

# Solarstromanlagen auf Infrastrukturan- lagen im Kanton Schaffhausen

Abklärung der Machbarkeit

## **Impressum**

---

### **Titelbild**

Lonza Solarpark Waldshut-Tiengen auf ehemaliger Deponie

---

### **Datum**

28. Mai 2021

---

### **Bericht-Nr.**

04744.181.01

---

### **Verfasst von**

Michael Altherr

---

Basler & Hofmann AG  
Ingenieure, Planer und Berater

Forchstrasse 395  
Postfach  
CH-8032 Zürich  
T +41 44 387 11 22

---

## **Auftraggeber**

---

Kanton Schaffhausen  
Baudepartement  
Energiefachstelle  
Beckenstube 9  
8200 Schaffhausen

# Inhaltsverzeichnis

---

	<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Auftrag	2
1.2	Ziele	2
1.3	Haftungsausschluss	3
<b>2.</b>	<b>Bereits eingesetzte und anwendbare PV-Systeme</b>	<b>3</b>
2.1	Methodik	3
2.2	Übersicht der PV-Systeme	3
2.3	Wechselrichter	4
2.4	Investitions- und Stromgestehungskosten	4
<b>3.</b>	<b>Machbarkeit von Solarstromanlagen für verschiedene Infrastrukturanlagen</b>	<b>15</b>
3.1	Methodik	15
3.1.1	Machbarkeitsaspekte	15
3.1.2	Infrastrukturanlagen	15
3.1.3	Synthese	15
3.1.4	Informationsquellen	16
3.2	Rechtliche Machbarkeit	16
3.2.1	Raumplanungsgesetz RPG	16
3.2.2	Kantonales Baugesetz	16
3.3	Technische und wirtschaftliche Machbarkeit	17
3.4	Sichtbarkeit und Akzeptanz von Solarstromanlagen	19
3.5	Exkurs: Fördersystem	19
3.6	Machbarkeitsbeurteilung der Infrastrukturanlagen	19
3.7	Priorisierung der PV-Systeme nach Infrastrukturanlage	36
<b>4.</b>	<b>Grobe Potenzialabschätzung im Kanton Schaffhausen</b>	<b>37</b>
4.1	Methodik	37
4.2	Resultierende Potenziale	38
4.2.1	Nationalstrassen	38
4.2.2	Kantonsstrassen	38
4.2.3	Bahntrasse	39
4.2.4	Kunstbauten	40
4.2.5	Parkplätze	43
4.2.6	Kraftwerke	43
4.2.7	Unterwerke	44
4.2.8	Abwasserreinigungsanlagen ARA	44
4.2.9	Deponien	45
4.2.10	Abbaugelände	46

<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>49</b>
5.1	Eignung von PV-Systemen	49
5.2	Potenzial von Solarstromanlagen auf Infrastrukturanlagen	49
<b>6.</b>	<b>Fazit und Ausblick</b>	<b>50</b>

## Vorwort

Warum werden Solarstromanlagen nicht entlang von Autobahnen gebaut? Warum werden Parkplätze nicht mittels Solarzellen überdacht? Diese oder ähnliche Fragen höre ich als Baudirektor immer wieder, wenn es um den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien geht. Man kennt vielleicht schon das eine oder andere Beispiel in der Schweiz, aber warum werden Synergien zwischen Infrastrukturen und Stromerzeugung nicht öfter genutzt?

Natürlich gehören Solarstromanlagen einmal grundsätzlich auf Dächer. Im Idealfall – dies aus wirtschaftlichen Gründen – wird ein grosser Teil der so produzierten Elektrizität unter dem Dach selber genutzt. Die energiepolitischen Herausforderungen sind gross. Gemäss Energiestrategie des Kantons sollen bis ins Jahr 2035 Solarstromanlagen ein Fünftel des Verbrauchs, also rund 100 GWh, zur Stromerzeugung beitragen. Heute sind wir bei über 20 GWh. Es bleibt noch einiges zu tun. Also, warum nicht auch auf oder neben Infrastrukturanlagen?

Die eingangs gestellten Fragen sind somit berechtigt. Anlass zu deren Beantwortung lieferte ein Vorstoss aus dem Kantonsrat Schaffhausen im Jahr 2018. Dieser verlangt, die Rahmenbedingungen für den Bau von grösseren Solarstromkraftwerken attraktiver zu gestalten. Eine Massnahme aus dem daraus entstandenen Umsetzungskonzept ist eine kantonale Förderung für Solarstromanlagen mit keinem oder nur geringem Eigenverbrauch ab 60 Kilowatt-peak Leistung.

Eine andere Massnahme ist die Prüfung der Machbarkeit von Solarstromerzeugung auf bestehenden Infrastrukturanlagen im Kanton Schaffhausen. Die vorliegende Studie ermittelt entlang von Autobahnen, Eisenbahntrassen, über Parkplätzen, Unterwerken, Abwasserreinigungsanlagen und Deponien/Abbaugebieten ein Solarstrompotenzial von über 50 GWh. Dabei stechen die Potenziale über Parkplätzen, Deponien und Abbaugebieten hervor. Die Machbarkeitsanalyse zeigt auf, wo heute die grössten Hemmnisse sind.

Wo kleine Hürden bestehen, z.B. bei der Überdeckung von Parkplätzen, braucht es Investoren, die mit gutem Beispiel vorangehen. Wenn der Strom vor Ort genutzt werden kann, sind diese Investitionen wirtschaftlich. Synergien wie die Beschattung der parkierten Autos oder der Betrieb von Ladestationen sind zu berücksichtigen.



Martin Kessler  
Schaffhauser Regierungsrat

Ausserhalb der Bauzone, insbesondere bei Deponien und Abbaugebieten, bewegen wir uns auf schwierigerem Terrain. Teilweise sind die rechtlichen Weichen so gestellt, dass eine Parallel- oder Folgenutzung heute noch nicht möglich ist. Hier gilt es, mit vertieften Machbarkeitsstudien aufzuzeigen, welche Anpassungen rechtlicher oder wirtschaftlicher Natur notwendig wären, damit sinnvolle Potenziale erschlossen werden können. Notabene handelt es sich dabei immer um Flächen, die bereits stark genutzt werden und die das Landschaftsbild prägen.

Ein Thema, das bei unseren nördlichen Nachbarn schon länger diskutiert und umgesetzt wird, ist die Kombination von Landwirtschafts- und Stromproduktion auf der gleichen Fläche. Bei uns ist dies noch ein Tabuthema, obschon sich daraus interessante Synergien bei geringen oder gar keinen Ertragsseinbussen bei den landwirtschaftlichen Kulturen ergeben könnten. Im Gegenteil könnte sich eine teilweise Beschattung in Zukunft sogar als Produktionsvorteil erweisen. Ebenso vorteilhaft würden sich die Streifen unter den Trägersystemen von Solarstromanlagen auf die Biodiversität auswirken. Gefragt sind Praxisbeispiele.

Letzten Endes geht es immer um eine Güterabwägung: Was gewinnen wir und wie schwerwiegend ist im Gegenzug der Eingriff in die Natur oder die Einwirkung auf das Landschaftsbild? Diese Frage sollten wir ohne Scheuklappen angehen. Eine Solarstromanlage auf einer Infrastrukturanlage hat Symbolcharakter. Sie trägt dazu bei, dass das Thema einheimische erneuerbare Stromerzeugung ins Gespräch kommt und im Gespräch bleibt. Und die eine oder andere Hausbesitzerin wird sich beim Parkieren unter einer Solarstromanlage die Frage stellen: Warum nicht auch eine Solarstromanlage auf dem eigenen Dach?

## 1. Einleitung

### 1.1 Auftrag

Die Arbeit beinhaltet eine ergebnisoffene Suche nach möglichen Potenzialen, eine Recherche zum aktuellen Stand (Was wird heute in Bezug auf Infrastrukturanlagen bereits gemacht, was wäre mit heutiger Technologie möglich?) sowie Experteninterviews zu spezifischen Fragen der Machbarkeit. Als Input für spätere Massnahmenvorschläge soll aufgezeigt werden, welche Rahmenbedingungen jeweils für eine erfolgreiche Realisierung erforderlich wären. Beispielsweise lässt sich eine technisch und wirtschaftlich geeignete Technologie möglicherweise nicht umsetzen, weil die aktuelle nationale, kantonale oder örtliche Rechtslage es nicht zulässt. Oder die rechtlichen und technischen Voraussetzungen wären zwar gegeben, aber die Technologie ist zumeist unwirtschaftlich. Welche Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb müssten dann gegeben sein?

Die Analyse soll aufzeigen, welche Arten von PV-Systemen mit ihren Vor- und Nachteilen für Infrastrukturanlagen in Frage kommen würden. Hierbei sollen nicht nur technische und wirtschaftliche Aspekte betrachtet, sondern auch mögliche Konfliktfelder genehmigungstechnischer Art identifiziert werden. Wo möglich sollen Anregungen aufgelistet werden, wie die gefundenen Hindernisse/Herausforderungen angepackt werden können, um eine Machbarkeit zu verbessern.

In einem nächsten Schritt findet eine qualitative Bewertung statt, für welche Anlagen im Kanton Schaffhausen welche Systeme aktuell geeignet / machbar wären. Dies wird ergänzt mit einer Einschätzung, bei welchen Fällen zukünftige Änderungen der gesetzlichen oder genehmigungstechnischen Rahmenbedingungen eine Erhöhung der Machbarkeit resultieren würde resp. bei welchen Fällen positive Entwicklungen im Bereich Technik und Wirtschaftlichkeit zu erwarten sind.

Anhand einer groben Abschätzung soll zudem das Potenzial des entsprechenden Anlagentyps festgestellt werden.

### 1.2 Ziele

Ziel ist es, dem Auftraggeber eine Grundlage zu geben, um die Machbarkeit sowie die identifizierten Herausforderungen und Lösungsvorschläge für die einzelnen Infrastrukturtypen und PV-Systeme aufzuzeigen.

Zusammen mit einer groben Abschätzung bezüglich dem Potenzial (z.B. als Grösse «Fläche / kWp», Anzahl Objekte) sollen Handlungsfelder identifiziert werden, wo Massnahmen zu einer Stimulation des Potenzials führen können.

In nachgelagerten Schritten (nicht Teil des Auftrags) können einzelne Aspekte gezielt vertieft untersucht werden oder Anleitungen zur Identifizierung geeigneter Standorte und praxisnahe Hinweise zur Realisierung von Solarstromanlagen auf Infrastrukturanlagen erstellt werden.

### 1.3 Haftungsausschluss

Die vorliegende Untersuchung wurde nach bestem Wissen und Gewissen im Rahmen des erteilten Auftragsumfanges durchgeführt. Eine Haftung jedweder Art wird ausgeschlossen.

## 2. Bereits eingesetzte und anwendbare PV-Systeme

### 2.1 Methodik

In einem ersten Schritt werden die verfügbaren Techniken und PV-Systeme, die für Infrastrukturbauten vorhanden sind oder denkbar wären, beschrieben und mit ihren Eigenschaften kurz vorgestellt. Vor- und Nachteile werden gegenübergestellt sowie Angaben zu den Kosten gemacht, falls Informationen dazu verfügbar sind.

Die Recherche umfasst nebst Literaturrecherche auch Experteninterviews, z.B. mit Personen im In- und Ausland, die solche Systeme schon gebaut haben. Die folgende Auswahl der Experten wurde vorgängig mit dem Auftraggeber abgestimmt:

- \_ Prof. Dr. Hartmut Nussbaumer, ZHAW School of Engineering (Leitung Fachgruppe Photovoltaik)
- \_ Andreas Hügli, Geschäftsführender Partner, dhp technology AG
- \_ Thomas Nordmann, Geschäftsführer der TNC AG
- \_ Bene Müller, Vorstand, solarcomplex AG
- \_ Arthur Büchel, Geschäftsführer, iWorks AG

### 2.2 Übersicht der PV-Systeme

Solarstromanlagen auf Gebäudedächern sind die wohl herkömmlichste Art von PV-Systemen. Deren Potenzial für den Kanton Schaffhausen ist jedoch bereits in der Studie "Grosse Solarstromanlagen im Kanton Schaffhausen: Konzept zur Verbesserung der Rahmenbedingungen" beschrieben und abgeschätzt worden.

Auf den folgenden Seiten werden diejenigen PV-Systeme, die bereits an Infrastrukturanlagen im Einsatz oder in Entwicklung sind, in Form eines Steckbriefs kurz beschrieben:

- \_ Klassische Freilandssysteme
- \_ Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen
- \_ Faltdachanlagen
- \_ Schiebedachanlagen
- \_ An Kabel fixierte Systeme
- \_ Wandsysteme vertikal
- \_ PV-Systeme als oder auf Schallschutzmauern
- \_ PV-Systeme als Strassenbelag
- \_ Solarzaun

Zusätzlich zu den oben genannten PV-Systemen gibt es eine Reihe weiterer Systeme, welche auf oder bei Infrastrukturen installiert werden können, die aber für unsere Zielsetzung von untergeordneter Bedeutung sind und deshalb nicht vertieft untersucht werden:

- Agrophotovoltaik: Eine Agrophotovoltaik-Anlage (APV) ist in der Regel eine Freiflächenanlage, die mit einer landwirtschaftlichen Produktion funktional kombiniert wird. Häufig werden dazu die Solarmodule auf Gestellen in Höhen von 4 – 5 m über dem Boden bzw. der Anbaufläche schräg aufgeständert, sodass unter der Anlage eine maschinelle Bearbeitung der Ackerfläche (Pflügen, Saat, Ernte etc.) möglich ist. Eine weitere Form der Agrophotovoltaik ist die senkrechte Aufstellung von bifazialen Modulen. Solche Module können das Licht von beiden Seiten in elektrische Energie umwandeln, so dass durch die Nutzung von beiden Seiten bei senkrechter Aufstellung gute bis sehr gute Energieerträge erreicht werden können. Bei solchen Anlagen wird die Bodenfläche nicht überbaut, sondern diese kann zwischen den senkrecht stehenden Modulreihen zu ca. 90 % weiter genutzt werden. Dieses System ist dem Solarzaun sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass solche Agrophotovoltaiksysteme meist zweireihig sind. Ein Zusatznutzen zur Energieproduktion kann durchaus erreicht werden, indem im Bereich der Anlage schattenliebende Kulturen angepflanzt oder Biodiversitätsstreifen erstellt werden.
- Smartflower: Die sog. smartflower mit ihrem 18 m<sup>2</sup> grossen Solarmodulfächer ist mit einer 2-achsigen Sonnennachführung ausgestattet. Die Anlage kann somit ca. den Strombedarf eines durchschnittlichen Haushalts erzeugen. Sie ist eine All-in-One-Solarlösung ohne aufwendige Installation (Plug & Play) und wird auf einer freien Fläche aufgestellt. Es bieten sich die Optionen Inselösung oder Netzeinspeisung inkl. Stromspeicherung bei allen Varianten.<sup>1</sup> Eine smartflower ist dank dem Plug & Play Konzept ortsunabhängig und kann ohne Vormontage an einem beliebigen Platz aufgestellt werden (z. B. auf einem Kreisel, auf einer Brachfläche etc.).
- Floating-PV: Dies sind schwimmende Solarstromanlagen, die vor allem auf ungenutzten Gewässern wie Stau- und Baggerseen errichtet werden. Aktuell in Europa noch als Nischentechnologie angesehen, bieten «Floating-PV-Anlagen» grosses Potenzial, so auch auf natürlichen Gewässern oder Stauseen. Speziell in Asien werden bereits viele Floating Multimegawattanlagen errichtet. In der Schweiz wurde 2019 die erste Floating-PV Anlage auf dem Lac des Toules in Betrieb genommen.

