

Abschlussbericht, 4. Juli 2023

Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2022

Autoren

Lionel Bloch, Planair SA

Yannick Sauter, Planair SA

Florent Jacqmin, Planair SA

Die vorliegende 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.	Statistische Analyse der Daten	9
3.1	Herkunft der Daten.....	9
3.2	Merkmale der PV-Anlagen.....	10
4.	Analyse der spezifischen Kosten.....	14
4.1	Preise von Aufdachanlagen	14
4.2	Preise von integrierten PV-Anlagen.....	18
4.3	Anlagenpreise nach Wechselrichtertyp	19
4.4	Anlagenpreise nach Dachart	20
4.5	Kostenaufschlüsselung	21
4.6	Entwicklung im Zeitverlauf	24
5.	Kostenbeeinflussende Faktoren	25
6.	Zusammenfassung	29
7.	Danksagungen	30
8.	Referenzen.....	30

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.

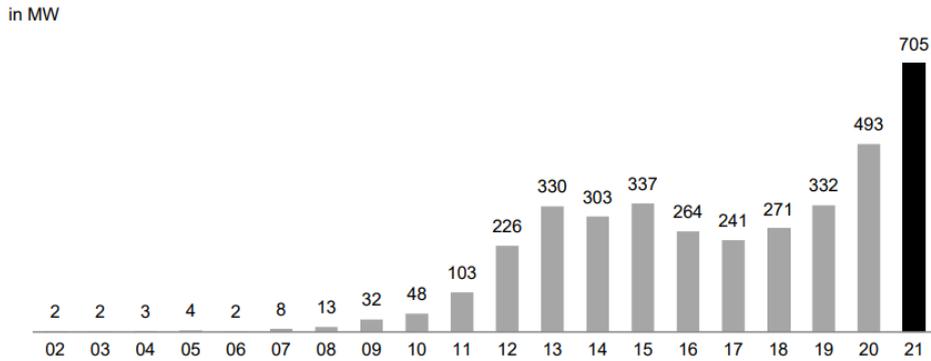


Abbildung 1: Entwicklung der jährlich verkauften PV-Leistungen in der Schweiz [1]. Im Jahr 2022 lag das Volumen bei schätzungsweise 1'000 MW.

Bis zum Jahr 2020 führte dieses Marktwachstum zu sinkenden Kosten bei Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen). Der aktuelle Bericht analysiert diese Kosten für das Jahr 2022 und nennt die für die Kostenentwicklung massgeblichsten Merkmale (Leistung, Anlagentyp usw.) unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflussgrössen (Module, Arbeitskosten usw.).

Für diese Studie wurden insgesamt 4'161 Einzelbeobachtungen ausgewertet. Die Studie konzentriert sich insbesondere auf die 3'953 Datensätze zu Aufdachanlagen. Die spezifischen Kosten (CHF/kW) dieser Anlagen nehmen – wie in Abbildung 2 dargestellt – mit der installierten Leistung (kW) ab.

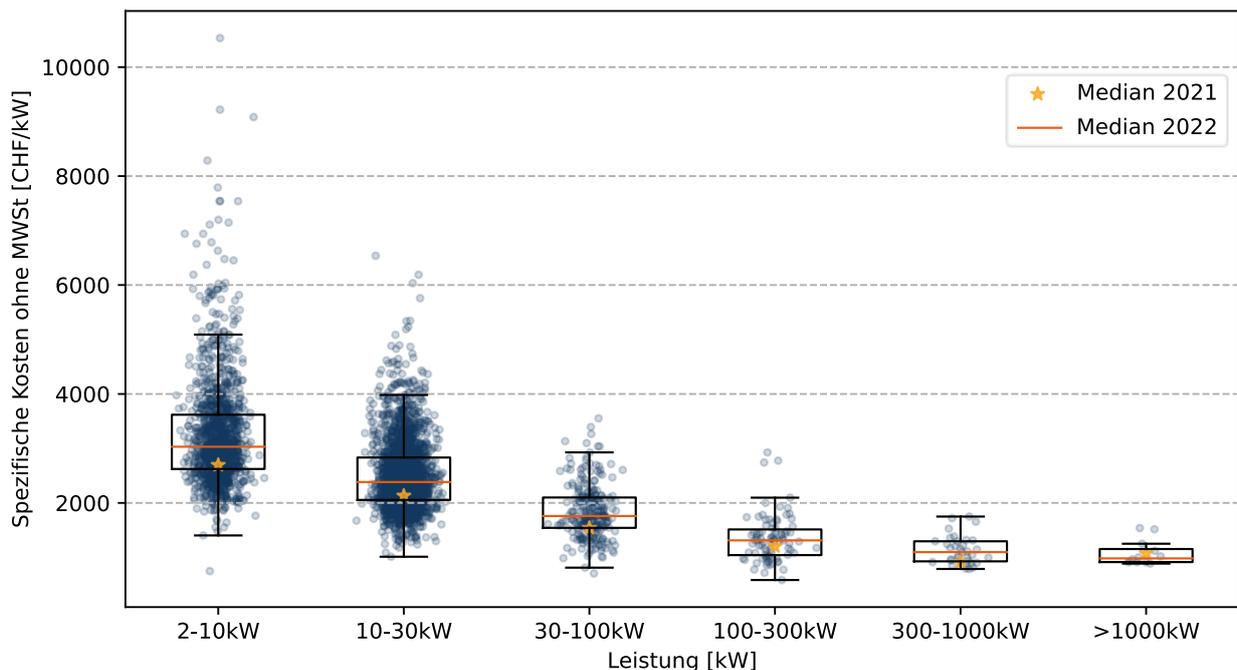


Abbildung 2: Spezifische Kosten (ohne MWST) von Aufdachanlagen als Boxplots nach Leistungsbereich. Der orangefarbene Balken kennzeichnet den Medianwert der spezifischen Kosten für den jeweiligen Bereich im Jahr 2022, der Stern den Medianwert 2021. Die Ränder der Box stehen für die 25%- und 75%-Quartile, was bedeutet, dass sich 50 % aller Beobachtungen innerhalb des betreffenden Intervalls befinden.

Der bis 2020 zu beobachtende Trend einer jährlichen Abnahme der spezifischen Kosten hat sich 2022 umgekehrt. Wie Tabelle 1 zeigt, haben sich die Kosten einer im Jahr 2022 offerierten Anlage gegenüber 2021 um durchschnittlich 12 % erhöht.

Tabelle 1: Medianwerte der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in den fünf letzten Jahren. Die Tabelle zeigt auch die relative Änderung im Vergleich zum Vorjahr.

Leistungsbereich [kW]	Median Spezifische Kosten [CHF/kW]					Veränderung im Vergleich zum Vorjahr			
	2018	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	-1%	-8%	0%	12%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	-1%	-6%	3%	12%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	-8%	-4%	9%	15%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	-2%	-7%	6%	9%
300-1000	1016	990	919	913	1097	-3%	-7%	-1%	20%
>1000		777	819	1075	982		5%		-9%

Aus der Studie ergibt sich eine von der Anlagengrösse abhängige Zusammensetzung dieser Kosten. Insbesondere nimmt bei steigender Leistung der auf die Module entfallende Kostenanteil zu – er kann nahezu 35 % erreichen. Neben den Modulkosten machen auch die Arbeitskosten mit 40 bis 60 % einen erheblichen Anteil aus.

2. Erhebung und Herkunft der Daten

Dieser Bericht analysiert Daten, die im Rahmen der Photovoltaikmarkt-Preisbeobachtungsstudie 2022 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 2022 erstellten Offerten und Rechnungen für PV-Anlagen. Ein Teil dieser Daten wurde im Rahmen einer Befragung von Installationsbetrieben erhoben (für insgesamt **414** 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 **3'747** Einzelbeobachtungen (im Folgenden mit «SOC» gekennzeichnet). Somit ergibt sich eine Gesamtzahl von **4'161** Beobachtungen, die für diese Studie herangezogen wurden.

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

Tabelle 2: Bei den Installationsbetrieben erhobene Angaben.

	Felder	MÖGLICHE ANTWORTEN	
WESENTLICHE ANGABEN	Offerte oder Rechnung	Offerte oder Rechnung	
	Erstellungsdatum der Offerte oder Rechnung		
ERGÄNZENDE ANGABEN	Leistung [kW]	Integriert, Aufdach oder Fassade	
	Kosten der Anlage [CHF zzgl. MWST]		
	Postleitzahl		
	Anlagentyp		
	Neubau oder Bestandsgebäude		
	Dachart		Neu oder Bestand
	Wechselrichtertyp		Bekiestes Flachdach, Flachdach mit freiliegender Abdichtung, begrüntes Flachdach, blechgedecktes Steildach, ziegelgedecktes Steildach, Sonstiges
Monitoring in den Anlagenkosten enthalten	Strangwechselrichter, Wechselrichter mit Leistungsoptimierern, Modulwechselrichter		
Baustellenabsicherung in den Anlagenkosten enthalten	Ja/Nein		
Permanente Sicherheitsmassnahmen in den Anlagenkosten enthalten	Ja/Nein		
Hinweise	Ja/Nein		
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 Leistung für den Schweizer Markt repräsentativ sind, muss diese Verteilung mit derjenigen der errichteten Anlagen verglichen werden. Der *Statistik Sonnenenergie* [1] kann die 2021 installierte Leistung in allen Leistungsbereichen entnommen werden. Da der Bericht für das Jahr 2022 noch nicht veröffentlicht war, wird bei 2022 von einer ähnlichen Verteilung wie im Vorjahr ausgegangen.

Abbildung 3 zeigt, dass die im Rahmen der Preisbeobachtungsstudie erhobenen Daten für die errichteten Anlagen repräsentativ sind. Lediglich der unterste Leistungsbereich (0 bis 4 kW) weicht signifikant ab. In den weiteren Kapiteln dieser Studie wird jedoch ein ausgedehnterer erster Bereich betrachtet (2 bis 10 kW).

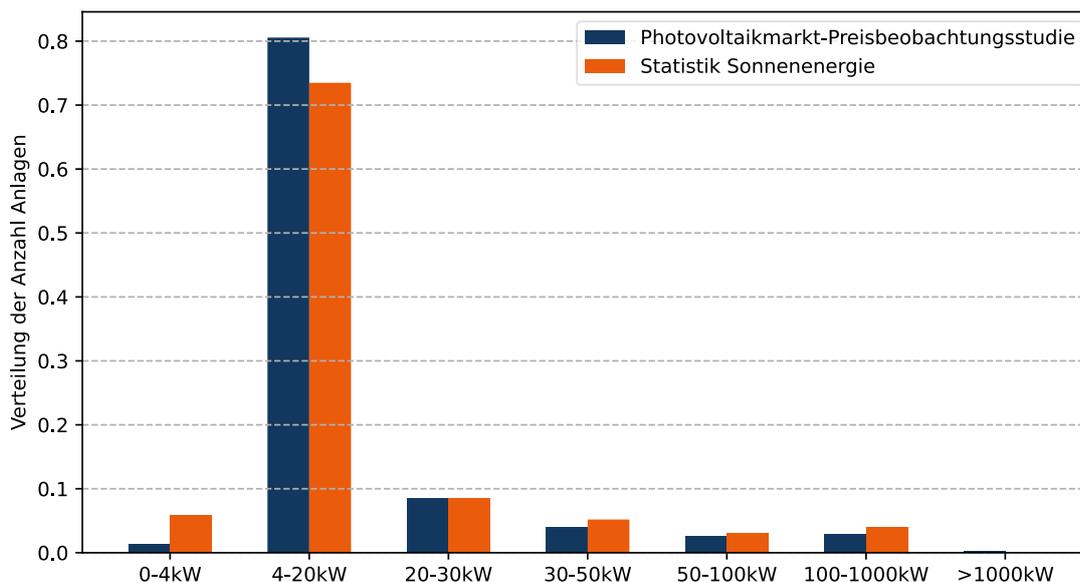


Abbildung 3: Zahlenmässige Aufteilung der PV-Anlagen nach Leistungsbereich [kW].

