

Mit Unterstützung von



Energie Zukunft Schweiz – Studienbericht

Solarstrom auf Parkplatzüberdachungen

04.05.2022



Autoren

Marc Hochreutener, Energie Zukunft Schweiz AG

Dr. Lucia Grüter, Energie Zukunft Schweiz AG

Christos Nikiforos, Energie Zukunft Schweiz AG

Lars Konersmann, Energie Zukunft Schweiz AG

Energie Zukunft Schweiz AG

Viaduktstrasse 8

CH-4051 Basel

<https://www.energiezukunftschweiz.ch>

Diese Studie wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz erstellt.

Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Titelbild: Solarcarports in Ebikon LU (© Megasol)

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	5
Synthèse de rapport	6
1. Ausgangslage und Ziele	8
2. Vorgehen	8
3. PV-Potenzial auf Parkflächen	9
4. Referenzprojekte	10
4.1 Solarcarport Courgenay JU	10
4.2 Solare Parkplatzüberdachung in Jakobsbad AI	11
4.3 Solarcarport Münchenstein BL	12
4.4 Solarcarport Aigle VD	14
5. Nutzen und Nutzungskonflikte	15
6. Statische Prüfung und Fundamentierung	16
6.1 Statische Prüfung	16
6.2 Befestigung der Strukturen (Fundamente)	16
6.3 Fundamentarten	17
7. Kommerzielle Carportlösungen	20
7.1 Premium Mounting Technologies (PMT)	20
7.2 dhp Technology	22
7.3 Megasol	24
7.4 Mounting Solutions	26
7.5 Swisscarport	27
7.6 Adiwatt	28
7.7 Newa One	30
8. Vorhandene Carports nachrüsten	32
9. PV-Module für die Carportintegration	34
9.1 Nicer X, Megasol	34
9.2 Elegante 200W, Aleo Solar	35
9.3 KPV GML NEC, Kioto Photovoltaics	35
9.4 PS 185 M, Premium Solarglas	36
10. Herausforderungen bei Bau und Unterhalt	37
10.1 Bau neuer Solarcarports	37

10.2 Bodenreinigung der Parkflächen	37
10.3 Betrieb und Unterhalt der PV-Anlagen von Solarcarports.....	37
11. Wirtschaftlichkeit von Solarcarports.....	37
12. Ladestationen und Eigenverbrauchsoptimierung	39
12.1 Entwicklung der E-Mobilität in der Schweiz.....	39
12.2 Akteure	39
12.3 Merkblatt SIA 2060	40
12.4 Unterschiedliche Ladegeräte (AC versus DC Geräte, Leistung etc.).....	40
12.5 Dynamisches Lastmanagement	40
12.6 Betrieb	41
12.7 Abrechnung	41
13. Fazit	42
14. Quellenverzeichnisse	43
14.1 Verzeichnis Interview-Partner:innen.....	43
14.2 Literaturverzeichnis	43

Management Summary

Photovoltaikanlagen werden in der Schweiz bisher hauptsächlich auf Gebäudedächern realisiert. Die Gründe dafür liegen in der grossen Verfügbarkeit von Dächern, in der meist einfachen technischen Umsetzung und in den wirtschaftlichen Aspekten. Um den ambitionierten Zielen zum Ausbau der neuen Erneuerbaren gerecht zu werden, sollen vermehrt Photovoltaikanlagen auf Infrastrukturfleichen installiert werden, beispielsweise auf Lärmschutzwänden, Staumauern, Abwasserreinigungsanlagen oder als Solarüberdachungen von Parkplatzflächen (Solarcarports). Der vorliegende Bericht zum Thema Solarstrom auf Parkplatzflächen soll dessen Potenzial aufzeigen, sowie die relevanten technischen und wirtschaftlichen Faktoren bei der Entwicklung und Umsetzung von Solarcarport-Projekts beschreiben.

Für die Studie wurden Interviews mit verschiedenen Planern, Herstellern und Installateuren von Solarcarports geführt. Die verschiedenen Gespräche haben wichtige Aspekte, Möglichkeiten und Herausforderungen von Solarstromproduktion auf Parkflächen aufgezeigt. Neben den technischen Themen ist die Kostenstruktur sowie der Stromverkauf genau zu analysieren, da die Rentabilität von Carportprojekten nicht per se gegeben ist. Viele der grossen Parkplatzbetreiber sind daher zurückhaltend bezüglich einer Ausrüstung ihrer Parkflächen - mit der zunehmenden Elektromobilität könnte sich dies allerdings ändern.

In der Schweiz existieren mindestens 64 km² Parkflächen, die ein theoretisches Photovoltaik-Potenzial von 6-10 GWp bieten. Mehrere grössere Solarcarports wurden in den letzten Jahren realisiert, der grösste mit einer Leistung von 6.75 MWp. Diese Solarcarports bieten viele Vorteile. Die Fahrzeuge sind durch die Überdachung geschützt, Ladestationen für die Elektromobilität können direkt in die Struktur integriert werden, daraus resultiert eine ideale Doppelnutzung einer bereits bebauten Fläche.

Herausforderungen der verschiedenen Projekte waren der Verlust einzelner Fahrzeugstellplätze, die erschwerte Schneeräumung im Winter und die verminderte Manövrierefreiheit der Fahrzeuge und daraus folgend mögliche Kollisionsschäden. Ebenfalls als erschwerend genannt wurden die Koordination der Bauarbeiten in Abstimmung mit der Betriebstätigkeit auf dem Parkareal sowie die Wahl der Fundamentierung und der passenden Carportstruktur.

Es gibt mittlerweile diverse verschiedene Schweizer als auch Europäische Anbieter von Carportsystemen. Die verschiedenen Anbieter liefern Carportstrukturen mit Möglichkeit zur Installation von PV-Modulen als Aufdach-Anlage oder zur direkten Integration von speziellen Glas-Glas-Modulen ins Carport-Dach. Letztere erfordern genaue, projektspezifische Abklärungen zur Eignung als Überkopfverglasung, damit Sach- und Personenschäden verhindert werden.

Aufgrund von Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten sind die Strukturen sorgfältig, standort- und objektbezogen zu planen. Die Fundamente werden auf die Strukturen und den Untergrund abgestimmt. Solarcarports auf bestehenden Parkdecks müssen anderen Ansprüchen an die Fundamentierung gerecht werden als Solarcarports auf neu erstellten, erdgebundenen Parkplätzen. Fundamentierungsarbeiten sollen aus sorgfältiger Planung und Analyse der Standortbedingungen entstehen, um eine effiziente Projektausführung und attraktive Wirtschaftlichkeit erreichen zu können.

Im Allgemeinen gilt, je grösser der Solarcarport, desto tiefer sind die spezifischen Investitionskosten (CHF pro kWp installierter Leistung) und je grösser der Eigenverbrauch vor Ort, desto eher ist ein Solarcarport amortisiert. Mit der zunehmenden Elektrifizierung der Fahrzeugbranche steigt die Nachfrage nach E-Ladestationen und damit auch der Nutzen von stromerzeugenden Parkplatzüberdachungen, welche einen hohen Eigenverbrauchsanteil aufweisen können. Ein mit Solarmodulen überdachter Parkplatz kann jährlich ungefähr so viel Strom erzeugen wie ein Elektrofahrzeug jährlich benötigt (Bucher, 2021).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Solarcarports einen sinnvollen Doppelnutzen von Parkflächen bieten. Aufgrund der grossen zur Verfügung stehenden Fläche und des Wachstums der Elektromobilität soll dieses Potenzial für PV unbedingt stärker in Betracht gezogen und genutzt werden. Für eine breite Umsetzung in der Schweiz würde jedoch eine spezifische Förderung benötigt, wie sie auch in umliegenden Ländern implementiert wurde.

Synthèse de rapport

À ce jour, les installations photovoltaïques suisses sont principalement montées sur des toits de bâtiments. Cette tendance s'explique par le grand nombre de toits disponibles, une mise en œuvre technique souvent simple, ainsi que par des aspects économiques. Pour atteindre les objectifs ambitieux d'expansion des nouvelles énergies renouvelables, il faudra installer plus de systèmes photovoltaïques sur les surfaces d'infrastructures, comme les murs antibruit, les barrages, les stations d'épuration, ou comme auvents solaires pour parkings (carports solaires). Le présent rapport traitant de l'énergie solaire sur les parkings vise à montrer le potentiel de celle-ci, et à décrire les facteurs techniques et économiques intervenant dans le développement et la réalisation de projets de carports solaires.

Cette étude se base sur des entretiens avec différents concepteurs, fabricants et installateurs de carports solaires, au cours duquel ont été abordés les principaux aspects, opportunités et défis liés à la production d'énergie solaire sur les parkings. Outre les sujets techniques, il convient d'analyser précisément la structure des coûts ainsi que la vente de l'électricité, car la rentabilité des projets de carports solaires n'est pas toujours évidente. Parmi les grands exploitants de parkings, beaucoup sont donc réticents à équiper leurs surfaces avec ce genre de systèmes. Mais l'essor de l'électromobilité pourrait bien changer la donne.

La Suisse compte au minimum 64 km² de parking qui représentent un potentiel photovoltaïque théorique de 6 à 10 GWp. Plusieurs carports solaires de grande ampleur ont été mis en place ces dernières années; le plus grand possède une puissance de 6,75 MWp. Ces carports solaires offrent de nombreux avantages. Les véhicules sont protégés grâce aux auvents, les stations de recharge pour véhicules électriques peuvent être directement intégrées à la structure, constituant ainsi une opportunité d'usage double pour une surface déjà construite.

Les points négatifs associés aux différents projets étaient notamment la suppression de quelques places de stationnement, une difficulté de déneigement plus grande en hiver et la perte de marge de manœuvre pour les véhicules, susceptible de générer de potentielles collisions. Les facteurs de complication mentionnés concernaient également la coordination des travaux de construction avec l'activité menée sur la zone de stationnement, ainsi que le choix de la fondation et de la structure de carport adaptée.

Aujourd'hui, les systèmes de carports sont proposés par différents fabricants suisses et européens, qui fournissent des structures permettant de monter des modules photovoltaïques comme installations de toiture, ou d'intégrer directement des modules bi-verre spéciaux dans le toit du carport. Cette deuxième option nécessite des examens précis et spécifiques au projet afin de s'assurer que les modules conviennent à une utilisation en tant que toiture vitrée, et donc d'éviter les dommages physiques et matériels.

Les structures doivent être planifiées soigneusement en fonction de l'emplacement et de l'objet, selon les contraintes liées au vent, aux chutes de neige et aux tremblements de terre. Les fondations sont adaptées aux structures et au type de sol. Les fondations des carports solaires installés sur des parkings à niveaux déjà construits doivent répondre à des critères différents de celles des carports situés dans des parkings neufs, construits au niveau du sol. Pour une exécution efficace du projet et une rentabilité intéressante, les travaux de fondation doivent résulter d'une planification et d'une analyse minutieuses des conditions sur place.

De manière générale, plus le carport solaire est grand, plus les coûts d'investissement spécifiques (CHF par kWp de puissance installée) sont bas, et plus la consommation propre sur place est élevée, plus le carport solaire est amorti rapidement. Avec l'électrification croissante du secteur de l'automobile, la demande pour les stations de recharge de véhicules électriques augmente, et avec elle la pertinence des auvents de parkings produisant de l'électricité et dont la part de consommation propre peut être élevée. La production annuelle d'un parking recouvert de modules solaires peut être équivalente à la consommation annuelle d'un véhicule électrique (Bucher, 2021).

Pour résumer, on peut dire que les carports solaires offrent un double usage intéressant pour les parkings. Face à la taille de la surface disponible et à la croissance de l'électromobilité, ce potentiel offert par

le photovoltaïque doit impérativement être considéré et exploité plus souvent. Une réalisation à l'échelle de la Suisse nécessiterait cependant des subventions spécifiques, comme cela a été le cas dans certains pays voisins.

1. Ausgangslage und Ziele

Die Platzierung von Solaranlagen auf Parkflächen bietet gegenüber anderen Dachflächen viele Vorteile. Eine Überdachung mittels Carports schützt die abgestellten Fahrzeuge und produziert Solarstrom, der auch für die Elektromobilität genutzt werden kann. In der Schweiz existieren bereits einige Solarcarports, sowohl im öffentlichen als auch privaten Bereich. Die verwendeten Systeme sind unterschiedlich: Sie sind teilweise als Standardprodukte am Markt erhältlich oder sind kunden- und projektspezifisch individualisierte Systeme.

Die vorliegende Studie stellt einige existierende Solarcarport-Projekte in der Schweiz vor, wobei vor allem auf die technischen Lösungen und Herausforderungen eingegangen wird. Innerhalb des Projektes wird eine vertiefte Analyse von Photovoltaik (PV) auf Carports durchgeführt, in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Ebenso soll aufgezeigt werden, welches Potenzial die heute verfügbaren Parkflächen für Solarüberdachungen aufweisen und welche Voraussetzungen und Erfolgsfaktoren nötig sind, um ein wirtschaftlich und technisch nachhaltiges Projekt umzusetzen. Die Potenziale für einen rentablen Betrieb mit und ohne Eigenverbrauch (Elektromobilität und Gebäude) werden aufgezeigt. Damit wird eine Grundlage für eine breitere Umsetzung der vereinzelt Pilotprojekte geschaffen. Durch die Darstellung von kommerziellen Systemen und deren Eigenschaften kann die Studie auch den Anbietern von Solarstromtechnologie Impulse für eine zielgerichtete Weiterentwicklung geben.

