

**Kanton Zürich**

# Photovoltaik-Anlagen an Strasseninfrastruktur

## Schlussbericht Analyse Machbarkeit

<i>Bericht Erstellung</i>	<i>Patrick Maire, energiebüro ag</i>	<i>2.8.2024, Version 1.1</i>
<i>Begleitgruppe</i>	<i>Alex Nietlisbach, AWEL Kanton Zürich</i>	
	<i>Christoph Abegg, Tiefbauamt Kanton Zürich</i>	
	<i>Rupert Lieb, Tiefbauamt Kanton Zürich</i>	
	<i>Stefan Muster, AWEL Kanton Zürich</i>	

## 1 Ausgangslage

Im Postulat 432/2022 wurde der Regierungsrat gebeten aufzuzeigen, wie die Infrastruktur entlang der Staatsstrassen im Kanton Zürich zur Energiegewinnung via nichtgebäudegebundenen Photovoltaikanlagen genutzt werden kann. Insbesondere sollten dabei Böschungen, Lärmschutzwände, Überdachungen und Einhausungen geprüft werden.

Die ZHAW führte 2023 eine Studie zu PV-Potenzial auf Dach-, Fassadenflächen, landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN), Parkplatzarealen, Abwassertreinigungsanlagen und entlang der Strassen durch (*Photovoltaik-Potenzial auf Infrastrukturbauten und bei weiteren sehr grossen Anlagen im Kanton Zürich, 2023*). Entsprechend wurde in dieser Studie das Potenzial für Photovoltaikanlagen entlang der Staatsstrassen bereits grob abgeschätzt.

In der nun vorliegenden Analyse wurden beispielhaft jeweils 3 konkrete Objekte aus den Kategorien «Kunstabauten», «Parkplatzarealen» und «Freiflächen» betrachtet, um spezifische Herausforderungen bezüglich Machbarkeit und Bewilligungsfähigkeit zu betrachten, das Potenzial für Winterstrom-Eignung abzuschätzen, sowie die groben Investitionskosten und daraus resultierender Gestehungskosten solcher PV-Anlagen zu analysieren. Es ist anzumerken, dass die Auswahl der Objekte so erfolgte, dass eine grosse Bandbreite von verschiedenen Situationen betrachtet werden konnte, es bedeutet nicht, dass diese Objekte die höchsten Prioritäten oder das grösste Potenzial zur Umsetzung innerhalb ihrer Kategorien aufweisen.

Das «Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien», wurde am 9. Juni von der Stimmbevölkerung angenommen und tritt somit 2025 in Kraft. Das Gesetz beinhaltet unter anderem erweiterte Möglichkeiten bezüglich Eigenverbrauch (z.B. Lokale Energiegemeinschaften (LEG)), was die Wirtschaftlichkeit von diversen Anlagen erhöhen könnte. Ebenfalls gibt es Änderungen im Raumplanungsgesetz in Bezug auf PV-Anlagen ausserhalb von Bauzonen, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Bewilligungsfähigkeit einzelner Objekte haben kann. Die entsprechenden Verordnungen sind noch in Vernehmlassung, weshalb die detaillierten Bestimmungen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar sind.

## 2 Methodik

Als Basis dienten Objekte, welche auch in der ZHAW Studie berücksichtigt wurden. Zur Einschätzung der Situation der einzelnen Objekte wurden verschiedene Internetquellen verwendet: Das GIS-Portal des Kanton Zürich, Google Streetview, sowie maps.geo.admin.ch von Swisstopo. Die Factsheets und der Bericht wurden in Zusammenarbeit mit verschiedenen Beteiligten des Kantons erarbeitet, deren Einschätzungen ebenfalls berücksichtigt wurden. Die verschiedenen Objekte wurden jeweils auf ihre Bewilligungsfähigkeit, technische Machbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit beurteilt.

## 2.1 Beurteilung Bewilligungsfähigkeit

Um die Bewilligungsfähigkeit einzuschätzen, wurden pro Objekt folgende Vorgaben geprüft und qualitativ beurteilt (Abbildung 1):

- ÖREB Zonenplan: Liegt das Objekt ausserhalb der Bauzone?
- Denkmalschutz/ISOS Objekt: Bestehen erhöhte Auflagen aufgrund von Schutzobjekten?
- Natur-/Landschaftsschutz: Ergeben sich erhöhte Auflagen aufgrund von Natur-/Landschaftsschutz?
- Gewässerschutz: Sind besondere Massnahmen bezüglich Gewässerverschmutzung zu beachten?
- Wald: Ist der Abstand von 30 Meter zum Wald eingehalten?
- Bepflanzung: Steht die PV-Anlage in Konflikt mit allfälligen Bepflanzungen/ökologisch wertvollen Flächen?
- Lärmschutz: Werden allfällig vorhandene Lärmschutzmassnahmen durch die PV-Anlage beeinträchtigt?
- Wärmebelastung: Ändert sich die Wärmebelastung aufgrund der PV-Anlage?
- Blendung: Führt die PV-Anlage zu unerwünschter Blendung auf Fahrzeuge/Gebäude?
- Baubewilligung nach RPV Art.32: Ist allfällig ein Meldeverfahren gemäss RPV Art. 32 möglich, bzw. ist eine Baubewilligung möglich?