Abbildung 4 zeigt die gleiche Verteilung, hier jedoch nach Leistung statt nach Anzahl. Auch hier ist hinsichtlich der Repräsentativität die gleiche Tendenz zu beobachten.

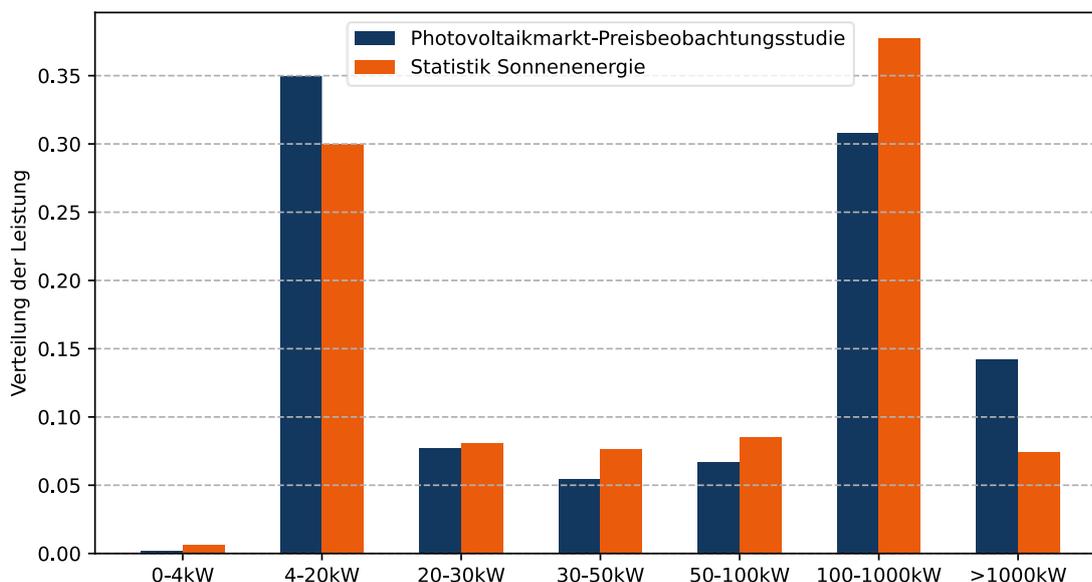


Abbildung 4: Leistungsmässige Aufteilung der PV-Anlagen nach Leistungsbereich [kW].

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 2022 errichtet wurden, sowie auf im Jahr 2022 erstellten Offerten.
- Die Studie berücksichtigt ausschliesslich PV-Anlagen auf Bestands- oder Neubauten.
- Die angegebenen Preise verstehen sich ohne MWST.

In den Kosten der PV-Anlagen enthaltene Leistungen:

- Lieferung und Aufbau der elektrischen Komponenten – von den Modulen bis zum Netzanschlussstrennschalter des Gebäudes – einschliesslich der entsprechenden Zubehörteile (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 PV-Anlage (Unterspannbahn, Konterlattung) sowie Spenglerarbeiten rund um das Modulfeld

3. Statistische Analyse der Daten

Dieses Kapitel geht auf die Herkunft der Daten ein, die im Rahmen der vorliegenden Studie erhoben wurden, und enthält statistische Untersuchungen der Datensatzmerkmale.

3.1 Herkunft der Daten

Wie aus Abbildung 5 hervorgeht, stammen die meisten untersuchten Datensätze aus dem SOC. Die Daten der Installationsbetriebe, die auf die Befragung geantwortet haben, sind allerdings detaillierter als die aus dem SOC stammenden Daten.

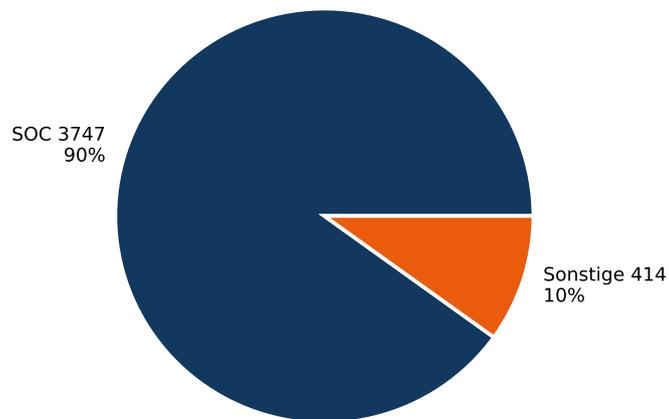


Abbildung 5: Anzahl und Anteil der aus dem SOC stammenden und der von Installationsbetrieben und Bauherren (Sonstigen) erhobenen Datensätze.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der Anlagenanzahl und der kumulierten Leistung auf die Leistungsbereiche. Die mit 1'656 kW grösste Anlage ist im Bereich >1'000 kW enthalten.

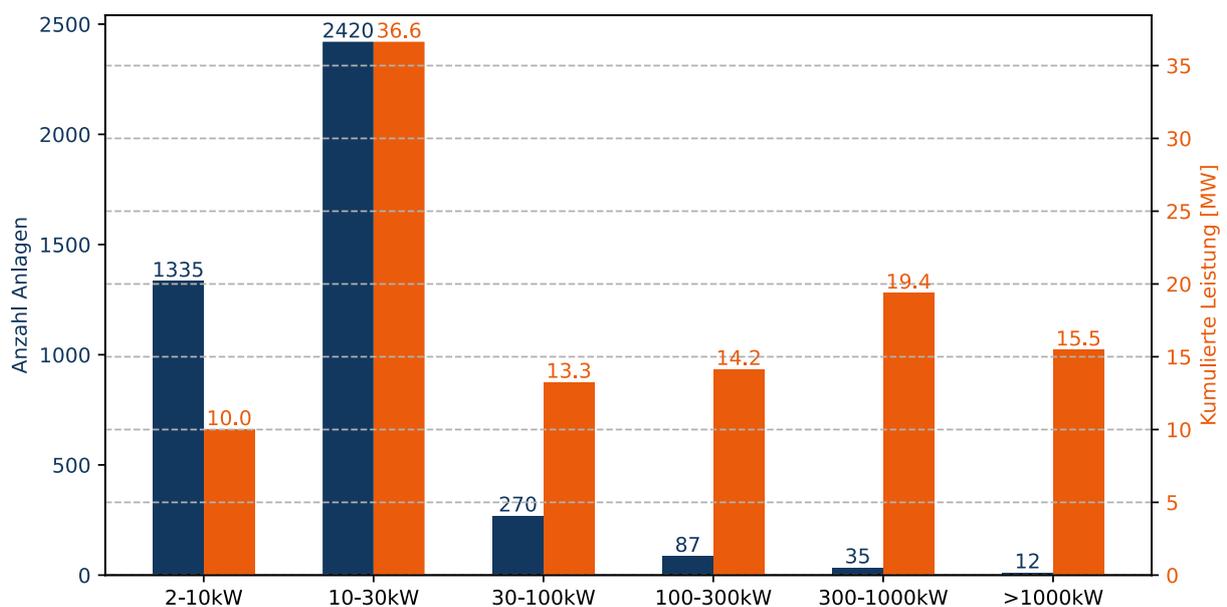


Abbildung 6: Verteilung der für die Studie erhobenen Daten nach Leistungsbereich.

Abbildung 7 enthält die nach Kanton aufgeschlüsselten Datensätze. Zu erkennen ist, dass die Ostschweiz und die Zentralschweiz unterrepräsentiert sind.

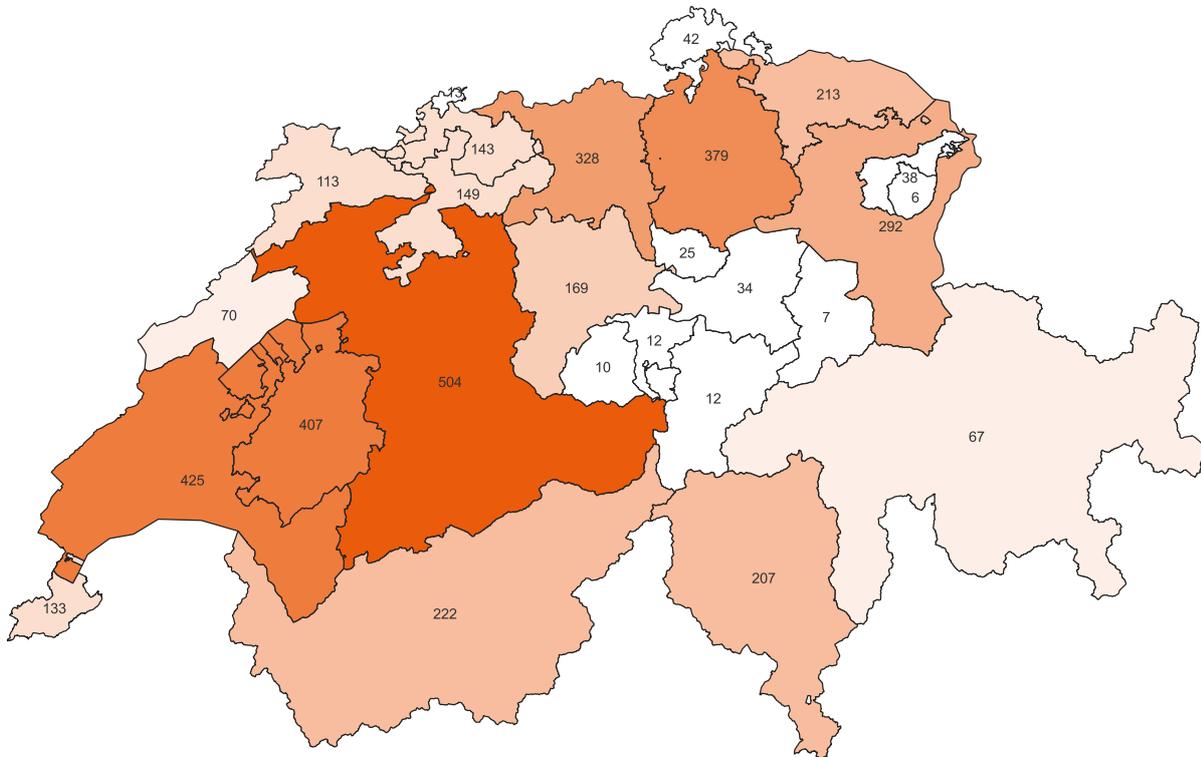


Abbildung 7: Anzahl Datensätze nach Kanton. Die Zahlen beziehen sich auf die Standorte der Anlagen und nicht auf die Standorte der offerierenden Installationsbetriebe.

3.2 Merkmale der PV-Anlagen

Für jede Anlage wurden mindestens die Leistung und die Gesamtkosten erfasst. Tabelle 2 nennt alle Merkmale, die angegeben werden konnten. Dieser Abschnitt geht auf die Verteilung dieser Merkmale ein.

Wie in Abbildung 8 zu erkennen ist, stammen die meisten Daten aus Offerten für Aufdachanlagen. Die Verteilung der erfassten Zahlen zwischen dem ersten und zweiten Halbjahr weist eine gewisse Symmetrie auf.