2. Vorgehen

Der vorliegende Bericht behandelt das Thema der Solarstromerzeugung auf Parkplatzüberdachungen, dafür wird im Dokument einheitlich der Begriff Solarcarports verwendet.

Für die Studie wurden zahlreiche Interviews mit Planern, Herstellern und Installateuren von Solarcarports geführt (die Liste der Interviewpartner befindet sich am Ende dieses Berichtes). Anhand der daraus resultierenden Informationen werden in den folgenden Seiten einige in der Schweiz bereits realisierte Solarcarport-Projekte vorgestellt. Es wurde vorgängig zur Informationsbeschaffung ein Raster erstellt, damit die Referenzprojekte miteinander vergleichbar sind. Nebst den technischen Aspekten des Solarcarport-Projekts wie Leistung, Stromerzeugung oder Eigenverbrauch werden Chancen und Herausforderungen bei der Umsetzung und das Potenzial nach Einschätzung der Planer, Hersteller oder Installateure aufgezeigt. Zusätzlich werden einige auf dem Schweizer Markt vorhandene kommerzielle Solarcarport-Lösungen sowie dafür geeignete PV-Module beschrieben. Auf Basis dieser Resultate werden in separaten Kapiteln das Potenzial von Solarcarports in der Schweiz und die Kombination mit der Elektromobilität aufgezeigt. Auf technischer Ebene wird auf Nutzen und Nutzungskonflikte, Herausforderungen beim Bau und Unterhalt sowie Möglichkeiten der statischen Prüfung und Fundamentierung von Solarcarports hingewiesen. Zusätzlich gehen wir in einem Kapitel auf die Wirtschaftlichkeit von Solarcarports und auf die Voraussetzungen für einen rentablen Betrieb ein.

3. PV-Potenzial auf Parkflächen

Die in der Schweiz vorhandene gesamte Parkplatzfläche im Jahr 2009 belief sich gemäss dem Bundesamt für Statistik (BFS) auf 64 km². Die Parkplätze sind aufgrund der Grössenzunahme der Autos in den letzten Jahren tendenziell gewachsen, die Masse betragen zwischen 2 m x 5 m und 2.75 m x 5.5 m, also rund 10-15 m². Durchschnittlich kann von 12.5 m² pro Parkfeld ausgegangen werden. Basierend darauf entsprechen die 64 km² rund 5 Mio. Parkplätzen.

Mit den heute gängigen Modulleistungen werden mehr als 200 W pro m² erreicht, d.h. auf 5 m² kann eine Leistung von ca. 1 kWp installiert womit in der Schweiz pro Jahr rund 1'000 kWh Solarstrom erzeugt werden. Auf einem Parkplatz von 10-15 m² können also 2-3 kWp an Modulleistung installiert werden. Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis zwischen Anzahl Parkplätze, Fläche und der möglichen installierbaren PV-Leistung in kWp.

Tabelle 1: Verhältnis zwischen Anzahl Parkplätzen, Fläche in m² und PV-Leistung in kWp

Anzahl Parkplätze	Fläche [m ²]	PV-Leistung [kWp]
1	10-15	2-3
1'000	10'000-15'000	2'000-3'000
5'000'000	50'000'000-75'000'000	10'000'000-15'000'000

Innerhalb der Studie zum Thema Solarstrom auf Infrastrukturanlagen und Konversionsflächen wurden mehrere Parkplätze mit bestehenden PV-Carports ausgewertet und ein Faktor 6 bis 10 (6-10 m² pro kWp Leistung) über den ganzen Parkplatz hinweg eruiert, d.h. inkl. Abstände zwischen den gedeckten Flächen. Resultierend aus den 64 km² Parkflächen der Schweiz können also als theoretisches Potenzial Solarstromanlagen mit 6-10 GWp installiert werden (Energie Zukunft Schweiz, 2021).

Nicht enthalten in dieser Zahl sind Parkplätze mit weniger als zehn Parkfeldern, Parkfelder zum Längsparkieren entlang der Strassen, Autobahnraststätten und Rastplätze, Fahrzeughandel sowie unterirdische Parkplätze und Parkhäuser. Die Parkflächen von Fahrzeuglogistik-Unternehmen weisen beispielsweise ein interessantes zusätzliches Potenzial auf. Die drei grössten Standorte in der Schweiz bieten Flächen von ca. 260'000 m², auf denen mindestens 26 MWp Solarcarports installiert werden könnten. Die ebenfalls nicht mit eingerechneten Flächen bei Autobahnraststätten und -plätzen oder Parkdecks von Parkhäusern bieten in Kombination mit dem zunehmenden Strombedarf für die Elektromobilität ebenfalls ein nicht zu unterschätzendes Potenzial für verbrauchsnahe Solarstromproduktion mit Solarcarports.

Im folgenden Kapitel wird anhand von einigen Beispielen aufgezeigt, wo in der Schweiz bereits grössere Solarcarports installiert wurden.

4. Referenzprojekte

Es wurden in der Schweiz bereits einige Projekte mit grossen Solarcarports realisiert.

4.1 Solarcarport Courgenay JU

Mit 6.84 MWp installierter Leistung ist der Solarcarport von Gefco in Courgenay nicht nur der grösste in der Schweiz, sondern auch einer der grössten bisher realisierten in Europa. Das Automobillogistik-Unternehmen Gefco nutzt die solare Überdachung für die Fahrzeuglagerung und -aufbereitung. Die folgende Tabelle zeigt einige Projektdaten zum Solarcarport von Gefco in Courgenay:

Tabelle 2: Die wichtigsten Kennzahlen zum Solarcarport in Courgenay (Adiwatt)

Solarcarport in Courgenay JU		
		
(© Adiwatt)		
	Standortbeschreibung	- Fahrzeuglager/-import für diverse Automarken
	Hauptakteure	- Bauherrschaft: Gefco - Carportstruktur: Adiwatt - PV-Module: Megasol - Installation und Contracting: BKW - Projektadministration: Energie du Jura
	Leistung PV-Carport	- 6.75 MWp, 23'886 PV-Module
	Stromerzeugung	- ca. 6.75 GWh/a
	Eigenverbrauch	- klein
	Stromverbrauch vor Ort	- klein
	Fläche Carport	- 43'000 m ² , Überdachung für 3'000 Fahrzeuge
	Wirtschaftlichkeit	- Investitionskosten: 13 Mio. CHF ohne Netzanschlusskosten - Preis/Leistung: 1'940 CHF/kWp - Gestehungskosten: 18 Rp./kWh (Auskunft Gefco)
	Projektdauer	- 3 Jahre, Dauer des Baus: 10 Monate
	Herausforderungen/Schwierigkeiten	- Projektkoordination in Abstimmung mit dem Betreiber, um die Auswirkungen auf das Tagesgeschäft des Kunden so gering wie möglich zu halten. - Fundamentierung: Tragfähigkeit des Bodens problematisch, überschwemmungsgefährdetes Gebiet.

		<ul style="list-style-type: none"> - Logistik: Einteilung in verschiedene Bauzonen, Gebiet verliert an Flexibilität. - Sicherheit vor Ort.
	Chancen	<ul style="list-style-type: none"> - Der Nutzen von Schattenspendern ist groß, da sie "ungenutzte" Parkplatzflächen abdecken, gleichzeitig Strom erzeugen und die Fahrzeuge vor den Unwägbarkeiten des Wetters (Regen, Schnee oder Sonne) schützen. - Ein Teil des erzeugten Solarstroms kann für das Aufladen der von Gefco importierten Elektrofahrzeuge verwendet werden.
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - Der Solarstromüberschuss wird von BKW für das Produkt «Energy Green» vermarktet. - Retention des Regenwassers: eigene Investitionen durch Gefco für Sammeln und Wiederverwerten von Regenwasser, Kosten nicht in Projekt berücksichtigt. - Verbauung von rund 1000 t Stahl.

4.2 Solare Parkplatzüberdachung in Jakobsbad AI

Weltweit erstmalig wurde im Jahr 2020 im Appenzellischen Jakobsbad eine Parkfläche mit einem Solarfaltdach überdeckt. Im Vergleich zu den «üblichen» Solarcarport-Systemen erlaubt die Leichtbauweise grosse Stützenabstände bis zu 28 m und eine Höhe über Boden bis zu 6 m. Letztere ermöglicht sogar Parkplätze für Lastwagen. Die weiteren Eigenschaften der faltbaren, solaren Parkplatzüberdachung werden in der folgenden Tabelle als auch im Kapitel 7 beschrieben.

Tabelle 3: Die wichtigsten Kennzahlen zum Solarfaltdach in Jakobsbad (dhp-technology)

Solare Parkplatzüberdachung in Jakobsbad AI		
		
(© dhp-technology)		
	Standortbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Photovoltaik-Faltdach auf dem Parkplatz der Kronbergbahn in Jakobsbad in der Tourismus-Region Appenzellerland
	Hauptakteure	<ul style="list-style-type: none"> - Bauherrschaft: St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG (SAK) zusammen mit Luftseilbahn Jakobsbad-Kronberg AG - Solarfaltdach: dhp Technology AG
	Leistung PV-Carport	<ul style="list-style-type: none"> - 429 kWp
	Stromerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> - 350'000 kWh/a

	Eigenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben
	Stromverbrauch vor Ort	<ul style="list-style-type: none"> - Die SAK und die Kronberg Bahn nutzen von rund 1'320 Panels direkt je 330 Panels. - Für interessierte Gäste stehen 660 Panels für das Nutzungsrecht zur Verfügung.
	Fläche Carport	<ul style="list-style-type: none"> - 2'640 m²
	Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten: 1.5 Millionen Franken
	Projektdauer	<p>Projektdauer Kronberg:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planungsdauer: 2.5 Jahre - Bau und Inbetriebnahme: 13 Monate <p>Standardmässige Projektdauer Solarfaltdach:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planungsdauer: ca. 12 Monate - Bau und Inbetriebnahme: ca. 3 Monate
	Herausforderungen/Schwierigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> - Gestaltung und Planung der Fassade unter Berücksichtigung der Anforderungen des beratenden Heimatschutzes - Berücksichtigung des Quartierplans. - Behandlung von Einsprachen.
	Chancen	<ul style="list-style-type: none"> - Leichtbauweise erlaubt weite Stützenabstände bis zu 28 m und eine grosse Höhe über Boden bis zu 6 m. Das hält die Verkehrswege frei - auch für grosse Fahrzeuge wie Sattelschlepper oder den Winterdienst. - Ästhetische Aufwertung der Fläche. - Imagegewinn für die Tourismusregion Appenzell und die SAK.
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - Leuchtturmprojekt: Weltweit die erste Parkfläche, die mit einem Solarfaltdach überspannt ist. - Privatpersonen und Unternehmen haben die Möglichkeit, Panel-Nutzungsrechte zu erwerben und einen Beitrag für eine nachhaltige Energiezukunft zu leisten. - Sanierung der Parkfläche parallel zur Planung des Solarfaltdachs.

4.3 Solarcarport Münchenstein BL

Die Migros hat mehrere Standorte wie z. B. in Aigle, Münchenstein oder Schlieren bereits mit Solarcarports ausgestattet. Der Vorteil bei diesen Projekten ist die Möglichkeit eines hohen Eigenverbrauchs für den erzeugten Solarstrom in den jeweiligen Filialen. Supermärkte haben oft einen hohen Kältebedarf und sind allgemein interessant für Eigenverbrauchsprojekte. Zudem wird den Kunden eine Parkmöglichkeit mit Überdachung geboten – inkl. Möglichkeit zum Auf- bzw. Nachladen des eigenen Elektrofahrzeugs.

Beim Betriebs- und Verwaltungsgebäude der Genossenschaft Migros Basel in Münchenstein wurden im Zuge einer Parkdecksanierung bestehende Carportstrukturen mit Solarmodulen bestückt. Das Carportprojekt zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

Tabelle 4: Die wichtigsten Kennzahlen zum Solarcarport in Münchenstein (Newa One)



(© Newa One)

	Standortbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Migros-Genossenschaft Betriebs- und Verwaltungsgebäude in Münchenstein - Projekt auf bestehendem Parkdeck mit bestehenden Carportstrukturen aus Stahl
	Hauptakteure	<ul style="list-style-type: none"> - Auftraggeber: Migros Genossenschaft Basel - Projektmanagement: Newa One AG / TenGreen AG - Anlagebau: Helion - Stromnetz: Primeo - Lieferant E-Ladestation: Simplee AG
	Leistung PV-Carport	<ul style="list-style-type: none"> - 595 kWp
	Stromerzeugung	<ul style="list-style-type: none"> - ca. 605'000 kWh pro Jahr
	Eigenverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> - ca. 90%
	Stromverbrauch vor Ort	<ul style="list-style-type: none"> - ca. 5.8 GWh pro Jahr
	Fläche Carport	<ul style="list-style-type: none"> - 3'052 m²
	Wirtschaftlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben
	Projektdauer	<ul style="list-style-type: none"> - 7 Monate
	Herausforderungen/Schwierigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> - Parkdecksanierung. - Entfernung und Entsorgung des asbesthaltigen Eternits aus der bestehenden Carportstruktur. - Entfernung des Rostes an der bestehenden Carportstruktur.
	Chancen	<ul style="list-style-type: none"> - Ein Lastmanagement steuert den gleichmässigen Bezug der Ladestationen und stellt sicher, dass die bestehende Elektroinstallation nicht überlastet wird.
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - 1'470 bifaziale PV- Module "Swan bifacial" à 405 Wp von Jinko Solar. - Die erzeugte Energie wird für die Versorgung der Betriebszentrale und für Elektromobilität genutzt.