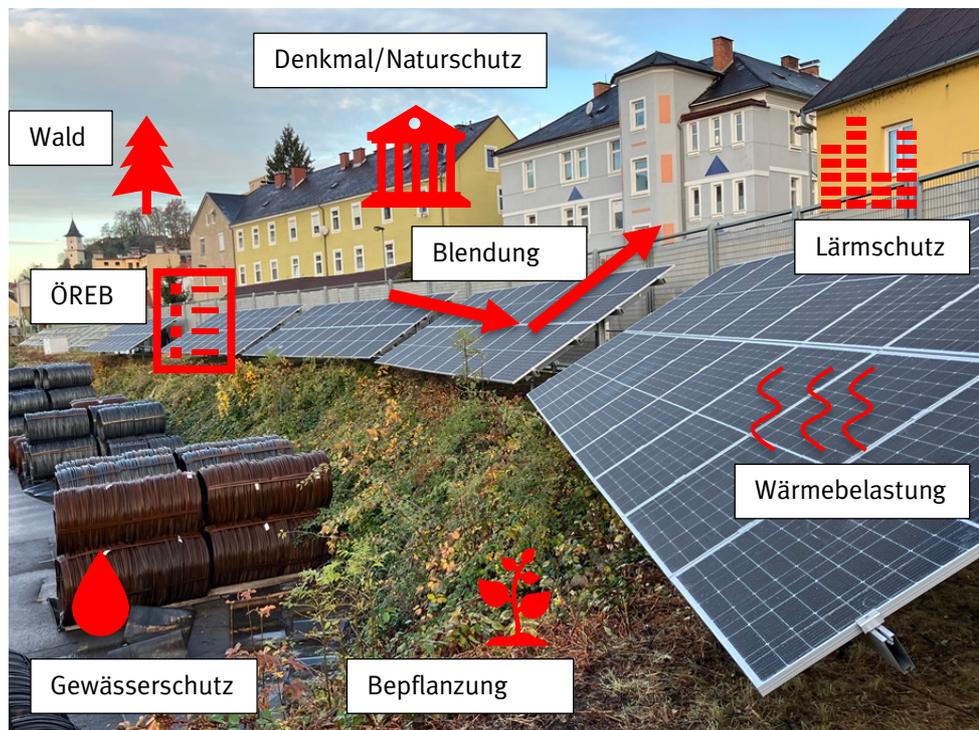


Abbildung 1: Analyisierte Aspekte Bewilligungsfähigkeit (Bildquelle: www.lebau.at)

Ausserdem wurde der «Leitfaden für Solaranlagen- Verfahren und Gestaltung, Dezember 2022» des Kanton Zürichs zur Beurteilung beigezogen. Für eine weitere Einschätzung bezüglich Bewilligungsfähigkeit für Objekte ausserhalb der Bauzone wurde Stefan Marzohl (Amt für Raumentwicklung) konsultiert.

## 2.2 Beurteilung technische Machbarkeit

Um die technische Machbarkeit einzuschätzen, wurden pro Objekt folgende Aspekte auf Basis bisheriger Erfahrungen qualitativ beurteilt (Abbildung 2). Es ist zu beachten, dass nicht jeder Aspekt gleich wichtig für die technische Machbarkeit ist, jedoch ergibt sich unter Berücksichtigung aller Faktoren ein Gesamtbild über mögliche anzutreffende Herausforderungen bei einer Umsetzung.

- Statik: Kann die bestehende Struktur die Zusatzlasten einer PV-Anlage voraussichtlich tragen? (Statikberechnungen wurden nicht durchgeführt und müssen in der Projektierung verifiziert werden)
- Schneelasten: Sind hohe Schneelasten zu erwarten? Kann der Schnee auf dritte abrutschen, bzw. sind besondere Massnahmen erforderlich?
- Verkehrssicherheit: Ist die Verkehrssicherheit gegeben, bzw. welche Massnahmen werden benötigt, um einen direkten Aufprall in die PV-Module zu verhindern?
- Netzanschluss und Wechselrichter: Wie gross ist ungefähr die Distanz des nächstgelegenen Netzanschlusses und wie könnten die Wechselrichter platziert werden?
- Verschattung: Gibt es Objekte in der Nähe, welche die PV-Anlage durch Schattenwurf beeinträchtigen?
- Strassenunterhalt: Wird der Strassenunterhalt durch die PV-Anlage beeinträchtigt?
- Vandalismus: Können die Anlagenkomponenten durch Dritte einfach erreicht/beschädigt werden, bzw. kann dies mit einfachen Massnahmen verhindert werden?