Wie Abbildung 9 zeigt, enthält die Hälfte aller Offerten auch die Kosten für die Baustellenabsicherung. Die Kosten für permanente Sicherheitsmassnahmen sind dagegen nur selten enthalten.

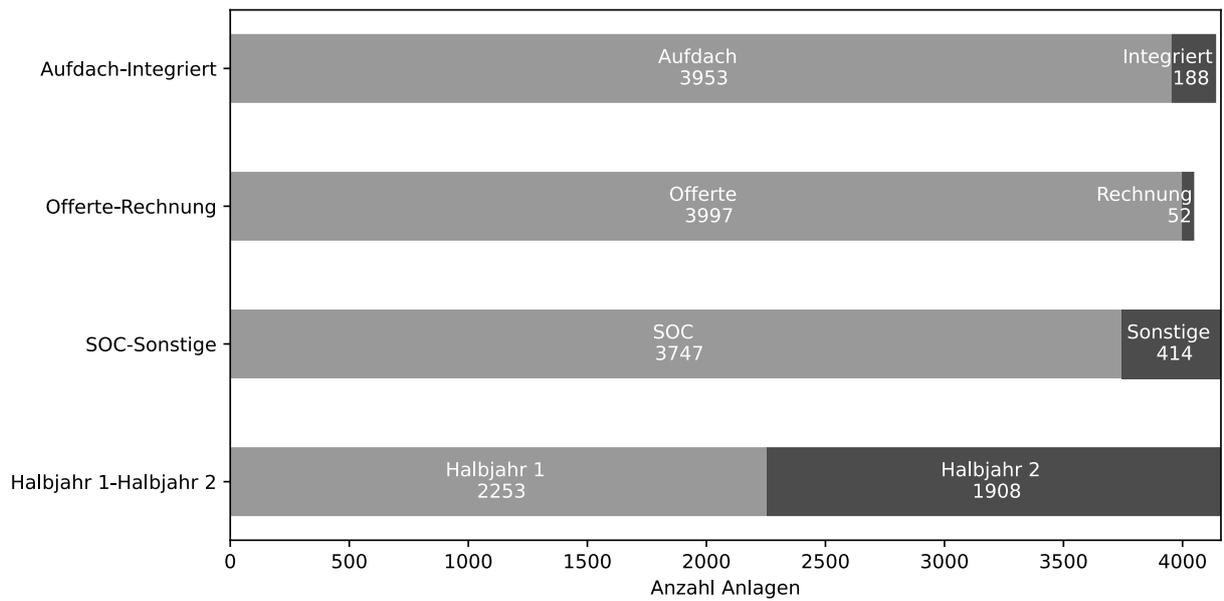


Abbildung 8: Erforderliche Merkmale, die für jede Anlage anzugeben waren. Die meisten eingegangenen Datensätze beziehen sich auf Offerten sowie auf Aufdachanlagen.

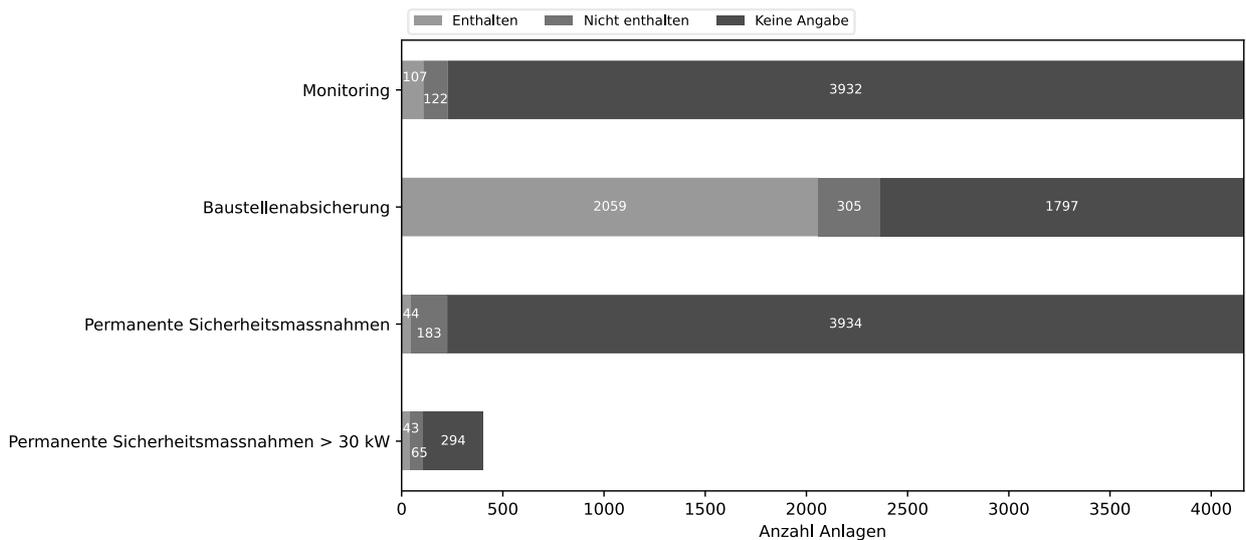


Abbildung 9: Optional anzugebende Merkmale, die belegen, ob das Monitoring, die Baustellenabsicherung oder permanente Sicherheitsmassnahmen in den Leistungen und Kosten der untersuchten Photovoltaikanlagen enthalten waren. Die Angaben in den ersten drei Zeilen beziehen sich auf alle Anlagen (Aufdachanlagen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

Die Aufteilung auf Modulwechselrichter (3 %), Leistungsoptimierer (34 %) und Strangwechselrichter (63 %) entspricht derjenigen des Vorjahrs.

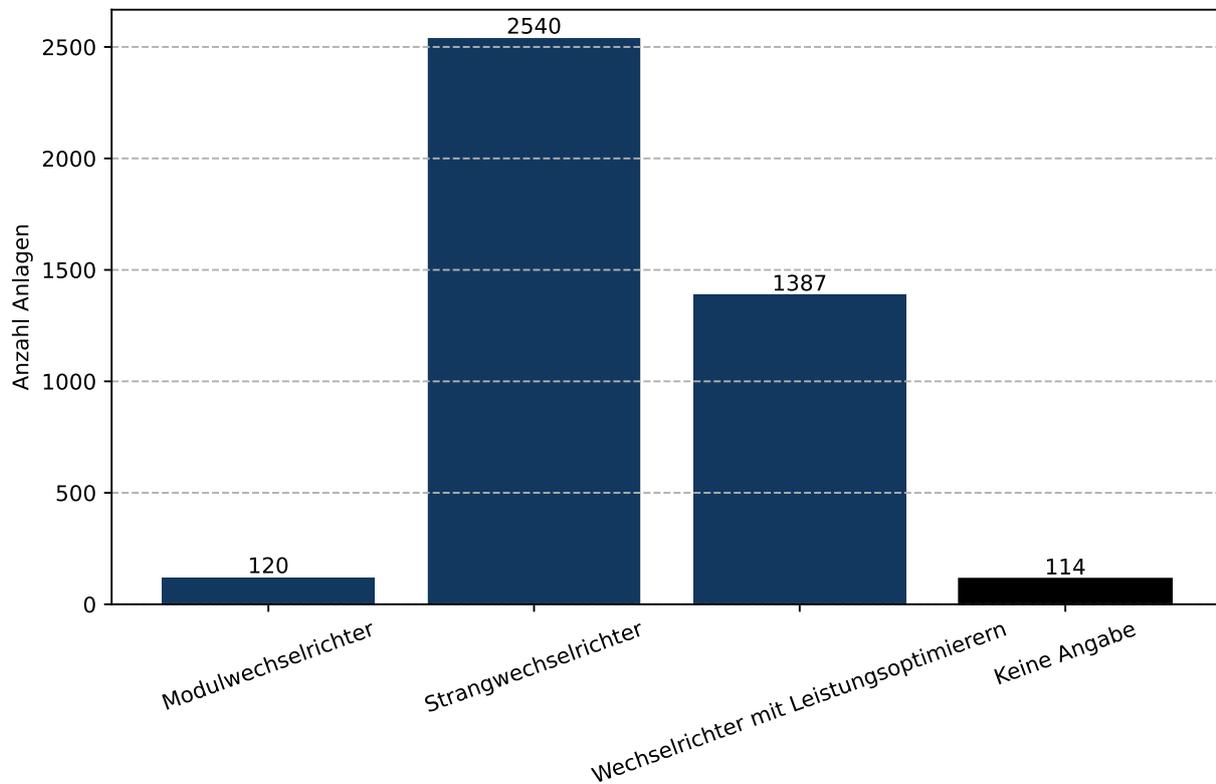


Abbildung 10: Für 4'047 Anlagen wurde der Typ des offerierten oder installierten Wechselrichters angegeben.

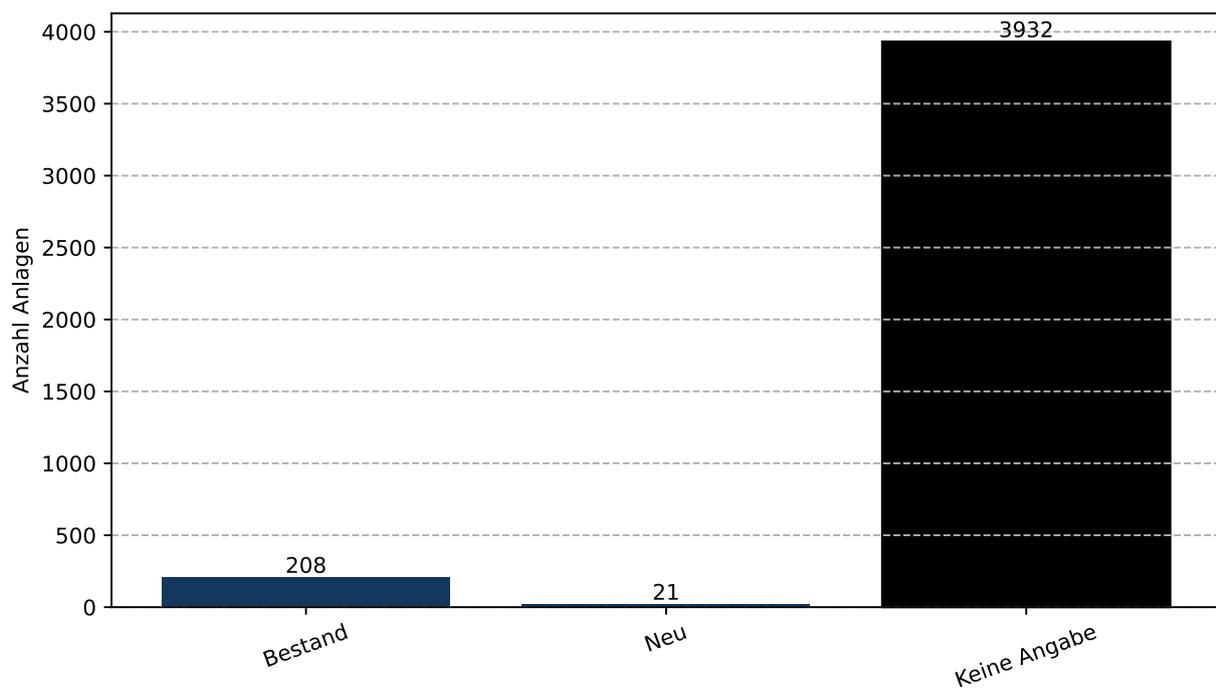


Abbildung 11: Die Gebäudeart wurde lediglich für 229 Anlagen (5 % der Datensätze) angegeben.