### 2.3 Wechselrichter

Bei allen Systemen kommen für den Übergang von Gleichstrom auf Wechselstrom sogenannte Inverter / Wechselrichter zum Einsatz. Diese mussten früher in der Regel mehrmals während der Lebensdauer der Anlagen ersetzt werden. Heutige Wechselrichter halten länger (z. T. kann man dies auch via Garantieverlängerungen oder Versicherungen absichern) und oft wird nicht mehr der gesamte Wechselrichter ersetzt, sondern nur noch diejenigen Teile, welche ausfallen.

### 2.4 Investitions- und Stromgestehungskosten

Die Kostenangaben in den folgenden Abschnitten können nur als Indikation interpretiert werden, weil einerseits viele PV-Systeme noch nicht langjährig erprobt sind und z.T. Pilotcharakter haben und andererseits gerade die Stromgestehungskosten stark von der individuellen Situation vor Ort (hauptsächlich von der Sonneneinstrahlung und der Ausrichtung der Module) abhängig sind. Zudem sind sie eine Momentaufnahme oder beruhen auf Angaben aus der jüngeren Vergangenheit.

---

<sup>1</sup> [www.beosolar.ch](http://www.beosolar.ch)

Es wird jedoch bei sämtlichen Systemen angenommen, dass sie eine durchschnittliche Lebensdauer von 30 Jahren haben, was auch gerade der zu erwartenden Lebensdauer heutiger PV-Module und Tragkonstruktionen entspricht. Ein Wechselrichter muss demnach einmal nach ca. 15 Jahren ersetzt werden.

Sämtliche Kosten werden ohne Abzug eines einmaligen Investitionsbeitrags für Solarstromanlagen (Einmalvergütung EIV) angegeben. Weitere Angaben dazu siehe Kapitel 3.5 .

## Klassische Freilandsysteme

Beschreibung	
<p>Die PV-Module sind auf freien Flächen mittels Gestellen aufgeständert. Es besteht die Möglichkeit der Nachführung der PV-Module an den Sonnenstand via verkippbare PV-Module um eine oder sogar 2 Achsen. V.a. 2-achsig nachgeführte Systeme sind in einzelnen Tafeln ausgeführt, die auf einer Verankerung stehen. Fixe oder einachsig nachgeführte Systeme werden in Reihen mit je 2-4 Paneelen in der Breite und projektspezifischer Länge ausgeführt.</p>	 <p><i>Klassisches Freiland PV-System</i></p>
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend <input type="checkbox"/> In Planung	
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen <input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz                      Eglisau, Payerne <input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern              Weit verbreitet, z.B. DE, FR	
Kosten	
Investition	650-1'100 CHF / kWp (Grossanlagen >200 kW)
Wartung	Bewuchs unter den Gestellen muss mehrmals im Jahr geschnitten werden. Alternativ können Schafe den Bewuchs abgrasen. Modulreinigung und Kontrolle der Anlage mind. 1 x pro Jahr.
Gestehungskosten	In Deutschland 5-6 €ct. / kWh (Ausschreibungen Grossanlagen April 2020). In CH wären Kosten wohl höher anzusetzen.
Beurteilung	
Vorteile	<p>Auf dem Markt sind technische Standardlösungen vorhanden und die Investitions- und Gestehungskosten entsprechend gering</p> <p>Die Standorte sind meist gut begehbar</p> <p>Bei Standorten z. B. auf Strassenböschungen findet meist keine spezifische Flächennutzung statt, was Erschliessung und Bewilligung erleichtern kann</p>
Nachteile	Die Flächen sind meist landwirtschaftlich genutzt und der Bewuchs unter den Gestellen muss geschnitten werden
Expertenmeinung	
<p>In der Schweiz haben klassische Freilandsysteme aktuell keine grosse Bedeutung. Die Flächenknappheit, aufwändige Bewilligungsverfahren und Vorbehalte in Teilen der Bevölkerung lassen mittelfristig keinen signifikanten Anlagenzubau erwarten. Auf bereits vorbelasteten Flächen, zum Beispiel entlang von Autobahnen und Bahnlinien oder in Skigebieten und Steinbrüchen kann eine Nutzung jedoch in Erwägung gezogen werden.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Bisher sind nur ganz wenige Anlagen errichtet worden, weshalb Erfahrungswerte zu Kosten mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Bei Standorten auf Böschungen kann die Flächenneigung sowohl vorteil- als auch nachteilhaft sein bzgl. Solarstrahlung.</p>	

Tab. 1 Klassische Freilandsysteme

## Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen

Beschreibung	
<p>Mittels eines fixen Gestells aus Stützen und Querriegeln werden Solarmodule als Überdachung von z. B. Parkplätzen oder Strassen eingesetzt. Ausrichtung sowie Position der Module sind fix und können während des Betriebs nicht verändert werden. Es gibt teilweise lichtdurchlässige Ausführungen, bei denen die Module gleichzeitig das Dach bilden, dies im Unterschied zu lichtdurchlässigen Anlagen, die auf ein bestehendes Dach montiert werden.</p>	
	
<p><i>PV-System als Überdachung bei der Landi Matzingen (Foto: Landi Matzingen)</i></p>	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend	<input checked="" type="checkbox"/> In Planung
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	
<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz	Matzingen, NTB Buchs, Fully
<input type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	
Kosten	
Investition	Für einfache Ausführungen (ohne Unterkonstruktion): 1'200-2'200 CHF/kWp <sup>2</sup> (abhängig von Grösse und Standardisierungsgrad) Für Edellösungen: bis 13'000 CHF/kWp <sup>3</sup>
Wartung	Modulreinigung und Kontrolle der Anlage mind. 1 x pro Jahr bei flachen Anlagen (bei steiler geneigten Anlagen weniger)
Gestehungskosten	12-15 Rp./kWh
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Standard-PV-Module</li> <li>_ Doppelnutzung der Flächen</li> <li>_ Beschattung von z. B. Parkplätzen</li> <li>_ Bei Carports: Kombination von Solarstromproduktion und Beschattung</li> <li>_ Viele Modelle und Systeme spez. für Carports bei EFH auf dem Markt</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Unterbau muss z.T. grosse Kräfte (Wind/Schnee) aushalten können</li> <li>_ Falls nicht Neubau von Parkplatz: Netzanschluss kann teures Aufreissen des Belags bedeuten</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>PV-Systeme als Überdachungen sind erprobt und ausgereift und gehören mittlerweile zu den gängigsten Systemen überhaupt. Indach-Systeme (nur Kosten der PV-Anlage selber, ohne Dachkosten) sind meist teurer, aber ebenfalls technisch erprobt. Flächenmässig besteht ein grosses Potenzial und auch der Bedarf wird weiter zunehmen. Auch bei Supermärkten ist eine langsam steigende Nachfrage zu beobachten, dies auch im Zusammenhang mit Elektroladestationen für Fahrzeuge. In Baden-Württemberg bestehen Gesetzesentwürfe zur Solarpflicht für neue Nichtwohngebäude (Lager- und Produktionshallen, Parkhäuser, Bürogebäude), was Vorbildcharakter auch für andere Länder haben könnte.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Ursprünglich waren solche Systeme für den Einsatz auf Parkplätzen bei EFH (Carports) gedacht. Sie können aber auch im grösseren Stil angewendet werden, wie z. B. der überdachte Parkplatz bei der Landi in Matzingen (siehe Bild oben). Überdachungen von Strassen liegen in der Schweiz erst als Projektideen vor, so wie jene in Fully (VS) oder Affoltern a. A. Ideen für überdachte Autobahnen gibt es aber auch in Österreich und Deutschland.</p>	

Tab. 2 Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen

<sup>2</sup> <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solaranlage/solarcarport.html#c16808>

<sup>3</sup> Arthur Büchel, Geschäftsführer, iWorks AG

## Faltdachanlagen

Beschreibung	
<p>Mittels Seilen, die 4-10 Meter ab Boden gespannt sind, können faltbare Elemente mit PV Modulen über ein Seilzugsystem aufgespannt werden, wobei die Modulreihen einen Neigungswinkel von 10° aufweisen. Bei Bedarf (Sturm, Schneefall) können diese analog zu Storensystemen unter ein Schutzdach zurückgezogen werden. In der Regel beinhalten diese Systeme keine Sonnennachführung.</p>	
 <p><i>Faltdachanlage auf der ARA Chur (Bild: Basler &amp; Hofmann AG)</i></p>	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend	<input checked="" type="checkbox"/> In Planung
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	<input type="checkbox"/> ARA Chur, ARA Romanshorn, ARA Münsterlingen, PP Kronbergbahn
<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz	<input type="checkbox"/> In umliegenden Ländern
Kosten	
Investition	2'400 CHF/kWp <sup>4</sup>
Wartung	Wegen der vielen mechanischen Teile relativ aufwändig. Zugang zu den Modulen entweder aufgespannt mit Hebebühnen etc. oder dann eingefaltet mit beengten Platzverhältnissen.
Gestehungskosten	12-13 Rp. /kWh <sup>5</sup>
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Nutzung für Flächen, die bisher durch PV wenig nutzbar waren (z.B. Klärbecken)</li> <li>_ Wartungsarbeiten im Rahmen der Primärnutzung (z.B. Kranzugang bei Klärbecken) werden im Gegensatz zu fix montierten Solarstromanlagen nicht oder weniger behindert</li> <li>_ Spannweiten bis zu 30 m Achsabstand ohne Zwischenstützen möglich</li> <li>_ Beschattung als Doppelnutzen an gewissen Orten willkommen: Parkplätze, ARA (reduziertes Algenwachstum)</li> <li>_ Schutz vor äusseren meteorologischen Einflüssen (Sturm, Hagel, Schnee)</li> <li>_ Anlage kann materialminimiert gebaut werden, da sie weder auf Wind-, noch auf Schneebelastung ausgelegt werden muss</li> <li>_ Keine Ertragsausfälle infolge von schneebedeckten Solarmodulen</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Keine Standard-PV-Module, da Leichtbaumodule verwendet werden</li> <li>_ Foundation der Stützen z.T. aufwändig (Ableitung grosser Kräfte)</li> <li>_ Viel Material pro kWp nötig im Vergleich zu Freiland-/Dachanlagen</li> <li>_ Seilzugvorrichtung mit bewegten Teilen bedarf mehr Wartung als unbewegte Systeme</li> <li>_ Langjährige Erfahrungen beschränkt vorhanden</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>Es bestehen noch keine langjährigen Erfahrungen zur Mechanik der Systeme. Die verwendeten PV-Module entsprechen ebenfalls nicht dem Standard. Die Zukunftsperspektiven sind u. a. abhängig von erzielbaren Synergieeffekten sowie dem Potenzial auf günstige Reinigung von PV-Modulen im Betrieb. Die Kostenentwicklung für Unterkonstruktionen dürfte positiv sein. Nebst ARA's und Parkplätzen sind auch Logistikflächen, idealerweise gekoppelt mit Industrie mit hohem Energiebedarf wie z. B. Kühlhäuser, eine interessante Anwendung. Weitere Anwendungen sind bei Autobahnraststätten, Busbahnhöfen oder Strassen für den Innerortsverkehr (&lt;50 km/h) denkbar, wenn die Elektrifizierung des Automobils (v. a. LKW) weiter voranschreitet.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Die Faltdachsysteme sind relativ neu auf dem Markt. Erste Anlagen befinden sich vorwiegend in der Schweiz, z.B. auf den ARA Chur, Romanshorn und Münsterlingen oder auf dem Parkplatz der Kronbergbahn (AI).</p>	

Tab. 3 Faltdachanlagen

<sup>4</sup> Quelle: Andreas Hügli, dhp technology AG

<sup>5</sup> Quelle: Andreas Hügli, dhp technology AG

### Schiebedachanlagen

Beschreibung	
<p>Die Photovoltaik Schiebedachlösung besteht aus einer Leichtbaukonstruktion und einer Moduleinheit. Die Moduleinheit ist fabrikvorgefertigt mit Steuerung, Hebe-, Schiebemechanismus, den Modulträgern (80 kWp / Box) und einer vollautomatischen Reinigungseinheit. Die einzelnen Elemente werden von der Seite eingeschoben und um Lasten zu reduzieren bei Starkwind, Schneefall etc. eingezogen.</p>	
 <p>Visualisierung einer Schiebedachanlage (Bild: Iworks)</p>	
Projekte	
<input type="checkbox"/> Bestehend	<input checked="" type="checkbox"/> In Planung
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz nicht bekannt
<input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	<input checked="" type="checkbox"/> Liechtenstein
Kosten	
Investition	1'500-2'200 CHF/kWp <sup>6</sup>
Wartung	Vollautomatische Panelreinigung, sehr tiefer Wartungsaufwand gemäss Herstellerangaben Aufwändiger als Freiland, aber gemäss Erfinder einfacher als beim Faltdach.
Gestehungskosten	13-17 Rp. /kWh
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Nutzung für Flächen, die bisher durch PV wenig nutzbar waren (z.B. Klärbecken)</li> <li>_ Wartungsarbeiten im Rahmen der Primärnutzung (z. B. Kraneinsatz bei Strassen) werden im Gegensatz zu fix montierten Solarstromanlagen nicht oder weniger behindert</li> <li>_ Spannweiten bis zu 25 m ohne Zwischenstützen möglich</li> <li>_ Fixes Gestell: Aus Standardelementen einfach zusammenzubauen (low tech). In der Box ist Mechanik und Elektronik, die notfalls schnell getauscht werden kann</li> <li>_ Foundation der Stützen wenig aufwändig (praktisch nur Vertikalkräfte abzuleiten)</li> <li>_ Doppelnutzen an gewissen Orten willkommen: Beschattung</li> <li>_ Schutz vor äusseren meteorologischen Einflüssen (Sturm, Hagel, Schnee)</li> <li>_ Anlage kann materialminimiert gebaut werden, da sie weder auf grosse Wind-, noch auf Schneebelastung ausgelegt werden muss</li> <li>_ Keine Ertragsausfälle infolge von schneebedeckten Solarmodulen</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Keine Standard-PV-Module, da Leichtbaumodule verwendet werden</li> <li>_ Viel Material pro kWp nötig im Vergleich zu Freiland-/Dachanlagen</li> <li>_ Bewegte Teile konzentriert auf Box. Wartung aufwändiger als Freiland aber weniger als Faltdach</li> <li>_ Keine langjährigen Erfahrungen vorhanden (Prototypstadium)</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>Es bestehen noch keine Erfahrungen zur Mechanik der Systeme. Die verwendeten PV-Module entsprechen ebenfalls nicht dem Standard. Die Zukunftsperspektiven sind u. a. abhängig von erzielbaren Synergieeffekten sowie dem Potenzial auf günstige Reinigung von PV-Modulen im Betrieb. Die Kostenentwicklung für Unterkonstruktionen dürfte positiv sein.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Eine erste Referenzanlage soll im Jahr 2021 erstellt werden. Schiebedachanlagen haben im Unterschied zu Faltdachanlagen nur vertikale Lasten zu tragen, was eine einfachere Foundation / Tragkonstruktion erlaubt.</p>	

