen Dacharten.

3.9 Kostenaufschlüsselung

Das Ziel der vorliegenden Analyse ist die Aufschlüsselung der Kosten von Aufdachanlagen nach Kategorien. Diese Analyse stützt sich auf die Hypothese einer gleichmässigen Verteilung der Margen anstelle ihrer Beaufschlagung auf nur einzelne Kategorien. Tatsächlich ist es nicht unwahrscheinlich, dass Installationsunternehmen für ihre Arbeitskosten höhere Margen vorsehen als für den Modulkostenanteil – oder umgekehrt. Auch wenn dieses Ungleichgewicht wahrscheinlich ist, kann es hier nicht quantifiziert werden.

Die Analyse wurde zweimal durchgeführt: ein erstes Mal mit einem Satz aus sechs Kategorien, wodurch eine grössere Anzahl Beobachtungen – insbesondere aus dem SOC – aufgenommen werden konnte, und ein zweites Mal mit neun Kategorien und einem stärker eingeschränkten Datenbestand. In beiden Analysen wurde die Aufschlüsselung der Kosten nach Leistungsbereich untersucht, sofern im betreffenden Bereich ausreichend viele Beobachtungen vorlagen.

3.9.1 Gesamtüberblick

In einer ersten Analyse wurden die Gesamtkosten nach den sechs folgenden Kategorien aufgeschlüsselt:

- Kosten der Module
- Kosten der Wechselrichter
- Kosten des Tragwerks
- Kosten für die Baustellenabsicherung
- Verwaltungs- und Planungskosten
- Sonstige Kosten

Diese Auswahl ermöglichte die Einbeziehung der Daten aus dem SOC, woraus sich insgesamt 859 Beobachtungen ergaben.

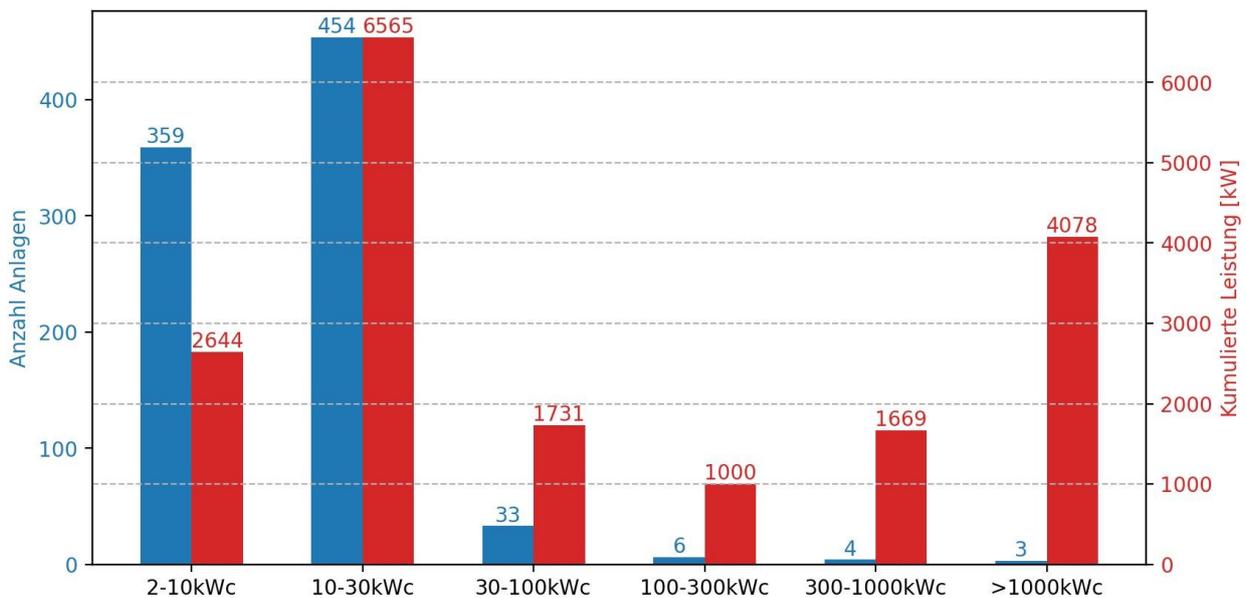


Abbildung 23: Anzahl und Anlagenleistung nach Leistungsbereich mit Angabe der Kosten zu den fünf ersten Kategorien (Mindestanforderung).