Die Gebäudeart (Abbildung 11) und die Dachart (Abbildung 12) wurden nur für 5 % der Anlagen angegeben. Wegen dieses geringen Anteils war es nicht möglich, die mit diesen Merkmalen verbundenen Mehrkosten ohne erhebliche Unsicherheit zu ermitteln.

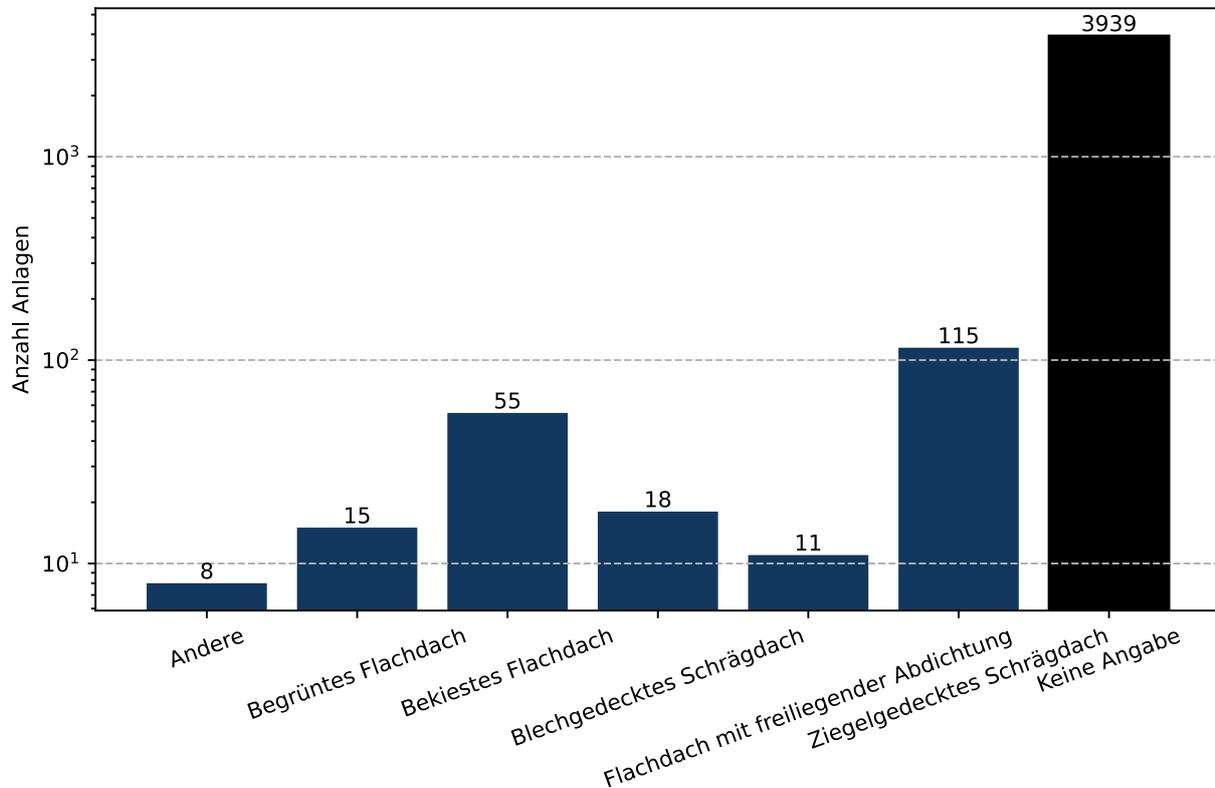


Abbildung 12: Die Art des Gebäudedachs wurde für 222 Anlagen (5 % der Datensätze) angegeben.

4. Analyse der spezifischen Kosten

4.1 Preise von Aufdachanlagen

Abbildung 13 zeigt die Kosten (ohne MWST) von Aufdachanlagen mit einer Nennleistung unter 300 kW. Wie bereits in Abbildung 6 zu erkennen ist, bezieht sich ein Grossteil der erhobenen Datensätze auf Leistungen unter 30 kW. Die orangefarbene Kurve ist die leistungsbereichsabhängige lineare Regression im Jahr 2022 (Regression 2022). Die schwarze Kurve zeigt die entsprechende Regression im Jahr 2021.

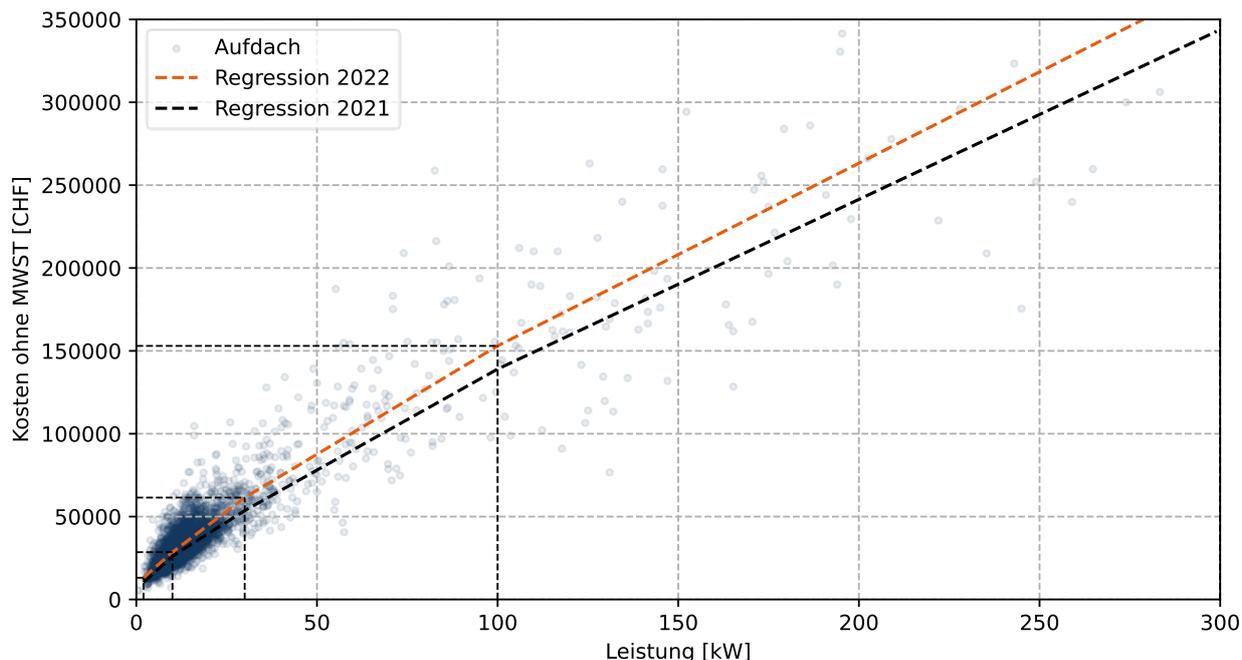


Abbildung 13: Kosten von Aufdachanlagen unter 300 kW im Jahr 2022. Die orangefarbene Kurve ist die auf den Leistungsbereichen basierende lineare Regression dieser Kosten. Die schwarze Kurve entspricht der Regression des Vorjahres.

Es ist zu erkennen, dass der leistungsabhängige Kostenanstieg nicht linear verläuft. Die Kosten steigen zu Beginn steil an, doch dieser Anstieg verläuft später dann flacher. Anders gesagt: Die spezifischen Kosten – definiert als Verhältnis zwischen Gesamtkosten und Leistung der Anlage in [CHF/kW] – nehmen mit steigender Leistung ab. Diese Abnahme ist durch die entsprechenden Skaleneffekte zu erklären. Wie weiter unten in Kapitel 4.5 besprochen, sind bestimmte Bestandteile der Anlagenkosten fix. Hier ist insbesondere ein Teil der administrativen Kosten zu nennen, der unabhängig davon ist, ob eine Anlage 10 oder 1'000 kW erzeugt.

Dieser Effekt macht eine lineare Regression über alle Leistungsbereiche hinweg unmöglich. Somit wurde eine auf separaten Kurvenabschnitten oder Leistungsbereichen basierende lineare Regression durchgeführt. 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 3 enthält die linearen Regressionskoeffizienten der einzelnen Kurvenabschnitte.

Tabelle 3: Parameter der bereichsweisen linearen Regressionen der Kosten von Aufdachanlagen für die Jahre 2021 und 2022. 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 (ohne MWST) entspricht. R2 ist das Bestimmtheitsmass (der Determinationskoeffizient) der Regression und gibt deren Qualität an.

Leistungsbereich [kW]	Regression 2021				Regression 2022			
	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2	pro bereich	a [CHF/kW]	b [CHF]	R2	pro bereich
2-10	1970	6420	0.24		1930	9240	0.23	
10-30	1374	12382	0.35		1646	12072	0.38	
30-100	1221	16979	0.63		1307	22241	0.51	
100-300	1024	36606	0.53		1102	42753	0.43	

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

$$\text{Regression 2022 : Kosten ohne MWST [CHF]} = \min_k(a_k \cdot (\text{Leistung [kW]}) + b_k)$$

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

$$=\text{MIN}(\{1930;1646;1307;1102\} * A1 + \{9240;12072;22241;42753\}), \text{ wobei } A1 \text{ die Leistung in kW ist.}$$

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.

Die Abnahme der spezifischen Kosten ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Leistung auf der Abszisse ist logarithmisch aufgetragen, um alle Daten darstellen zu können. Auch die Regressionen für die Jahre 2021 und 2022 sind dargestellt. Bei Anlagen unterhalb von 100 kW ist eine erhebliche Zunahme der spezifischen Kosten zu erkennen.

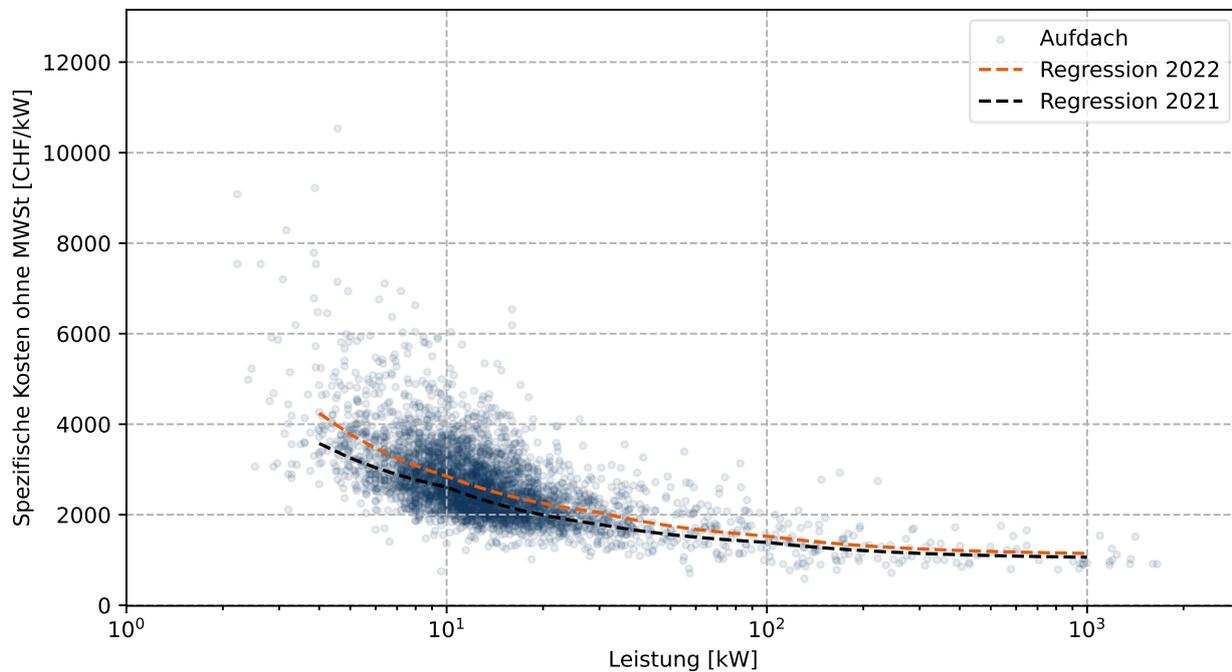


Abbildung 14: Spezifische Kosten (ohne MWSt) von Aufdachanlagen in Abhängigkeit von der installierten Leistung (logarithmischer Massstab). Die orangefarbene Kurve ist die auf den Leistungsbereichen basierende lineare Regression der Kosten von Aufdachanlagen im Jahr 2022 (hier als spezifische Kosten dargestellt). Die schwarze Kurve zeigt die gleiche Regression für im Jahr 2021 installierte Aufdachanlagen.