4.4 Solarcarport Aigle VD

Ein weiteres grosses Solarcarport-Projekt der Migros wurde für mehrere Einkaufsläden in Aigle realisiert:

Tabelle 5: Die wichtigsten Kennzahlen zum Solarcarport in Aigle (Romande Energie)

Solarcarport in Aigle VD		
		
(© Romande Energie)		
	Standortbeschreibung	- Verbrauch durch mehrere Einkaufsläden
	Hauptakteure	- Installation und Solarenergie-Contracting: Romande Energie - Hauptkunde: Migros
	Leistung PV-Carport	- 1.6 MWp
	Stromerzeugung	- 1.8 GWh/a
	Eigenverbrauch	- 60%
	Stromverbrauch vor Ort	- 3 GWh/a
	Fläche Carport	- 9'487 m ²
	Wirtschaftlichkeit	- keine Angaben
	Projektdauer	- 1.5 Jahre von Planung bis Inbetriebnahme
	Herausforderungen/Schwierigkeiten	- Finden eines passenden Lieferanten für die Carportstruktur - Schwieriger DC-AC-Transformationsteil. - Logistik während Bauphase mit Berücksichtigung der Betriebstätigkeit auf dem Parkareal. - Entschädigung für Baumschnitte.
	Chancen	- Evtl. höherer Solarstromertrag durch bifaziale PV-Module.
	Spezielles	- keine Angaben

Ein weiteres Referenzprojekt und Beispiel für einen auf bestehenden Strukturen gebauten Solarcarport wird in Kapitel 8 erläutert.

5. Nutzen und Nutzungskonflikte

Solarcarports überdachen Fahrzeugstellplätze und erzeugen gleichzeitig Solarstrom. Für die private Anwendung werden kleine Carports für ein bis zwei Fahrzeugstellplätze angeboten. Interessanter wird es, wenn Parkflächen mit vielen Stellplätzen mit Solarcarports überdacht werden. Solche Anlagen sind meistens vor öffentlichen Gebäuden, Firmengebäuden oder Supermärkten zu finden. Folgende Nutzen bieten Solarcarport-Anlagen:

- Bei grossen Solarcarport-Anlagen sind oft auch grosse Verbraucher von Solarstrom vorhanden, beispielsweise bei Supermärkten oder in der Nähe von Industrie/Gewerbe. Ein Grossteil des von Solarcarports erzeugten Solarstroms kann lokal verbraucht werden, der Rest wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Dadurch wird meist ein hoher Eigenverbrauch erzielt, der zu einer höheren wirtschaftlichen Rentabilität des Solarcarports führt. Die Wirtschaftlichkeit von Solarcarports wird in Kapitel 11 beschrieben.
- Solarcarports lassen sich gut mit Elektromobilität kombinieren. Hält der gegenwärtige stark zunehmende Trend im Markt für Elektrofahrzeuge an, wird die Installation von E-Ladestationen auf Parkplätzen unausweichlich. Der von Solarcarports erzeugte Solarstrom führt in Kombination mit E-Ladestationen zu einer Eigenverbrauchsoptimierung. Dazu mehr in Kapitel 12.
- Die Parkplatzüberdachungen bieten einen Witterungsschutz – sowohl für die darunter parkierten Fahrzeuge als auch für die Parkflächen. In der warmen Jahreszeit steigert dies auch den Nutzerkomfort und senkt den Energieverbrauch für die Klimatisierung überhitzter Fahrzeuge.
- Die lokale Solarstromerzeugung mittels solaren Parkplatzüberdachungen bietet auch ein Marketingpotenzial und Imagevorteile, beispielsweise für Kunden eines Supermarktes.
- CO₂-Reduktion: Die Solarstromproduktion und der damit verbundene Eigenverbrauch vor Ort sorgen für eine CO₂-Reduktion im Vergleich zum Strombezug aus dem durchschnittlichen Schweizer Verbrauchermix.

Der Bau von Solarcarports könnte zu folgenden Nutzungskonflikten führen:

- Verlust von vereinzelt Fahrzeugstellplätzen: Carportstrukturen bedingen eine Fundamentierung mit Montage von Stützpfeilern. Je nach Anzahl und Standort dieser Stützen kann im Vergleich zu nicht überdachten Parkflächen die Anzahl der Stellplätze leicht abnehmen.
- Mögliche Schäden an Carportstrukturen oder Fahrzeugen beim Manövrieren: Es kann beispielsweise beim Einparken der Fahrzeuge zu Kollisionen kommen. Um Schäden an den Carportstrukturen vorzubeugen, ragen Betonfundamente an den Stützposten teils bis über den Boden hinaus. Kollisionen und Schäden an Autos können unter Umständen zu Haftungsfragen führen.
- Verlust von Flexibilität: Parkflächen werden teilweise für den Bau neuer Gebäude umgestaltet, bzw. genutzt. Vorhandene fixe Carportstrukturen erschweren oder verhindern den flexiblen Nutzen einer Parkfläche, d.h. die Strukturen müssen bei einer dementsprechenden Entscheidung entfernt werden, was gewisse Parkplatzbesitzer (Kantone, Gemeinden, Firmen) an der Nutzung der Flächen für Photovoltaik hindert.
- Schneeräumung durch Winterdienst: Die Carportstrukturen können für die Schneeräumung eine Herausforderung darstellen.
- Aufrechterhaltung des Betriebs während Bauphase: Es gilt zu koordinieren, dass während der Bauarbeiten die Nutzung der Parkplätze oder zumindest eines Teiles davon weiterhin möglich ist.

6. Statische Prüfung und Fundamentierung

6.1 Statische Prüfung

Bei der Auslegung der Tragstruktur für die Carports soll insbesondere die SIA-Norm 261 «Einwirkungen auf Tragwerke» berücksichtigt werden. Es sind vor allem die drei Belastungsfälle Wind-, Schnee- und Erdbebenlasten sorgfältig, standort- und objektbezogen zu planen. Zusätzlich sollte das Tragwerk der Carports auch den wiederholten Aufprall von Fahrzeugen aushalten bzw. davor geschützt sein, damit keine Schadensfolge entsteht.

Bei einer Nachrüstung bestehender Carports zu Solarcarports müssen zusätzlich die Auswirkungen der allfälligen Mehr- oder Minderbelastung durch die PV-Anlage auf die bestehende Tragstruktur geprüft werden.

Die statische Berechnung der Tragstruktur von Carports, die in Ländern wie Frankreich, Deutschland, oder Österreich entwickelt wurden, sollte von einem Bauingenieur gemäss den aktuellen Schweizerischen Normen geprüft werden. Das Gleiche gilt für den statischen Nachweis des Montagesystems für die PV-Anlage.

Wenn Solarcarports auf bestehenden Parkdecks installiert werden, sollten Parkdecks, welche mehr als ca. 7 Jahre alt sind, einer materialtechnologischen Prüfung unterzogen werden, um den Zustand der Bewehrung zu kontrollieren. Das bei Schneeräumung oft verwendete Salz führt zu Korrosion der Bewehrung und somit zur Reduktion der Lastreserven.

Der Untergrund sollte mit Rammsondierungen und Rammkernsondierungen untersucht werden. Die Rammsondierung ist ein einfaches Bodenprüfverfahren, das zur groben Bestimmung der örtlichen Baugrundverhältnisse in Lockergestein verwendet wird. Die Rammkernsondierung (RKS) ist ein unverrohrtes Verfahren zur Erkundung des Baugrunds. Es handelt sich um eine kostengünstige Methode zur Entnahme von Lockergestein. Dabei werden einseitig geschlitzte, hohle Stahlsonden mit verschiedenen Durchmessern (von 50 mm bis 80 mm) in den Boden gerammt oder vibriert.

6.2 Befestigung der Strukturen (Fundamente)

Die Fundamentierung gilt als eine der grössten Herausforderungen beim Bau von Solarcarports, speziell auf bestehenden Parkdecks.

Fundamentierung auf bestehenden Parkdecks

Für die Fundamentierung auf bestehenden Parkdecks sind Statikabklärungen und Tragfähigkeitsanalysen wichtige Projektschritte. Diese Abklärungen sollen aufzeigen, wo sich z.B. die Bewehrungseisen befinden, wie viele davon vorhanden sind und wie gross die Kapazität des Parkdecks ist. Zu berücksichtigen in diesen Analysen ist nicht nur das zusätzliche Gewicht der Solarcarports, sondern auch die Schnee- und Windlast sowie der Einsatz schwerer Geräte bei den Bauarbeiten.

Oft sind bestehende Parkdecks nicht für das Zusatzgewicht von Carports konstruiert. «Die Lasten fallen zwischen die Säulen der Carports, und es ist eine Menge Arbeit, dieses Problem für Parkdecks zu lösen», beschreibt Norman Findley, CEO des US-Amerikanischen Solarcarport-Unternehmens Quest Renewables, die Herausforderungen der Fundamentierung auf Parkdecks (Solar Power World, 2021). «Sehr effizient» bedeutet dabei die Platzeffizienz: u. A. die Fundamente so zu platzieren, dass keine Parkplätze verloren gehen, beispielsweise auf einem Mittelstreifen oder in einer Ecke, wo mehrere Parkplätze zusammentreffen.

Ein Montagebeispiel für die Fundamentierung auf bestehenden Parkdecks: Mittels Kernbohrungen durch die Betondecke wird die bestehende stählerne Tragkonstruktion lokalisiert, worauf Betonfertigteile mit Kopfbolzendübeln und Vergussmörtel nach dem Prinzip der Mikropfähle befestigt werden. Die Mikropfahlösung bei bestehenden Parkplätzen ist vor allem aufgrund der geringen Eingriffe in den Parkraum vorteilhaft. Dabei werden die Betonfertigteile mit Mikropfählen monolithisch verbunden, anschliessend erfolgt die Gestellmontage.

Fundamentierung bei erdgebundenen Solarcarports

Erdgebundene Projekte erfordern im Gegensatz zu den Statik- und Tragfähigkeitsanalysen auf bestehenden Parkdecks eine geotechnische Begutachtung. Dabei spielen die Bodenqualität, die Lage der unterirdischen Versorgungsleitungen und die Höhe des Wasserspiegels eine Rolle für die Auswahl und Platzierung der Carport-Fundamente.

Die Wahl der Ausrüstung für die Bauarbeiten und das Bohren von Löchern hängt ebenfalls von der Bodenqualität ab. Bei normalem Boden ist beispielsweise der Einsatz von grossen Baggern oder Bohrgeräten auf LKWs möglich, bei sandigen/lockeren Böden wird eine temporäre Verrohrung zur Erhaltung der zu bohrenden Löchern verwendet. Allgemein dürfen die Tiefbauarbeiten mit der Durchtrennung der Parkoberfläche, Gesteinsaufbrechung, Entwässerung, usw. bei einem Solarcarport-Projekt nicht unterschätzt werden.

Standard-Betonpfeilerfundamente werden vor Ort ausgehärtet, der Beton wird direkt in das Kernloch um die Mikropfähle gegossen.

Bei erdgebundenen Projekten folgt in der Regel etwa alle 10 m ein 3-5 m tiefes Fundament. Dabei ist eine genaue Platzierung der Fundamente mit den richtigen Abständen für eine effiziente Ausführung der Bauarbeiten entscheidend. Wenn die Metallträger vorgestanzt geliefert werden, kann eine falsche Platzierung von wenigen cm zu einer Verlangsamung der Stahlinstallation und zu höheren Kosten führen.

Die Fundamente ragen in der Regel über den Boden hinaus. Diese Eigenschaft dient der Stabilität und als Anprallschutz vor Beschädigungen durch Fahrzeuge. Die Art und Tiefe des Fundaments hängt von der Bodenbeschaffenheit ab.

Im nächsten Kapitel werden einige der verschiedenen Fundamentarten beschrieben.

6.3 Fundamentarten

Eine mögliche Art für die Fundamentierung ist die Pfahlgründung. Dabei werden Pfähle in den Boden gerammt, gebohrt oder geschraubt (Baunetz Wissen, 2021a). Beim Rammpfahlverfahren fallen keine aufwändigen Oberflächeneingriffe und kostenintensiven Fundamentarbeiten an (PMT).