Hier wurden die Aufdachanlagen einbezogen, bei denen Angaben zu den ersten fünf Kategorien vorlagen, die nicht gleich Null sein durften. Die «sonstigen Kosten» errechneten sich einfach als die Gesamtkosten minus der Summe aus diesen fünf Kategorien. Abbildung 23 zeigt die Anzahl gültiger Beobachtungen in den jeweiligen Leistungsbereichen. Aufgrund der wenigen Beobachtungen oberhalb von 100 kW waren in diesen oberen Bereichen keine Kostenaufschlüsselungen möglich.

Die in Abbildung 24 gezeigten Kostenaufschlüsselungen zeigen, dass der Anteil der Modulkosten zwischen dem ersten und dritten Leistungsbereich von 16 % auf 27 % ansteigt. Diese Beobachtung stimmt mit der Preisbeobachtung aus dem Jahr 2020 überein und erklärt sich aus den mit steigender Leistung fallenden Fixkosten. Der Anteil der Wechselrichterkosten sinkt leicht von 11 % auf 9 %. Auf die spezifischen Kosten bezogen bedeutet das eine Reduktion um mehr als die Hälfte. Hinsichtlich der Kosten für das Tragwerk und die Baustellenabsicherung ist kein signifikanter Trend zu beobachten. Der Kostenanteil für die Verwaltung und Planung sinkt mit der Grösse der Anlage, da ein Teil dieser Kosten fix ist und nicht von der Anlagengrösse abhängt.