Mit dem zunehmenden Ausbau der Photovoltaik wird ebenfalls die bestehende Netzinfrastruktur immer stärker belastet, was einen Netzausbau zur Folge hat, um überhaupt zukünftig weiterhin eine Vielzahl von PV-Anlagen ans Netz anschliessen zu können. Die Herausforderungen der Verteilnetzbetreiber bezüglich Netzverstärkungen (Bsp. Platzbedarf für neue Trafostationen in besiedeltem Gebiet) wurden hier jedoch nicht genauer analysiert.

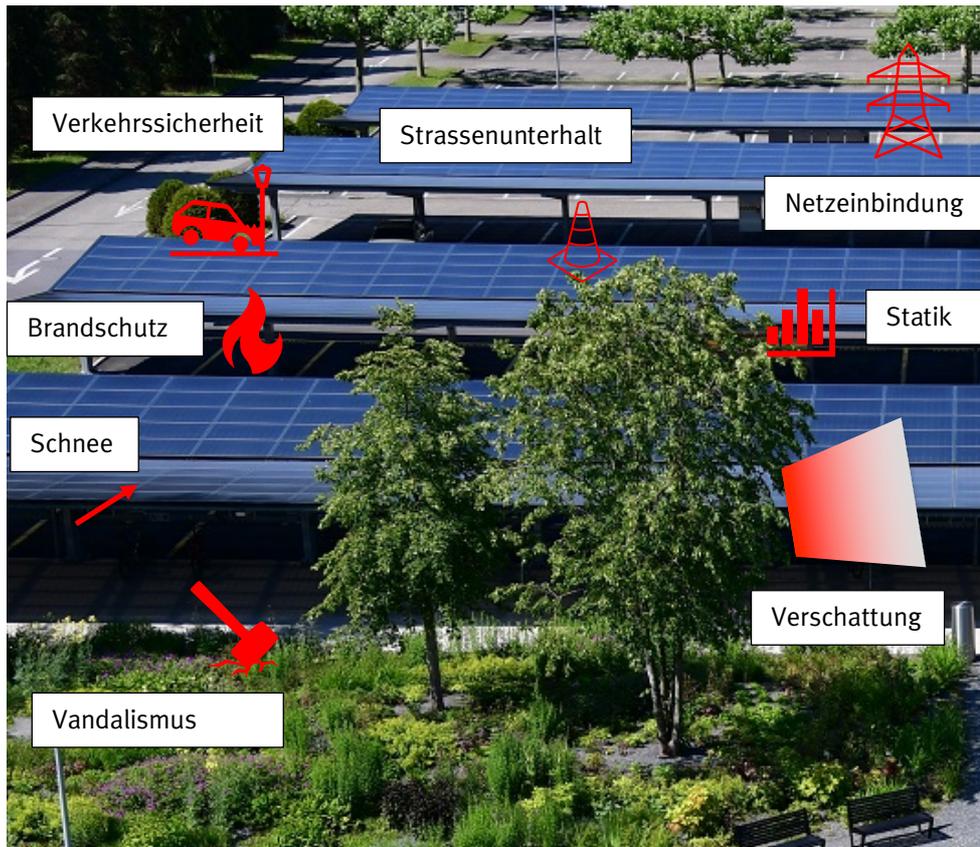


Abbildung 2: Analyzierte Aspekte technische Machbarkeit (Bildquelle: [www.be-netz.ch](http://www.be-netz.ch))

### 2.3 Eigenverbrauch

Die zukünftige Entwicklung der Rückspeisevergütung ist schwierig vorauszusagen, mit höherem PV-Anteil im Strommix könnte diese tendenziell in Zukunft wieder sinken, weshalb für den Betrieb einer rentablen PV-Anlage ein hoher Eigenverbrauch von Vorteil ist. Mit der LEG wird es nun eine weitere Möglichkeit geben, den Eigenverbrauch zu erhöhen, was die Wirtschaftlichkeit von den analysierten Objekten erhöhen wird. Konkrete Interessenten für allfällige LEG wurden im Rahmen dieser Analyse nicht ermittelt, die erwähnten Beispiele sind jeweils von hypothetischer Natur, zur Veranschaulichung des vorhandenen Potenzials. Zukünftig muss der Verteilnetzbetreiber mindestens den Referenzmarktpreis für PV-Strom (quartalsweise gemittelt) als Rückspeisevergütung bezahlen. Durch den stetigen Zuwachs an PV-Strom, ist es zukünftig möglich, dass gerade im Sommer der Referenzmarktpreis sinken könnte und entsprechend auch zukünftig Eigenverbrauch für die Amortisation einer PV-Anlage entscheidend sein wird. Durch eine Einführung von dynamischen Preisen könnte z.B. gerade PV-Anlagen mit hohem Winterstromertrag interessant sein, da viele PV-Anlagen mit flacher Aufständigung im Winter eher weniger Strom produzieren.