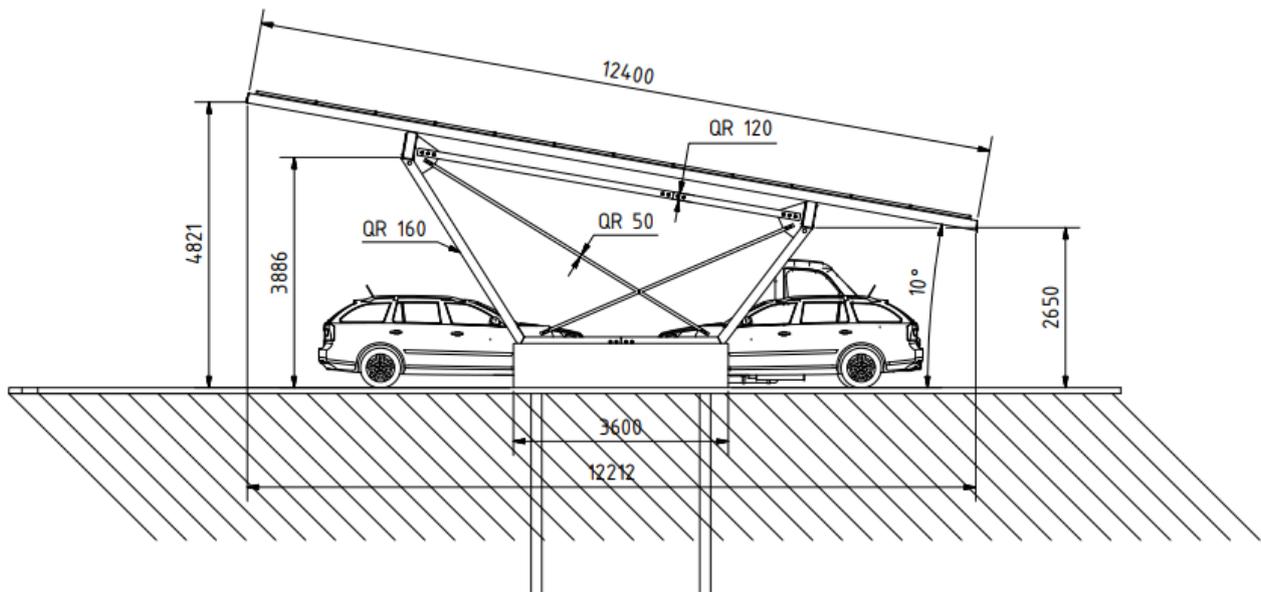


Abbildung 1: Carport mit Rammpfahlfundament und überirdischem Anprallschutz. (© PMT)

Der Anprallschutz ist mit den Pfählen verbunden und verteilt die Lasten durch die Tragstruktur. Diese Fundamentierungsart eignet sich für bestehende Parkdecks.

Eine weitere Fundamentierungsart ist die Streifenfundamentierung. Diese eignet sich nicht für bestehende Parkdecks, sondern für erdgebundene und grosse Projekte. Ein Streifenfundament bedarf einen Aushub des Bodens mit anschliessender Verschalung, evtl. Kiesschicht und dann Betoneinguss.

Dadurch werden die Lasten der im Fundament befestigten Tragstruktur in den Boden eingeleitet:

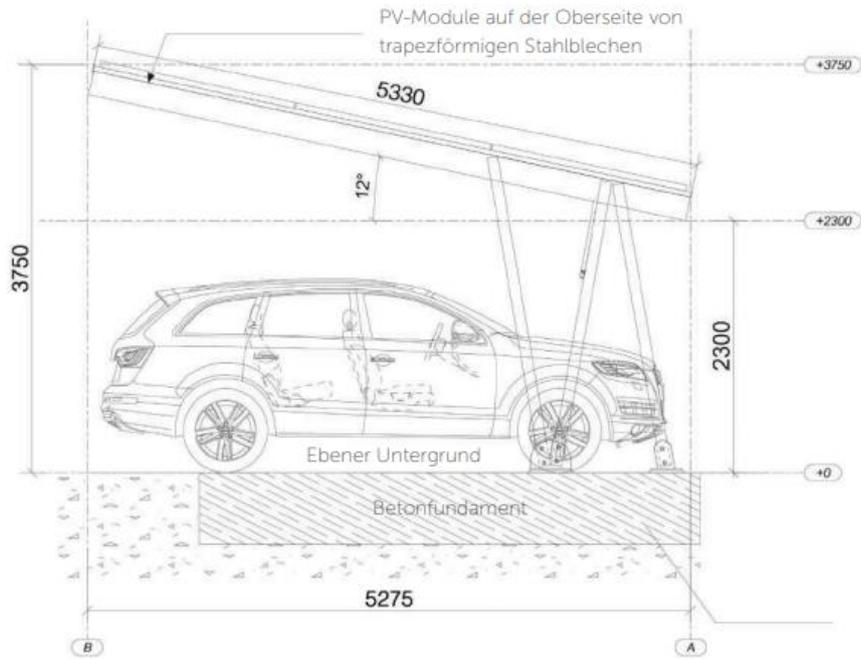


Abbildung 2: Carport mit Streifenfundament (© Mounting Solutions)

Weniger kosten- und arbeitsintensiv als die oben beschriebene Streifenfundamentierung aus Beton ist die Schraubfundamentierung. Beim Carport-Modell Flash von Swisscarport (siehe Kapitel 7) wird die Struktur mit einer Stahlschwelle und Schraubfundamenten im Boden verankert:

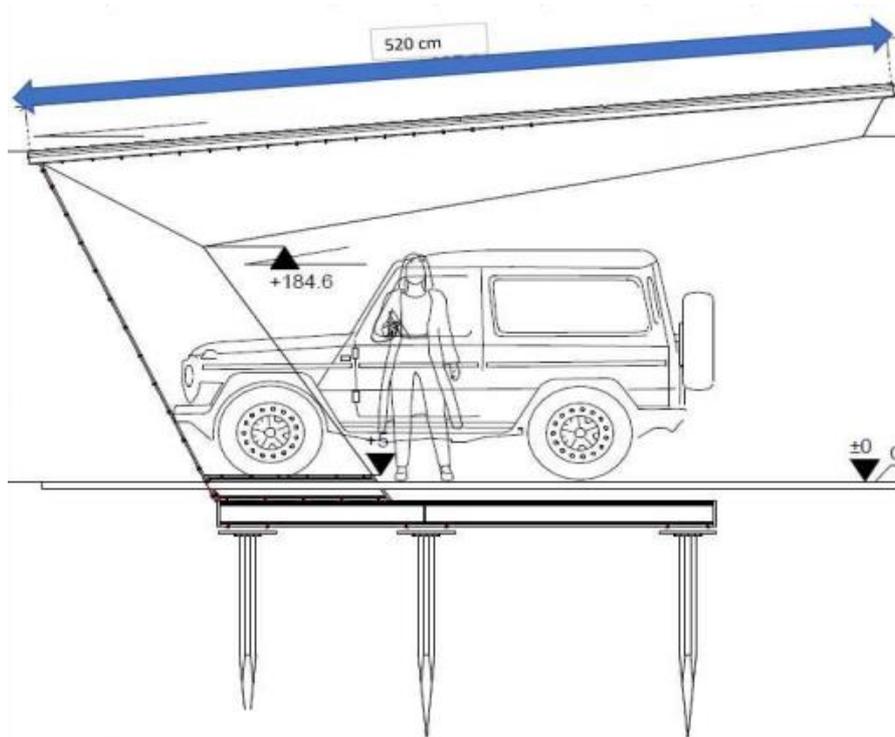


Abbildung 3: Schraubfundamentierung mit Stahlschwelle (© Swisscarport)

Als Alternative zur aufwändigen Fundamentierung bieten sich vorgefertigte Betonsockel an, an welche die Tragstruktur geschraubt wird. Das Gewicht von einem Betonsockel beträgt in diesem Beispiel 3.2 Tonnen. Ein Carport mit 3 Füßen inkl. Stützen und Dach wiegt damit insgesamt etwa 12 Tonnen.



Abbildung 4: Solarcarport von DC Carport Systeme mit einem Gewicht von ca. 12 Tonnen. (© DC Carport Systeme)

Vorteilhaft an Carportprojekten mit vorgefertigten Betonsockeln ist, dass die teuren Fundamentierungsarbeiten wegfallen und die Montage auf bestehenden Parkflächen vereinfacht wird – solange es die statischen Voraussetzungen zulassen. Das hohe Gewicht dieser Betonsockel ist bei Parkdecks statisch ein Nachteil und stellt auch den Transport an den Ort des Bauprojektes vor Herausforderungen.



Abbildung 5: Transport der vorgefertigten Betonsockel mit einem LKW (© DC Carport Systeme)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Fundamentierung sehr projektspezifisch ist. Die Art der Fundamente, ob erdgebunden oder auf bestehender Parkfläche, ist auch abhängig von der Wahl der passenden Carportstruktur. Im nächsten Kapitel werden einige kommerziell erhältliche Carportstrukturen vorgestellt.

7. Kommerzielle Carportlösungen

In der Schweiz sind mehrere kommerzielle Carportlösungen auf dem Markt erhältlich. Ein grosser Teil dieser Systeme stammen aus Deutschland und Frankreich, die von Schweizer PV-Installateuren angeboten werden.

7.1 Premium Mounting Technologies (PMT)

Mit den Carportstrukturen des deutschen Unternehmens Premium Mounting Technologies (PMT) wurden in der Schweiz bereits einige Solarcarport-Projekte realisiert. Ihr Single und Double Carport zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

Tabelle 6: Eigenschaften des Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (PMT)

Single und Double Carport von Premium Mounting Technologies (PMT)		
		
	Dienstleistungsangebot von PMT	Leistungsumfang: <ul style="list-style-type: none"> - Carportbezogene Projektplanung - Statische Dokumentation Carport - Werkplanung Carport - Zuarbeit carportbezogener Themen für Genehmigungsplanung Lieferumfang: <ul style="list-style-type: none"> - Carport inkl. Rammpfahlgründung - Optionales Zubehör (Potenzialausgleich, Blechdach-einfassung, Schneefang, Entwässerung, PV Unterkonstruktion, Beleuchtung, Wechselrichter-/ Unterkonstruktion-Montagevorrichtung)
	Flexibilität	Standardisierte Konstruktion, Grundstruktur nicht anpassbar. Mögliche Anpassungen sind: <ul style="list-style-type: none"> - Stützabstand (maximal bis 10.4 m) - Auswahl Pfettensystem (Holzpfette, Stahlpfette) - Dachtiefe (maximal ca. 13.1 m) - Durchfahrtshöhe (2.65 m / 3.75 m / 4.8 m)
	Material	Verwendetes Material: <ul style="list-style-type: none"> - Stahlbeton - Mörtel - Stahl (S235, S275, S355, S450) - Holz - Aluminium (PV-Unterkonstruktion) - Kupfer (Entwässerung)

		<ul style="list-style-type: none"> - Edelstahl (Potenzialausgleich) Korrosionsschutz (Feuerverzinkung, Holzschutzmittel) vorhanden.
	Fundamentierung/Gründung	<ul style="list-style-type: none"> - Fertigrammpfahlgründung (HEA180 Profile) unterhalb Geländeoberkante - Fertigbetonsockel oberhalb Geländeoberkante
	Kosten/Preisbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> - Kosten können nur projektspezifisch angegeben werden. - Ein bestellfähiges Angebot für das Carport kann erst nach Fertigstellung der projektspezifischen Statik sowie externer Prüfung der Statik erstellt werden.
	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Deutschland
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - Durchfahrtshöhe 2,65 m (wahlweise 3,75 m oder 4,80 m), Anstellwinkel 10 °
	Dachart des Carports	<ul style="list-style-type: none"> - Stahlhochtrapezblech, Modulmontage auf Trapezblech - Im Standard keine Direktmontage von Glas-Glas-Modulen möglich
	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - Herkömmliche Aufdach-Module
	Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> - Blechdacheinfassung (Ortgang-, First- und Traufblech) - Wahlweise Schneefang - PV-Unterkonstruktion - Beleuchtung - Montagekonsolen (Wechselrichter, Unterverteilung, Wallbox)
	Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Enge Lagetoleranz bei Rammpfahlgründung
	Spezielles	Minimalinvasiv <ul style="list-style-type: none"> - Auf bestehenden Parkplätzen einsetzbar - Ohne Fundamentarbeiten einsetzbar Aufbau <ul style="list-style-type: none"> - Schnelle und einfach Montage - Nutzung mit oder ohne PV-Module möglich Komfort <ul style="list-style-type: none"> - Hoher Parkkomfort durch schlanke V-Rohrkonstruktion - Langlebig und korrosionsfrei - Intelligente, integrierte Kabelführung Umfangreicher Service <ul style="list-style-type: none"> - CI-Designanpassungen möglich Unabhängige Tests <ul style="list-style-type: none"> - Statiknachweise nach Eurocode & nationalen Anhängen - allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für die Schweiz vorhanden

7.2 dhp Technology

Einige Eigenschaften des Solarfaltdaches Horizon wurden bereits in Kapitel 4 mit dem Projekt der solaren Parkplatzüberdachung in Jakobsbad aufgezeigt. Die untenstehende Tabelle zeigt weitere spezifische Eigenschaften des Solarfaltdaches Horizon:

Tabelle 7: Eigenschaften des Solarfaltdaches und Dienstleistungen des Herstellers (dhp-technology)