Tab. 4 Schiebedachanlagen

<sup>6</sup> Quelle: Arthur Büchel, Geschäftsführer, iWorks AG

## An Kabel fixierte PV-Systeme

Beschreibung	
<p>Mittels 2 fix installierten Drahtseilen werden die PV Panels gehalten. Oft wird zur Erhöhung des Ertrages vorgesehen, dass die PV Module mit einem dritten Seil nachgeführt werden können. Es sind gemäss Herstellerangaben Spannweiten bis zu 40 m ohne Zwischenstützen möglich.</p>	
	
<p><i>Solarstromanlage auf stillgelegter Deponie in Waldshut (Bild: Basler &amp; Hofmann AG)</i></p>	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend	<input type="checkbox"/> In Planung
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	
<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz	Solarskilift Tenna, Flums
<input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	Deutschland
Kosten	
Investition	Idealfall ohne teure Unterkonstruktion: ca. 1'800 CHF/kWp, meist jedoch weit höhere Kosten <sup>7</sup> Bsp. Solarskilift Tenna 21'000 CHF/kWp
Wartung	Keine Angaben
Gestehungskosten	11-13 Rp. /kWh (ohne teure Unterkonstruktion)
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Standard-PV-Module</li> <li>_ Nutzung für Flächen, die bisher durch PV wenig nutzbar waren (z.B. ehemalige Deponien, Parkplätze)</li> <li>_ Nutzung von bestehender Traginfrastruktur möglich: z. B. Solarskilift</li> <li>_ Nutzung von grösseren Flächen ohne Zwischenstützen</li> <li>_ Sonnennachführung möglich, was höhere Energieausbeute generiert</li> <li>_ Module können bei Sturm, Hagel und Schneefall senkrecht gestellt werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Da Solarpanels bei Sturm nicht eingefahren werden, muss Konstruktion grosse Lasten aufnehmen können</li> <li>_ Aufwändige Fundamentierung nötig zur Ableitung der starken (Zug-) Kräfte</li> <li>_ Betrieb und Unterhalt aufwändiger als bei Freiflächenanlagen. Panels sind fix montiert d. h. Erreichbarkeit muss auf der ganzen Fläche gegeben sein</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>Es gibt nur Erfahrungen aus Pilotprojekten. Die verwendeten PV-Module entsprechen dem Standard. Die Kosten für diese Systeme werden als relativ hoch eingestuft. Frühere Projekte waren nur mit den hohen Vergütungen der Vergangenheit möglich. In Zukunft werden solche Systeme wohl eine Nischenanwendung darstellen.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>In der Schweiz und im nahen Ausland wurden v.a. von der Firma Solarwings verschiedene Anlagen errichtet. Beispielanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Solarskilift Tenna 60 kW</li> <li>_ Flumroc (Flums)</li> <li>_ Waldshut: Kraftwerk auf stillgelegter Deponie</li> </ul> <p>In den letzten Jahren gab es keine Installationen mehr und die Firma Solarwings ist nicht mehr präsent auf dem Markt.</p>	

Tab. 5 An Kabel fixierte PV-Systeme

<sup>7</sup> Quelle: Bene Müller, Vorstand, solarcomplex AG

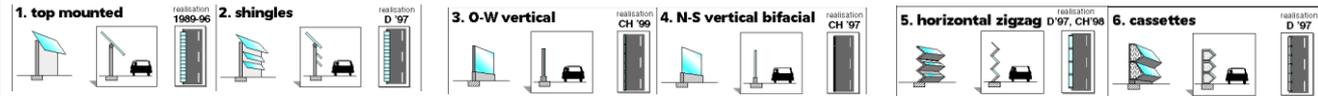
## Wandsysteme vertikal

Beschreibung	
<p>Solarmodule werden auf Wänden oder anderen vertikalen Strukturen montiert. Die bauliche Tragstruktur ist dabei unbewohnt/unbeheizt, wodurch die Anforderungen hinsichtlich z.B. Öffnungen für Fenster/Türen, Einbindung in die Wärmedämmung, architektonische Feinheiten entfällt. Damit sind sie im Unterschied zu klassischen Fassadensystemen weitaus einfacher zu gestalten</p>	
	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend	<input checked="" type="checkbox"/> In Planung
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	
<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz	Swissmill Zürich, Teufen
<input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	
<p><i>Fotomontage einer Wand-Solarstromanlage an einer Stützmauer (Quelle: Energiegenossenschaft Teufen).</i></p>	
Kosten	
Investition	2'400 CHF/kWp <sup>8</sup>
Wartung	Keine Angaben
Gestehungskosten	Aufgrund grosser Bandbreite keine Angaben möglich
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Standard-PV-Module</li> <li>_ Wand bekommt Doppelnutzung (z. B. Stützfunktion, Energieerzeugung)</li> <li>_ Mit der Nutzung verschiedener Ausrichtungen wird eine über den Tag verteilte Stromproduktion erreicht</li> <li>_ Keine Abdeckung durch Schnee führt zu höherem Ertrag im Winter</li> <li>_ Solarelemente können als gestalterisches Element genutzt werden</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Zugänglichkeit für Montage / Wartung je nachdem kompliziert (Strassensperrung)</li> <li>_ Oft kein Stromanschluss in unmittelbarer Nähe</li> <li>_ Sonneneinstrahlung stark abhängig von der Ausrichtung der Mauer</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>Die Technik ist ausgereift und erprobt und trotzdem gibt es immer noch wenige solche Anlagen. In Zukunft dürfte die Zahl solcher PV-Systeme zunehmen, weil ein erheblicher Teil der Kosten für die Unterkonstruktion der Anlage bereits durch die Wand selber gedeckt ist (Fundamente, Aufständering).</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Wandsysteme ähneln den Fassadensystemen sehr. Es müssen jedoch keine gebäudetechnischen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Bezüglich den mittlerweile umfangreichen Gestaltungsmöglichkeiten (Farbe, Form, Grösse) kann aber von Fassadensystemen abgeschaut und profitiert werden.</p>	

Tab. 6 Wandsysteme vertikal

<sup>8</sup> Quelle: Energiegenossenschaft Teufen

**PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern**

Beschreibung	
<p>Installation von PV Panels (einseitig oder bifazial) an bestehenden oder neuen Schallschutzwänden. Die Schallabsorptionsleistung ist geringer als bei anderen Materialien. Wegen der harten und glatten Oberfläche wird der Schall eher reflektiert als geschluckt. Kombination mit schallabsorbierenden Materialien möglich. Primäres Ziel ist: Verringerung von Lärmbelastung auf der Rückseite der Schallschutzwauer</p>	
 <p>Lärmschutzwand beim Bahnhof Wallisellen.</p>	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend <input type="checkbox"/> In Planung	
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	
<input checked="" type="checkbox"/> In der Schweiz                 Zürich, Münsingen, Domat/Ems	
<input type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	
Kosten	
Investition	Best Case: 2'000-2'500 CHF/kWp Je nach Bauart und Grösse bis 23'000 CHF/kWp am Bsp. Felsberg (nur Anlagenkosten) <sup>9</sup>
Wartung	Aufgrund der hohen Verschmutzung in Fahrbahnnahe kann der Reinigungsaufwand hoch sein, sofern die PV-Module auf der strassen- oder bahnzugewandten Seite sind.
Gestehungskosten	Best-Case: 12 Rp. / kWh, aber Bsp. Safenwil 75 Rp. / kWh <sup>10</sup>
Beurteilung	
Vorteile	_ Doppelnutzen und praktisch kein Flächenverbrauch
Nachteile	_ Hohe Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Blendverhalten, Spaltenfreiheit _ Falls Solarstromanlage an bestehende Schallschutzwauer installiert werden soll, ist deren Statik meist nicht dafür ausgelegt _ Teure Erschliessung, wo kein Netzanschluss in der Nähe ist _ Fahrbahnnahe kann Verschmutzung durch Spritzwasser etc. hoch sein → geringer Energieertrag und erhöhter Wartungsaufwand _ Höhere Anforderungen an Baustelle und Wartungsarbeiten in Strassennähe _ Für Kleinanlagen oft zu grosse Sockelkosten -> Wirtschaftlichkeit geringer
Expertenmeinung	
<p>Die Technik ist ausgereift und erprobt und trotzdem gibt es immer noch wenige solche Anlagen u.a. auch weil sie genehmigungstechnisch eher schwierig einzuschätzen sind. In Zukunft dürfte die Zahl solcher PV-Systeme zunehmen, weil ein erheblicher Teil der Kosten für die Unterkonstruktion der Anlage bereits durch die Lärmschutzmauer selber gedeckt ist (Fundamente, Aufständering). Darüber hinaus können Schallschutzmauern in einigen Fällen bifazial ausgelegt werden, was den Energieertrag relativ zu monofazialen Systemen stark erhöhen kann. Grundsätzlich sollten Lärmschutzwände eine absorbierende Oberfläche haben, was bei Solarmodulen nicht der Fall ist. Möglichkeiten würden jedoch bestehen, wenn die stromproduzierende Seite strassenabgewandt ist oder die Seite zur Strasse hin mit einer absorbierenden Oberfläche versehen wird. Eine andere Lösung wäre die Anordnung in einer horizontalen Zickzack-Struktur, um den Lärmschutz zu gewährleisten.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Bekannteste und älteste Anlage in der Schweiz steht seit 1989 entlang der Autobahn bei Domat Ems (103 kWp). Einige Installationen in den 90er Jahren, wobei verschiedene Anordnungen ausprobiert wurden.</p>	
	

Tab. 7 PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern

<sup>9</sup> Quelle: TNC Consulting AG: «Auswertung der Langzeit-Betriebserfahrung der PV-Lärmschutz-Anlage A13 1989-2017», Schlussbericht, 18. Februar 2019

<sup>10</sup> Quelle: Ernst Basler+Partner: «Photovoltaikanlagen auf Lärmschutzwänden – Potenzial im Kanton Zürich»

## PV-Systeme als Strassenbelag

Beschreibung	
<p>Auf oder in bestehende Strassen werden Solarmodule eingearbeitet. Der Strassenbelag besteht aus drei verschiedenen Schichten: Zunächst gibt es unten eine dämmende und isolierende Schicht, darüber folgt dann das eigentlich Solarmodul und zuoberst versiegelt ein transparenter Belag die Strasse.</p>	
	
<p>Solar-Radweg in Deutschland (Bild: Solmove)</p>	
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend <input type="checkbox"/> In Planung	
<input type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen <input type="checkbox"/> In der Schweiz <input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern      Frankreich, Deutschland	
Kosten	
Investition	13'100 CHF/kWp 5 Mio. Euro für 1 km (oder 2'800 m <sup>2</sup> ) Solarstrasse mit 420 kWp in Frankreich <sup>11</sup>
Wartung	Hoher Reinigungsaufwand und v. a. hoher Reparatur- und Erneuerungsaufwand (Schätzungen aus Pilotprojekten gehen von viermal höheren Kosten aus, um eine Solarstrasse zu ersetzen verglichen mit dem Ersatz einer Asphaltstrasse).
Gestehungskosten	Ca. 19 CHF/kWh (Solarstrasse in Frankreich) <sup>12</sup>
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Doppelnutzung der Strasse als Transportinfrastruktur und Energieerzeugung</li> <li>_ Zukünftige Möglichkeit des Wireless Charging, d. h. kabellose Energieaufladung für Autos</li> <li>_ Möglichkeit zur Erwärmung der Strasse im Winter, um Schnee/Eis zu schmelzen</li> <li>_ Möglichkeit zur Einbindung von Beleuchtung/Signalisationen in den Strassenbelag</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Asphaltierter Untergrund ist ungünstig, da er zu wenig stabil ist. Betonuntergrund wäre vorzuziehen, ist aber in der Schweiz nicht Standard</li> <li>_ Hoher Verschmutzungsgrad</li> <li>_ Ausrichtung der Solarmodule nur horizontal möglich resp. entlang der Strassensteigung</li> <li>_ Keine langjährigen Erfahrungen vorhanden (Prototypstadium)</li> </ul>
Expertenmeinung	
<p>Es bestehen erste Pilotprojekte sowohl bei Autostrassen als auch Radwegen, aber noch keine Langzeiterfahrungen. Das Potenzial bei Autostrassen dürfte wegen der hohen Kosten und der Schadenanfälligkeit sehr gering sein. Bei Solarradwegen, die in den Niederlanden und in Deutschland schon existieren, besteht langfristig durchaus ein Potenzial, auch wenn aktuell bei einigen Projekten noch technische Schwierigkeiten auftreten.</p>	
Sonstige Bemerkungen	
<p>Solche Systeme existieren erst als Pilotprojekte. Tests an einer Solarstrasse in der Normandie in Frankreich haben gemäss mehreren Medienberichten gezeigt, dass der 2016 installierte Strassenbelag aus Solarmodulen anfällig für Defekte und lauter als ursprünglich gedacht ist. Auch soll die Energieausbeute nicht den Erwartungen entsprochen haben.</p> <p>2018 ist eine Solarautobahn in China in Betrieb genommen worden, welche auf betoniertem Untergrund gebaut wurde und demnach stabiler sein soll.</p>	

Tab. 8 PV-Systeme als Strassenbelag

<sup>11</sup> <https://www.extremetech.com>

<sup>12</sup> <https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-roadways-are-expensive-and-inefficient>

**Solarzaun / Solarbrüstung**

Beschreibung	
Installation von vertikal aufgeständerten bifazialen Solarmodulen in eine Zaunstruktur. Es sind verschiedene Höhen (1.2-3 m) auf dem Markt. Nebst Zaunsystemen gibt es Anwendungen als gestalterisches Trennelement oder Agro-PV Systeme. Systeme für Geländer-/Brüstungssysteme müssen erhöhte Sicherheitsanforderungen erfüllen.	 <p style="text-align: center;"><i>Solarzaun (Bild: Basler &amp; Hofmann AG)</i></p>
Projekte	
<input checked="" type="checkbox"/> Bestehend	<input checked="" type="checkbox"/> In Planung
<input checked="" type="checkbox"/> Im Kanton Schaffhausen	<input type="checkbox"/> In der Schweiz Weinfelden
<input checked="" type="checkbox"/> In umliegenden Ländern	<input type="checkbox"/> Österreich, Deutschland
Kosten	
Investition	1'200–4'000 CHF/kWp (abhängig von Projektgrösse und Gestaltungsvorgaben)
Wartung	Einfach. Wenig Verschmutzung da vertikale Module und gute Zugänglichkeit
Gestehungskosten	9-15 Rp. /kWh
Beurteilung	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Keine Flächenkonkurrenz</li> <li>_ Doppelnutzen Zaun/Energieproduktion</li> <li>_ Produktionsprofil dank der Bifazialität der Module vorteilhaft für öffentliches Stromnetz (Tages- und Jahresverteilung; Winterstrom)</li> <li>_ Viele Anwendungsmöglichkeiten (Zaun, Brüstung, Gestaltungselement, Sichtschutz, Agro-PV)</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Exponiert gegenüber Vandalismus und Diebstahl</li> <li>_ Brüstungs-/Geländer-Systeme: höhere Anforderungen, was sie teurer macht</li> </ul>
Expertenmeinung	
Die Technik ist prinzipiell ausgereift. Die Implementierung (z. B. Unterkonstruktion, Pfähle, Fundament, Bereich Boden-Unterkante Modul) muss teilweise noch entwickelt resp. individuell angepasst werden. Gemessen am gesamten PV-Markt stellen solche Systeme eine Nischenanwendung mit Potenzial dar.	
Sonstige Bemerkungen	
Je nach Gestaltungswünschen (Farbe, Integration, Sicherheit) variieren die Kosten pro kWp stark. Die Kosten sind zudem stark grössenabhängig	