### 2.4 Ertrag

Die Berechnung des jährlichen PV-Ertrags erfolgte auf Basis der Einstrahlung simuliert mit Meteonorm 8.2, wobei die Ausrichtung der PV-Module

berücksichtigt wurde (Azimut- und Höhenwinkel). Basierend auf der Einstrahlung wurde der PV-Ertrag mithilfe eines Korrekturfaktors berechnet, welcher unter anderem Verschattung, Moduldegeneration, Moduleffizienz beinhaltet. Für die Berechnung wurden marktübliche 450 Wp-Module verwendet.

Zusätzlich wurde der Winterstromertrag (März-Oktober) ausgewiesen, da ein hoher Winterstromanteil vorteilhaft zur Vorbeugung einer Winterstromlücke ist.

## 2.5 Investitionskosten

Die Kosten wurden auf Basis von Erfahrungswerten ermittelt. Nebst den Kosten der einzelnen Komponenten, wurden dabei speziell die Komplexität der Unterkonstruktion und Montagearbeiten mitberücksichtigt. Zusätzlich wurden die zu erwartenden Planungskosten ausgewiesen. Die Kosten für die Netzeinbindung wurden auf Basis des nächstgelegenen Netzanschlusspunktes geschätzt. Fördergelder seitens Bund (Pronovo), sowie Gemeinde, wurden ebenfalls ausgewiesen.

## 2.6 Gestehungskosten (Stromgestehungspreis)

Die Gestehungskosten des Solarstroms beinhalten Verzinsung, Abschreibung und Wartung der Photovoltaik-Module, der Befestigung, des Wechselrichters und der Elektroinstallation für jede produzierte kWh über 25 Jahre. Auf Basis der ermittelten Kosten und des berechneten jährlichen PV-Ertrags wurden die Gestehungskosten mit folgenden Parametern berechnet:

- Kalkulationszinssatz: 1.5%
- Lebensdauer: 25 Jahre
- Leistungsabnahme über Lebensdauer: 15 %
- Betriebskosten über Lebensdauer: 3 Rp./kWh

Damit eine PV-Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann, müssen die Gestehungskosten niedriger sein als die Einnahmen und Einsparmöglichkeiten (durch Eigenverbrauch) der PV-Anlage.

### 3 Analyisierte Objekte

Folgende Objekte wurden analysiert:

Nr.	Objekt	Kategorie	Gemeinde
1	Raststätte Kemppt- hal	Parkplatzareal	Lindau
2	Forchparkplatz	Parkplatzareal	Küsnacht
3	Parkplatz Albispass	Parkplatzareal	Langnau am Albis
4	Ausfahrt 8 & Forch- strasse HLS	Freifläche	Gossau
5	Forchstrasse bei Hohrütlistrasse	Freifläche	Maur
6	Ausfahrt 7 & Forch- strasse	Freifläche	Egg
7	Stützmauer Sonnen- berg	Kunstabauten (Stütz- mauer)	Thalwil
8	Glasbrüstung Wein- landstrasse Brücke	Kunstabauten (Brü- cke)	Andelfingen / Kleinandelfingen
9	Lärmschutzwand Shilstrasse	Kunstabauten (Lärm- schutzwände)	Adliswil

Pro Objekt wurde ein Factsheet erstellt, welche die spezifischen Erkenntnisse, Überlegungen und Beurteilungen aufzeigen. Im nächsten Kapitel werden die Allgemeinen Erkenntnisse und Resultate pro Objekt aufgezeigt.

Es wurden beispielhaft drei Parkplätze betrachtet, um allgemein Erkenntnisse über Parkplatzanlagen zu gewinnen, die ebenfalls auf andere Objekte übertragbar sind. Drei Freiflächen entlang der Staatsstrassen wurden ausgewählt, wobei ein Teil langgezogene, schmale Böschungen und ein Teil kompaktere Wiesen waren, um diese verschiedenen Aspekte von Freiflächenanlagen zu berücksichtigen. Bei den Kunstbauten wurden die Objekte gemäss ZHAW-Studie ausgewählt, welche ein grosses Potenzial haben. Dies, um zu prüfen, ob das theoretische Potenzial auch bei genauerer Analyse nutzbar ist.

## 4 Resultate

Tabelle 1: Übersicht Bewilligungsfähigkeit und technische Machbarkeit

Umsetzbarkeit		Bewilligungsfähigkeit										Technische Machbarkeit							
Nr.	Objekt	ÖREB Zonenplan	Denkmalschutz	Natur-/Landschaftsschutz	Gewässerschutz	Wald (Abstand)	Bepflanzung Bewuchs	Lärmschutz	Hitzeminderung	Blendung	Baubewilligung	Statik	Schnee	Verschattung	Brandschutz	Verkehrssicherheit	Strassenunterhalt	Vandalismus	Wechselrichter/Netzeinbindung
1	Raststätte Kempththal	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
2	Forchparkplatz	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange
3	Parkplatz Albispass	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
4	Ausfahrt 8 & Forchstrasse HLS	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Orange	Orange	Grün	Grün	Orange
5	Forchstrasse bei Hohrütlistrasse	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Orange	Grün	Orange	Grün	Grün	Orange
6	Ausfahrt 7 & Forchstrasse	Böschung Freifläche	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Orange	Grün	Orange
7	Stützmauer Sonnenberg	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Orange	Orange	Orange	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
8	Lärmschutzwand Weinlandstrasse (Brücke)	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Orange	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange
9	Lärmschutzwand Shilstrasse	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Orange	Grün	Orange	Orange	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die Einschätzung zur Bewilligungsfähigkeit sowie der technischen Machbarkeit der analysierten Objekte. Qualitativ wurde folgende Bewertung vorgenommen:

- **Grün:** Keine besonderen Massnahmen zur Umsetzung erforderlich
- **Orange:** Machbar, dem Aspekt ist jedoch spezielle Aufmerksamkeit zu schenken
- **Rot:** Technisch mit sehr grossem Aufwand verbunden / Bewilligungsfähigkeit nicht vorhanden.

Tabellez: Anlagenkennwerte und Kosten

Nr.	Objekt	Anlagenleistung (DC)	Jahresenergieertrag	Winterstromertrag (Okt - März)	Spez. jährlicher Energieertrag	Spez. jährlicher Winterstromertrag (Okt - März)	Kosten exkl. MwSt. und vor Förderung	Gestehungskosten exkl. MwSt., inkl. Förderung
1	Raststätte Kempththal	1'250 kWp	1'150 MWh/a	275 MWh/a	925 kWh/ kWp	220 kWh/ kWp	2'376'000 CHF	13 Rp/kWh
2	Forchparkplatz	260 kWp	244 MWh/a	58 MWh/a	939 kWh/ kWp	220 kWh/ kWp	688'000 CHF	16 Rp/kWh
3	Parkplatz Albispass	176 kWp	165 MWh/a	38 MWh/a	936 kWh/ kWp	219 kWh/ kWp	508'000 CHF	18 Rp/kWh
4	Ausfahrt 8 & Forchstrasse HLS	360 kWp	382 MWh/a	112 MWh/a	1'060 kWh/ kWp	310 kWh/ kWp	1'012'000 CHF	16 Rp/kWh
5	Forchstrasse bei Hohrütlistrasse	190 kWp	192 MWh/a	51 MWh/a	1'009 kWh/ kWp	267 kWh/ kWp	408'000 CHF	13 Rp/kWh
6	Ausfahrt 7 & Forchstrasse	260 + 96 kWp	280 + 97 MWh	96 + 27 MWh	1'072 / 1'013 kWh/ kWp	369 / 281 kWh/ kWp	932'000 CHF	16 Rp/kWh
7	Stützmauer Sonnenberg	45 kWp	26 MWh/a	7 MWh/a	590 kWh/ kWp	150 kWh/ kWp	193'000 CHF	38 Rp/kWh
8	Lärmschutzwand Weinlandstrasse Brücke	140 kWp	195 MWh/a	49 MWh/a	1'392 kWh/ kWp	347 kWh/ kWp	440'000 CHF	14 Rp/kWh
9	Lärmschutzwand Shilstrasse	450 kWp	355 MWh/a	79 MWh/a	745 kWh/ kWp	177 kWh/ kWp	1'025'000 CHF	17 Rp/kWh

Tabelle 2 zeigt die technischen Daten, Ertragswerte, sowie die Kosten und die Gestehungskosten pro kWh Strom.

- **Grün:** Spez. Jahresertrag: > 950 kWh/kWp; Spez. Winterstromertrag: > 300 kWh/kWp ; Gestehungskosten: < 10 Rp./kWh
- **Orange:** Spez. Jahresertrag: 800-950 kWh/kWp; Spez. Winterstromertrag: 200-300 kWh/kWp ; Gestehungskosten: 10-17 Rp./kWh
- **Rot:** Spez. Jahresertrag: < 800 kWh/kWp; Spez. Winterstromertrag: < 200 kWh/kWp ; Gestehungskosten: > 17 Rp./kWh

#### 4.1 Parkplatzareale

Die Parkplätze können mit Standard-Carports mit PV-Modulen überdacht werden, weshalb technisch keine grossen Herausforderungen für die Umsetzung vorhanden sind. Zu beachten ist, dass die notwendigen Lichtraumprofile für die Fahrzeuge trotz Carport frei bleiben. Durch die Stützen der Carports können einzelne Parkplätze wegfallen. Je nach Standort müssten einzelne Bäume entfernt werden, damit einerseits Platz für die Carports vorhanden ist, sowie um die Verschattung der PV-Module zu vermindern. Allfällige Bewilligungen oder Ersatzmassnahmen beim Entfernen der Bäume sind bei der Projektierung genauer zu prüfen. Die Carports können Schatten spenden und somit zu einem angenehmen Umgebungs-klima beitragen.