Solarfaltdach Horizon von dhp Technology		
	Dienstleistungsangebot von dhp	<ul style="list-style-type: none"> - Planung von Solarfaltdächern - Montage und Inbetriebnahme der Solarfaltdächer - Wartung und Monitoring der Solarfaltdächer - Finanzierung über Partner möglich
	Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> - Höhe des Solarfaltdachs ist projektspezifisch anpassbar (Standard: minimale Höhe von 4.3 m) - Stützenabstände werden auf den Bestand angepasst (ca. 20m) - Optionale Materialisierung der Fassade, die zum Schutz der Module vor Witterung dient (bauseitig) - Optionale Beschriftung der Fassade (bauseitig)
	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Module: Glasfaserverstärkter Kunststoff - Stützen, Querträger Fassade, Struktur Dachelement: Baustahl (feuerverzinkt). Stahlbauelemente (Stützen, Tragwerk) können durch Holz ersetzt werden - Dacheindeckung: Stahl (Trapezblech) - Luken: Baustahl (Riffelblech) - Modulträger, Rahmen, Fahrwerke, Windschutzbleche, Zug- und Tragseile: Chromstahl
	Fundamentierung/Gründung	<ul style="list-style-type: none"> - Streifenfundamentierung
	Kosten/Preisbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> - Systempreis: 2'400 CHF/kWp (Richtpreis)

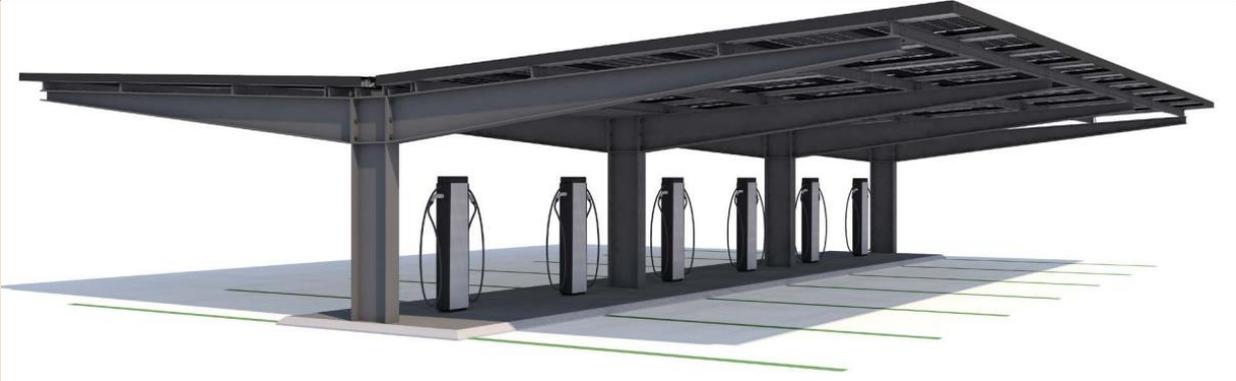
Abbildung 7: Solarfaltdach Horizon von dhp Technology (© dhp-technology)

		<p>Im Systempreis inbegriffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planung ab Projektentscheid - Material: Module, Stahlbau bis zu den Fussplatten und elektrische Betriebsmittel bis und mit AC-Schaltschrank - Ausführung: Montage und Inbetriebnahme des Solarfaltdachs <p>Projektspezifische Kosten/Leistungen wie Fundamente, Abweichungen vom Standard oder beispielsweise die Leitungsführungen sind nicht inbegriffen.</p>
	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Entwicklung, Planung und Fertigung: Graubünden - Modullieferant: SunMan (China) - Stahlbau: Slowakei und Polen, auf Wunsch auch Schweizer Stahlbauer möglich
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - Anstellwinkel ca. 10 °
	Dachart	<ul style="list-style-type: none"> - Flugdach: Das Solarfaltdach schwebt über bereits genutzten Flächen wie Kläranlagen, Park- und Logistikflächen.
	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - Eingesetzt werden ausschliesslich Leichtbaumodule - Monokristalline Halbzellen Module - Aktuell: 430 Wp/Modul, Wirkungsgrad: 19.4% - Wenn der Hersteller SunMan leistungsfähigere Module auf den Markt bringt, wird dies berücksichtigt.
	Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> - Bedienpanel, um das Solarfaltdach vor Ort manuell ein- und auszufahren - Möglichkeiten der Integration von Technologien und Dienstleistungen im Tragwerk (zb.: Überwachungskameras, Parkleitsystem, Beleuchtung)
	Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Für eine ideale Nutzung des Solarfaltdaches eignen sich rechteckige Flächen, die mindestens 1'100 m² aufweisen. - Im Idealfall weist eine Seite der Parkfläche eine Länge von ca. 60 m auf. - Begrünung der Parkfläche durch Bäume - Bei Parkdecks muss Krafteinleitung der bestehenden Struktur gegeben sein
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - Das Solarfaltdach überspannt die gesamte Fläche, ohne die Fläche darunter einzuschränken. - Durch die Bauweise wird bis zu 50% weniger Material verbaut als bei konventionellen Solarcarports, was den Rückbau oder die räumliche Verschiebung des Solarfaltdaches ermöglicht. - Weite Stützenabstände (bis zu 28 m) und grosse Höhe (bis zu 6 m) über Boden. - Solarfaltdach schützt sich selber vor extremen Witterungsbedingungen: Bei Hagel, Sturm und Schneefall fährt es in eine geschützte Position. - Winterstrom dank stets schneefreien Modulen.

7.3 Megasol

Die Megasol Energie AG bietet verschiedene Ausführungen ihrer Carportstruktur «Wingport» an, eine davon ist der DoubleWing mit doppelseitiger Parkplatzüberdachung:

Tabelle 8: Eigenschaften des Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (© Megasol)

Wingport von Megasol		
		
Abbildung 8: Wingport DoubleWing von Megasol (© Megasol)		
	Dienstleistungsangebot von Megasol	<ul style="list-style-type: none"> - Megasol bietet den kompletten Leistungsumfang an: Planung, Statik, Gestaltung, Produktion und Lieferung. Montage und Ausführung erfolgen in enger Zusammenarbeit mit einer lokalen Installationsfirma.
	Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> - Wingports sind grundsätzlich in den Einheiten SingleWing und DoubleWing verfügbar und auch frei kombinierbar. Zusätzlich können Wingports in Länge und Breite frei kundenspezifisch angepasst werden. Auch sind beliebige Designs umsetzbar (z.B. transluzent oder in individuellen Farben und Oberflächen).
	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Die Basiskonstruktion des Wingport ist aus Stahl gefertigt. - Die Unterkonstruktion der Solarmodule ist aus Aluminium.
	Fundamentierung/Gründung	<ul style="list-style-type: none"> - Projektabhängig
	Kosten/Preisbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> - Richtpreise können auf der Grundlage von einfachen Plänen erstellt werden. Nach Spezifikation aller Anforderungen kann ein detaillierter Preis ausgearbeitet werden. - Preise für die Nicer-Module und die Unterkonstruktion können separat angeboten werden.
	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Fertigung von Stahlelementen und Fundamenten in der Schweiz.
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - Die Höhe ist flexibel und kann an das Projekt angepasst werden. Das wasserdichte Nicer-System ermöglicht Neigungen von nur 3°.
	Dachart des Carports	<ul style="list-style-type: none"> - Wingport ist so konzipiert, dass das Nicer-System (integriertes Solarsystem) als Dacheindeckung fungiert. Das System ermöglicht dank lichtdurchlässigen Solarmodulen einen grosszügigen Lichteinfall auf die darunter liegenden Parkflächen. Nebst mehr Licht ermöglicht dies

		<p>auch eine optimierte Leistung der Solarmodule, da diese über bifaziale Zellen verfügen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Im Allgemeinen kann das Nicer-System auf allen Carports mit allen Dacharten installiert werden.
	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - Glas-Glas-Module mit unterschiedlichen Glasdicken, die Schnee- und Windfestigkeit bis zu sehr hohen Belastungsgrenzen ermöglichen.
	Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> - Intelligente Überwachungs- und Steuerungssysteme - E-Ladestationen als Teil des Lösungskonzepts (optional)
	Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Wingport erfordert eine fachmännische Planung, um sämtliche Anforderungen an Statik und Langlebigkeit zu erfüllen. Diese Planung ist Teil der Wingport-Leistungspakete von Megasol.
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - Der Wingport fungiert als Hitzeschutz und Wasserschutz. Das gesammelte Wasser kann durch eine von Megasol entwickelte Wasserversickerung abgeführt werden. - Das Nicer-System ist für alle Einbausituationen und für alle Arten von Unterkonstruktionen (Metall, Holz usw.) geeignet.

7.4 Mounting Solutions

Aus dem benachbarten Vorarlberg liefert die österreichische Firma Mounting Solutions PV Systems GmbH eigene Carportstrukturen:

Tabelle 9: Eigenschaften des Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (Mounting Solutions)

Solarcarport von Mounting Solutions



Abbildung 9: Carportstruktur von Mounting Solutions (© Mounting Solutions)

	Dienstleistungsangebot von Mounting Solutions	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung und Lieferung der Carportstruktur
	Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> - Modulares System, besteht aus zwei verschiedenen Sets: Set Dach & Set Pfosten. - Ein Carport = zwei Abstellplätze, für einen Carport wird ein Set Dach und zwei Sets Pfosten benötigt. - Es können bis zu 10 Sets Dach miteinander verbunden werden, danach sollte eine thermische Trennung erfolgen. - Beispiel: bei 4 Carports (8 Stellplätze) die nebeneinander und miteinander verbunden sind, werden 4 Sets Dach und 5 Sets Pfosten benötigt, immer ein Set Pfosten mehr als Sets Dach.
	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Fundamentsockel: feuerverzinkt in Stahlgüte S390MC - Profile: Magnelis ZM 310 in Stahlgüte S390GD
	Fundamentierung/Gründung	<ul style="list-style-type: none"> - Streifenfundamentierung
	Kosten/Preisbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> - je nach Größenordnung
	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Belgien
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - 2.3 m / 12 °
	Dachart des Carports	<ul style="list-style-type: none"> - Trapezblech (bauseits)
	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - herkömmliche Aufdach-Module

	Zubehör	- kein
	Herausforderungen	- minimiert, da modulares System mit immer gleichen Bauteilen
	Spezielles	- seit Juni 2021 offiziell auf dem Markt - Referenzprojekte in Österreich, Ungarn, Belgien

7.5 Swisscarport

Swisscarport ist ein neuer, aufstrebender Carportstruktur-Lieferant, entstanden aus dem Holzbauunternehmen der Max Zumstein AG. Die Strukturen werden in Holz und Stahl geliefert:

Tabelle 10: Eigenschaften des Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (Swisscarport)

Solarcarport von Swisscarport



Abbildung 10: Carportstruktur Flash von Swisscarport (© Swisscarport)

	Dienstleistungsangebot von Swisscarport	- Planung - Produktion und Lieferung der Carportstruktur
	Flexibilität	- Planung und Produktion nach speziellen Kundenwünschen möglich - Carports mit Aufdach-PV-Anlagen erlauben mehr Flexibilität - Verschiedene Carportstrukturen «Flash» und «Espace»
	Material	- Flash: Tragkonstruktion aus verleimtem Fichten-Brettschichtholz, Holzverbindungen mit unsichtbaren Stahlteilen verstärkt, Fusschwelle und Fundamentalschwelle aus feuerverzinktem Stahl - Espace: ganze Tragkonstruktion aus feuerverzinktem Stahl, Oberflächenbehandlung mit Farbe nach Wahl
	Fundamentierung/Gründung	- Flash: Krinner-Schraubfundamente möglich. Vorteil: bereits bestehende Bodenbeläge müssen nur teilweise geöffnet werden. - Espace benötigt massives Streifen-Betonfundament von 1 m x 1 m x 3 m, um die grossen Momentlasten abzufangen.
	Kosten/Preisbestimmung	- Projektspezifische Kosten pro kWp für Carportstruktur inkl. Fundamentierung können beim Unternehmen angefragt werden. - Carportstruktur Espace ca. 15% teurer als Flash

	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Flash wird in der Schweiz produziert, aus Schweizer und/oder Europäischem Holz. Die Stahlteile sind auch in Schweiz gefertigt. - Espace wird in Slowenien produziert.
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - Einfahrtshöhe 265 cm - Anstellwinkel 6°
	Dachart des Carports	<ul style="list-style-type: none"> - Flash und Espace können wahlweise mit Aufdachanlage oder direkter PV-Integration bezogen werden.
	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - Glas-Glas-Module bei direkter Integration, z.B. Nicer X von Megasol - Herkömmliche gerahmte Module bei Aufdachanlagen
	Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> - Zubehör auf Wunsch machbar
	Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Steigenden Rohstoffpreise und Materialbeschaffung
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - Flash aus lokaler Produktion, mit einem hohen Holzanteil in der Tragkonstruktion

7.6 Adiwatt

Beim Referenzprojekt von Gefco in Courgenay aus Kapitel 4.1 wurden die Carportstrukturen des Herstellers Adiwatt verwendet:

Tabelle 11: Eigenschaften des Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (Adiwatt)

Solarcarport von Adiwatt



Abbildung 11: Carportstruktur von Adiwatt (© Adiwatt)