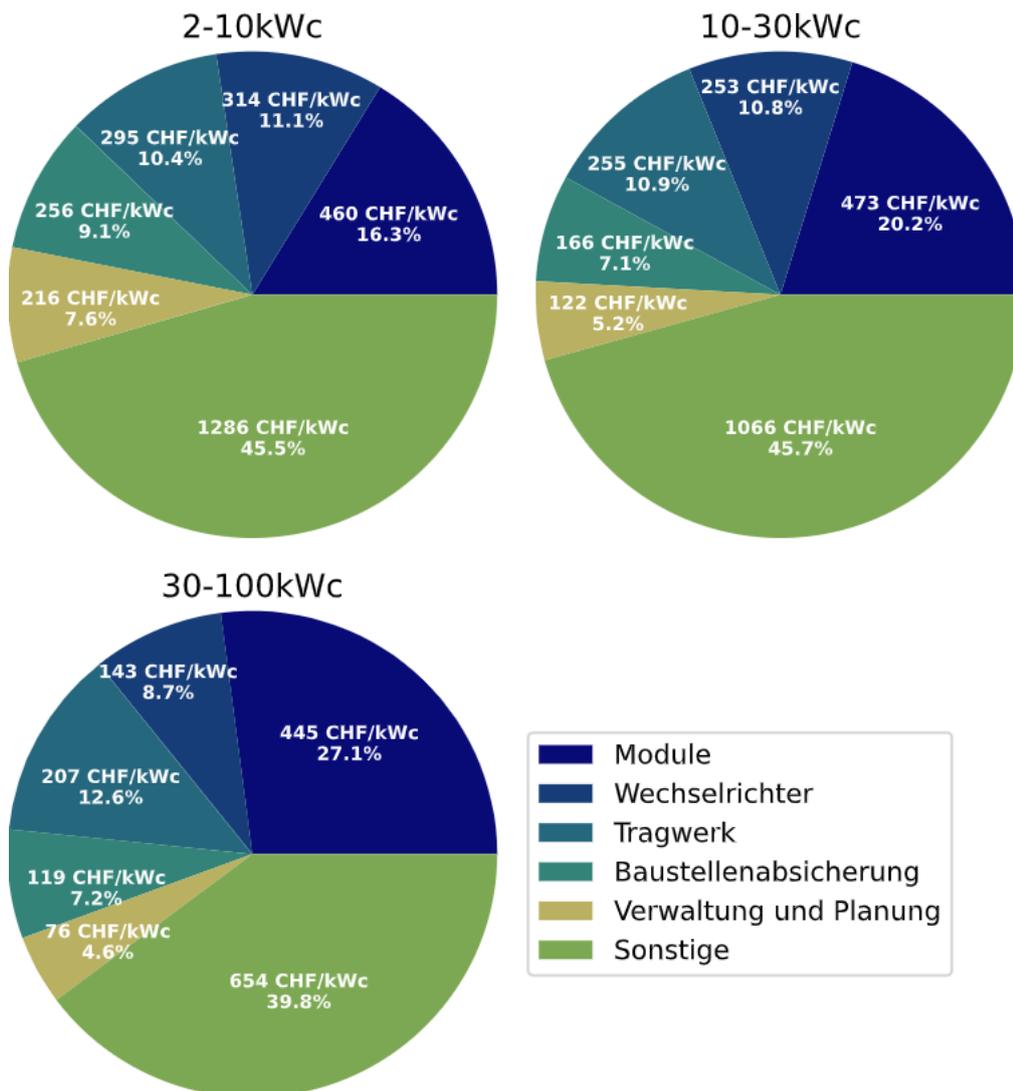


Abbildung 24: Aufschlüsselung der Kosten von Aufdachanlagen in den drei ersten Leistungsbereichen anhand von sechs Kategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der kategoriespezifischen Kosten aller Anlagen eines Leistungsbereichs, für welche die betreffenden Werte bekannt sind.

3.9.2 Detaillierte Betrachtung

Die «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 79 Aufdach-PV-Anlagen, zu denen vollständige detaillierte Angaben gemacht werden konnten. 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 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

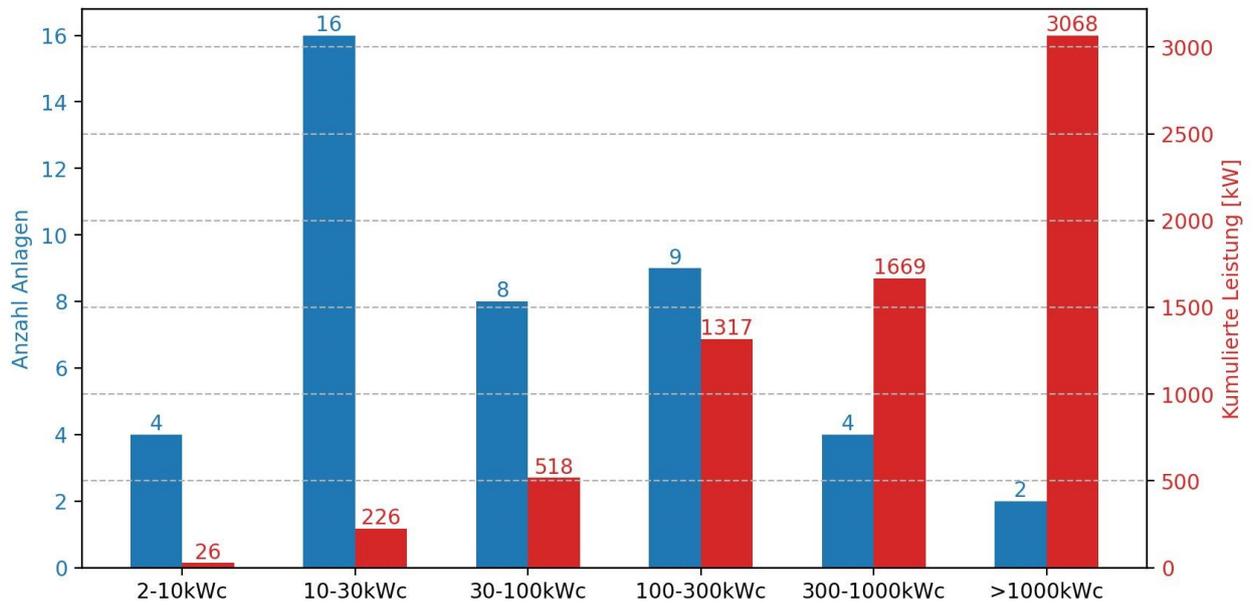


Abbildung 25: Anzahl und Anlagenleistung nach Leistungsbereich bei bekannter Kostenzusammensetzung.