Für die Erstellung der Carports innerhalb der Bauzonen ist eine Baubewilligung notwendig. Ein Objekt befindet sich in einem BLN-Schutzgebiet. Diese Umstände verunmöglichen den Bau des Carports voraussichtlich nicht, jedoch kann ein Gutachten der Eidgenössische Natur- und Heimatschutzkommission (ENHK) gefordert werden. Auf Kultur- oder Naturdenkmälern von kantonaler oder nationaler Bedeutung kann eine Bewilligung für eine Solaranlage erteilt werden, wenn das Denkmal durch die Solaranlage nicht wesentlich beeinträchtigt wird (Art. 18a Abs. 3 RPG). bei der Planung ist entsprechend besonderen Augenmerks bezüglich architektonischer Integration des Carports ins Landschaftsbild zu achten.

Aufgrund der flachen Aufständigung der PV-Module auf Carports (vergleichbar mit Flachdachanlagen), ist der Winterstromanteil mit ca. 23% (ca. 220 kWh/kWp) gering.

Die Kosten belaufen sich je nach Anlagengrösse auf ca. 1'900 CHF/kWp – 2'880 CHF/kWp exkl. MwSt. (1'250 kWp, bzw. 176 kWp), wodurch die Gestehungskosten zwischen 13 – 18 Rp./kWh liegen. Damit die Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann, ist theoretisch ein hoher Eigenverbrauch notwendig, welcher z.B. durch E-Ladestationen, lokale Verbraucher oder eine lokale Elektrizitätsgemeinschaft erreicht werden könnte.

Bei Carports ist analog zu PV-Dachanlagen ebenfalls mit einem Skaleneffekt zu rechnen. Als Beispiel in Tabelle 3 die spezifischen Kosten von Dachanlagen:

Tabelle 3: Mediane der spezifischen Kosten von Aufdachanlagen in den letzten 5 Jahren. Die Tabelle weist auch die relative Veränderung zum Vorjahr aus.<sup>1</sup>

Leistungsbereich [kW]	Median Spezifische Kosten [CHF/kW]						Veränderung im Vergleich zum Vorjahr				
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
2-10	2953	2914	2692	2696	3032	3141	-1%	-8%	0%	12%	4%
10-30	2214	2201	2071	2131	2384	2384	-1%	-6%	3%	12%	0%
30-100	1589	1466	1407	1529	1759	1879	-8%	-4%	9%	15%	7%
100-300	1236	1217	1132	1202	1312	1513	-2%	-7%	6%	9%	15%
300-1000	1016	990	919	913	1097	1163	-3%	-7%	-1%	20%	6%
>1000		777	819	1075	982	1326		5%		-9%	

Zwei der drei analysierten Parkplätze (Raststätte Kempththal und Forch-Parkplatz) sind aufgrund potenzieller Umnutzungen nicht direkt geeignet für eine schnelle Umsetzung.

## 4.2 Freiflächenanlagen

Die PV-Module können mit Standard-Freiflächen Unterkonstruktionen befestigt werden, welche z.B. mit Rammprofilen oder Schraubfundamenten im Boden befestigt werden und die PV-Module einen gewissen Abstand zum Boden haben, sodass eine Zugänglichkeit für den Unterhalt bei z.B. Böschungen unterhalb der PV-Module weiterhin möglich ist. Die PV-Module können das Sonnenlicht auf die vorbeifahrenden Autos reflektieren. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist eine genaue Analyse der durch die Solarmodule entstehenden Blendung und deren Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit erforderlich. Bei kritischer Blendung sind Anpassungen an der Aufständigung vorzunehmen und/oder blendfreie Module zu verwenden.

Da die Böschungen ausserhalb der Bauzone liegen ist eine Baubewilligung notwendig. Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist die Bewilligungsfähigkeit nur gegeben, wenn die Böschung als bestehende Infrastruktur betrachtet werden kann und die PV-Anlage eine optische Einheit mit der Böschung bildet, was eine Böschungs-Parallele Montage der PV-Module bedingt. Durch die Annahme des Stromgesetzes wird ebenfalls das Raumplanungsgesetz angepasst und Freiflächenanlagen können zukünftig ausserhalb der Bauzone in wenig empfindlichen/belasteten Gebieten gebaut werden, was voraussichtlich mehr Spielraum für die Gestaltung der Böschung/-Freiflächenanlage ermöglichen würde. Eine steile Aufständigung zur Erhöhung des Winterstromertrags sollte somit zukünftig möglich sein.

Die analysierten Freiflächen liegen in einer kantonalen Landwirtschaftszone, deshalb ist eine Baubewilligung notwendig. Unter den aktuellen Rahmenbedingungen kann eine Bewilligung nur erteilt werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass aufgrund der PV-Anlage keine Ertrags-einbussen auf den Nutzflächen vorhanden sind. Aktuell ist die Forschung noch nicht so weit, um dies zu belegen. Entsprechend sind unter den aktuellen Rahmenbedingungen die Freiflächenanlagen in der kantonalen Landwirtschaftszonen nicht möglich. Bei den drei Freiflächen zeigte sich am Schluss der Analyse ebenfalls, dass es sich um ökologisch hochwertige

<sup>1</sup> Quelle: Lionel Bloch, Yannick Sauter, «Photovoltaikmarkt: Preisbeobachtungsstudie 2023», Juni 2024. Online. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11768>

Standorte handelt. Hier besteht demnach ein Konflikt mit dem Natur- und Heimatschutzgesetz, da diese Flächen zu erhalten sind.