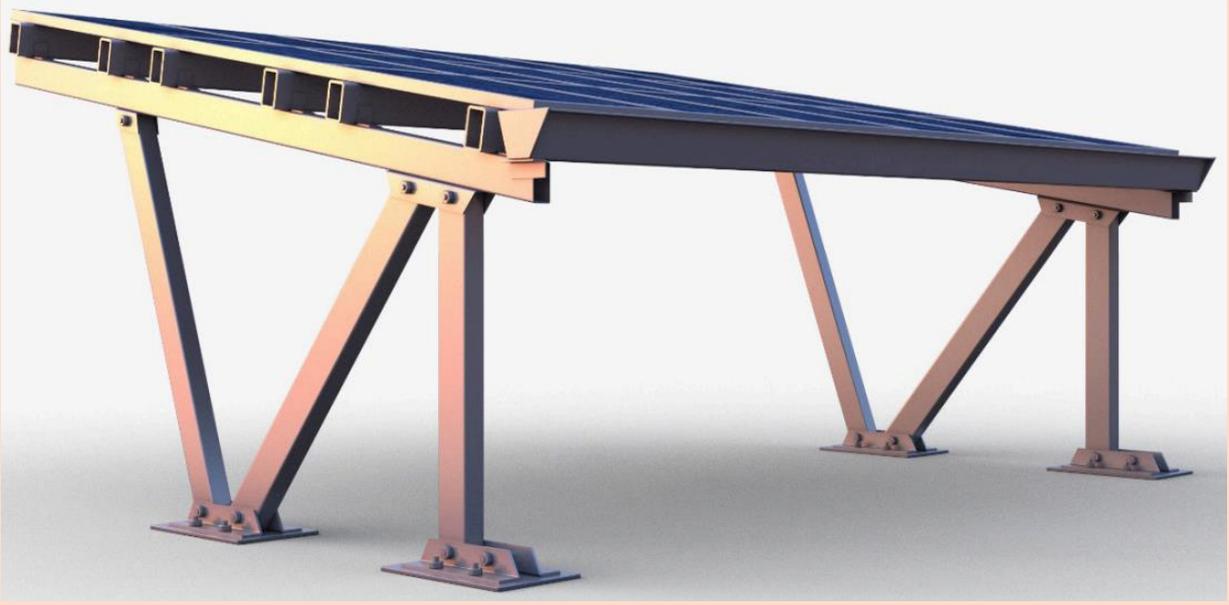
	Dienstleistungsangebot von Adiwatt	<ul style="list-style-type: none"> - Planung der Carports - Herstellung und Lieferung der Struktur - Installation der Carports
	Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> - Installation der Carports Carport-Projekte sind immer "maßgeschneidert" und können an die vom Kunden vorgegebenen Einschränkungen flexibel angepasst werden.

	Material	- Stahl
	Fundamentierung/Gründung	- Standardfundament und Dimensionierung entsprechend den Anforderungen des Projekts
	Kosten/Preisbestimmung	- Keine Angaben
	Produktionsland	- Frankreich und Spanien
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	- Einfahrtshöhe bis zu 8 m
	Dachart des Carports	- Stahlschiene, auf der die gerahmten Module liegen und im Fall des Gefco-Projekts mit einer Glasleiste befestigt werden. Seit drei Jahren wird das Modul auf eine zusätzliche Schiene gelegt, aber bei diesem Projekt wurde das Modul von unten befestigt und vermeidet so jeglichen Eingriff (Risiko) auf dem Dach.
	Verwendbare PV-Module	- Glas-Glas-Module nach SIA
	Zubehör	- LED-Beleuchtung - Dachentwässerung über Dachrinnen und Ableitung in unterirdische Kollektoren - Abdeckung zwischen den Schattierungen zur Gewährleistung der Wasserdichtigkeit
	Herausforderungen	- Berücksichtigung des Terrains beim Bau grosser Carports: Ausgleich durch Tiefe der Fundamente, damit die Pfosten der Carportstrukturen nicht angepasst werden müssen. - Grosse Carports zu bauen und gleichzeitig der Kundschaft genug Platz lassen, um das Tagesgeschäft fortsetzen zu können. - Verbindung der PV-Module: DC-Verkabelung und String-Management
	Spezielles	- Keine Angaben

7.7 Newa One

Die Firma Newa One AG aus Muttenz BL und ist Planerin und Lieferantin von Solarcarports. Die Carportstruktur von Newa One bietet folgende Eigenschaften:

Tabelle 12: Eigenschaften des beschriebenen Solarcarports und Dienstleistungen des Herstellers (Newa One)

Solarcarport von Newa One		
		
Abbildung 12: Carport von Newa One (© Newa One)		
	Dienstleistungsangebot von Newa One	<ul style="list-style-type: none"> - Beratung - Engineering - Realisierung - Unterhalt, Serviceleistungen
	Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> - Projektspezifische Anpassungen in Bezug auf Art der Parkfelder möglich - verschiedene Modulverwendungen möglich, dank individuell anpassbarem Schnellbefestigungssystem
	Material	<ul style="list-style-type: none"> - Stahl und/oder Aluminium
	Fundamentierung/Gründung	<ul style="list-style-type: none"> - Punkt-, Streifenfundament, Betonblöcke oder Ankerplatten für direkte Verankerung im Boden - Die Carports sind mit Stahlbetonstützen ausgestattet. Vorteil: Es müssen keine kostspieligen Fundamente vorgesehen werden. - Auf Anfrage ist eine Ausführung mit Stahlplatten zur Befestigung auf vorhandenen oder speziell vorbereiteten Fundamenten erhältlich.
	Kosten/Preisbestimmung	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Angaben
	Produktionsland	<ul style="list-style-type: none"> - Lieferanten aus Italien und Russland
	Einfahrtshöhe/Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> - Einfahrtshöhe 2.10 - 2.50 m - Winkel Carport: 5° - 7°
	Dachart des Carports	<ul style="list-style-type: none"> - Trapezblech für Aufdachanlagen - Glas-Glas Module (Konstruktion wird auf die Modulgrösse angepasst) - Bifaziale Module möglich

	Verwendbare PV-Module	<ul style="list-style-type: none"> - Individuelle PV-Module möglich, dank Schnellbefestigungssystem
	Zubehör	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung der Carportstrukturen in Grösse und Farbe - Logos und Werbegrafiken - LED-Beleuchtung - E-Ladestationen - Speicherlösungen
	Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> - Projektspezifisch und sehr individuell - Statikabklärungen - Fundamentarbeiten - Schnee- und Windlasten - Bodenbeschaffenheit (Beton, Makadam, etc.)
	Spezielles	<ul style="list-style-type: none"> - 10 Jahre Garantie auf Struktur - Aluminium für leichtes Gewicht

8. Vorhandene Carports nachrüsten

Neben dem Bau neuer Carportstrukturen mit integrierter Photovoltaik gibt es auch die Möglichkeit, bereits existierende Strukturen mit Solarmodulen auszustatten. Ein grosser Vorteil davon ist, dass die Fundamentierung bereits besteht und dieser Kostenfaktor zumindest teilweise wegfällt. Ein Beispiel eines solchen Projekts wurde in Ebikon durch das Unternehmen BE Netz realisiert. Ein Teil der Carportstrukturen existierte bereits, während rund die Hälfte der Strukturen neu gebaut wurden.

Wenn die Carportstrukturen bereits vorhanden sind, gilt es bei der Planung folgende Punkte zu beachten:

- Modulwahl und Anordnung: Die Modulgrössen können zwar bei einigen Anbietern individuell angepasst werden, dies führt aber zu einer starken Preiszunahme. Deshalb soll bei bestehenden Carports die Wahl und Anordnung der PV-Module wenn möglich dem Rastermass der Carports angepasst werden.
- Prüfung der Stützabstände: wie gross sind sie, welche zusätzliche Auflast ist möglich?
- Wahl der Bedachung: Kann die bestehende Bedachung der Carports genutzt und die PV-Module direkt darauf montiert werden? Diese Ausgangslage ist wahrscheinlich die günstigste und hat den Vorteil, dass herkömmliche PV-Module eingesetzt werden können statt teurere PV-Module mit Überkopfverglasung. In gewissen Fällen wird bei bereits bestehenden Carports nur die Trägerstruktur verwendet und eine direkte PV-Integration oder eine neue Bedachung mit Aufdach-Anlage installiert. Dies war bei den Carports in Ebikon der Fall, da die existierende Bedachung aufgrund ihres Asbestgehalts nicht genutzt werden konnte.
- Wasserführende Schicht: Die Entwässerung ist ein wichtiges Thema, das bei der Planung und der Montage von PV-Modulen berücksichtigt werden soll. Bereits bestehende, wasserführende Schichten können vielleicht weiter genutzt werden, ansonsten muss eine wasserführende Leitung installiert werden.
- Elektrische Erschliessung: Die elektrische Verkabelung und der Witterungsschutz am Standort der Wechselrichter könnten bei bestehenden Carportstrukturen eine Herausforderung darstellen.
- Winterdienst: Bei bestehenden Carportstrukturen lassen sich bestehende Stützen nicht entfernen. Neu konzipierte Strukturen eines Stahlbauers sind oft ästhetischer und für den Winterdienst einfacher gestaltet, z.B. dank weniger Stützen. Der Carport in Ebikon hat nur Stützen in der Mitte, um den Winterbetrieb zu optimieren.

Nachfolgende Tabelle zeigt die technischen Angaben zum oben beschriebenen Carport-Projekt in Ebikon:

Tabelle 13: Details zum Carport-Projekt in Ebikon LU (Megasol)

Nachgerüsteter Carport in Ebikon		
© Megasol		
	Standortbeschreibung	- Parkplatzüberdachung für ein Unternehmen in Ebikon
	Hauptakteure	- Produkte: Wingport und Nicer-Module von Megasol - PV-Planer: Zagsolar AG - Installateur: BE Netz AG
	Leistung PV-Carport	- 327.6 kWp
	Stromerzeugung	- 310'000 kWh/a
	Eigenverbrauch	- keine Angaben
	Stromverbrauch vor Ort	- 6.3 GWh/a
	Fläche Carport	- 1'915 m ²
	Wirtschaftlichkeit	- Keine Angaben
	Projektdauer	- Keine Angaben
	Herausforderungen/Schwierigkeiten	- In diesem Projekt haben sich keine Schwierigkeiten ergeben. In vergleichbaren Projekten gilt besonderes Augenmerk den folgenden Themen: <ul style="list-style-type: none"> ○ Berechnung der Statik, abhängig von den Massen der Wingports ○ Wasserversickerung ○ Erschwertes Manövrieren auf dem Parkplatz für Lastwagen ○ Individualisierungswünsche der Bauherrschaft
	Potenzial	- keine Angaben
	Spezielles	- Die Wasserdichtigkeit des Systems wird direkt durch den Rahmen und die Unterkonstruktion des Systems gewährleistet, so dass keine zusätzlichen Elemente erforderlich sind. - Wingports haben nur Mittelsäule → Manövrieren einfacher

9. PV-Module für die Carportintegration

Solarcarports ohne Dacheindeckung mit einer direkten PV-Integration fallen unter die Kategorie «tragende Konstruktionen aus Glas», für die die Vorschriften aus dem Merkblatt SIA 2057 gelten. Aus Sicherheitsgründen ist für solche Carports die Verwendung von zertifizierten Glas-Glas-Modulen für Überkopfverglasung empfohlen. Diese PV-Module werden als Verbundverglasung mit eingebetteten, kristallinen Solarzellen gefertigt, wobei die eingesetzte Folie die Eigenstabilität bei Glasbruch sichert (Baunetz Wissen, 2021b). Ausserdem ist bei Glas-Glas-Modulen der Abstand zwischen den Solarzellen frei wählbar; dies führt zu einer Anpassung des Transparenzgrades und somit des Tageslichteinfalls bzw. Beschattungsgrades.

Nachfolgend werden einige Glas-Glas-Module für Überkopfverglasung und Solarcarports aufgelistet, welche bereits für Solarcarport-Projekte verwendet wurden. Hierbei sei erwähnt, dass die Auswahl der PV-Module, die Dicke der Solargläser und die Überkopfverwendung projektspezifisch getroffen werden muss, beispielsweise je nach verwendeter Unterkonstruktion, vor Ort möglicher Schneelast oder geltenden Regeln und Normen des entsprechenden Kantons.

9.1 Nicer X, Megasol

Das Nicer-Modul der Megasol Energie AG wurde bereits bei diversen Solarcarport-Projekten in der Schweiz verwendet, u.a. bei dem Solarcarport von Gefco in Courgenay oder beim nachgerüsteten Carport in Ebikon:

Tabelle 14: Eigenschaften des Solarmoduls Nicer X (Megasol)

M425-60-t BF GG NICER 3 von Megasol	
Material/Eigenschaften	Bifaziales Glas-Glas-Modul, monokristallin, transluzid, vorder- und rückseitig je 3.2 mm Solarglas
Leistung	350 Wp
Wirkungsgrad	20.0%
Abmessungen	1671 x 1045 x 57 mm
Gewicht	27 kg
Produkt-/Leistungsgarantie	15 Jahre/30 Jahre
Produktionsland	Schweiz/China je nach Kundenwunsch
Sonstiges	Bifaziale Mehrleistung im Optimalfall bis zu 455 Wp

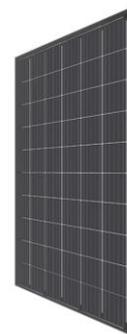


Abbildung 13: Nicer X (© Megasol)

9.2 Elegante 200W, Aleo Solar

Das PV-Modul Elegante 200 des deutschen Solartechnologie-Unternehmens Aleo Solar GmbH eignet sich mit je vier mm Verbundsicherheitsglas (VSG) für die Überkopfverglasung von Solarcarports und ist durch den Transparenzgrad von 28% noch lichtdurchlässiger als das Nicer 3 von Megasol. Dadurch wird die Parkfläche unter den Solarcarports besser beleuchtet.