Der Zusammenhang zwischen spezifischen Kosten und Leistung ist auch an den Medianwerten der einzelnen Leistungsbereiche zu erkennen. In Abbildung 15 ist dies mittels Boxplots dargestellt. Die Ränder der Box stehen für die 25%- (Q1) und 75%-Quartile (Q3), was bedeutet, dass sich 50 % aller Daten innerhalb des betreffenden Intervalls befinden. Die Länge des T (Whisker) beträgt das 1,5-fache der Differenz zwischen Q3 und Q1. Der orangefarbene Balken kennzeichnet den Medianwert (Q2) der Daten im Jahr 2022. Der Stern steht für den Medianwert des Vorjahres.

Wie bereits in der vorherigen Abbildung gezeigt, ist die Varianz der spezifischen Kosten in den beiden ersten Leistungsbereichen ganz erheblich. Es ist zu erkennen, dass mit Ausnahme des Bereichs >1'000 kW alle Medianwerte von 2022 (orangefarbene Balken) über denen von 2021 (Sterne) liegen. Eine ähnliche Tendenz zu höheren Kosten, wenn auch weniger ausgeprägt, war bereits im Vorjahr zu beobachten.

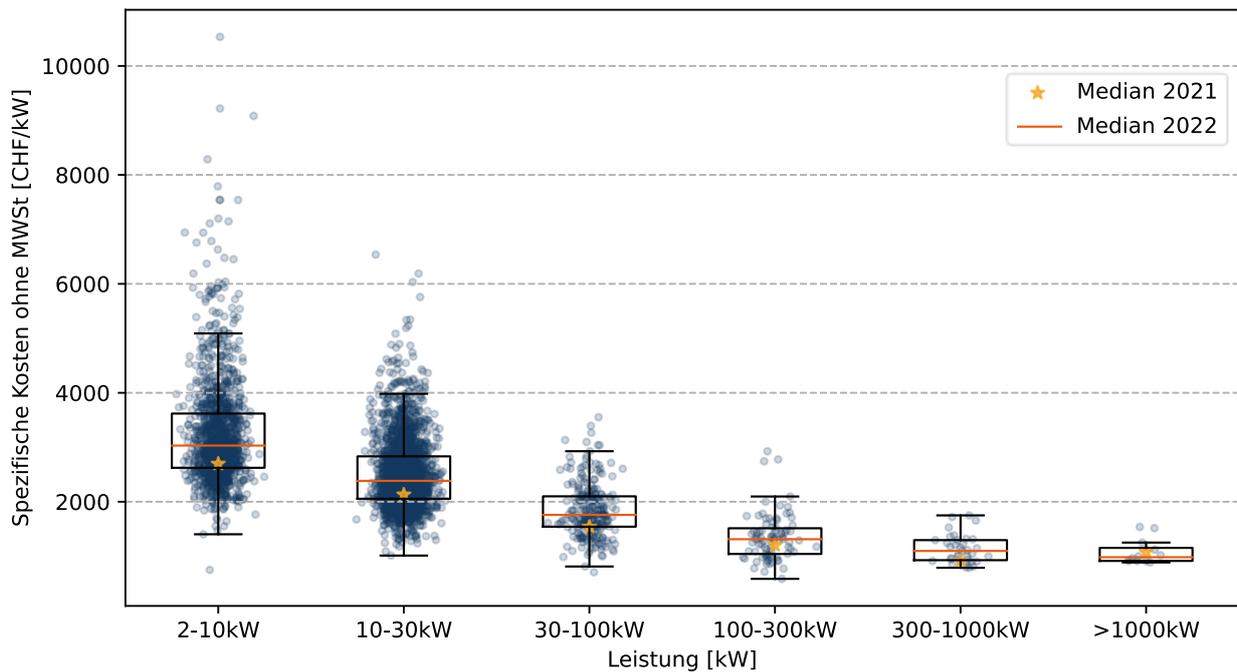


Abbildung 15: Spezifische Kosten (ohne MWST) von Aufdachanlagen als Boxplots nach Leistungsbereich. Der orangefarbene Balken kennzeichnet den Medianwert der spezifischen Kosten für den jeweiligen Bereich im Jahr 2022, der Stern den Medianwert 2021. Die Ränder der Box stehen für die 25%- und 75%-Quartile, was bedeutet, dass sich 50 % aller Daten innerhalb des betreffenden Intervalls befinden.

Insgesamt ist auch hier wieder die Tendenz hin zu geringeren spezifischen Kosten zu erkennen. Tabelle 4 enthält die zur vorstehenden Abbildung gehörenden Werte. Wie zu sehen ist, sinkt der Medianwert der spezifischen Kosten von 3'032 CHF/kW bei kleinen Anlagen auf 982 CHF/kW bei sehr grossen Anlagen. Dies entspricht dem Faktor 3.

Tabelle 4: Statistische Merkmale von Aufdachanlagen. Die Tabelle nennt die 0-%-, 25-%-, 50-%-, 75-%- und 100-%-Perzentile der spezifischen Kosten in den einzelnen Leistungsbereichen.

Leistungsbereich [kW]	Anzahl der Einrichtungen	Spezifische Kosten [CHF/kW]				
		Min	25%	Median	75%	Max
2-10	1253	748	2623	3032	3619	10533
10-30	2319	1012	2055	2384	2833	6537
30-100	246	706	1542	1759	2100	3552
100-300	86	585	1042	1312	1513	2927
300-1000	35	788	928	1097	1296	1750
>1000	12	886	914	982	1154	1538

4.2 Preise von integrierten PV-Anlagen

Integrierte Anlagen sind im Allgemeinen teurer als Aufdach-PV-Anlagen. Die entsprechenden Mehrkosten sind geringer, wenn die Anlage im Zuge einer anstehenden Dachrenovierung oder auf einem Neubau errichtet wird. Leider reichen die erhobenen Daten nicht aus, um die betreffenden Effekte zu untersuchen. Es ist jedoch möglich, in den einzelnen Leistungsbereichen den jeweiligen Medianwert der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen zu vergleichen. In Abbildung 16 ist dies mittels Boxplots dargestellt. Man erkennt, dass die spezifischen Kosten der 181 integrierten Anlagen in allen Leistungsbereichen über denen der Aufdachanlagen liegen.

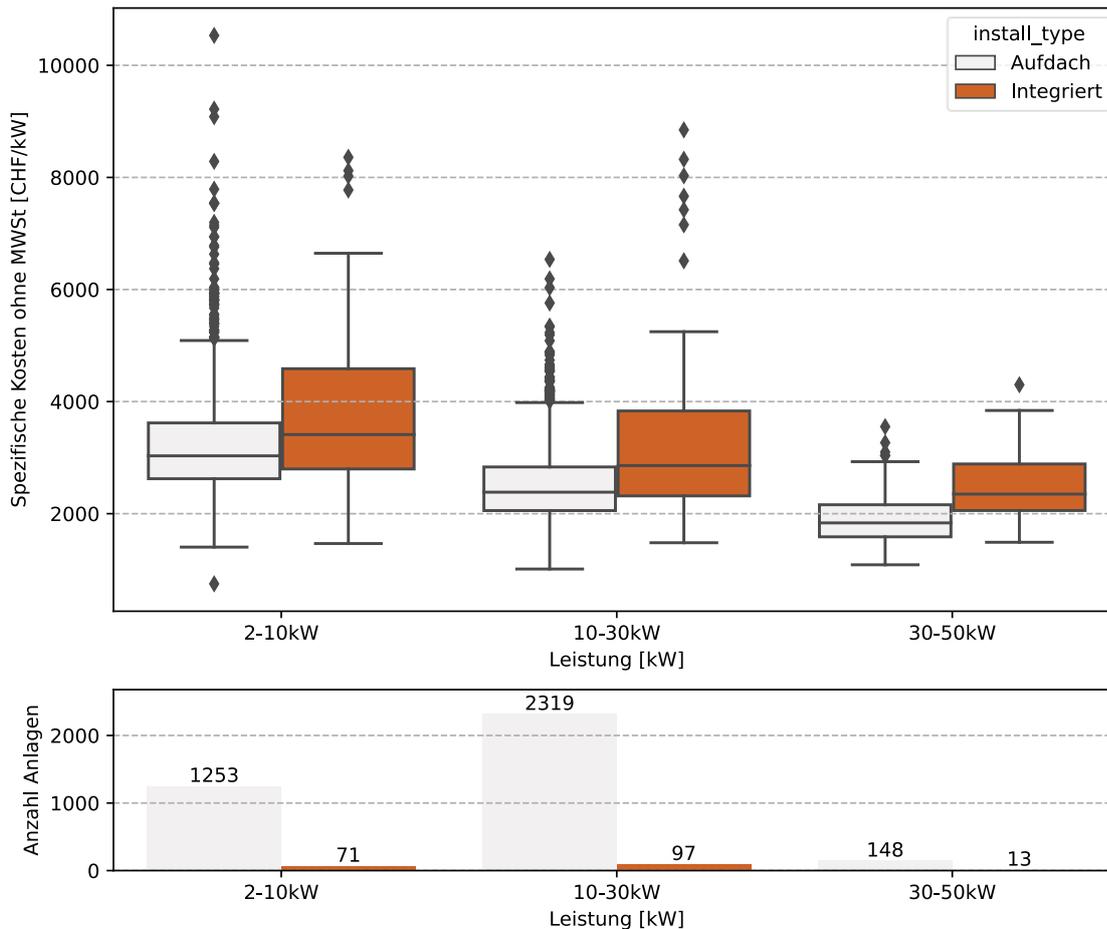


Abbildung 16: Verteilung der spezifischen Kosten (ohne MWST) von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen in drei Leistungsbereichen.

Die Mehrkosten der integrierten Anlagen gegenüber Aufdachanlagen sind als Differenz der Mediane in den einzelnen Leistungsbereichen angegeben. Wie aus Tabelle 5 hervorgeht, liegen die Mehrkosten zwischen 13 % und 28 %.

Tabelle 5: Mediane der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen und integrierten Anlagen nach Leistungsbereich.