Können die Böschungsanlagen parallel an steileren Böschungen, welche nach Süden ausgerichtet sind, errichtet werden, mit z.B. 20°-45° Neigung, ist ein vergleichsweise hoher Winterstromanteil mit ca. 30-33% (ca. 340 kWh/kWp) möglich.

Die Kosten belaufen sich je nach Anlagengrösse und den zusätzlich benötigten baulichen Anpassungen auf ca. 2'600 CHF/kWp – 2'800 CHF/kWp exkl. MwSt. (1'250 kWp, bzw. 176 kWp), wodurch die Gestehungskosten bei ca. 16 Rp./kWh liegen. Damit die Anlage wirtschaftlich betrieben werden kann, ist theoretisch ein hoher Eigenverbrauch notwendig, welcher aufgrund der Abgelegenheit der Böschungen meist nicht gegeben ist. Durch die Erstellung einer Lokalen Elektrizitätsgemeinschaft könnte eine Eigenverbrauchsanlage erstellt werden. Die detaillierten Rahmenbedingungen sind noch nicht final bekannt und deshalb hier nicht weiter ausgeführt.

Zu beachten ist, dass auch Böschungen, welche heute noch nicht ökologisch hochwertig sind, ebenfalls als Fläche für ökologische Ausgleichsmassnahmen genutzt werden können und somit ein Interessenkonflikt von verschiedenen zukünftigen Nutzungsformen vorliegt<sup>2</sup>. Es besteht bei neuen Planungen ein hohes Interesse an der Schaffung neuer Grünböschungen zur Biodiversitätsförderung (ökologischer Ausgleich). Daher besteht ein Interessenskonflikt bereits auf Stufe Planung zwischen PV und Biodiversitätsförderung. Es ist entsprechend eine Interessenabwägung zu treffen, vor allem unter Berücksichtigung der vergleichsweise hohen Kosten von Freiflächenanlagen entlang von Böschungen.

Die Analyse der Standorte zeigte ausserdem, dass lokale Bepflanzung (Hecken, Bäume udgl.) die potenziellen Flächen aufgrund von Verschattungen udgl. Weiter reduziert, was in einer reinen GIS-Analyse nicht abbildbar ist und standortspezifisch betrachtet werden muss.

### 4.3 Kunstbauten

Die analysierten Kunstbauten unterscheiden sich stark voneinander (Brücke, Lärmschutzwände, Stützmauer). Trotzdem lassen sich allgemein folgende Aussagen machen:

Da die PV-Anlage an der bestehenden Infrastruktur errichtet wird, können die PV-Anlagen als standortgebunden betrachtet werden und somit ist die Bewilligungsfähigkeit gegeben. Aufgrund der geometrischen Anordnung können die Fahrzeuge in der Regel durch die PV-Module geblendet werden, weshalb blendfreie Module zu verwenden sind. Auch Objekte in Schutzzonen können errichtet werden, wenn die Schutzziele nicht beeinträchtigt werden. Bei architektonisch guter Integrierung der PV-Module am bestehenden Objekt ist eine Bewilligung voraussichtlich möglich. Bei Kunstbauten, welche sich direkt an der Fahrbahn befinden, ist besonders

---

<sup>2</sup> Vergleiche Postulat von Hans Egli (EDU, Steinmaur), Jonas Erni (SP, Wädenswil), Andreas Hasler (GLP, Illnau-Effretikon), Florian Heer (Grüne, Winterthur), Daniel Sommer (EVP, Affoltern am Albis) und Judith Stofer (AL, Zürich) betreffend Mehr Biodiversität entlang von Velowegen, Strassenbegleitflächen und Lärmschutzwänden, welches vom Kantonsrat an den Regierungsrat überwiesen wurde (KR-Nr. 238/2021)

auf die Verkehrssicherheit bezüglich PV-Anlagen zu achten (Anprall, Unfall), sodass Fahrzeuginsassen und Passanten nicht gefährdet werden. Wo notwendig sind entsprechende Massnahmen mit einzuplanen (Bsp. Leitplanken, Fahrzeugrückhaltesystem).

#### 4.3.1 Stützmauern

Stützmauern sind teilweise stark bepflanzt, bzw. es befinden sich vor den Stützmauern Pflanzen und Bäume, welche Verschattungen verursachen können. Solange die Stützmauer genügend Abstand zur Strasse aufweisen, ist es jedoch technisch möglich, eine PV-Anlage zu erstellen. Da Stützmauern meist einen sehr hohen Neigungswinkel haben (nahezu senkrecht), ist eine optimale Ausrichtung nach Süden entscheidend, um eine wirtschaftlich sinnvolle Anlage erstellen zu können.