**Tab. 9 Solarzaun / Solarbrüstung**

### 3. Machbarkeit von Solarstromanlagen für verschiedene Infrastrukturanlagen

#### 3.1 Methodik

##### 3.1.1 Machbarkeitsaspekte

In einem zweiten Schritt werden für alle betrachteten Infrastrukturanlagen die wichtigsten Machbarkeitsaspekte und Herausforderungen zusammengestellt:

- \_ Rechtliche Machbarkeit: Genehmigungstechnische Anforderungen an den Standort; rechtliche Hemmnisse, aber insbesondere Wege zur Realisierung, Bewilligung
- \_ Technische Machbarkeit: Anforderungen an den Standort, Voraussetzungen für Installation und Betrieb
- \_ Wirtschaftliche Machbarkeit: grober Vergleich von Kosten und Erträgen mit einem kurzen Exkurs hinsichtlich dem zukünftigen Fördersystem (Auktionierung)

##### 3.1.2 Infrastrukturanlagen

Es werden die folgenden im Kanton Schaffhausen präsenten Infrastrukturanlagen betrachtet:

- \_ Verkehrsinfrastruktur:
  - \_ Nationalstrassen
  - \_ Kantonsstrassen
  - \_ Bahntrasse
  - \_ Kunstbauten (Lärmschutzwände, Brücken, Tunnel, Galerien, Stützmauern)
  - \_ Parkplätze
- \_ Energieversorgung/Stromversorgung:
  - \_ Kraftwerke
  - \_ Unterwerke (Aussenbereiche)
- \_ Entsorgung:
  - \_ Abwasserreinigungsanlagen ARA
  - \_ Deponien
  - \_ Abbaugelände

Folgende denkbare weitere Infrastrukturobjekte wurden nicht in die Analyse miteinbezogen:

- \_ Reservoir, Trinkwasserpumpwerke, Bewässerungsbauten
- \_ PV an Strommasten
- \_ PV an Staumauern (keine relevanten im Kanton Schaffhausen vorhanden)
- \_ PV entlang von Gemeindestrassen

##### 3.1.3 Synthese

Als Synthese erfolgt eine Priorisierung aufgrund der rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Beurteilung der Potenziale, dargestellt in Form einer Resultatmatrix. Zudem werden potentielle Herausforderungen bei den Rahmenbedingungen aufgezeigt und mögliche Massnahmen/Vorschläge/Lösungswege skizziert. Bei allen Vorschlägen wird immer auch die wirtschaftliche Seite im Blick behalten (Welche Voraussetzungen für einen wirtschaftlichen Betrieb müssten gegeben sein?). Hinsichtlich der Kosten des

Netzanschlusses – welche standortspezifisch sehr stark variieren können - erfolgt vorwiegend eine qualitative Betrachtung.

### 3.1.4 Informationsquellen

Für die Informationsbeschaffung werden nebst den unter Kapitel 2. abgefragten Auskünften der Experten weitere Quellen erschlossen, die zu den Eigenheiten von einzelnen Anlagentypen Bescheid geben. Die folgende Auswahl der Experten wurde vorgängig mit dem Auftraggeber abgestimmt:

- \_ Dino Giuliani, Kantonsingenieur Kanton Schaffhausen
- \_ Rechtsdienst DBU Kanton Thurgau
- \_ Elektrizitätswerk des Kantons Schaffhausen AG (EKS)
- \_ Jérôme Jacky, Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strasseninfrastruktur Ost
- \_ Matthias Rücker, Leiter Energieeffizienz, SBB AG.

## 3.2 Rechtliche Machbarkeit

### 3.2.1 Raumplanungsgesetz RPG

Gemäss dem Wortlaut von Art. 18a Abs. 1 RPG sind Solaranlagen nur bewilligungsfrei, wenn sie auf Dächern erstellt werden. Vorausgesetzt ist damit stillschweigend, dass ein körperlicher Zusammenhang zu einer Hauptbaute bzw. zu einem Gebäude besteht. Von Art. 18a Abs. 1 RPG nicht erfasst sind somit freistehende Solaranlagen, wie zum Beispiel im Garten aufgeständerte Anlagen (vgl. Urteil BGer 1C\_391/2010 vom 19. Januar 2011, E. 3). Dasselbe gilt für Solaranlagen auf Bauten und Anlagen, die von ihrer Art her keine Bedachung aufweisen, wie zum Beispiel Lärmschutzwände oder Zäune (vgl. CHRISTOPH JÄGER, Praxiskommentar zum Bundesgesetz über die Raumplanung: Baubewilligung, Rechtsschutz und Verfahren, Zürich 2020, Art. 18a N 17; Urteil BGer 1C\_99/2017 vom 20. Juni 2017, E. 3.2).

### 3.2.2 Kantonales Baugesetz

Gemäss Art. 54 Abs. 4 Baugesetz benötigen genügend angepasste Solaranlagen auf Dächern in der Bau- und Landwirtschaftszone keine Baubewilligung. Solaranlagen, die an der Fassade oder als Brüstungen angebracht werden, fallen nicht unter den bewilligungsfreien Tatbestand. Anlagen, die keine Baubewilligung benötigen, müssen der zuständigen kommunalen Baubehörde der Standortgemeinde gemeldet werden.

Bei der Planung der folgenden Solaranlagen ist eine Baubewilligung einzuholen:

- \_ Anlagen auf Freiflächen
- \_ Anlagen an Fassaden
- \_ Anlagen in Ortsbildschutzzonen
- \_ Anlagen auf wertvollen, denkmalgeschützten oder inventarisierten Gebäuden.

Die Gemeinden können gemäss Art. 54 Abs. 4 Baugesetz für Solaranlagen bestimmte, ästhetisch wenig empfindliche Typen von Bauzonen festlegen, in denen auch Solaranlagen, die nicht auf Dächern angebracht werden, ohne Baubewilligung erstellt werden können. Grundsätzlich gehen die Interessen an der Nutzung der Solarenergie auf bestehenden oder neuen Bauten den ästhetischen Anliegen vor.

Zu den Bauzonen gehören die Zonen:

- \_ Wohnzonen
- \_ Arbeitszonen
- \_ Mischzonen (Wohn- und Arbeitszonen)
- \_ Zentrumszonen
- \_ Zonen für öffentliche Bauten und Anlagen
- \_ Eingeschränkte Bauzonen (Grünzone, Reitzzone)
- \_ Tourismus- und Freizeitzone (Hotelzone, Campingzone)
- \_ Verkehrszonen (Strassenzone, Bahnzone, Flugplatzzone)

Verkehrsflächen des Nichtbaugebietes (Strassen-, Bahn- und Flugplatzareal) gehören zu den weiteren Zonen. Materialabbau- und Deponiezonen gehören ebenfalls zu den weiteren Zonen gemäss Art. 18 Abs. 1 RPG.

Als Landwirtschaftszonen gelten die allgemeine Landwirtschaftszone, die Speziallandwirtschaftszone sowie die Rebbauzone.

### 3.3 Technische und wirtschaftliche Machbarkeit

Technische und wirtschaftliche Machbarkeitskriterien sind oft miteinander verflochten und nicht strikt voneinander zu trennen. So ist technisch sehr vieles möglich, aber oft zu Kosten, welche keinen wirtschaftlichen Betrieb der Solarstromanlage zulassen. Dies gilt sowohl für private als auch öffentliche Solarstromproduzenten (z. B. Elektrizitätswerke), wobei bei Letzteren die Wirtschaftlichkeit einer Anlage eher gegeben sein kann, wenn eine Mischrechnung mit anderen Kraftwerken erfolgt. Die folgenden Kriterien sind massgebend bei der Machbarkeitsbeurteilung von PV-Anlagen auf Infrastrukturanlagen (TNC Consulting AG, 2012):

- \_ **Material:** Das Material der Infrastruktur beeinflusst die möglichen Arten der mechanischen Verbindung zwischen Solarstromanlagen und Infrastruktur.
- \_ **Statik:** Eine Solarstromanlage (PV-Module und Unterkonstruktion) bringt zusätzliche Last und Kräfte auf/an die Infrastruktur. Die Statik der Infrastruktur gibt die entsprechenden Randbedingungen vor. Verstärkende Massnahmen sind grundsätzlich möglich, aber sehr aufwändig und teuer.
- \_ **Zustand / Zukunft der Infrastruktur:** Der Zustand ist für die zeitliche Achse der Umsetzung der Solarstromanlagen bedeutend. Eine PV Anlage hat eine erwartete Lebensdauer von 25 bis 30 Jahren. Kann der Bau der Solarstromanlage mit baulichen Massnahmen an der Infrastruktur kombiniert werden, ergeben sich Synergieeffekte in den Bereichen der Planung und der Umsetzung, insbesondere zum Beispiel bei Baustelleneinrichtungen. Wird die Infrastruktur gar erneuert, können auch integrierte Solarstromanlagen geprüft werden. Wird die Infrastruktur(baute) absehbar geändert oder gar nicht mehr verwendet, stellen sich Fragen, ob die PV Installation kompatibel ist mit dem Folgezustand resp. der Folgenutzung. Ausbaupläne können ebenfalls dazu führen, dass heute vorhandene Flächen in absehbarer Zeit nicht mehr zur Verfügung stehen.
- \_ **Wechselrichterstandort:** Kleinwechselrichter haben den Vorteil, dass sie sich für modulare Anlagen gut einsetzen lassen. Da jedoch eine grosse Wahrscheinlichkeit vorhanden ist, dass einmal ein Wechselrichter ausfällt, sollen sie nur dort eingesetzt

werden, wo sie einerseits geschützt (Diebstahl / Wetter) und andererseits gut zugänglich sind. Dieser Widerspruch ist nicht immer einfach zu lösen. Grossinverter erfordern demgegenüber eine eigene Inverter-Kabine. Der Wechselrichterstandort ist nach Möglichkeit so zu wählen, dass bei Wartungsarbeiten ein guter Zugang und kurze Leitungswege gewährleistet sind. Es sollten kurze Leitungswege zwischen Solarstromanlage, Wechselrichter und Einspeisepunkt angestrebt werden.

- Mögliche Einspeisepunkte: Der von den Solarmodulen produzierte Gleichstrom wird durch die Wechselrichter in netzkonformen Wechselstrom umgewandelt. Dieser kann ins lokale Stromnetz des EVU eingespeist und so zu den Verbrauchern transportiert werden. Eine entsprechende Erschliessung durch ein vorhandenes Stromnetz, welches die produzierte Leistung der Solarstromanlage aufnehmen kann, ist von Vorteil. Ist dies nicht der Fall, sind aufwendige Erschliessungs- oder Netzverstärkungsmassnahmen notwendig. Der Standort der Einspeisepunkte beeinflusst die Leitungslänge und damit die Verluste sowie die Kosten für die Erschliessung.
- Sicherheit / Blendwirkung: Die Blendwirkung der Solarstromanlage ist durch die geometrischen Verhältnisse der Solarstromanlage und der Anwohner respektive der Verkehrsteilnehmer gegeben. Die Sicherheit auf den Strassen darf nicht durch eine Blendwirkung der Solarstromanlage gefährdet werden. Dies kann zu Einschränkungen in der anwendbaren Geometrie der Solarstromanlage führen. Eine mögliche Blendwirkung kann mit einer Neigungswinkelanpassung oder mit einer absorbierenden Beschichtung reduziert werden.
- Rückbaubarkeit: Nach der Lebensdauer einer PV Anlage soll die Rückbaubarkeit gewährleistet sein, ohne die Infrastruktur zu beschädigen.
- Grösse der Solarstromanlage: Die Frage der möglichen Grösse der Solarstromanlage beeinflusst deren Wirtschaftlichkeit. Durch eine rationalisierte Planung, Einkauf und Montage einer Anlage sind der ökonomische Reiz und möglicher Energieertrag bei grösseren Anlagen interessanter. Installations- und Erschliessungskosten steigen nicht proportional mit der Anlagengrösse und können bei kleinen Anlagen einen unverhältnismässig hohen Anteil der Gesamtkosten ausmachen.
- Orientierung / Ausrichtung: Am höchsten ist der Ertrag einer Solarstromanlage, wenn die Sonnenstrahlen in einem Winkel von 90 Grad auf die Module treffen, also exakt senkrecht. Da der Sonnenstand im Tagesverlauf variiert, kann der Einstrahlwinkel bei festen Modulen jedoch nicht zu jeder Zeit optimal sein. Es hat sich aber gezeigt, dass in der Jahressumme (also über die Jahreszeiten und Tagesverläufe hinweg) ein Neigungswinkel der nach Süden ausgerichteten Solarmodule von 25-40 Grad in der Schweiz als optimal angesehen werden kann. Von der Orientierung und Ausrichtung unabhängiger sind bifaziale Solarmodule, welche die Sonneneinstrahlung sowohl mit der Front- als auch der Rückseite nutzen können. Zudem können diese Module die vom Boden und der Umgebung reflektierte Sonnenstrahlung besser nutzen.
- Verschattung: Die lokale Umgebung hat einen erheblichen Einfluss auf eine Solarstromanlage. Vegetation oder Infrastruktur in direkter Umgebung kann zu einer Verschattung der Solarstromanlage führen. Damit ist ein Minderertrag in Kauf zu nehmen, welcher je nach Ausmass die Wirtschaftlichkeit der Solarstromanlage in Frage stellt. Nicht bewirtschaftete Vegetation kann ausserdem auch zu Schäden an den Installationen führen. Je nach Art der Vegetation kann sich der Unterhaltsaufwand deutlich erhöhen.

### 3.4 Sichtbarkeit und Akzeptanz von Solarstromanlagen

Nebst der rechtlichen und technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit spielt die Sichtbarkeit oder Eingliederung einer Solarstromanlage in die Umgebung für deren Umsetzung eine wichtige Rolle. Die Sichtbarkeit einer Solarstromanlage ist durch die geometrischen Verhältnisse der Solarstromanlage und der Anwohner/Betrachter gegeben. Aspekte des Landschafts- und Ortsbildschutzes sollten bei der Wahl möglicher Standorte in Betracht gezogen werden. Die Sichtbarkeit der Solarstromanlage kann auch die Akzeptanz einer Solarstromanlage bei den Anwohnern beeinflussen.

### 3.5 Exkurs: Fördersystem

Für Photovoltaikanlagen (angebaut und freistehend) gilt aktuell die Regelung der Energieförderungsverordnung EnFV, welche seit dem 1. Januar 2018 in Kraft ist (Stand 01.01.2021). Es wird unterschieden in Anlagen <30 kWp, < 100 kWp und  $\geq 100$  kWp. Diese haben Anspruch auf unterschiedlich hohe Vergütungen:

Inbetriebnahme	Grundbeitrag [CHF]	Leistungsbeitrag [CHF/kWp]		
		<30 kWp	<100 kWp	$\geq 100$ kWp
ab 1.4.2021	700	380	290	290
1.4.2020-31.3.2021	1'000	340	300	300

**Tab. 10 Aktuelle Vergütungssätze PV-Anlagen Schweiz**

Quelle: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/766/de>

Für Anlagen mit einer Leistung von  $\geq 30$  kW wird der Leistungsbeitrag anteilmässig über die Leistungsklassen berechnet.