Tabelle 15: Eigenschaften des Solarmoduls Elegante (Aleo Solar)

Elegante 200W von Aleo Solar	
Material/Eigenschaften	Glas-Glas-Modul, monokristallin, transluzid, rahmenlos, vorder- und rückseitig je 4 mm VSG
Leistung	200 Wp
Wirkungsgrad	13.2%
Abmessungen	1600 x 950 x 9 mm
Gewicht	31.5 kg
Produkt-/Leistungsgarantie	30 Jahre/30 Jahre
Produktionsland	Deutschland
Sonstiges	Transparenzgrad 28%



Abbildung 14: Elegante (© Aleo Solar GmbH)

9.3 KPV GML NEC, Kioto Photovoltaics

Mit je sechs mm Dicke ist die Verbundsicherheits-Verglasung beim PV-Modul KPV GML NEC 360 Wp des österreichischen Solartechnologie-Unternehmens Kioto Photovoltaics GmbH noch massiver als bei den bisher aufgelisteten PV-Modulen:

Tabelle 16: Eigenschaften des Solarmoduls KPV GML NEC 360 Wp bifacial (Kioto Photovoltaics)

KPV GML NEC 360 Wp bifacial von Kioto Photovoltaics	
Material/Eigenschaften	Bifaziales Glas-Glas-Modul, monokristallin, transluzid, rahmenlos, vorder- und rückseitig je 6 mm VSG
Leistung	360 Wp
Wirkungsgrad	17.6%
Abmessungen	2020 x 1015 x 13 mm
Gewicht	60 kg
Produkt-/Leistungsgarantie	12 Jahre/25 Jahre
Produktionsland	Österreich
Sonstiges	Transparenzgrad 14%, bifazialer Mehrertrag möglich

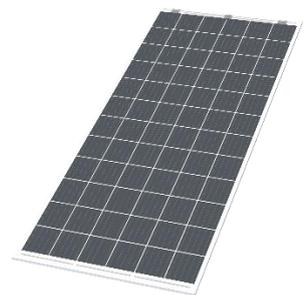


Abbildung 15: KPV GML NEC 360Wp (© Kioto Photovoltaics)

9.4 PS 185 M, Premium Solarglas

Eine Festigkeitssteigerung durch asymmetrischen Aufbau mit 3 mm VSG auf der Vorderseite und 5 mm VSG auf der Rückseite verspricht das PV-Modul PS 185 M der deutschen Premium Solarglas GmbH:

Tabelle 17: Eigenschaften des Solarmoduls PS 185 M (Premium Solarglas)

PS 185 M von Premium Solarglas	
Material/Eigenschaften	Glas-Glas-Modul, monokristallin, transluzid, rahmenlos, vorderseitig 3 mm und rückseitig 5 mm VSG
Leistung	185 Wp
Wirkungsgrad	16.8%
Abmessungen	1550 x 710 x 11 mm, auf Wunsch massgefertigt
Gewicht	25 kg
Produkt-/Leistungsgarantie	30 Jahre/30 Jahre
Produktionsland	Deutschland
Sonstiges	Transparenzgrad 20%



Abbildung 16: PS 185 M
(© Premium Solarglas GmbH)

Glas-Glas-PV-Module sind teurer als Standard Aufdach-PV-Module, bieten aber durch die ästhetisch hochwertige Einbettungsmöglichkeit in das Carport-Dach optische Vorteile. Bei Solarcarports mit bestehender Dacheindeckung können herkömmliche PV-Module verwendet werden. Die Carportstruktur von PMT ist zum Beispiel standardmässig mit dem Stahlhochtrapezblech als Dacheindeckung erhältlich, worauf sich herkömmliche PV-Module direkt montieren lassen.

10. Herausforderungen bei Bau und Unterhalt

In Gesprächen mit Parkplatzbesitzern und Installateuren wurde mehrmals erwähnt, dass die Logistik während Bau und Unterhalt eines Solarcarports eine Herausforderung darstellen kann, wenn die Parkflächen gleichzeitig erhalten bleiben müssen.

10.1 Bau neuer Solarcarports

Je nach Standort des Carports (Einkaufszentrum, Raststätte, Gewerbe, etc.) und der Verfügbarkeit alternativer Parkmöglichkeiten während der Umsetzungsphase sind die Herausforderungen unterschiedlich gross. Oft wird eine etappenweise Umsetzung vorgenommen. Bei grösseren Projekten empfiehlt sich die Beauftragung einer Bauleitung für die Koordination der Arbeiten an den verschiedenen Gewerken.

10.2 Bodenreinigung der Parkflächen

Parkflächen haben in der Regel grosse bis sehr große Ausmasse. Für die Bodenreinigung stellen sie damit eine besondere Herausforderung dar. Des Weiteren sind sie bei allen Wetterlagen stark frequentiert und durch die abgestellten Fahrzeuge sehr heterogenen Verschmutzungen ausgesetzt. Dies erhöht die Anforderungen an die Reinigung. Werden Parkflächen mit Carports ausgerüstet, erschweren die tragenden Stützen und allfällige Betonsockel die Bodenreinigung zusätzlich.

10.3 Betrieb und Unterhalt der PV-Anlagen von Solarcarports

Die Herausforderungen für den Unterhalt der PV-Anlagen sind klein, da die PV-Module bei Solarcarports einfach per Hebebühne gereinigt oder ausgetauscht werden können.

11. Wirtschaftlichkeit von Solarcarports

Die Wirtschaftlichkeit von PV-Carports hängt stark von den Investitionskosten ab, die aufgrund der Strukturen und der Tiefbauarbeiten für Fundamente sowie der Leitungsverlegung unter dem Parkplatz bedeutend höher sind als die Investitionskosten für eine PV-Aufdachanlage. Diese betragen im Jahr 2020 für Anlagen von 100-300 kWp im Mittel 1'113 CHF/kWp und für Anlagen von 300-1'000 kWp im Mittel 945 CHF/kWp (energieschweiz 2021).

Die spezifischen Kosten einer Carport-Anlage liegen in einem breiten Bereich zwischen meist 2'000 CHF bis rund 3'500 CHF pro kWp. Entscheidend ist dabei die Art der mechanischen Struktur, die Überdachungsart (direkte PV-Integration oder Metallstruktur mit Standardmodulen) und die Grösse der Anlage. Kosten von 2'000 CHF/kWp oder weniger konnten nur bei sehr grossen Projekten von mehreren MW erreicht werden, wobei klar zu definieren ist was in dem Preis enthalten ist.

Die Vergütungen für die Rückspeisung ins Netz variieren stark je nach Netzbetreiber und sind mit wenigen Ausnahmen nicht kostendeckend für PV-Anlagen und insbesondere nicht für PV-Carports. Daher ist der Eigenverbrauch vor Ort für benachbarte Gebäude und für Elektromobilität von grosser Wichtigkeit für die Wirtschaftlichkeit von PV auf Parkflächen.

Die folgende Tabelle zeigt auf, wie sich die Gestehungskosten (LCOE, levelised costs of energy) und die Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit der Investitionskosten entwickeln. Für eine Anlage von 1 MWp mit 50% Eigenverbrauchsanteil zu 20 Rp./kWh zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit ohne die Einmalvergütung des Bundes (EIV) nur für PV-Carports mit Kosten bis 2'000 CHF/kWp gegeben ist. Wenn die EIV mitgerechnet wird, könnte das Projekt rund 2'400 CHF/kWp kosten, um noch 20 Jahre Payback-Dauer zu erreichen.

Tabelle 18: Gestehungskosten und Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit der Investitionskosten. Basisparameter: Leistung 500 kWp, spezifische Produktion 1'000 kWh/kWp, 0.5% Degradation/Jahr, Betriebskosten 3 Rp/kWh, Eigenverbrauch 50% zu 20 Rp/kWh, Rückliefertarif 8 Rp./kWh, interner Zinssatz 2%, Berechnungsdauer 30 Jahre, ohne EIV gerechnet

Investitionskosten [CHF/kWp]	LCOE [Rp./kWh]	IRR [%]	Payback-Dauer [Jahre]
1'500	10.0	5.7	14
2'000	12.4	3.2	19
2'500	14.7	1.5	24
3'000	17.1	-	29
3'500	19.4	-	34

Da der Anteil des Eigenverbrauchs ebenfalls entscheidend ist, wurde die Wirtschaftlichkeit eines Projektes von 500 kWp und Investitionskosten von 2'500 CHF/kWp in Abhängigkeit des prozentualen Eigenverbrauchs gerechnet. Mit einem hohen Anteil an Eigenverbrauch kann die Wirtschaftlichkeit eines Projektes wesentlich verbessert werden (siehe nachfolgende Tabelle). Natürlich spielt hier der Preis für den verkauften Solarstrom eine ebenfalls entscheidende Rolle; bei diesem Beispiel liegt er mit 20 Rp./kWh relativ hoch. Um einen tieferen Solarstrompreis anbieten zu können, müssten die Investitionskosten und somit die Gestehungskosten geringer sein.

Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit des Eigenverbrauchs. Basisparameter: Investitionskosten 2'500 CHF/kWp, Leistung 500 kWp, spezifische Produktion 1'000 kWh/kWp, 0.5% Degradation/Jahr, Betriebskosten 3 Rp/kWh, Eigenverbrauch zu 20 Rp/kWh, Rückliefertarif 8 Rp./kWh, interner Zinssatz 2%, Berechnungsdauer 30 Jahre, ohne EIV gerechnet

Eigenverbrauch [%]	IRR [%]	Payback-Dauer [Jahre]
30%	-	31
50%	1.5	24
70%	3.0	20
90%	4.4	17

Für Projekte ohne Eigenverbrauch werden ab 2023 Einmalvergütungen bis zu 60% der Investitionskosten eingeführt. Diese Förderung wird in einem Auktionssystem vergeben nach dem Merit-Order Prinzip, d.h. je tiefer die benötigte EIV für ein Projekt liegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses einen Zuschlag erhält. Diese neue Förderung könnte für Carportprojekte durchaus interessant werden. Allerdings gilt für diese hohe Förderung der Vorbehalt, dass kein Solarstrom vor Ort für Elektromobilität verwendet wird, was an sich nicht einem idealen Zweck eines Carports entspricht.

Aufgrund einer spezifischen Förderung der Regierung sind in Frankreich und Italien bereits viele Solarcarports gebaut worden. In Frankreich wurden für dieses Segment vor mehreren Jahren Auktionen für Einspeisevergütungen implementiert, was viele, teilweise auch sehr grosse Projekte wie die 17 MW-Parkplatzüberdachung des Disneyland Frankreich ermöglichte. Diese Auktionen für Carport Projekte werden noch immer umgesetzt und werden in zwei Kategorien eingeteilt (Anlagen <500 kWp und >500kWp). Frankreich will bis 2028 über 35 bis 44 GWp Photovoltaikanlagen verfügen. Dabei soll der Fokus u.a. auf Brachflächen, öffentliche Flächen und Autobahnen gelegt werden. Gemäss pv magazine vom 25. Februar 2022 sollen auf 156 Bahnhöfen in Frankreich Solar Carports von 47 MW Leistung gebaut werden, dies ist ein Teil einer Ausschreibung für 200 MW Solar Carports bis 2030. Anlagen auf Parkplätzen sind von der Umweltverträglichkeitsprüfung ausgenommen und PV-Anlagen auf Carportstrukturen sollen obligatorisch werden.

In Italien wurde ebenfalls eine spezielle Förderung für Carports bis zu 1 MWp implementiert. Dank dieser «Fer-1» erhalten die Projektbetreiber eine Einspeisevergütung von 89 €/MWh über 20 Jahre. Da in Italien die Investitionskosten tiefer liegen und die Einstrahlungswerte höher sind als in der Schweiz, sind dank dieser Förderung bereits viele Projekte umgesetzt worden.

12. Ladestationen und Eigenverbrauchsoptimierung

Eine einfache Art zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Solarcarport-Projekten ist die Integration von E-Ladestationen. Gemäss dem heutigen Stand gilt bei Elektrofahrzeugen die Faustregel, dass 80 Prozent «privat» und 20 Prozent «öffentlich» geladen werden. Mit zunehmenden Solarcarports inkl. Ladestationen könnte sich diese Schere verkleinern.

12.1 Entwicklung der E-Mobilität in der Schweiz

Die Verbreitung von E-Mobilität nimmt konstant zu und Elektroautos werden in Zukunft immer häufiger anzutreffen sein. Der Bedarf nach Ladelösungen wird dementsprechend steigen. Dieser Trend wird auch durch den Bund gefördert, z.B. durch Emissionsvorschriften für Neuwagen oder durch Förderprogramme.

Im Jahr 2020 waren 8.23% der Fahrzeug-Neuzulassungen rein elektrisch, der höchste Anteil seit jeher. Der Trend setzt sich im 2021 weiter: Bis Ende des 3. Quartals lag der Anteil der rein elektrischen Fahrzeuge bei 11.31%.

Im pessimistischen Fall rechnen die Autoren der Studie des Verbands Swiss eMobility bei Schweizer Neuzulassungen mit einem E-Auto-Marktanteil von 40% im Jahr 2025, 72% 2030 und 91% 2035. Im optimistischeren Fall soll der Anteil 2025 bereits bei 60%, 2030 bei 94% und 2035 bei 99% liegen.