#### 4.3.2 Lärmschutzwände

PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden wurden bereits an diversen Orten installiert. Durch die korrekte Ausrichtung der Module (Neigungswinkel von  $60^\circ$ ), kann der Lärmschutz weiter garantiert werden (Schallwellen werden nach oben reflektiert). Dies ist jedoch je nach Objekt genauer zu betrachten.

#### 4.3.3 Brückengeländer

Wird eine PV-Anlage auf einem Brückengeländer montiert, können je nach Situation bifaziale PV-Module genutzt werden, mit einer Ost/West Ausrichtung können so relativ hohe Winterstromerträge erreicht werden (Bsp. 347 kWh/kWp). Je nach statischen Gegebenheiten lassen sich die PV-Unterkonstruktionen relativ einfach an bestehende Bauten integrieren. Dabei ist zu beachten, dass das Geländer selbst nicht als Fahrzeugrückhaltesystem verwendet wird, da die Verkehrssicherheit bei Anprall/Unfall bei einem Fahrzeugrückhaltesystem kombiniert mit PV-Anlage nicht mehr gegeben ist. Wird eine PV-Anlage bei einem Brückengeländer erstellt, muss ein separates Fahrzeugrückhaltesystem vorhanden sein.

## 5 Fazit

Die Untersuchung möglichst vielfältiger Standorte hat ergeben, dass jedes der untersuchten Objekte die einzelnen Kriterien wie Jahres-/Winterertrag (Ausrichtung), Kosten, Netzanbindung, Eigenverbrauch unterschiedlich gut erfüllt. Speziell Kunstbauten haben eine sehr grosse Vielfalt an Ausprägungen, die spezifisch zu berücksichtigen sind. Allgemein lässt sich festhalten, dass die Kosten für Nutzung der Potenziale der untersuchten Objekte für PV-Anlagen höher ausfallen als beispielsweise auf Dächern von grossen Gebäuden, die darüber hinaus in der Regel über bessere Eigenverbrauchs- und Netzanbindungsmöglichkeiten verfügen.

Potenzielle Investoren können jedoch die einzelnen Kriterien unterschiedlich gewichten, wodurch z.B. Objekte mit einem vergleichsweise tiefen Ertrag, aber einer einfachen Netzanbindung oder Absatzmöglichkeiten in unmittelbarer Nähe (z.B. Parkplätze mit Ladestationen für Elektroautos) für deren Zwecke ausreichend geeignet erscheinen können. Das am 9. Juni 2024 von der Stimmbevölkerung angenommene Stromgesetz kann -unter anderem mit der Möglichkeit der Bildung von lokalen Energiegemeinschaften (LEG)- weitere Anreize schaffen für die Nutzung der Potenziale an und auf Infrastrukturanlagen von Staatsstrassen.

Es lassen sich einzelne allgemeine Aussagen über die Nutzung von Infrastruktur entlang der Staatsstrassen im Kanton Zürich zur Energiegewinnung via nichtgebäudegebundenen PV-Anlagen machen:

- Die Blendung von Fahrzeugen ist in vielen Situationen genauer zu betrachten, was aufgrund der Nähe zu Strassen nicht überrascht, und kann aufgrund der Notwendigkeit von blendfreien Modulen zu höheren Kosten führen.
- Grosse Parkplätze bieten aufgrund von Skaleneffekten das Potenzial für PV-Anlagen mit den geringsten Gestehungskosten. Aufgrund der niedrigen Modulneigung bei Parkplätzen ist kein ausserordentlich hoher Winterstromertrag zu erwarten.
- Freiflächenanlagen an Böschungen bieten je nach Ausrichtung und Aufständigungswinkel hohes spezifisches Winterstrom Potenzial (kWh/kWp). Die Gestehungskosten sind aufgrund der meist grossen Länge mit gleichzeitiger kleiner Breite der Anlagen hoch. Ausserdem ist bei Böschungsanlagen ein Nutzungskonflikt zwischen potenzieller Energiegewinnung und potenzieller Nutzung als Fläche für den ökologischen Ausgleich. Der genaue Einfluss von Freiflächen-PV-Anlagen auf die Biodiversität ist noch nicht genügend erforscht, um hier bereits konkrete Aussagen vorzunehmen, inwiefern diesbezüglich auch Synergien möglich sind.
- Grosse potenzielle Abnehmer für den produzierten Solarstrom waren meist nicht direkt vorhanden, weshalb z.B. LEG für einen wirtschaftlichen Betrieb notwendig wären.
- Durch die Änderung des Raumplanungsgesetz durch die Annahme des Energiegesetz vom 9.6.2024 werden die Rahmenbedingungen für Freiflächenanlagen in wenig empfindlichen / bereits belasteten Gebieten vereinfacht (RPG Art. 24bis).

## 6 Anhänge

### 1. Fact-Sheets pro Standort