Mit der Revision des Energiegesetzes wird im Solarbereich der Wettbewerb verstärkt. Die fixen Einmalvergütungen für grosse Photovoltaikanlagen werden durch Ausschreibungen (Auktionen) ersetzt. Dabei erhält jener Produzent den Zuschlag, der eine bestimmte Menge Solarenergie am günstigsten produzieren kann. Damit wird die Förderung effizienter. Der angebotene Fördersatz pro Kilowatt Leistung ist das Hauptzuschlagskriterium, der Bundesrat kann aber weitere Kriterien festlegen. Der Bundesrat kann ebenfalls separate Auktionen für Anlagen mit und ohne Eigenverbrauch einführen. Für die Auktionen sollen baureife, aber noch nicht realisierte Projekte an einem spezifischen Standort angeboten werden können.

Auf kantonaler Ebene bekommen Solarstromanlagen auf Dachflächen oder anderweitig bebauten Flächen ohne Eigenverbrauch >60 kWp eine Zusatzförderung, wenn sie mind. 80% des produzierten Stroms ins öffentliche Netz einspeisen. Die Höhe der Förderung beträgt 100 CHF/kWp und 50% der Anschluss- und Erschliessungskosten ans öffentliche Netz, gesamthaft jedoch max. 30'000 CHF pro Anlage.

### 3.6 Machbarkeitsbeurteilung der Infrastrukturanlagen

Auf den folgenden Seiten werden die verschiedenen Infrastrukturanlagen hinsichtlich der erläuterten Machbarkeitsaspekte beurteilt.

**Verkehr: Nationalstrassen (ohne Kunstbauten)**

Beschreibung					
<p>Installationen von PV-Systemen sind entlang der Nationalstrassen, über den Strassen oder an Bauwerken der Nationalstrassen denkbar. Theoretisch mögliche Anwendungen können sein: Nutzung des Strassenbelags, Überdachung der Fahrbahn, Einzäunung, Nutzung von Böschungen oder Mittelstreifentrennung. Solarstromanlagen an Bauwerken/Mauern oder an Lärmschutzwänden werden bei den Kunstbauten behandelt. Die einzige Nationalstrasse im Kanton Schaffhausen ist die N4 zwischen Schaffhausen und der Zollstelle Thayngen. Es handelt sich um eine Autostrasse 2. Klasse mit einer Länge von 10.6 km (Netzlänge).</p>					
Einsetzbare PV-Technologie					
<input checked="" type="checkbox"/>	Klassische Freilandssysteme	<input type="checkbox"/>	Wand-Systeme		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input checked="" type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern		
<input checked="" type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag		
<input checked="" type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung		
<input checked="" type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme				
Machbarkeit					
Rechtlich	Zonenbezeichnung:				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>_ Baugebiet: Verkehrs- und übrige Flächen (Strassenzone)</li> <li>_ Nichtbaugebiet Verkehrs- und übrige Flächen (Strassenareal)</li> </ul>				
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Gemäss Art. 22 des Bundesgesetzes über die Nationalstrassen (NSG; SR 725.11) sind in den Ausführungsprojekten beidseits der projektierten Strasse Baulinien festzulegen. Zwischen den Baulinien dürfen ohne Bewilligung weder Neubauten noch Umbauten vorgenommen werden, auch wenn diese von der Baulinie nur angeschnitten werden (Art. 23 Abs. 1 NSG). Bauliche Massnahmen innerhalb der Baulinie sind unter Vorbehalt strengerer Bestimmungen des kantonalen Rechts zu bewilligen, wenn die gemäss Art. 22 NSG zu wahren öffentlichen Interessen nicht verletzt werden (Art. 24 Abs. 1 NSG). Über Baugesuche entscheiden die von den Kantonen bezeichneten Behörden. Die kantonale Behörde hört vor der Erteilung der Baubewilligung das Bundesamt (ASTRA) an (Art. 24 Abs. 2 NSG).</p>					
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Systeme entlang von Nationalstrassen müssen viele Rahmenbedingungen erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sicherheitsaspekte (Blendung, Folgen bei Unfall/ Kollision mit System)</li> <li>_ Unterhaltsfragen (Zugänglichkeit ohne Behinderung des Verkehrs, spezifische Sicherheitsanforderungen sind zu berücksichtigen)</li> </ul> <p>Entlang von Nationalstrassen ist der Infrastrukturausbau meistens gut, da die Stromversorgung auch für die Strasseninfrastruktur notwendig ist.<sup>13</sup></p> <p><u>Klassische Freilandanlagen an Böschungen:</u> Böschungen eignen sich je nach Ausrichtung gut für PV-Systeme. Allerdings wird deren Realisierung in Fahrbahnnähe durch die erwähnten hohen sicherheitstechnischen Anforderungen erschwert. Fahrbahnfernere Anlagen dürften leichter zu realisieren sein.</p> <p><u>PV-Systeme über der Fahrbahn (fahrbahnnah):</u> Hier kommen Anforderungen hinzu bezüglich Schnee- / Dachlawinen, Stabilität bei Extremwetterlagen, Lichtdurchlässigkeit, Lichtraumprofil, Unterhaltsarbeiten über der Fahrbahn etc. Zudem erzeugt der vorbeifahrende Verkehr eine permanente Windlast, was zu Schwingungen an der Solarstromanlage führen kann. Gemäss ASTRA sind Autobahnüberdachungen mit PV-Systemen (fix installierte wie auch flexible) und Solarstromanlagen auf Strassenböschungen nicht pauschal auszuschliessen. Grundsätzlich gilt, dass die Grundstücke sowie Kunstbauten und «Inventarobjekte» in erster Linie den Nationalstrasseninteressen dienen. Erst wenn keine Nationalstrasseninteressen dagegensprechen oder diese von untergeordneter Rolle sind, können auch Drittinteressen ermöglicht werden.<sup>14</sup></p> <p>Überdachungen der Fahrbahn von Nationalstrassen mittels Faltdachanlage sind gemäss dem Hersteller von Faltdachanlagen aus genannten Gründen (Anforderungen Verkehrssicherheit und Unterhalt) wirtschaftlich nicht interessant, was wohl auch auf Schiebedachanlagen und an Kabel fixierte Systeme zutreffen wird.<sup>15</sup></p>				

<sup>13</sup> Quelle: (TNC Consulting AG, 2012)<sup>14</sup> Quelle: Jérôme Jacky, Beauftragter Information & Kommunikation, Bundesamt für Strassen ASTRA<sup>15</sup> Quelle: Andreas Hügli, Geschäftsführender Partner, dhp technology AG

	<p><u>PV-System als Strassenbelag (fahrbahnnah)</u>: Aufgrund der negativen Erfahrungen in umliegenden Ländern ist von im Strassenbelag integrierten PV-Systemen zurzeit kein Potenzial zu erwarten.</p> <p><u>Solarzaun</u>:</p> <p>Fahrbahnnah: Auch bei Systemen in der Nähe von oder zwischen Fahrbahnen sind hohe Anforderungen zu erwarten hinsichtlich Blendung, Folgen bei Unfall/ Kollision mit System, Zugang für Rettungskräfte, Beeinträchtigung der Sichtfelder, Unterhaltsarbeiten, Verschmutzung, Netzanbindung.</p> <p>Fahrbahnfern: Etwas zurückgesetzt von der Fahrbahn befindet sich meistens eine Umzäunung, welche den einfachen Personenzutritt resp. ein Eindringen von Wildtieren zum Fahrbahnbereich verhindern sollen. Ein Einsatz von Solarzäunen wäre von der technischen und sicherheitstechnischen Beurteilung her an Standorten, wo Leitplanken vor Aufprall schützen, einfacher zu bewerkstelligen.</p>
Sichtbarkeit / Akzeptanz	Je nach Lage im Gelände und möglichen Sichthindernissen im Umfeld (z.B. Wald) ist eine Solarstromanlage mehr oder weniger in der Landschaft sichtbar, was eine Interessenabwägung mit dem Landschaftsschutz voraussetzt. Allerdings ist die Landschaft allein durch die Autobahn bereits stark vorbelastet.
<b>Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)</b>	
<p>Grundsätzlich bieten Nationalstrassen ein grosses Potenzial zur Realisierung von Photovoltaik. Zum einen lassen sich Anlagen in Kombination mit Lärmschutzwänden realisieren (siehe Kunstbauten). Zum anderen könnte zukünftig auch mit Fahrbahnüberdachungen die Fläche doppelt nutzbar gemacht werden. Im letzteren Fall sind die Anforderungen in Bezug auf Sicherheit hoch. Die Kosten für die Unterkonstruktion sind für diesen Fall sehr wesentlich. Falls an der Nationalstrasse Stromleitungen geführt werden und sich daher kostengünstig eine Stromeinspeisung realisieren lässt, dann kann dies ein Punkt für die Realisierung solcher Systeme sein. Insbesondere an Autobahnraststätten ist die Anbringung von Photovoltaik günstig. Zum einen hat man bereits Möglichkeiten für die Anbringung von Photovoltaik, die Raststätten benötigen in der Regel viel Strom und die Einspeisung ist kostengünstig realisierbar. Auch Autobahnabschnitte in Siedlungsgebieten können ein vielversprechendes Potenzial bieten, so z.B. in der Stadt Schaffhausen.</p>	
<b>Sonstige Bemerkungen</b>	
<p>Das Bundesamt für Strassen ASTRA überprüft aktuell selbst das Potenzial von Solarstromanlagen auf der vorhandenen Infrastruktur. Es können deshalb von Seiten des ASTRA keine weiterführenden Informationen abgegeben werden.</p> <p>Aktuell werden in Deutschland und Österreich im Rahmen von Pilot- und Forschungsprojekten Überdachungen der Fahrbahn mit PV untersucht.</p>	

Tab. 11 Verkehr: Nationalstrassen (ohne Kunstbauten)

**Verkehr: Kantonsstrassen (ohne Kunstbauten)**

Beschreibung					
<p>Installationen von PV sind entlang der Kantonsstrassen, über den Strassen oder an Bauwerken der Kantonsstrassen denkbar. Theoretisch mögliche Anwendungen können sein: Nutzung des Strassenbelags, Überdachung der Fahrbahn, Einzäunung, Nutzung von Böschungen. Solarstromanlagen an Bauwerken/Mauern oder an Lärmschutzwänden werden bei den Kunstbauten behandelt. Das Kantonsstrassennetz im Kanton Schaffhausen ist 232 km lang (Fahrbahnlänge).</p>					
Einsetzbare PV-Technologie					
<input checked="" type="checkbox"/>	Klassische Freilandsysteme	<input type="checkbox"/>	Wand-Systeme		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input checked="" type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern		
<input checked="" type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag		
<input checked="" type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung		
<input checked="" type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme				
Machbarkeit					
Rechtlich	Zonenbezeichnung: _ Baugebiet: Verkehrs- und übrige Flächen (Strassenzone) _ Nichtbaugebiet Verkehrs- und übrige Flächen (Strassenareal)				
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/>
<p>Für Bauten und Anlagen auf öffentlichen Strassen und Wegen des Kantons gelten die besonderen Vorschriften des Strassengesetzes (725.100). Strassen sind alle Strassenverkehrsanlagen für den fliessenden und ruhenden, privaten und öffentlichen Verkehr. Als Strassen gelten auch Plätze und Wege namentlich Rad-, Geh-, Reit- und Wanderwege. Zur Strasse gehören u.a. auch Bankette, Böschungen, Mittelstreifen, Trennstreifen, Verkehrsinseln, Standspuren, Abbiegespuren, Parkspuren, Radstreifen, Busnischen, Trottoirs, Brücken, Stützmauern, Leitplanken, Leitzäune, Wegweisung, Unter- und Überführungen (Art. 2 und 3 Strassengesetz).</p> <p>Langfristige Benützungen, namentlich die Errichtung dauernder Bauten und Anlagen mit erheblichem Aufwand, werden in der Form der Verleihung bewilligt (Art. 16 Abs. 2 Strassengesetz). Sie dürfen weder die Strasse noch den Strassenverkehr unverhältnismässig beeinträchtigen (Art. 17 Strassengesetz).</p>					
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Systeme entlang von Kantonsstrassen müssen viele Rahmenbedingungen erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>_ Sicherheitsaspekte (Blendung, Folgen bei Unfall/ Kollision mit System)</li> <li>_ Unterhaltsfragen (Zugänglichkeit ohne Behinderung des Verkehrs)</li> </ul> <p>Bei Anlagen über der Fahrbahn kommen Anforderungen hinzu bezüglich Schnee- / Dachlawinen, Stabilität bei Extremwetterlagen, Lichtdurchlässigkeit, Lichtraumprofil, Unterhaltsarbeiten über der Fahrbahn etc. Zudem erzeugt der vorbeifahrende Schnellverkehr (50-80 km/h) eine permanente Windlast, was zu Schwingungen der Solarstromanlage (falls an Seilen montiert) führen kann.</p> <p><u>Überdachungen der Fahrbahn</u> von Kantonsstrassen ausserorts (Schnellverkehr bis 80 km/h) mittels Faltdachanlage sind gemäss dem Hersteller von Faltdachanlagen aus genannten Gründen (Anforderungen Verkehrssicherheit und Unterhalt) wirtschaftlich nicht interessant, was wohl auch auf Schiebedachanlagen und an Kabel fixierte Systeme zutreffen wird. Bei Strassen mit Innerortsverkehr (&lt;50 km/h) sieht der Hersteller jedoch durchaus Potenzial, da die Beanspruchung der Technik und wohl auch die Sicherheitsanforderungen tiefer sind.<sup>16</sup></p> <p><u>PV-System als Strassenbelag</u>: Aufgrund der negativen Erfahrungen in umliegenden Ländern ist von im Strassenbelag integrierten PV-Systemen zurzeit kein Potenzial zu erwarten.</p> <p><u>Solarzaun</u>: Bei Systemen in der Nähe von Fahrbahnen sind hohe Anforderungen zu erwarten hinsichtlich Blendung, Folgen bei Unfall/ Kollision mit System, Zugang für Rettungskräfte, Beeinträchtigung der Sichtfelder, Unterhaltsarbeiten, Verschmutzung, Netzanbindung.</p>				
Sichtbarkeit / Akzeptanz	<p>Je nach Lage im Gelände und möglichen Sichthindernissen im Umfeld (z.B. Wald) ist eine Solarstromanlage mehr oder weniger in der Landschaft sichtbar, was eine Interessenabwägung mit dem Landschaftsschutz voraussetzt. Allerdings ist die Landschaft allein durch die Strasse bereits stark vorbelastet.</p>				

<sup>16</sup> Quelle: Andreas Hügli, Geschäftsführender Partner, dhp technology AG

<b>Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4. )</b>
<p>Bei Kantonsstrassen gilt sinngemäss das gleiche wie für Nationalstrassen. Unter Berücksichtigung, dass Kantonsstrassen vermutlich häufiger Bauarbeiten unterzogen werden, sind PV-Systeme hier generell skeptischer zu betrachten. Nicht fix installierte Systeme wie Falt- oder Schiebedachanlagen haben in besiedelten Gebieten mit Innerortsverkehr &lt;50 km/h jedoch durchaus Potenzial. Darüber steht jedoch die Frage, ob in der Bevölkerung eine Akzeptanz möglich ist, weil die Strasse dann im Orts-/Landschaftsbild deutlicher hervorgehoben wird. Selten werden an Kantonsstrassen Lärmschutzwände angebracht. Letztere stellen aber die naheliegendste Form einer Realisierung von PV an Strassen dar (siehe Kunstbauten). Bei Kantonsstrassen sollte man zunächst Abschnitte in Erwägung ziehen, bei denen ohnehin Infrastruktur und Einspeisepunkte vorhanden sind, welche eine kostengünstige Realisierung ermöglichen.</p>
<b>Sonstige Bemerkungen</b>