Gemäss einer repräsentativen Umfrage von AXA kann sich unterdessen jeder dritte Autofahrer hierzulande vorstellen, in Zukunft ein Elektroauto zu kaufen. Eine andere Umfrage zeigt auf, dass E-Fahrzeug-Besitzer nicht mehr «zurück» zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wollen.

Viele Automobilhersteller gehen ganz in diese Richtung und setzen alles auf die Elektromobilität. Audi will bereits ab 2026 keine neuen Verbrennerfahrzeuge mehr entwickeln. Ford plant, ab 2030 in Europa nur noch batterieelektrische Fahrzeuge anzubieten. Auch Volkswagen hat das Ende von Benzin- und Dieselaautos festgelegt: 2035 ist Schluss mit dem Bau von Verbrennern.

12.2 Akteure

Im Folgenden wird kurz aufgezeigt, welche Akteure bei der Umsetzung von Carports mit Lademöglichkeiten involviert sind und wie sich die Verantwortlichkeiten aufteilen:

- **Eigentümer des Carports:** Fällt den Grundsatzentscheid zur Anzahl der zu installierenden Ladestationen und lässt die Ladestationen durch einen konzessionierten Elektroinstallateur einbauen.
- **Elektroplaner:** Berücksichtigt die nötigen Platzreserven in der Hauptverteilung und plant die Kabelführung.
- **Ladestationsbetreiber:** Ist verantwortlich für die Beschaffung, die Installation, den Betrieb und den Unterhalt der Ladeinfrastruktur. Stellt sicher, dass die Ladevorrichtungen sachgemäss verwendet werden und koordiniert die Ausführung mit dem Elektroinstallationsunternehmen.
- **Elektroinstallateur:** Installiert die Ladestationen gemäss den Vorgaben aus den Werkvorschriften CH, den NIN (Niederspannungs-Installationsnorm) und den besonderen Bestimmungen des Netzbetreibers. Reicht das Anschlussgesuch (TAG) und die Installationsanzeige ein.
- **Verteilnetzbetreiber:** Prüft beim Eingang des technischen Anschlussgesuches und der Installationsanzeige, ob für den Anschluss der Ladestation eine Steuerung oder vorgängig entsprechende Netzverstärkungen an der Anschlussleitung oder im Verteilnetz nötig sind.
- **Allenfalls spezialisierter Abrechnungsdienstleister:** In manchen Projekten empfiehlt sich die Beauftragung eines spezialisierten Abrechnungsdienstleisters für die Abrechnung des verbrauchten Stroms.

12.3 Merkblatt SIA 2060

Seit 01.06.2020 gibt es das Merkblatt SIA 2060 Infrastruktur für Elektrofahrzeugen in Gebäuden. Auch wenn keine 1:1-Übertragung dieser Empfehlungen möglich ist, hilft die Konsultation des Merkblattes bei der Aufrüstung von Solarcarports mit E-Ladestationen, welche elektrisch oft an benachbarte Gebäude angeschlossen sind. Das Merkblatt unterteilt den Ausbau der E-Ladeinfrastruktur von der Installation der benötigten Leerrohre (A) bis zum kompletten Anschluss der Parkplätze (D) in 5 Stufen (siehe Tabelle unten).

Tabelle 20: Ausbaustufen gemäss SIA 2060

Stufen	Beschrieb gemäss SIA 2060
A	« Pipe for Power »: Einrichtung von Ausbaureserven: Leerrohre und Kabeltragsysteme sowie Platzreserven im Verteiler für die elektrischen Schutzeinrichtungen und für allfällige Stromzähler. Die Reserven sollten für 100% der Parkplätze ausgelegt werden.
B	« Power to Building »: Die Einrichtung der Anschlussleitung (Gebäudezuleitung) muss für 60 - 80 % der Parkplätze ausgelegt werden.
C1	« Power to garage »: Stromzuleitung zur Ladestation, Einbau der elektrischen Schutzeinrichtungen und allfälligen Kommunikationsverkabelung. Diese sollen für 60 - 100 % der Parkplätze ausgelegt werden.
C2	« Power to parking »: Installation der Rückplatten.
D	« Ready to charge »: Installation von betriebsbereiten Ladestationen. Als Richtwert gilt 20% der Parkplätze.

Bei der Stufe C1 empfiehlt es sich, für die Stromzuleitung zur Ladestation Flachbandkabel installieren zu lassen. Sofern vom System vorgesehen, sollen weitere Parkplätze fix mit einer Rückplatte ausgestattet werden (mind. jeweils fünf Stück, Stufe C2).

Ein kostenloser Online-Konfigurator für die Dimensionierung einer Ladeinfrastruktur gemäss SIA 2060 ist auf folgender Homepage verfügbar: <https://www.konfigurator2060.ch>

12.4 Unterschiedliche Ladegeräte (AC versus DC Geräte, Leistung etc.)

Je nach Anwendungsfall wird unterschiedlich geladen. Grundsätzlich gilt: Je kürzer die Aufenthaltsdauer, desto höher muss die Ladeleistung sein. Nur die wenigsten Ladevorgänge erfolgen mit erhöhter (beschleunigtes Laden ab 50 kW) oder hoher Leistung (Schnellladung ab 150 bis 350 kW).

Es gibt DC- (Gleichstrom-) und AC (Wechselstrom-) Ladestationen. DC-Ladestationen eignen sich für schnelles Laden. Ladestationen mit eher geringerer Leistung im Wohnbereich, für Büros und Einkaufszentren werden normalerweise mit Wechselstrom (AC) betrieben. Für Carports werden üblicherweise AC-Ladestationen mit Leistungen bis 22 kW installiert, was meist ausreicht, da schnelles Laden auf vielen Parkplätzen nicht benötigt wird.

12.5 Dynamisches Lastmanagement

Beim dynamischen Lastmanagement wird die verfügbare Leistung pro Ladestation dem aktuellen Stromverbrauch im gesamten Gebäude angepasst. Je nach aktuellem Verbrauch (insbesondere der Anzahl aktiver Ladestationen) wird die maximale Ladeleistung dadurch deutlich reduziert. Dafür kann so die Anzahl möglicher Ladestationen bei derselben Anschlussleistung deutlich erhöht werden – so können dank dynamischem Lastmanagement bei einer Absicherung von 63 A bis zu 30 Ladestationen à 22 kW installiert werden.

Beispiel: In einer Tiefgarage sind 30 Ladestationen à 22 kW an eine 63 A Absicherung angeschlossen. Falls nur 1-2 Autos gleichzeitig Strom beziehen, liegt die Ladeleistung bei 22 kW, die Fahrzeuge werden innerhalb von 2-5 Stunden vollständig geladen. Werden hingegen alle 30 Ladestationen gleichzeitig benutzt, liegt die Ladeleistung bei nur 1.4 kW. Auch in diesem Fall können während einer Nachtladung (10 h) pro Fahrzeug 14 kWh geladen werden, was einer Reichweite von ungefähr 90 km entspricht und für den alltäglichen Gebrauch ausreichend ist.

12.6 **Betrieb**

Im Betrieb der Ladestationen wird zwischen privaten und öffentlichen Ladestationen unterschieden. Grössere Parkplätze sind im Allgemeinen öffentlich zugänglich und die Ladestationen werden dementsprechend über öffentliche Ladenetze (move, evpass, swisscharge, Plug'n Roll usw.) geladen.

12.7 **Abrechnung**

Die Abrechnung des bezogenen Stroms kann entweder über den Ladestationsbetreiber, den Parkplatzbesitzer/Verwalter oder einen spezialisierten Abrechnungsdienstleister erfolgen. Der bezogene Strom kann entweder zeitbasiert (Zeit, während der das Auto angeschlossen ist), strombasiert (bezogene kWh) oder als Kombination verrechnet werden.

Die Höhe des Stromtarifes und des allfälligen Grundtarifes sollte festgelegt werden, sobald die definitiven Kosten (Installation & Betrieb) bekannt sind und ein Betreiber ausgewählt ist.

13. Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es diverse Voraussetzungen und Erfolgsfaktoren für ein wirtschaftlich sowie technisch nachhaltiges Solarcarport-Projekt gibt. Diese betreffen alle Projektschritte von der Planung bis zum Betrieb:

- Wahl einer passenden Fundamentierungsart in Bezug auf die Standortbedingungen
- Wahl einer technisch geeigneten Carportstruktur mit oder ohne Integration der PV-Module
- Wahl eines Montagesystems mit Berücksichtigung der Kabelführung, der Entwässerung und des Blitzschutzes
- Abstimmung der PV-Module und Montagesysteme auf die Sicherheitsstandards bei Überkopfverglasung und Integration der PV-Module ins Carport-Dach
- Koordination der Baustellenarbeiten und Aufrechterhaltung des täglichen Betriebs auf den Parkplätzen bei der Installation der Carports
- Elektrische Erschliessung der PV-Anlage mit Eigenverbrauchsoptimierung und zukünftig vermehrten Nutzung des Solarstromes für die Elektromobilität

Ebenfalls zu erwähnen ist, dass einige Hersteller von Carportstrukturen erst ab einer gewissen kWp-Leistung liefern oder die Strukturen an die Kundenbedürfnisse anpassen. Im Idealfall sind Carportstrukturen auf dem Parkplatz bereits vorhanden und eignen sich nach erfolgreicher statischer bzw. materialtechnischer Prüfung mit verhältnismässig geringem Aufwand für die Installation von Solarmodulen.

Aus den Gesprächen und Interviews mit verschiedenen Stakeholdern aus der Solarcarport-Branche lässt sich festhalten, dass Projekte aufgrund der oben aufgelisteten Aspekte sehr spezifisch und individuell geplant und umgesetzt werden müssen. Es gibt keine Standard-Solarcarport-Lösung, die an jedem Standort funktioniert, was in der Regel zu Mehrkosten führt im Vergleich zu standardisierten Aufdachanlagen. Die verschiedenen Referenzprojekte und auf dem Schweizer Markt vorhandenen Produkte zeigen jedoch auf, dass diese spezifische Projektierung gut umsetzbar ist.

Schwieriger zu erfüllen ist oftmals die wirtschaftliche Machbarkeit von Carport-Projekten. Grundsätzlich hilft diesbezüglich ein hoher Eigenverbrauchsgrad oder eine höhere Einmalvergütung (geplant ab 2023 für Projekte ohne Eigenverbrauch), die dann jedoch voraussetzt, dass der produzierte Solarstrom ausschliesslich ins Stromnetz eingespeist wird. Letzteres ist allerdings in Anbetracht der zunehmenden Elektromobilität und möglichen Stromkonsum vor Ort nicht sehr zweckmässig. In Nachbarländern wie Italien und Frankreich wird der Bau von Carportanlagen mit einer speziellen Förderung motiviert. Falls die Schweiz das enorme Potenzial auf Parkflächen mit PV ernsthaft für die Elektromobilität nutzen möchte, sollte ebenfalls eine spezifische Förderung in Betracht gezogen werden.

14. Quellenverzeichnisse

14.1 Verzeichnis Interview-Partner:innen

Beaud, Romain. Megasol Energie AG
Bernasconi, Andrea. Marino Bernasconi SA
Bolter, Reinhard. MOUNTING SOLUTIONS PV SYSTEMS GMBH
Brossard, Didier. GEFECO SA
Brühwiler, Fabian. MBRsolar AG
Cassani, Michèle. Romande Energie SA
Diem, Gian Andri. dhp Technology AG
Genolet, Martial. Romande Energie SA
Gesell, Philipp. Premium Mounting Technologies GmbH
Giddey, Fabio. Fachverband Swissolar
Gort, Frederik. dhp Technology AG
Haas, Markus. NEWA ONE AG
Kalmbach, Dirk. Solarmarkt GmbH
Kobler, Stephan. KIOTO Photovoltaics SCHWEIZ GmbH
Leinau, Simon. DC Carport Systeme GmbH
Marchon, Régis. Adiwatt SA
Meister, Lukas. Swisscarport/Max Zumstein AG
Rimer, Martin. BE Netz AG
Scheuber, Carmen. dhp Technology AG
Schlosser, Sabina. dhp Technology AG
Teller, Nadine. Premium Mounting Technologies GmbH
Todorovic, Dennis. NEWA ONE AG
Zumstein, Max. Swisscarport/Max Zumstein AG

14.2 Literaturverzeichnis

Baunetz Wissen (2021a). *Gründung*. Aufgerufen am 10.07.2021 von <https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/gruendung>

Baunetz Wissen (2021b). *Funktionsgläser*. Aufgerufen am 18.11.2021 von <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/funktionsglaeser>

Bucher, C. (2021). *Photovoltaikanlagen – Planung, Installation, Betrieb* (1. Auflage). Faktor Verlag AG.

Energie Zukunft Schweiz (2021). *Solarstrom auf Infrastrukturanlagen und Konversionsflächen*. Bern: Bundesamt für Energie.

energieschweiz (2021). Leguay G., Sauter Y., Jacqmin F., Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2020, Abschlussbericht 30. Juni 2021

Energie Zukunft Schweiz (2021). Grüter L., Probst S., Hochreuter M., Konersmann L., Solarstrom auf Infrastrukturanlagen und Konversionsflächen, Abschlussbericht 23. Juli 2021

Solar Power World (2021). *Foundations are the linchpin of proper solar carport installation*. Aufgerufen am 19.04.2021 von <https://www.solarpowerworldonline.com/2021/01/foundations-are-the-linchpin-of-proper-solar-carport-installation/>