Abbildung 25 zeigt die Anzahl Beobachtungen in den jeweiligen Leistungsbereichen. Aufgrund der wenigen Beobachtungen unterhalb von 10 kW und oberhalb von 300 kW waren lediglich in den drei verbleibenden Bereichen Kostenaufschlüsselungen möglich.

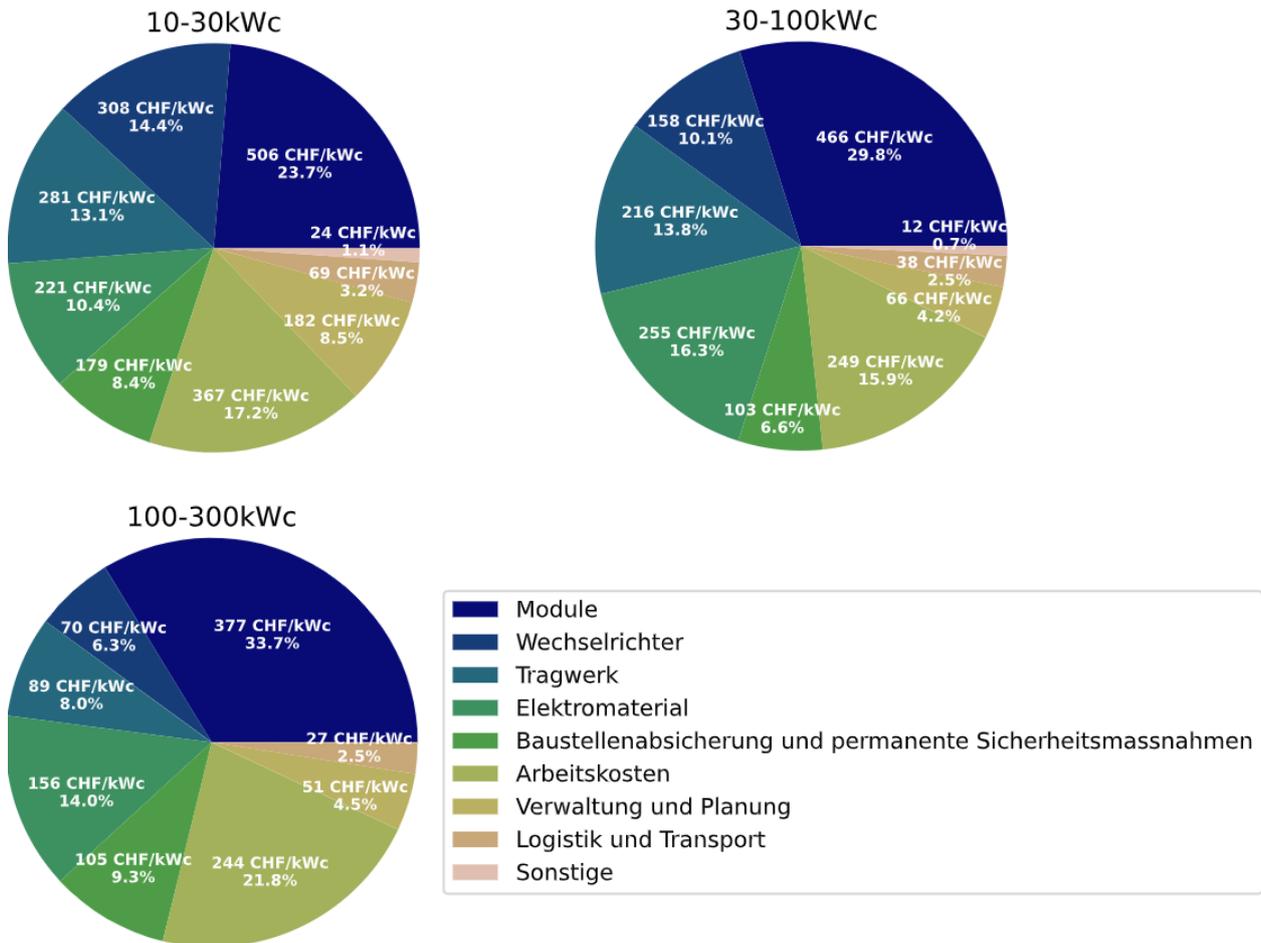


Abbildung 26: Detaillierte Aufschlüsselung der Kosten von Aufdachanlagen in den drei ersten Leistungsbereichen anhand von neun Kategorien. Die Werte entsprechen den Mittelwerten der kategoriespezifischen Kosten aller Anlagen eines Leistungsbereichs, für welche die betreffenden Werte bekannt sind.

Abbildung 26 zeigt die detaillierte Aufschlüsselung der Kosten von Aufdachanlagen. 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.

Bei einem Vergleich zwischen Abbildung 24 und Abbildung 26 wird ersichtlich, dass der auf die Module entfallende Kostenanteil in der detaillierten Aufschlüsselung um 2 % höher liegt. Auch hier ist jedoch der gleiche Trend mit einer Erhöhung dieses Anteils bis auf ein Drittel der Gesamtkosten im Bereich 100 bis 300 kW zu beobachten. Auch der Trend zu einem geringeren Anteil der Wechselrichterkosten ist ähnlich. Dieser liegt im Bereich 100 bis 300 kW nur noch bei 6 %. Die Anteile der Tragwerkkosten sind in den Bereichen zwischen 10 und 100 kW sehr ähnlich. Im höheren Leistungsbereich ist eine Abnahme dieses Anteils von 13 % auf 8 % zu beobachten. Die Trends für die Kostenanteile von Elektromaterial, Sicherheit und Arbeitsaufwand sind nicht eindeutig. Übergeordnet ist jedoch bei einem Vergleich der Bereiche 10 bis 30 kW und 100 bis 300 kW eine ansteigende Tendenz zu erkennen.