Tab. 12 Verkehr: Kantonsstrassen (ohne Kunstbauten)

## Verkehr: Bahntrasse (ohne Kunstbauten)

Beschreibung				
<p>Installationen von PV-Systemen sind entlang der Bahntrassen, über den Bahnlängen im Bahnhofs-/Güterbahnhofsbereich oder an Bauwerken der Bahnen denkbar. Theoretisch mögliche Anwendungen können sein: Überdachung in Bereichen mit vielen parallelen Gleisen, Einzäunung, Nutzung von Böschungen.</p> <p>Solarstromanlagen an Bauwerken/Mauern oder an Lärmschutzwänden werden bei den Kunstbauten behandelt.</p> <p>Gemäss Statistik aus dem Jahre 2018 gibt es im Kanton Schaffhausen rund 37 km Bahnlängen (SBB: 12 km; Deutsche Bahn: 25 km) und 13 Bahnhöfe resp. Haltestellen. In der Stadt Schaffhausen führen die Bahnstrecken durch einige Tunnels, jedoch durch keine, deren Dächer als Tragkonstruktion für PV-Überdachungen dienen könnten.</p>				
Einsetzbare PV-Technologie				
<input checked="" type="checkbox"/>	Klassische Freilandssysteme	<input type="checkbox"/>	Wand-Systeme	
<input checked="" type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input checked="" type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern	
<input checked="" type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag	
<input checked="" type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung	
<input checked="" type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme			
Machbarkeit				
Rechtlich	Zonenbezeichnung: _ Baugebiet: Verkehrs- und übrige Flächen (Bahnzone) _ Nichtbaugebiet Verkehrs- und übrige Flächen (Bahnareal)			
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage
			<input checked="" type="checkbox"/>	Bewilligung nötig
<p>Ob Solaranlagen im Bereich von Bahngrundstücken bewilligungspflichtig sind, entscheidet sich aufgrund ihres Zwecks: Gemäss Art. 18 Abs. 1 des Eisenbahngesetzes (EBG; SR 742.101) dürfen Bauten und Anlagen, <u>die ganz oder überwiegend dem Bau und Betrieb einer Eisenbahn dienen (Eisenbahnanlagen)</u>, nur mit einer Plangenehmigung erstellt oder geändert werden. Als Änderung einer Eisenbahnanlage gilt auch der Einbau bahnfremder Bauten und Anlagen in eine Eisenbahnanlage, sofern diese weiterhin überwiegend dem Bau oder dem Betrieb der Eisenbahn dient (Art. 18 Abs. 1bis EBG). Genehmigungsbehörde ist das BAV (Art. 18 Abs. 2 EBG). Kantonale Bewilligungen und Pläne sind nicht erforderlich. Das kantonale Recht ist zu berücksichtigen, soweit es das Eisenbahnunternehmen in der Erfüllung seiner Aufgaben nicht unverhältnismässig einschränkt (Art. 18 Abs. 3 EBG). Sofern Solaranlagen Teil einer Eisenbahnanlage darstellen, bedürfen sie nach den obigen Ausführungen einer Plangenehmigung durch den Bund.</p> <p>Die Erstellung und Änderung von Bauten und Anlagen, <u>die nicht ganz oder überwiegend dem Eisenbahnbetrieb dienen (Nebenanlagen)</u>, unterstehen dem kantonalen Recht (Art. 18m Abs. 1 Satz 1 EBG). Sie dürfen gemäss Art. 18m Abs. 1 Satz 2 EBG nur mit Zustimmung des Eisenbahnunternehmens bewilligt werden, wenn die Nebenanlage Bahngrundstücke beansprucht oder an solche angrenzt (Bst. a) oder wenn sie die Betriebssicherheit beeinträchtigen könnte (Bst. b). Gemäss Art. 18m Abs. 2 EBG hört die kantonale Behörde das BAV vor der Bewilligung einer Nebenanlage an, auf Antrag einer der Parteien, wenn zwischen Bauherrschaft und Eisenbahnunternehmen keine Einigung erzielt werden kann (Bst. a), wenn die Nebenanlage den künftigen Ausbau der Eisenbahnanlage verunmöglicht oder erheblich erschwert (Bst. b) oder wenn das Baugrundstück von einer eisenbahnrechtlichen Projektierungszone oder Baulinie erfasst ist (Bst. c).</p> <p>Nebenanlagen an <u>Böschungen</u> wie Solaranlagen können demnach bewilligungspflichtig und von der Bahnbetreiberin zustimmungsbedürftig sein, wenn sie sich auf dem Bahngrundstück befinden oder an ein solches angrenzen. Falls eine derartige Solaranlage den künftigen Ausbau einer Eisenbahnanlage verunmöglicht oder erheblich erschwert, ist - abgesehen von den übrigen Fällen in Art. 18m Abs. 2 EBG - zudem das BAV beizuziehen.</p> <p>Die Böschungen, sofern in unmittelbarer Nähe zu den Gleisen, sind meist im Besitz des Bahnbetreibers. Handelt es sich um grössere, breitere Böschungen, kann es von Fall zu Fall auch sein, dass diese nicht im Besitz des Bahnbetreibers sind.<sup>17</sup></p>				

<sup>17</sup> Quelle: Matthias Rücker, Leiter Energieeffizienz, SBB AG

<p>Technisch / Wirtschaftlich</p>	<p>Die Windlast ist sehr hoch, wenn ein Schnellzug an einer <u>Solarstromanlage in Gleisnähe</u> vorbeifährt, d.h. Module und Verankerungen bei fix installierten Systemen müssen sehr stabil sein. Als Einschränkung für Anlagen an Bahngleisen sollten diese in Ein- und Ausfahrten von Bahnhöfen (wegen Verschmutzung durch Flugrost) nur auf der gleisabgewandten Seite mit Südausrichtung angebracht werden oder genügend weit weg sein.<sup>18</sup> Bifaziale Solarzäune entlang von Bahngleisen sollten demnach technisch gut machbar sein.</p> <p>Im Bereich einer <u>Überdachung von Gleisen</u> ist gemäss SBB keine realistische Umsetzbarkeit gegeben, falls die Solarstromanlage direkt das Dach bildet – auch nicht für bewegliche Lösungen. Technisch zwar denkbar, aber sicherheits- und betriebstechnisch (Funkenflug; bei Wartung müsste Fahrleitung vom Strom getrennt werden) mit der Fahrleitung nicht vereinbar. Bei Bahntrassen ohne Oberleitung wäre es eher denkbar, aber da das Netz der SBB zu über 99% elektrifiziert ist, gibt es dort nur ein sehr beschränktes technisches Potenzial.<sup>19</sup> Bahntrassen ohne Oberleitung gibt es hauptsächlich auf Rangierflächen. Wenn ein Blechdach die PV-Anlage von der Fahrleitung trennen würde, müsste die Fahrleitung als Schiene ausgestattet werden und für Wartungsarbeiten der Streckenabschnitt gesperrt werden. Die SBB rechnet deshalb mit einer sehr geringen Umsetzungswahrscheinlichkeit von PV-Anlagen als Überdachung.</p> <p>Strom kann mittels geeigneter Wechselrichter direkt ins Bahnstromnetz eingespeist werden. Das Verlegen von langen Zuleitungen ist somit nicht erforderlich. Noch einfacher ist ein Netzanschluss in der Nähe von Bahnhöfen, da dort mit grosser Wahrscheinlichkeit Standard-Wechselrichter eingesetzt werden können.</p>
<p>Sichtbarkeit / Akzeptanz</p>	<p>Je nach Technologie und Lage im Gelände sowie möglichen Sichthindernissen im Umfeld (z.B. Wald) ist eine Solarstromanlage mehr oder weniger in der Landschaft sichtbar was eine Interessenabwägung mit dem Landschaftsschutz voraussetzt. Die Landschaft ist jedoch bereits durch die Bahnlinie selber vorbelastet.</p>
<p><b>Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)</b></p>	
<p>Klassische Freilandssysteme:                  Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen:                  Faltdachanlagen:                  Schiebedachanlagen:                  An Kabel fixierte Systeme:                  Solarzaun:</p>	<p>Potenzial vorhanden                  Kein Potenzial                  Kein Potenzial                  Kein Potenzial                  Kein Potenzial                  Potenzial vorhanden</p>
<p>Bahntrassen eignen sich gut für Solarstromanlagen, insbesondere in der Umgebung von Bahnhöfen. An Böschungen, als Einzäunung mittels Solarzaun oder an Schallschutzwänden (siehe Kunstbauten) und der Möglichkeit einer Einspeisung des Stroms bieten Bahntrassen eine gute Möglichkeit, Photovoltaiksysteme zu realisieren. Da ein Solarzaun im Unterschied zu PV-Anlagen auf Böschungen unabhängig von der Flächenneigung realisiert werden kann, dürfte sein Potenzial am vielversprechendsten sein.</p>	
<p><b>Sonstige Bemerkungen</b></p>	
<p> </p>	

Tab. 13 Verkehr: Bahntrasse (ohne Kunstbauten)

<sup>18</sup> Quelle: (Amstein & Walthert AG, 2017)

<sup>19</sup> Quelle: Matthias Rücker, Leiter Energieeffizienz, SBB AG

## Verkehr: Kunstbauten

Beschreibung	
<p>Kunstbauten sind Lärmschutzwände, Brücken, Tunnel, Galerien, Stützmauern o.ä. Ein grundsätzliches Potenzial für Solarstromanlagen bieten Brücken und Überführungen sowie Stützmauern. Lärmschutzwände werden hier auch als Kunstbauten behandelt, wobei unterschieden werden muss, ob sie entlang von Nationalstrassen, Kantonsstrassen oder Bahnlinien führen.</p>	
Einsetzbare PV-Technologie	
<input type="checkbox"/> Klassische Freilandsysteme	<input checked="" type="checkbox"/> Wand-Systeme
<input type="checkbox"/> Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input checked="" type="checkbox"/> PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern
<input type="checkbox"/> Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/> PV-Systeme als Strassenbelag
<input type="checkbox"/> Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/> Solarzaun/ -brüstung
<input type="checkbox"/> An Kabel fixierte Systeme	
Machbarkeit	
Rechtlich	<p>Es gelten die Ausführungen in den Steckbriefen zu den Nationalstrassen, Kantonsstrassen oder Bahntrassen</p> <p>Zudem oder zusammenfassend gilt am Bsp. Lärmschutzwände: Wenn PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden von Privaten erstellt werden, kommt klar ein Baubewilligungsverfahren zur Anwendung. Wenn die PV-Anlage auf Lärmschutzwänden der Infrastrukturbetreiber erstellt wird und dabei die Solarmodule Lärmschutzfunktionen erfüllen, kommt klar das Plangenehmigungsverfahren des entsprechenden Infrastrukturgesetzes zur Anwendung. Schwieriger ist die Beurteilung des anwendbaren Verfahrens, wenn PV-Anlagen auf Lärmschutzwänden erstellt werden, ohne Lärmschutzfunktionen zu erfüllen. In diesem Fall hängt das anwendbare Verfahren vom jeweiligen Infrastrukturgesetz ab sowie davon, ob parallel zum Solarprojekt auch ein Lärmschutz-/Infrastrukturbauprojekt realisiert wird <sup>20</sup></p>
Technisch / Wirtschaftlich	<p><u>Kunstbauten entlang von Nationalstrassen:</u> <sup>21</sup></p> <p>Es ist mit hohen Anforderungen hinsichtlich Blendung, Folgen bei Unfall/ Kollision mit System, Unterhaltsarbeiten ohne Behinderung des Verkehrs, Verschmutzung, Netzanbindung zu rechnen. Entlang von Nationalstrassen ist der Infrastrukturausbau jedoch meistens gut, da die Stromversorgung auch für die Strasseninfrastruktur notwendig ist.<sup>22</sup> Zudem werden Schallschutzmassnahmen grösstenteils in direkter Umgebung von bewohnten und damit auch elektrisch erschlossenen Gebieten erstellt.</p> <p><i>Brücken und Stützmauern:</i></p> <p>Solarstromanlagen an Autobahnbrücken und Stützmauern sieht das ASTRA aus den folgenden übergeordneten Überlegungen als nicht/kaum realistisch/möglich: Ausrichtung, Besonnung, Einspeisung ins Netz, Zugänglichkeit, Statik, Sicherheit, Winterdienst, Betrieb und Unterhalt der Nationalstrasse. Dies muss jedoch im Einzelfall betrachtet werden und kann punktuell durchaus sinnvoll sein, wenn genügend Fläche vorhanden ist, die Ausrichtung passt und keine Verschattungshindernisse vorkommen.</p> <p><i>Lärmschutzwände:</i> Aus Sicht des Bundesamts für Strassen ASTRA lohnt sich die Installation von Solarstromanlagen am ehesten auf neu erstellten Lärmschutzwänden. Die Installation auf bestehenden Wänden ist zwar nicht unmöglich, jedoch erschweren mehrere Faktoren den Bau von Solarstromanlagen auf bestehenden Wänden: Bau von bestehenden Wänden in der Regel nicht darauf eingerichtet, weiter müssen die Lebensdauer der bestehenden Lärmschutzwand und der Solarstromanlage aufeinander abgestimmt werden.</p> <p>Die Nationalstrassen im Kanton Schaffhausen gelten in lärmrechtlicher Hinsicht als ersaniert. Das bedeutet, dass das ASTRA bis zu einer nächsten grundlegenden Instandsetzung keine neuen Lärmschutzwände realisiert. Erst bei Instandsetzungsprojekten wird die Lärmsituation erneut geprüft, um festzustellen, ob die Voraussetzungen für neue Lärmschutzmassnahmen bestehen oder ob bestehende Installationen saniert werden müssen.</p> <p>Es ist aber möglich, dass private Hauseigentümerinnen und -eigentümer zur Verbesserung des Lärmschutzes Wände auf eigene Kosten erstellen. Der Entscheid, ob diese mit Solarstromanlagen bestückt werden können, liegt dann nicht beim ASTRA, sondern bei den jeweiligen Eigentümerinnen und Eigentümern. Bewilligt werden solche privaten Bauvorhaben auch nicht durch das ASTRA, sondern durch die jeweilige Standortgemeinde. Das ASTRA wird lediglich zur Stellungnahme eingeladen.</p>

<sup>20</sup> Quelle: Leonie Dörig, Photovoltaik-Anlagen auf Lärmschutzwänden

<sup>21</sup> Quelle: Jérôme Jacky, Beauftragter Information & Kommunikation, Bundesamt für Strassen ASTRA

<sup>22</sup> Quelle: (TNC Consulting AG, 2012)