Leistungsbereich [kW]	Median spezifische Kosten [CHF/kW]		
	Aufdach	Integriert	Mehrkosten integriert [%]
2-10	3032	3412	13%
10-30	2384	2858	20%
30-50	1835	2349	28%

4.3 Anlagenpreise nach Wechselrichtertyp

Abbildung 17 ermöglicht einen Vergleich der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in Abhängigkeit vom Wechselrichtertyp. Anlagen mit Modulwechselrichter scheinen noch immer etwas teurer zu sein als Anlagen mit anderen Wechselrichtertypen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nur wenige Beobachtungen für diesen Wechselrichtertyp vorliegen, was zu einer nicht vernachlässigbaren Unsicherheit führt.

Die spezifischen Kosten von Anlagen mit Strangwechselrichter mit oder ohne Leistungsoptimierer scheinen praktisch identisch zu sein. Daraus ist nicht zu schliessen, dass Wechselrichter mit und ohne Leistungsoptimierer zu gleichen Preisen zu erhalten sind, sondern nur, dass die eventuellen Mehrkosten ausgeglichen werden.

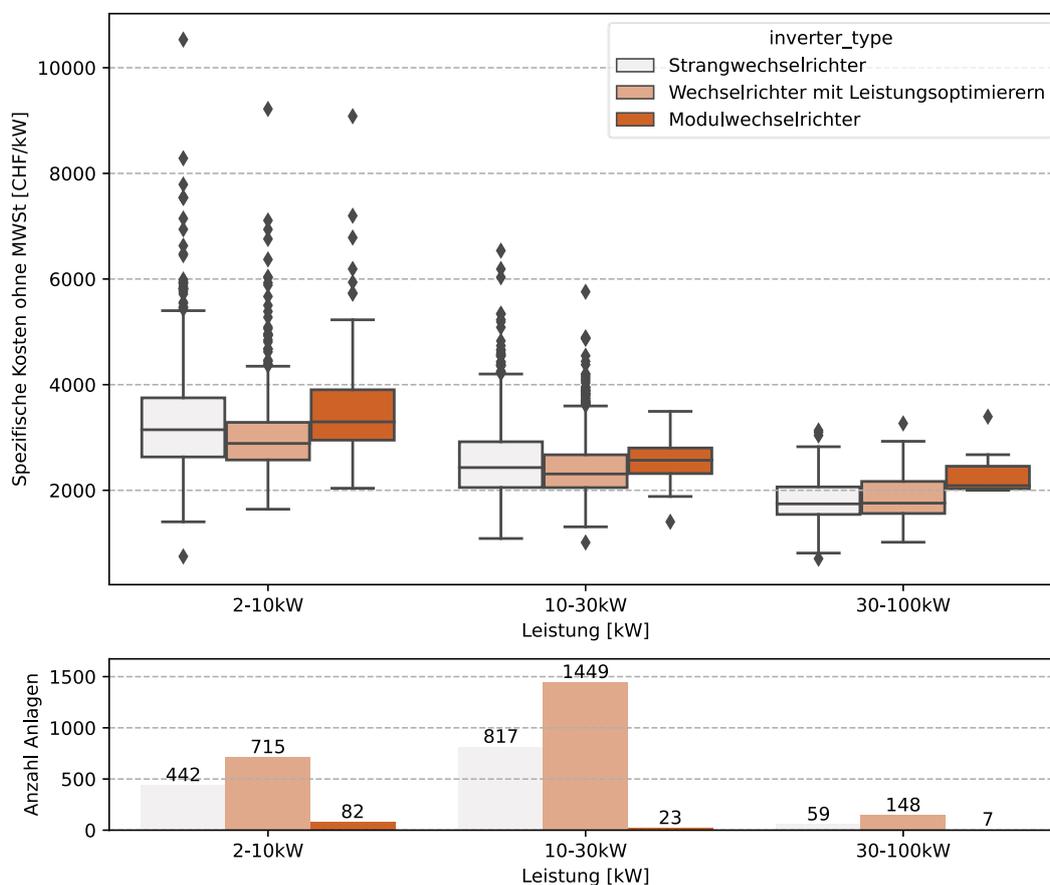


Abbildung 17: Verteilung der spezifischen Kosten (ohne MWST) für drei Wechselrichtertypen und drei Leistungsbereiche.

4.4 Anlagenpreise nach Dachart

Bestimmte Dacharten können Mehrkosten nach sich ziehen. Hier sind insbesondere begrünte Flachdächer zu erwähnen. In Abbildung 18 sind die spezifischen Kosten von Aufdachanlagen nach Dachart und Leistungsbereich dargestellt. Die drei Beobachtungen für begrünte Flachdächer im Bereich 10 bis 30 kW deuten auf Mehrkosten von fast 30 % hin. Ausserdem sind in den beiden Leistungsbereichen von 30 bis 300 kW erhebliche Kostenunterschiede zwischen ziegel- und kiesgedeckten Dächern zu beobachten. Anlagen auf Ziegeldächern bringen relative Mehrkosten von 20 bis 30 % mit sich. Zu erheblichen Mehrkosten führt die komplexe Technik bei Anlagen auf Flachdächern mit freiliegender Abdichtung. Dies ist im Leistungsbereich 100 bis 300 kW zu erkennen. Diese Erkenntnis würde weitere Beobachtungen erfordern, um auch eine quantitative Aussage treffen zu können.

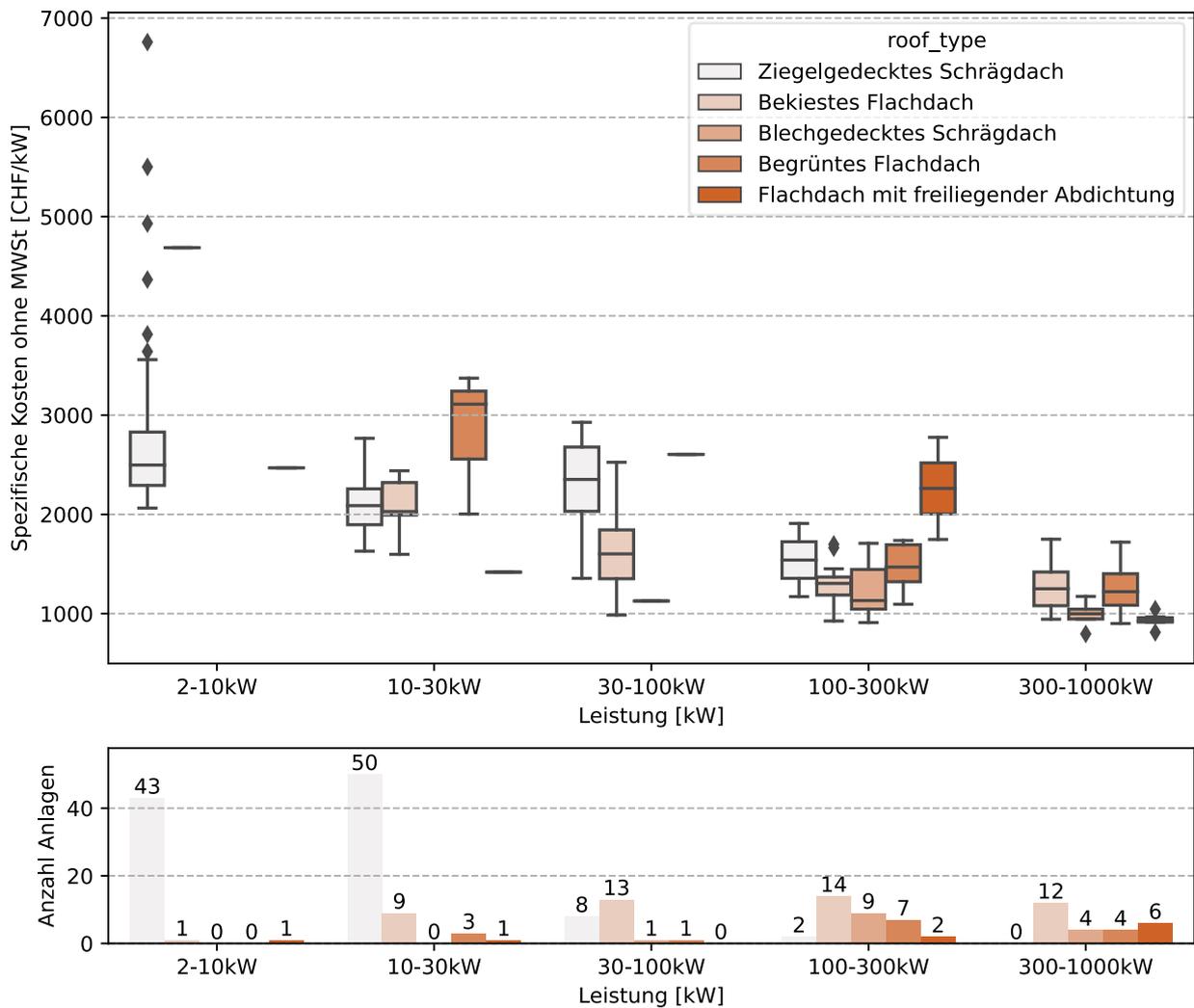


Abbildung 18: Verteilung der spezifischen Kosten (ohne MWST) für fünf Dacharten und Leistungsbereiche.

4.5 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 Installationsbetriebe 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 für alle Aufdach-PV-Anlagen durchgeführt. Abbildung 19 zeigt die Aufteilung der Anlagen nach Leistungsbereich. Anders als in Abbildung 6 sind hier ausschliesslich Aufdachanlagen dargestellt. Die spezifischen Kosten in den einzelnen Leistungsbereichen sind in acht Kategorien aufgeschlüsselt:

- Kosten der Module
- Kosten der Wechselrichter
- Kosten des Montagesystems
- Kosten des Elektromaterials
- Kosten für die Baustellenabsicherung und für permanente Sicherheitsmassnahmen
- Arbeitskosten
- Verwaltungs- und Planungskosten
- Logistik- und Transportkosten

Die Kosten ergeben sich aus dem Medianwert der spezifischen Kosten der betreffenden Kategorie unter Ausschluss von Nullwerten.

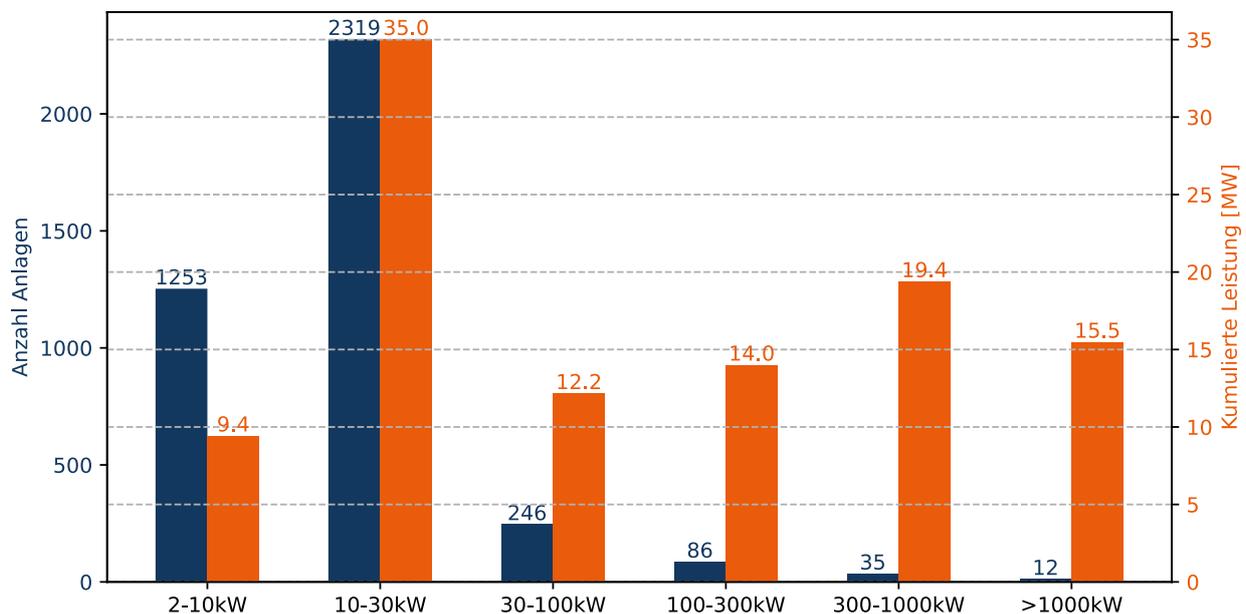


Abbildung 19: Anzahl und kumulierte Leistung der Aufdachanlagen nach Leistungsbereich.