Die Kosten für die Verwaltung und Planung korrelieren nicht linear mit der Anlagengrösse. Sie gehen vom ersten bis zum dritten Leistungsbereich von 8.5 % auf 4.5 % zurück.

Im Rahmen dieser detaillierteren Analyse wurde auch die Kategorie «sonstige Kosten» aus dem vorherigen Kapitel näher aufgeschlüsselt. Der grösste Anteil der «sonstigen Kosten» aus dem vorherigen Kapitel entfällt auf die Arbeitskosten. Bei grossen Anlagen machen diese mehr als 20 % der Gesamtkosten aus. Die verbleibende Kategorie «sonstige Kosten» ist jetzt auf ein Minimum reduziert und enthält im Wesentlichen die Monitoringkosten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Modulkosten und die Arbeitskosten am stärksten preisbestimmend sind.

3.10 Entwicklung im Zeitverlauf

Die folgende Analyse wertet die Entwicklung der Kosten zwischen 2018 und 2021 aus. Abbildung 27 stellt die Entwicklung der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in allen vier Jahren und fünf Leistungsbereichen in Form von Quartilen und Extremwerten dar. Es ist zu erkennen, dass das Jahr 2021 den in den drei ersten Jahren beobachteten Abwärtstrend unterbricht: Die spezifischen Kosten liegen hier gleichauf mit denen der Vorjahre oder sind sogar höher. Zu erklären ist diese Beobachtung durch die Beschaffungsprobleme infolge der COVID-Pandemie sowie eine anziehende Nachfrage.