	<p><u>Kunstbauten entlang von Bahnlinien:</u> Entlang der Bahnlinien – sei es an Böschungen, an/auf Lärmschutzmauern oder Bahnbrücken, Solarzaun als Brüstung – wäre ein Einsatz von PV gut denkbar. Dies existiert auch bereits im europäischen Umfeld und auch die SBB prüfen die Potenziale für einen derartigen Einsatz. Rein technisch ist eine Lösung realisierbar.<sup>23</sup> Strom kann mittels geeigneter Wechselrichter direkt ins Bahnstromnetz eingespeist werden. Das Verlegen von langen Zuleitungen ist somit nicht erforderlich. Als Einschränkung für Anlagen an Bahngleisen sollten diese in Ein- und Ausfahrten von Bahnhöfen wegen Verschmutzung durch Flugrost nur auf der gleisabgewandten Seite mit Südausrichtung angebracht werden.<sup>24</sup> Im Bereich von Tunnelportalen oder Brücken (über die Bahnlinie) ist keine realistische Umsetzbarkeit gegeben. Technisch zwar denkbar, aber sicherheitstechnisch wegen des Funkenflugs mit der Fahrleitung nicht vereinbar. Bei Bahntrassen ohne Oberleitung wäre es eher denkbar. Da das Netz der SBB zu über 99% elektrifiziert ist, ist dort aber kein technisches Potenzial gegeben.<sup>25</sup> Bei Brücken, welche von der Bahn befahren werden, ist ein technisches Potenzial jedoch gegeben.</p> <p><u>Kantonale Kunstbauten:</u> <i>Brücken und Stützmauern:</i> Das Anbringen von Solarmodulen an Brücken oder Stützmauern stellt kein statisches Problem dar und wäre technisch ohne Weiteres machbar. Im Kanton Schaffhausen gibt es 4 grosse Rheinbrücken, die grundsätzlich für eine PV-Nutzung in Frage kämen. Deren Ausrichtung ist jedoch meist ca. Nord-Süd und deshalb nicht ideal. Ästhetische Aspekte haben zudem eine grosse Bedeutung. Auch ist es nicht klar, ob überall eine Trafostation für den Netzanschluss vorhanden ist. Die Stützmauern sind allesamt von geringem Ausmass, so dass sich eine Solarstromanlage wirtschaftlich nicht lohnen würde. <i>Lärmschutzwände:</i> Die eine Lärmschutzwand mit nennenswerter Grösse in Hemishofen wurde kürzlich neu erbaut. Ob deren Statik für eine nachträgliche Montage von PV-Modulen ausgelegt ist, müsste geprüft werden. Bei schräg an der Wandoberkante montierten Modulen spielt die Statik eine grosse Rolle und zudem würden sie über die Grundstücksgrenze ragen, da die Wände praktisch immer direkt auf der Grenze resp. auf Privateigentum errichtet sind.<sup>26</sup></p>
Sichtbarkeit / Akzeptanz	An Brücken in Gebieten mit hohem landschaftlichem oder kulturhistorischem Wert wie z.B. in Schaffhausen, Stein am Rhein oder Rüdlingen können Solarstromanlagen störend wirken resp. dort sind die Anforderungen an die Integration in die Umgebung hoch.
<b>Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)</b>	
Wand-Systeme: PV-Systeme als oder auf Schallschutzmauern: Solarzaun:	Mögliches Potenzial Mögliches Potenzial Mögliches Potenzial als Brüstung
Autobahnbrücken in Verbindung mit Raststätten haben ein grosses Potenzial (Bsp. Würenlos Kanton Zürich). Hoher Strombedarf und bereits bestehende Flächen könnten hier in optimaler Weise genutzt werden. Mit der Zunahme der Elektromobilität wird der Strombedarf weiter steigen. Da es im Kanton Schaffhausen aber keine Raststätten gibt, entfällt dieses Potenzial. Lärmschutzwände oder Solarstromanlagen an Brücken bieten sich im Kanton Schaffhausen eher an, dies v. a. entlang von Bahnlinien und in Bahnhofsnähe.	
<b>Sonstige Bemerkungen</b>	
Das Bundesamt für Strassen ASTRA überprüft aktuell selbst das Potenzial von Solarstromanlagen auf der vorhandenen Infrastruktur. Es können deshalb von Seiten des ASTRA keine weiterführenden Informationen abgegeben werden.	

Tab. 14 Verkehr: Kunstbauten (z.B. Stützmauern, Brücken)

<sup>23</sup> Quelle: Matthias Rücker, Leiter Energieeffizienz, SBB AG<sup>24</sup> Quelle: (Amstein & Walthert AG, 2017)<sup>25</sup> Quelle: Matthias Rücker, Leiter Energieeffizienz, SBB AG<sup>26</sup> Quelle: Ivo Spalinger, Ressortleiter Lärmschutz, Tiefbauamt Kanton Thurgau

## Verkehr: Parkplätze

Beschreibung					
<p>Parkplätze können überdacht werden, wie dies z. B. bei Carports von Einfamilienhäusern, Tankstellen, Einkaufszentren schon praktiziert wird. Daneben wäre es auch denkbar, die Parkfeldreihen mittels Solarzaun abzutrennen.</p> <p>Im Kanton Schaffhausen gibt es gemäss Bodennutzungsstatistik 2016/17 rund 57 ha Parkplatzfläche (Definition: Mit Hart- oder Naturbelag befestigte Flächen, die dem ruhenden Verkehr dienen. Dazu gehören markierte Parkfelder quer zur Fahrtrichtung oder auf Plätzen des Strassenareals, geplante Abstellplätze mit Naturbelag, Parkplätze mit mehr als 10 Parkfeldern innerhalb des Industrieareals oder des Hausumschwungs, Tram- und Buswendeschleifen).</p>					
Einsetzbare PV-Technologie					
<input type="checkbox"/>	Klassische Freilandsysteme	<input type="checkbox"/>	Wand-Systeme		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern		
<input checked="" type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag		
<input checked="" type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung		
<input checked="" type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme				
Machbarkeit					
Rechtlich	Kantonale Zonenbezeichnung: abhängig, ob auf privater oder öffentlicher Verkehrsfläche				
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/>
	<p>Solaranlagen in der Parkplatzfläche oder an der Umzäunung werden nicht "auf Dächern" im Sinne von Art. 18a RPG erstellt und sind daher auf privaten Verkehrsflächen baubewilligungspflichtig (oder konzessionspflichtig, wenn sie sich innerhalb öffentlicher Verkehrsflächen befinden). Bei Parkplatzüberdachungen kann nicht allgemein gesagt werden, ob es sich dabei um bewilligungsfreie Sachverhalte im Sinne von Art. 18a RPG handelt. Soweit die betreffende Solaranlage auf einem Gebäude erstellt wird, gilt das bereits Gesagte. Schwierigkeiten gibt es dort, wo nicht klar ist, ob ein Gebäude vorliegt. Diese Fälle müssen im Einzelfall von der Baubewilligungsbehörde (Gemeinde) beurteilt werden. Je nach dem kann es sich aufdrängen, eine Solaranlage im ordentlichen Baubewilligungsverfahren zu beurteilen.</p>				
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Grundsätzlich sind Parkplätze, welche an eine stromintensive Nutzungsform (wie z. B. Kühlhäuser oder andere Industrie) angegliedert sind, für eine kombinierte PV-Nutzung interessant, oder der Strom kann mittels Ladesäulen direkt an den Endverbraucher (Elektromobil) weitergegeben werden. Park+Ride würde sich ebenfalls sehr gut anbieten, da sich diese Parkplätze an Bahnhöfen befinden, wo der Netzanschluss (Bahnnetz) bereits vorhanden ist.</p> <p><u>Parkplatzüberdachungen</u> bieten sich insbesondere mit zunehmender Elektromobilität und im Hinblick auf die Synergie zur Schattenerzeugung an. Welche Unterkonstruktionen eingesetzt werden, ist im Einzelfall unter Berücksichtigung der Kosten, der notwendigen Zugänglichkeit und weiterer Faktoren zu prüfen.</p> <p>Wo keine Beschattung gewünscht ist, könnten <u>Solarzäune</u> als Abtrennung von grösseren Parkfeldreihen eingesetzt werden. Der Abtrennstreifen muss genügend breit (&gt;2 m) sein, damit keine Verschattung von den parkierten Fahrzeugen ausgeht.</p>				
Sichtbarkeit / Akzeptanz	Parkplätze im Siedlungsgebiet sind bereits von weiteren Infrastrukturbauten umgeben. Solarstromanlagen als Überdachungen können trotzdem das Ortsbild beeinträchtigen. Im Einzelfall ist eine Interessenabwägung vorzunehmen.				
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)					
Klassische Freilandsysteme			Kein Potenzial		
Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen:			Mögliches Potenzial		
Faltdachanlagen:			Mögliches Potenzial		
Schiebedachanlagen:			Mögliches Potenzial		
An Kabel fixierte Systeme:			Mögliches Potenzial		
Wand-Systeme:			Kein Potenzial		
PV-Systeme als oder auf Schallschutzmauern:			Kein Potenzial		
PV-Systeme als Strassenbelag:			Kein Potenzial		
Solarzaun:			Mögliches Potenzial		
Sonstige Bemerkungen					

Tab. 15 Verkehr: Parkplätze

**Energie: Kraftwerke**

Beschreibung			
<p>Im Kanton Schaffhausen beschränkt sich die aktuelle Wasserkraftnutzung auf den Rhein und die Wutach. Neben den drei Kraftwerken Schaffhausen (inklusive dem Pumpspeicherwerk Engeweiher), Neuhausen am Rheinfall und Wunderklingen nutzen auch die Kraftwerke Eglisau und Rheinau Schaffhauser Fließgewässer, wobei letztere beiden nicht auf Schaffhauser Gebiet liegen und nicht berücksichtigt werden. Bei Wasserkraftwerken könnte man sich Solarstromanlagen an verschiedenen Orten vorstellen: Auf Stauwehren, entlang von Stauwehrkronen, als Trennelement / Geländer / Brüstung, an Betriebsgebäuden, als Einzäunung oder an Stützmauern. In beschränktem Umfang könnte man sich auch Überdachungen der oft vorhandenen versiegelten Flächen neben oder auf den Stauwehren vorstellen.</p> <p>Biogas soll in allen Kläranlagen mit mehr als 2'000 Einwohnergleichwerten effizient genutzt werden. Die Bauwerke von Biogasanlagen eignen sich wegen ihrer runden Form und elastischen Dächern nicht für die Installation von Solarstromanlagen.</p> <p>Weitere Kraftwerktypen wie Wärmepumpen oder Windenergieanlagen eignen sich nicht für eine PV-Nutzung. Das Blockheizkraftwerk Herbstäcker wird nicht mehr betrieben und hat wegen seiner Lage im Wald ohnehin kein Potenzial für eine PV-Nutzung.</p>			
Einsetzbare PV-Technologie			
<input type="checkbox"/>	Klassische Freilandssysteme	<input checked="" type="checkbox"/>	Wand-Systeme
<input checked="" type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern
<input type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag
<input type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung
<input type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme		
Machbarkeit			
Rechtlich	Kantonale Zonenbezeichnung: Gewässer, Landwirtschaftszone, Zone für öffentliche Bauten und Anlagen		
	<input type="checkbox"/> Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/> Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/> Bewilligung nötig
	<p>In Bauzonen sind Solaranlagen baubewilligungsfrei, sofern sie auf Dächern erstellt werden. Andernfalls sind sie bewilligungspflichtig.</p> <p>Ausserhalb der Bauzone ist eine Solarstromanlage grundsätzlich nicht zonenkonform. Es ist daher zu beurteilen, ob sie mit einer Ausnahmegewilligung bewilligt werden kann oder ob sie einer Grundlage in der Nutzungsplanung bedarf. Besteht keine Nutzungs- oder Sondernutzungsplanung und ist die Solarstromanlage daher nicht zonenkonform, ist eine Ausnahmegewilligung nach Art. 24 RPG erforderlich. Eine solche kann erteilt werden, wenn die zonenwidrige Baute oder Anlage standortgebunden ist und wenn der Bewilligung keine überwiegenden öffentlichen Interessen entgegenstehen. Kann die Standortgebundenheit grundsätzlich bejaht werden, ist eine umfassende Interessenabwägung vorzunehmen. Diese ist abhängig vom konkreten Einzelfall, weshalb an dieser Stelle nicht ausführlich darauf eingegangen wird. Es stellen sich Fragen des Landschaftsschutzes, des Biotop- und Artenschutzes, die Auswirkungen betreffend Blendwirkung, (Bau-)Lärm und von Unterhaltsarbeiten.<sup>27</sup></p>		
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Brüstungs-/Geländersysteme sind bei Stauwehren dort möglich, wo Stege, Übergänge und Staubecken vorhanden sind und die Kraftwerkszentrale oder ein anderer Einspeiseort nicht weit entfernt ist.</p> <p>Alter und Renovationsintervall der Anlagen (oder Denkmalschutz) kann bei Wandsystemen limitierend sein.</p> <p>Die Netzanbindung bei der Kraftwerkszentrale ist technisch/kapazitätsmässig als gut einzustufen, situativ könnte jedoch eine Traversierung oder Umrundung von Gebäuden nötig sein. Die Einspeisung bei Wehren ist je nach Kapazität fraglich. Generell sind wegen vorhandener Länge der Brüstung/des Zauns oder der Wandfläche nur kleine Projekte machbar.</p>		
Sichtbarkeit / Akzeptanz	<p>Das visuelle Erscheinungsbild ist durch die Infrastruktur der Kraftwerke bereits vorbelastet. Eine Interessenabwägung bezüglich Ortsbild- und Landschaftsschutzes ist bereits erfolgt und zugunsten der Infrastruktur ausgefallen. Die Situation muss im Einzelfall neu beurteilt werden.</p>		
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)			
<p>Bei den im Kanton Schaffhausen vorhandenen Wasserkraftwerken haben Solarzaun / Brüstungssysteme das grösste Potenzial. Andere Kraftwerktypen haben kein Potenzial.</p>			
Sonstige Bemerkungen			
<p> </p>			

Tab. 16 Energie: Kraftwerke

<sup>27</sup> Quelle: Ursula Ramseier: Photovoltaik-Anlagen im alpinen Raum. In: Schriften zum Energierecht, Band 18, herausgegeben von Oliver Streiff "Raumplanung und Photovoltaik". Zürich, 2021.