Abbildung 20 zeigt die Korrelation zwischen den auf die einzelnen Kategorien entfallenden Kosten und der Anlagengrösse. Bei den Modulen, den Wechselrichtern, dem Montagesystem, dem Material und den Arbeitskosten ist eine eindeutige lineare Korrelation zu erkennen. Die Kosten für die Baustellenabsicherung und permanente Sicherheitsmassnahmen scheinen nicht immer mit der Anlagengrösse korreliert zu sein. Die Verwaltungs- und Planungskosten scheinen manchmal mit der Leistung korreliert zu sein und manchmal pauschal festgelegt zu werden.

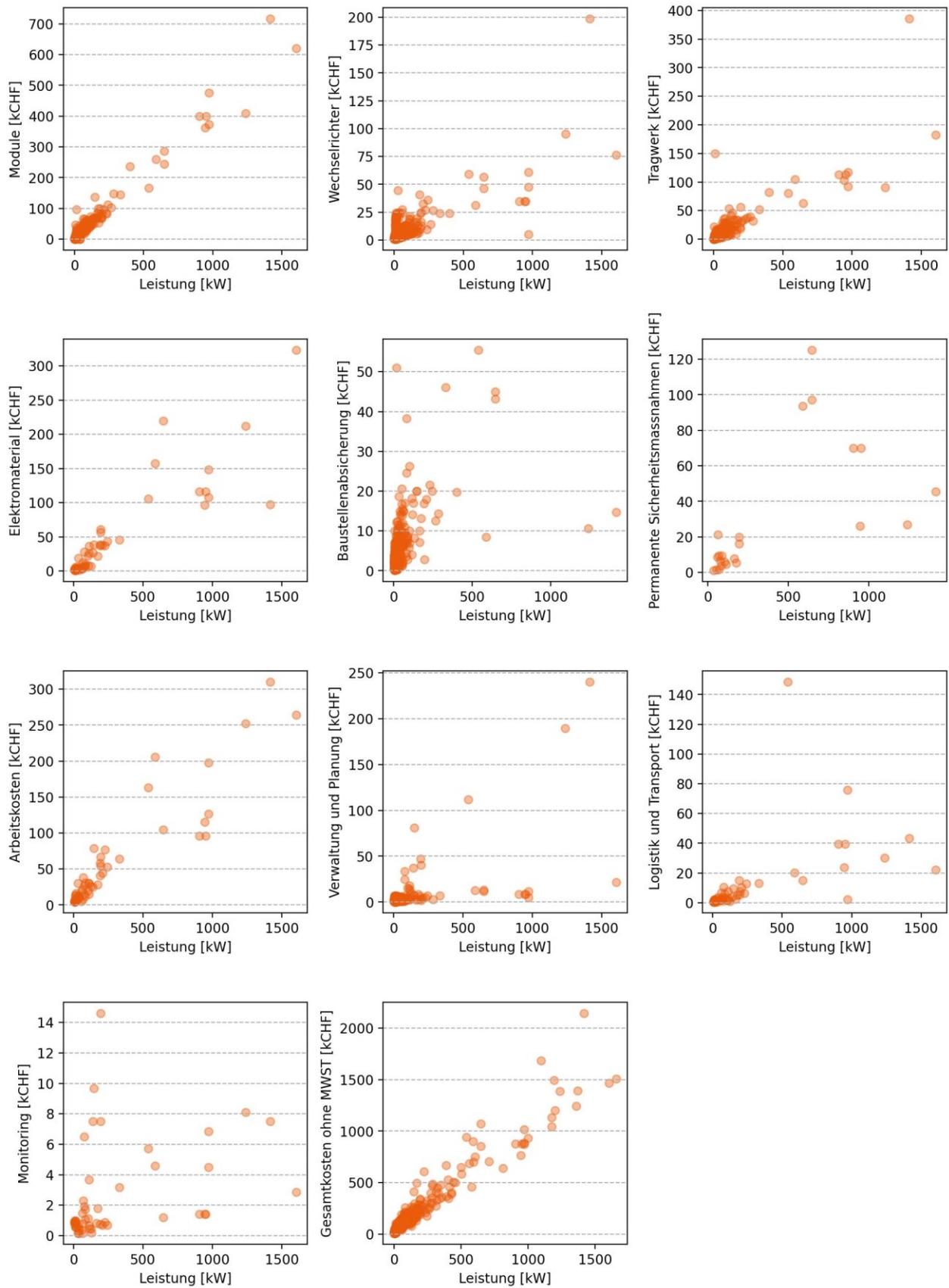


Abbildung 20: Kosten nach Kategorie in Abhängigkeit von der Grösse der Aufdachanlage.

Die Kostenaufschlüsselung ist in Abbildung 21 dargestellt. Für jeden Leistungsbereich und jede Kategorie ist der Median der spezifischen Kosten [CHF/kW], der Anteil des Medians an den spezifischen Kosten des Bereichs (Tabelle 4) sowie in Klammern die Anzahl der Punkte angegeben, aus denen der Median errechnet wurde. Zu beachten ist, dass in den beiden ersten Leistungsbereichen keinerlei Kostenangaben für Sicherheitsmassnahmen vorliegen. Mit diesem Ansatz können alle zur Verfügung stehenden Daten genutzt werden. Dies verringert die Unsicherheit bezüglich des Medians der spezifischen Kosten nach Kategorie. Die spezifischen Kosten der Kategorie "Sonstige" werden als Differenz zwischen dem Median der spezifischen Kosten des Leistungsbereichs und der Summe der Mediane der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien berechnet (1-8). Zu beachten ist, dass aufgrund der geringen Anzahl von Datensätzen für Anlagen > 300 kW diese Differenz negativ ist. Daher wurden die Mediane der spezifischen Kosten der einzelnen Kategorien so normalisiert, dass die Summe dem Median des Leistungsbereichs entspricht. Bei den angegebenen Werten für die beiden Bereiche > 300 kW ist mit einer grossen Unsicherheit zu rechnen.

Wie zu sehen ist, steigt der auf die Module entfallende Anteil signifikant mit der Leistung an – von 17 % bei kleinen Anlagen auf nahezu 35 % bei grossen Anlagen. Ähnlich verhält es sich mit den Kosten des Elektromaterials. Umgekehrt sinkt der auf die Wechselrichter entfallende Anteil mit zunehmender Anlagengrösse. Die Anteile des Montagesystems und der Arbeitskosten bleiben über alle Leistungsbereiche hinweg relativ stabil.

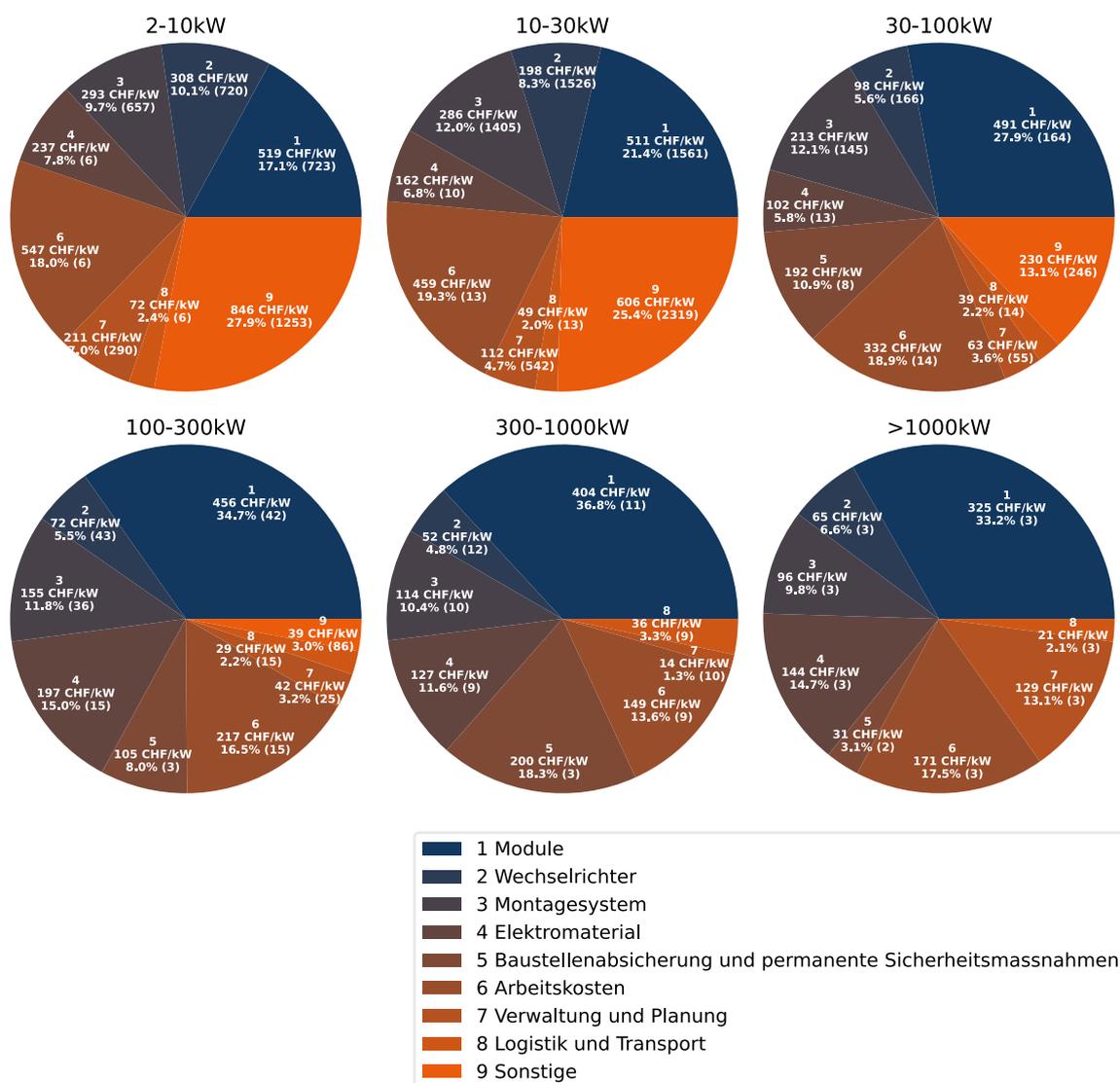


Abbildung 21: Aufschlüsselung der Kosten von Aufdachanlagen in neun Kategorien.