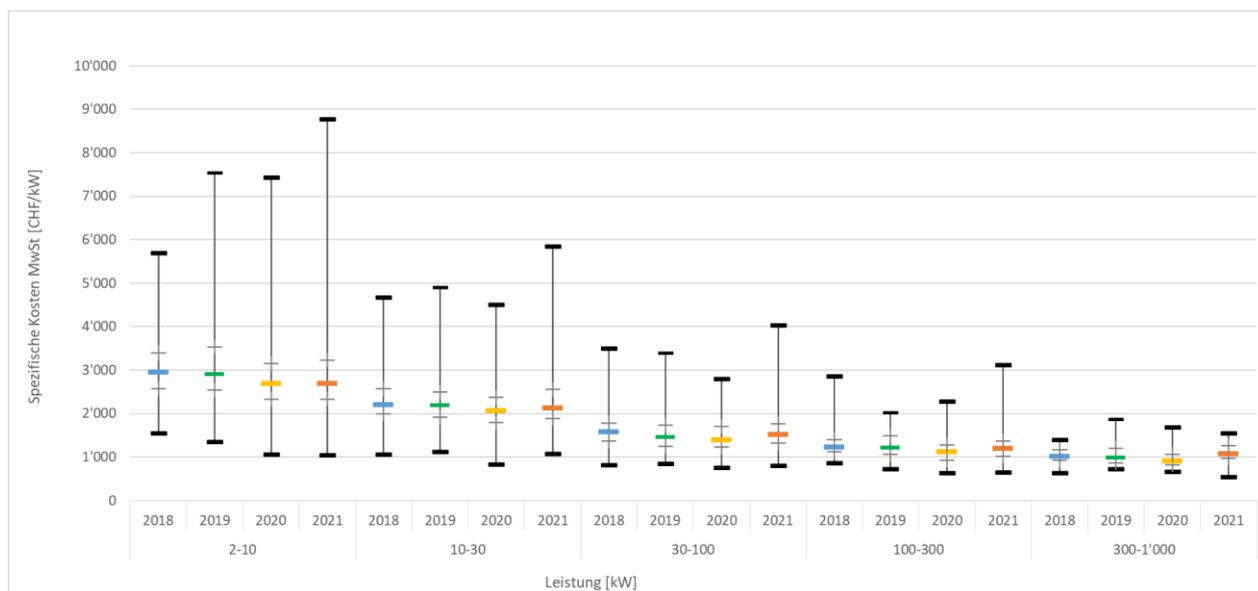


Abbildung 27: Entwicklung der statistischen Verteilung der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF/kW (zzgl. MWST). Dargestellt werden fünf Leistungsbereiche und in allen Leistungsbereichen die Daten für 2018, 2019, 2020 und 2021. Die farbigen Balken stehen für die Medianwerte. Die Extremwerte markieren die maximalen und minimalen spezifischen Kosten in den jeweiligen Kategorien. Die dünneren Querlinien kennzeichnen die ersten und dritten Quartile (25 % und 75 %).

Tabelle 5: Medianwerte der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in den vier letzten Jahren. Die Tabelle zeigt auch die relative Änderung im Vergleich zum Vorjahr.

Median spezifische Kosten [CHF/kW]							
Leistungsbereich [kW]	2018	2019	2019 Änd.	2020	2020 Änd.	2021	2021 Änd.
2 – 10	2'953	2'914	-1 %	2'692	-8 %	2'696	0 %
10 – 30	2'214	2'201	-1 %	2'071	-6 %	2'131	3 %
30 – 100	1'589	1'466	-8 %	1'407	-4 %	1'529	9 %
100 – 300	1'236	1'217	-2 %	1'132	-7 %	1'202	6 %
300 – 1'000	1'016	990	-3 %	919	-7 %	913	-1 %
>1'000		777		819	5 %	1'075	

4. Kostenbeeinflussende Faktoren

Dieses Kapitel greift die Schlussfolgerungen des Berichts zur «Photovoltaikmarkt-Preisbeobachtungsstudie 2020» auf und ergänzt sie hinsichtlich der im Jahr 2021 zu beobachtenden Entwicklungen. Es nennt die technischen Faktoren, die sich auf die Kosten auswirken. Obwohl es keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, zeigt es auf, wie die Eigenschaften des Gebäudes ein Projekt mehr oder weniger kostspielig machen können.

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 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 Trapezblech-Schrägdächern sind im Allgemeinen 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 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 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 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 mehr und 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) können spezielle Materialien 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 daraus 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

PV-Anlagen 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 Architektorkosten und Kosten für die Bauleitung anfallen.
- Eine gute Koordination kann die Kosten für die Baustellenvorbereitung stark senken.
- Manche Kosten können mit den anderen involvierten Unternehmen gemeinsam getragen werden (insbesondere Baustellenabsicherungskosten).

Sicherheit

Die Konfiguration des Gebäudes und die Modulanordnung können sich auf die Kosten für die 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. Bei bestimmten Anlagentypen können sich somit Mehrkosten ergeben, beispielsweise wenn eine Baubewilligung eingeholt werden muss. Auch die Anlagenabnahme verursacht beim Installationsbetrieb Mehrkosten, die dieser auf den Bauherrn abwälzt. Der Anteil der Verwaltungskosten am Gesamtbudget eines Projekts ist im Vergleich zu anderen Ländern (z. B. Belgien, Australien) sehr hoch.

Monitoring, Leistung und Energiemanagement

Um einen grösstmöglichen Eigenverbrauch zu erreichen, ist das Monitoring von Energieerzeugung und -verbrauch unerlässlich. 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.

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 Installationsbetrieb 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 errichtet 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 PV-Anlagen 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

Die oben genannten Faktoren hatten im Jahresvergleich 2020/2021 keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Kosten von PV-Anlagen. Die mit den Installationsbetrieben 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 in Bezug auf die Anlagenkosten, die sich aus der Standardisierung der Technik und der gestiegenen Kompetenz der Installationsbetriebe ergeben, durch diese Einflussfaktoren mehr als ausgeglichen.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Kosten von 3'306 PV-Anlagen entsprechend den Leistungen der Installationsbetriebe analysiert. Die Daten wurden im Wesentlichen bei den Installationsbetrieben erhoben. Mit entsprechender Fokussierung – insbesondere auf die 3'070 Datensätze zu den Aufdachanlagen – konnte die Studie die Medianwerte der spezifischen Kosten nach Leistungsbereich aufschlüsseln und eine geschlossene Bezugskurve bestimmen. Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener Anlagenmerkmale auf die spezifischen Kosten analysiert.

Die Analyse der Kostenverteilung ergab eine Abhängigkeit dieser Verteilung von der Anlagenleistung. Unter anderem fallen der Modulpreis und die Arbeitskosten umso stärker ins Gewicht, je grösser die Leistung wird. Gemeinsam sind diese beiden Kostenbestandteile am stärksten preisbestimmend.

Der Vergleich mit den im Rahmen der Marktbeobachtung 2020 erhobenen Daten zeigt, dass die Preise entgegen dem in den vergangenen Jahren beobachteten Trend in den meisten betrachteten Leistungsbereichen ansteigen.

Die vorliegende Photovoltaikmarkt-Preisbeobachtungsstudie ermöglichte eine vollständige – sowohl qualitative als auch quantitative – Untersuchung der Kosten der im Jahr 2021 in der Schweiz errichteten PV-Anlagen. 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 umfassend analysiert werden. Zusätzliche Daten könnten eine Regression der Kosten mit sämtlichen Merkmalen als Variablen ermöglichen, die über die Regressionen nach Merkmalen unter Vernachlässigung der Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen hinausgeht.

6. 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 zu diesem Bericht beigetragen haben. Der vorliegende Bericht wäre insbesondere ohne jene, die viel Zeit in die Zusammenstellung der Merkmale der jeweiligen PV-Anlagen investiert haben, und jene, die uns die Einzelheiten zu den Anlagenkosten übermittelt haben, nicht möglich gewesen.

7. Referenzen

- [1] Thomas Hostettler and Andreas Hekler, 'Statistiques de l'énergie solaire - Année de référence 2021', OFEN, Jul. 2022.