4.6 Entwicklung im Zeitverlauf

Die folgende Analyse wertet die Entwicklung der Kosten zwischen 2018 und 2022 aus. Abbildung 22 stellt die Entwicklung der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in allen fünf Jahren und fünf Leistungsbereichen in Form von Quartilen und Extremwerten dar. Es ist zu erkennen, dass der in den drei ersten Jahren zu beobachtende Abwärtstrend im Jahr 2022 abbricht: Die spezifischen Kosten sind hier höher als im Vorjahr. Zu erklären ist diese Beobachtung durch die Beschaffungsprobleme infolge der COVID-Pandemie, eine anziehende Nachfrage sowie die Inflation.

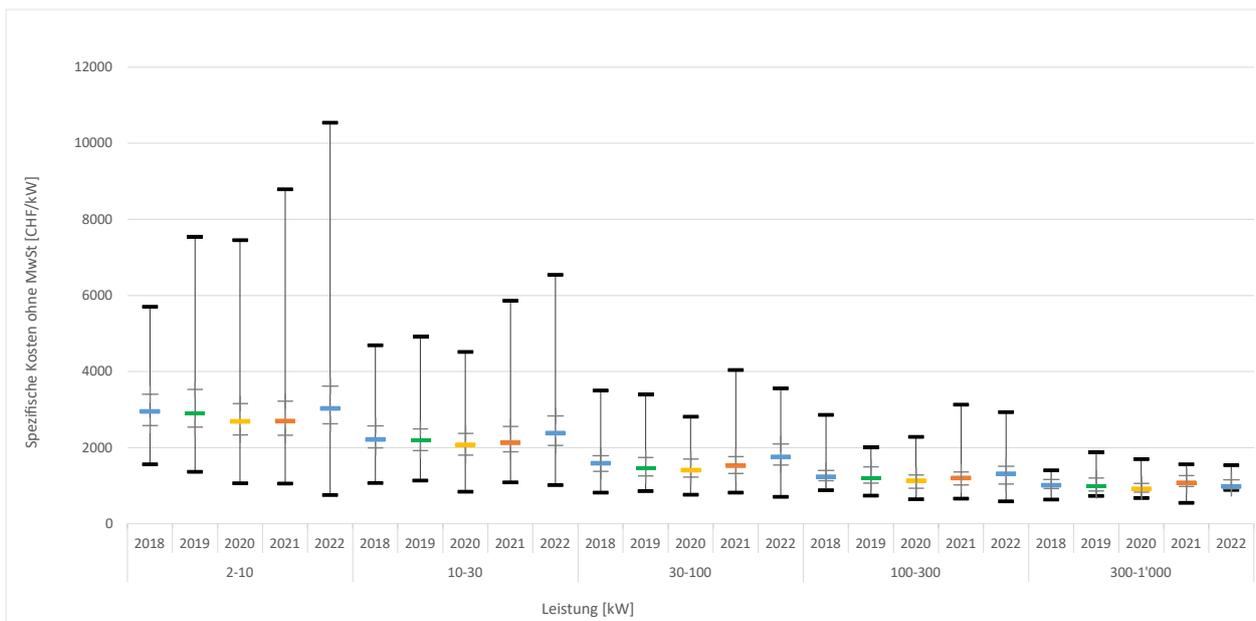


Abbildung 22: Entwicklung der statistischen Verteilung der spezifischen Kosten von Aufdach-PV-Anlagen in den einzelnen Leistungsbereichen in CHF/kW (ohne MWST). Dargestellt sind fünf Leistungsbereiche und in allen Leistungsbereichen die Daten für 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022. Die farbigen Balken stehen 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 6: Medianwerte der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in den fünf letzten Jahren. Die Tabelle zeigt auch die relative Änderung im Vergleich zum Vorjahr.

Leistungsbereich [kW]	Median Spezifische Kosten [CHF/kW]					Veränderung im Vergleich zum Vorjahr			
	2018	2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	-1%	-8%	0%	12%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	-1%	-6%	3%	12%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	-8%	-4%	9%	15%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	-2%	-7%	6%	9%
300-1000	1016	990	919	913	1097	-3%	-7%	-1%	20%
>1000		777	819	1075	982		5%		-9%

5. Kostenbeeinflussende Faktoren

Im vorhergehenden Kapitel wurde eine Referenzkurve (Regression 2022) auf Grundlage aller Kosten von Aufdach-PV-Anlagen abgebildet. In der Praxis hängen die Anlagenkosten von zahlreichen technischen Einflussgrössen ab, deren finanzielle Auswirkungen nicht immer statistisch quantifizierbar sind. Der Anlagentyp (Aufdach- oder integrierte Anlage), der Wechselrichtertyp und die Dachart sind Faktoren, die mit den spezifischen Kosten quantitativ korreliert werden konnten. Das vorliegende Kapitel soll qualitativ erklären, wie sich bestimmte Faktoren relativ zur Referenzkurve positiv oder negativ auf die Kosten auswirken können.

Kabelführung

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 auf die Kosten 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 bekieseten Dächern sind Beschwerungssysteme zur Modulbefestigung möglich. Sie bringen jedoch auch Einschränkungen hinsichtlich der Dachpräparierung mit sich (das Montagesystem muss unterhalb der Kiesschicht angebracht werden). Bei abgestimmter Montage (Bau oder Renovierung) kann das Montagesystem 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.
- Bei Flachdächern ermöglichen Montagesysteme mit doppelseitiger Aufständering meist wirtschaftlichere Projekte: Die Systeme kosten weniger und es lassen sich Skaleneffekte durch höhere Leistungen erzielen. Der Energieertrag 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 Montagesystems 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 strengerer Energielabel-Vorgaben werden mehr und mehr technische Einrichtungen auf den Dächern installiert. Diese Einrichtungen verkomplizieren die Modulordnung 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, Zonenausweisung, Modellcharakter des Gebäudes) können spezielle Materialien eingesetzt werden, beispielsweise Module mit Rahmen und schwarzer Tedlar-Folie, farbige Module, Solar-Dachziegel, diskretere Befestigungssysteme oder kompliziertere Aufbauvarianten (unsichtbare Kabelführung, spezielle Modulordnung). Je nach Umfang der Anforderungen können sich erhebliche Mehrkosten daraus ergeben.

Bauliche Situation

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

- Es sind Kosten für die Abstimmung mit den anderen Gewerken zu berücksichtigen.
- Ausserdem können Architekturkosten und Kosten für die Bauleitung anfallen.
- Eine gute 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 Modulordnung 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 Montagesystem 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. Die kantonal unterschiedlichen Formulare und Vorgehensweisen im Rahmen der Meldepflichten können sich in den Kosten widerspiegeln. Auf kommunaler Ebene kann die Auslegung des RPG dazu führen, dass für einen grösseren oder kleineren Teil der Gesuche Baubewilligungen erforderlich sind. Alles in allem ist zu erwarten, dass der Verwaltungskostenanteil insbesondere dank der Einrichtung von Plattformen für die administrative Abwicklung (zum Beispiel ElektroForm solar) sinken wird.

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 (ZEVs) 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.

Interne Projektmanagementkosten und externe Planungskosten

Die genannten Kosten basieren hauptsächlich auf den Offerten der Installationsbetriebe und beinhalten folglich keine internen Projektmanagementkosten und keine Kosten für die externe Planung. Zwischen diesen Kosten besteht ein Zusammenhang, da sich die internen Managementkosten durch externe Planung senken lassen. Es ist zu erwarten, dass die Verwaltung und Planung kleinerer Anlagen (<100 kW) eher intern stattfinden. Die betreffenden Kosten werden selten quantifiziert. Bei grossen Anlagen (>100 kW) kann die externe Planung zu nicht zu vernachlässigenden Mehrkosten führen.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Kosten von 4'161 PV-Anlagen analysiert. Die Daten wurden im Wesentlichen bei den Installationsbetrieben erhoben. Mit entsprechender Fokussierung – insbesondere auf die 3'953 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 Kostenaufschlüsselung ermöglichte in allen Leistungsbereichen die Ermittlung eines Medianwerts der spezifischen Kosten nach Kategorie. Die grössten Kostenanteile entfallen auf die Arbeitskosten und die Modulkosten. Bei grossen Anlagen ist der Anteil der Modulkosten doppelt so gross wie bei kleinen Anlagen.

Wie der Vergleich der erhobenen Daten mit den Daten aus den Vorjahren zeigt, endete der Rückgang der spezifischen Kosten im Jahr 2021: Der Trend hat sich 2022 umgekehrt. Die Kosten einer im Jahr 2022 offerierten Anlage haben sich gegenüber 2021 um durchschnittlich 12 % erhöht.

Dieses Wachstum wird sich 2023 aufgrund einer ungewöhnlich grossen Menge an in Europa gelagerten Modulen (Versand von etwa 80 GW bei einem "normalen" Markt von 40 bis 50 GW) möglicherweise nicht wiederholen. Abbildung 23 zeigt, dass die spezifischen Kosten der Module in der ersten Hälfte des Jahres 2023 um fast 25 % gesunken sind.

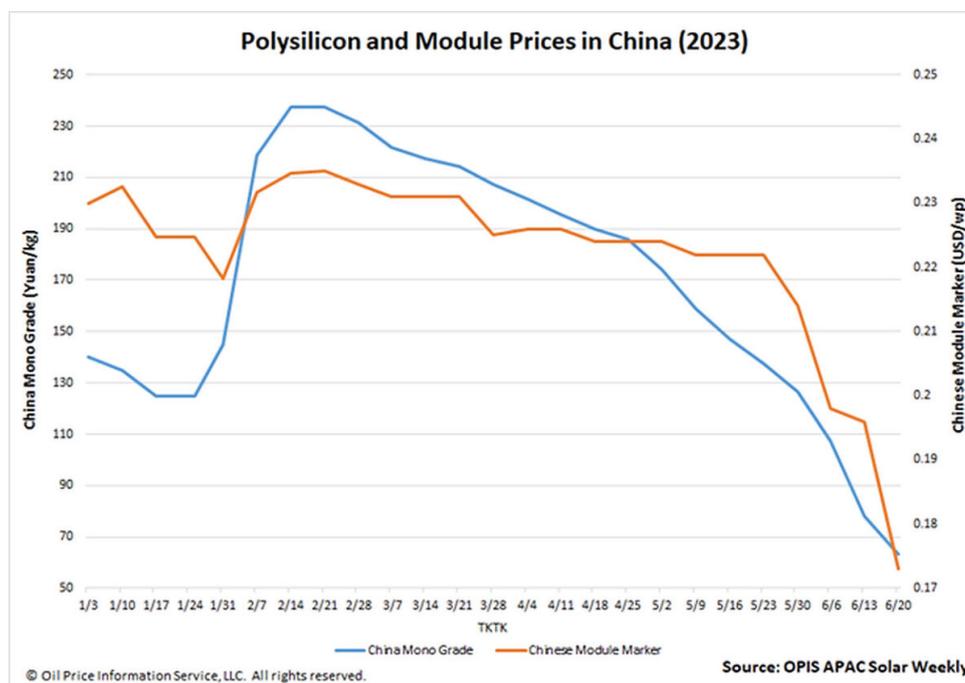


Abbildung 23: 25%ige Senkung der spezifischen Modulkosten, beobachtet in der ersten Hälfte des Jahres 2023

Quelle : <https://www.pv-magazine.com/2023/06/23/china-solar-module-prices-keep-diving/>

7. Danksagungen

Wir danken allen Unternehmen und Privatpersonen, die uns bei der Erhebung der Daten unterstützt haben. Vor allem danken wir allen Installationsbetrieben, die mit ihren 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.

8. Referenzen

- [1] Thomas Hostettler und Andreas Hekler, « Statistik Sonnenenergie - Referenzjahr 2021 », BFE, Juli 2022.