## Energie: Unterwerke (Aussenbereiche)

Beschreibung			
<p>Grössere Unterwerke sind oft freistehend ausserhalb der Siedlungsgebiete, umzäunt und mit wenigen Gebäuden (häufig Flachdach) sowie etwas Umschwung ausgestattet. Theoretisch vorstellbar sind: Dachanlage auf den Flachdächern (nicht Teil dieser Studie), Ersatz der Umzäunung mit Solarzaun, Nutzung der Flächenreserven für aufgeständerte oder vertikale Systeme, Wandsysteme.</p> <p>Die Unterwerke im Kanton Schaffhausen sind zumeist relativ klein und unter einem Dach (Gebäude sind nicht Teil dieser Studie). Auf einigen dieser Gebäude sind bereits Solarstromanlagen installiert (Wilchingen, Herblingen, Thayngen, Hemishofen).</p>			
Einsetzbare PV-Technologie			
<input checked="" type="checkbox"/>	Klassische Freilandsysteme	<input checked="" type="checkbox"/>	Wand-Systeme
<input type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern
<input type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag
<input type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung
<input type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme		
Machbarkeit			
Rechtlich	Kantonale Zonenbezeichnung: Zone für öffentliche Bauten und Anlagen, Arbeitszone, Reservezone, Allg. Landwirtschaftszone		
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/>
	<p><input checked="" type="checkbox"/> Baubewilligung nötig</p> <p>In Bauzonen sind Solaranlagen baubewilligungsfrei, sofern sie auf Dächern erstellt werden. Andernfalls sind sie bewilligungspflichtig.</p> <p>Ausserhalb der Bauzone ist eine Solarstromanlage grundsätzlich nicht zonenkonform. Es ist daher zu beurteilen, ob sie mit einer Ausnahmegewilligung bewilligt werden kann oder ob sie einer Grundlage in der Nutzungsplanung bedarf. Besteht keine Nutzungs- oder Sondernutzungsplanung und ist die Solarstromanlage daher nicht zonenkonform, ist eine Ausnahmegewilligung nach Art. 24 RPG erforderlich. Eine solche kann erteilt werden, wenn die zonenwidrige Baute oder Anlage standortgebunden ist und wenn der Bewilligung keine überwiegenden öffentlichen Interessen entgegenstehen.<sup>28</sup></p>		
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Die Standorte von Unterwerken sind meist einfach und gut erreichbar, gut geschützt und überwacht. Zudem ist in der Regel ein genügend grosser Netzanschluss vorhanden. Die Flächenreserven sind ev. mit Ausbauplänen «belegt». Aufgrund des geringen Eigenstromverbrauchs von Unterwerken und den tiefen Strompreisen können Solarstromanlagen nur bei optimalen Standorteigenschaften betrieben werden.</p> <p>Eine Überdachung von «Freilicht-Unterwerken» mittels PV-Anlage ist einerseits wegen der hohen elektromagnetischen Felder und andererseits wegen der Sicherheitsanforderungen bei Wartungsarbeiten nicht realisierbar.</p>		
Sichtbarkeit / Akzeptanz	Das visuelle Erscheinungsbild ist durch die Infrastruktur der Unterwerke bereits stark vorbelastet, wodurch zusätzliche PV-Installationen bezüglich Ortsbild- und Landschaftsschutzes wenig problematisch sind.		
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)			
<p>Viele Unterwerke in Siedlungsgebieten befinden sich mittlerweile in Gebäuden mit wenig bis keinen Umschwung. Dachflächen und Wandflächen sind durch geringe Gebäudevolumina in der Regel limitiert.</p> <p>Bei Unterwerken mit Umschwung ist ein technisches Potenzial für Freiflächenanlagen oder Solarzaun vorhanden, wobei grössere Freiflächen mit schrägaufgeständerten Anlagen mehr kW pro ha erzielen als vertikale bifaziale Systeme. Schaffhausen Geissberg ist das einzige Unterwerk mit etwas mehr Umschwung und somit Platz für eine Freiflächenanlage.</p>			
Sonstige Bemerkungen			
Ein PV-System bei Unterwerken ohne Gebäude muss idealerweise gut mit Teil-Verschattung durch die filigranen Infrastrukturen der Umspannwerke umgehen können um das Potenzial maximal zu nutzen.			

Tab. 17 Energie: Unterwerke (Aussenbereich)

<sup>28</sup> Quelle: Ursula Ramseier: Photovoltaik-Anlagen im alpinen Raum. In: Schriften zum Energierecht, Band 18, herausgegeben von Oliver Streiff "Raumplanung und Photovoltaik". Zürich, 2021.

**Entsorgung: Abwasserreinigungsanlagen ARA**

Beschreibung											
<p>Im Kanton Schaffhausen gibt es 11 kommunale ARA, welche das Schmutzwasser reinigen, das an die Kanalisation angeschlossen ist. Davon befinden sich drei ARA auf deutschem Hoheitsgebiet. Inwiefern sich diese drei Anlagen zur Solarstromnutzung eignen, ist nicht abgeklärt worden, da unklar ist, welche Entscheidungsmöglichkeiten die Schaffhauser Behörden haben.</p> <p>Bei Liegenschaften ausserhalb der Bauzone, die nicht an die Schmutzwasserkanalisation angeschlossen werden können, wird das häusliche Abwasser in dezentralen Kleinkläranlagen gereinigt.</p>											
Einsetzbare PV-Technologie											
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input type="checkbox"/> Klassische Freilandsysteme</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Wand-Systeme</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Faltdachanlagen</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> PV-Systeme als Strassenbelag</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Schiebedachanlagen</td> <td style="border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Solarzaun/ -brüstung</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> An Kabel fixierte Systeme</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Klassische Freilandsysteme	<input checked="" type="checkbox"/> Wand-Systeme	<input checked="" type="checkbox"/> Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/> PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern	<input checked="" type="checkbox"/> Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/> PV-Systeme als Strassenbelag	<input checked="" type="checkbox"/> Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/> Solarzaun/ -brüstung	<input checked="" type="checkbox"/> An Kabel fixierte Systeme	
<input type="checkbox"/> Klassische Freilandsysteme	<input checked="" type="checkbox"/> Wand-Systeme										
<input checked="" type="checkbox"/> Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/> PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern										
<input checked="" type="checkbox"/> Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/> PV-Systeme als Strassenbelag										
<input checked="" type="checkbox"/> Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/> Solarzaun/ -brüstung										
<input checked="" type="checkbox"/> An Kabel fixierte Systeme											
Machbarkeit											
Rechtlich	<p>Kantonale Zonenbezeichnung: Zone für öffentliche Bauten und Anlagen, Allg. Landwirtschaftszone, Strassenareal</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Bewilligungsfreie Solarstromanlage             </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <input type="checkbox"/> Meldepflichtige Solarstromanlage             </td> <td style="width: 33%; text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> Baubewilligung nötig             </td> </tr> </table> <p>Solaranlagen an Wänden/Fassaden oder auf Umzäunungen werden nicht "auf Dächern" erstellt und sind daher baubewilligungspflichtig.</p> <p>Soweit die betreffende Solaranlage auf einem Gebäude erstellt wird, gilt das bereits Gesagte. Bei Überdachungen von Klärbecken kann nicht allgemein gesagt werden, ob es sich dabei um bewilligungsfreie Sachverhalte im Sinne von Art. 18a RPG handelt. Diese Fälle müssen im Einzelfall von der Baubewilligungsbehörde (Gemeinde) beurteilt werden. Je nach dem kann es sich aufdrängen, eine Solaranlage im ordentlichen Baubewilligungsverfahren zu beurteilen.</p>	<input type="checkbox"/> Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/> Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/> Baubewilligung nötig							
<input type="checkbox"/> Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/> Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/> Baubewilligung nötig									
Technisch / Wirtschaftlich	<p><u>Überdachungen von ARA</u> (Klärbecken) sind technisch gut zu bewerkstelligen. Ausziehbare Systeme sind fixen Systemen vorzuziehen, da Wartungsarbeiten mittels Krans möglich sein müssen. Faltdachanlagen sind jedoch nur wirtschaftlich, wenn sie eine gewisse Grösse (&gt;1'000 m<sup>2</sup>) aufweisen<sup>29</sup>. Zusätzlich muss der Stromeigenverbrauch hoch sein, was bei ARA der Fall ist, da diese sehr stromintensiv sind.</p> <p><u>Wandsysteme</u> sowie <u>Solarzäune</u> sind technisch ebenfalls gut zu bewerkstelligen. Beim Solarzaun muss darauf geachtet werden, dass der Netzanschluss in unmittelbarer Nähe liegt. Zudem ist die Verschattungssituation zu beachten.</p>										
Sichtbarkeit / Akzeptanz	<p>Das visuelle Erscheinungsbild ist durch die Infrastruktur der ARA bereits stark vorbelastet, wodurch zusätzliche PV-Installationen bezüglich Ortsbild- und Landschaftsschutzes wenig problematisch sind.</p>										
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)											
<p>Überdachungen der Klärbecken mittels Fall- oder Schiebedachanlagen bieten bei ARA das grösste Potenzial.</p> <p>Solarstromanlage als Brüstung / Geländer: Reinigung der Beckenbereiche mit Hochdruck-Wasserstrahl könnte für elektrische Installationen im Nahbereich der Becken ein Problem darstellen (Umrandungsgeländer). Bei einer Umzäunung des ganzen Areals ist Potenzial vorhanden, wo eine Verschattung durch Vegetation oder Gebäude nicht zu gross ist.</p> <p>Ein Potenzial ergibt sich auch mittels Solarstromanlagen als Wandsysteme.</p>											
Sonstige Bemerkungen											

**Tab. 18 Entsorgung: Abwasserreinigungsanlagen ARA**

<sup>29</sup> Quelle: Andreas Hügli, dhp technology AG

**Entsorgung: Deponien**

Beschreibung			
<p>Im Kanton Schaffhausen gibt es zwei Deponien:                  _ "Multikomponentendeponie Pflumm" (MKD Pflumm, Reaktordeponie mit Schlackenkompartiment) in Gächlingen                  _ Inertstoffdeponie Birchbühl in Siblingen                  Stillgelegte Deponien könnten theoretisch als Standorte für Solarstromanlagen in Betracht gezogen werden.</p>			
Einsetzbare PV-Technologie			
<input checked="" type="checkbox"/> Klassische Freilandsysteme		<input type="checkbox"/> Wand-Systeme	
<input type="checkbox"/> Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen		<input type="checkbox"/> PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern	
<input checked="" type="checkbox"/> Faltdachanlagen		<input type="checkbox"/> PV-Systeme als Strassenbelag	
<input checked="" type="checkbox"/> Schiebedachanlagen		<input checked="" type="checkbox"/> Solarzaun/ -brüstung	
<input checked="" type="checkbox"/> An Kabel fixierte Systeme			
Machbarkeit			
Rechtlich	Zonenbezeichnung: Materialabbau- und Deponiezone		
	<input type="checkbox"/> Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/> Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/> Baubewilligung nötig
<p>Deponiezone gehört zu den "weiteren Zonen" im Sinne von Art. 18 RPG, für welche besondere Vorschriften gelten. Der Wortlaut von Art. 18a Abs. 1 RPG legt es nahe, bewilligungsfreie Solaranlagen auch in den weiteren Zonen zuzulassen. Auf jeden Fall können Solaranlagen in der Deponiezone nur bewilligungsfrei sein, wenn sie auf Dächern erstellt werden. Dies zu beurteilen ist zudem Sache der Gemeinde. Fix installierte PV-Freiflächenanlagen oder Solarstromanlagen auf Umzäunungen können dagegen zweifellos nicht zu den bewilligungsfreien Tatbeständen gezählt werden. Zudem ist nach Beendigung der Deponie eine Umzonung nötig, falls Solarstromanlagen installiert werden sollen.</p>			
Technisch / Wirtschaftlich	<p>Ein Deponiekörper ist immer setzungsanfällig, sofern er nicht mittels einer Hülle versiegelt worden ist. Der Baugrund für eine Solarstromanlage sollte jedoch möglichst stabil sein, damit keine Spannung auf die PV-Module wirkt. Fix installierte Freiflächenanlagen sind deshalb nur geeignet, wenn die Setzung max. wenige Zentimeter beträgt. Eine etwas grössere Flexibilität bieten Faltdach- / Schiebedach- und an Kabeln fixierte PV-Systeme, da sie alle einen Bereich von 20-30 m ohne Zwischenstützen überspannen können. Falls der Deponiekörper ohne Zwischenstützen überspannt werden kann, sind solche Systeme technisch gut machbar. Bei instabilem Baugrund müsste mit Zwischenstützen ein massives und teures Fundament erstellt werden.</p> <p>Schwierig dürfte, v.a. bei kleineren Deponien resp. Solarstromanlagen, der Netzanschluss sein, da ehemalige Deponien oft weit entfernt von Siedlungen und in der Folge auch von elektrischen Einspeisepunkten liegen. Zudem haben stillgelegte Deponien praktisch keinen Eigenstromverbrauch, wodurch der Betrieb einer Solarstromanlage aktuell nicht wirtschaftlich ist.</p>		
Sichtbarkeit / Akzeptanz	<p>Oft wird versucht geschlossene Deponien nach deren Füllung möglichst optimal in die Landschaft einzugliedern, indem z.B. mit Begrünung oder Bewuchs eine Sichtbarriere erstellt wird, um die optische Beeinträchtigung zu reduzieren. Zumeist liegen die Deponien ausserhalb der Bauzone, entsprechend würden hier PV-Systeme als technische Installation nicht im Kontext zu anderen Infrastrukturanlagen wahrgenommen.</p>		
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)			
<p>Wegen dem fehlenden politischen Willen, Solarstromanlagen auch auf Freiflächen in der Landwirtschaftszone zu bewilligen, haben PV-Systeme auf Deponien aktuell kein realisierbares Potenzial. Sollte dies in Zukunft ändern, wären klassische Freiflächenanlagen geeignet, sofern ein naher Netzanschluss vorhanden ist und die Bodensetzungen minimal sind.</p> <p>In Einzelfällen und bei sorgfältiger raumplanerischer Abstimmung sind Solarstromanlagen auf ehemaligen Deponien durchaus zulässig, wenn diese wenig einsehbar sind und eine Solarstromanlage daher keine nennenswerten landschaftlichen Auswirkungen hat. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dies nicht auf Kosten der ursprünglich dort vorhandenen Lebensräume gehen darf: Würde in der Abbaubewilligung eine Wiederherstellung des Geländes und des Lebensraums, allenfalls sogar mit ökologischen Aufwertungen, verfügt und wird diese infolge der neuen PV-Pläne nicht umgesetzt, werden Ersatzmassnahmen an einem anderen Ort erforderlich sein.<sup>30</sup></p> <p>Diese neue Sichtweise der rechtlichen Machbarkeit zeigt, dass es zwar nach wie vor schwierig, aber nicht unmöglich ist, Solarstromanlagen auf ehemaligen Deponien zu errichten. Ev. ist dies auch verbunden mit einer Anpassung der aktuellen rechtlichen Grundlage.</p>			

<sup>30</sup> Quelle: Ursula Ramseier: Photovoltaik-Anlagen im alpinen Raum. In: Schriften zum Energierecht, Band 18, herausgegeben von Oliver Streiff "Raumplanung und Photovoltaik". Zürich, 2021.

**Sonstige Bemerkungen**

Nicht nur ehemalige Deponien haben einen sehr tiefen Strombedarf, auch Deponien in Betrieb benötigen nur Strom für Informatik- und Überwachungsanlagen, Waagen o. ä.

**Tab. 19 Entsorgung: Deponien**

## Entsorgung: Abbaugelände

Beschreibung					
Die einzigen im Kanton Schaffhausen in grösseren Mengen vorkommenden Rohstoffe sind – abgesehen von nachwachsendem Holz – Kies, Grien (Kalksteine in lehmiger Matrix), Kalk, Ton, Mergel. Insgesamt gibt es 33 Abbaugelände. Diese werden nach Beendigung des Abbaus meist mit unverschmutztem Material wiederaufgefüllt. Stillgelegte Abbaugelände könnten theoretisch als Standorte für Solarstromanlagen in Betracht gezogen werden. Noch in Betrieb befindliche Abbaugelände eignen sich wegen der Staubbildung nur bedingt als PV-Standorte.					
Einsetzbare PV-Technologie					
<input checked="" type="checkbox"/>	Klassische Freilandssysteme	<input type="checkbox"/>	Wand-Systeme		
<input type="checkbox"/>	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als oder auf Lärmschutzmauern		
<input checked="" type="checkbox"/>	Faltdachanlagen	<input type="checkbox"/>	PV-Systeme als Strassenbelag		
<input checked="" type="checkbox"/>	Schiebedachanlagen	<input checked="" type="checkbox"/>	Solarzaun/ -brüstung		
<input checked="" type="checkbox"/>	An Kabel fixierte Systeme				
Machbarkeit					
Rechtlich	Kantonale Zonenbezeichnung: Materialabbauzone, Materialabbau- und Deponiezone, Materialdeponiezone				
	<input type="checkbox"/>	Bewilligungsfreie Solarstromanlage	<input type="checkbox"/>	Meldepflichtige Solarstromanlage	<input checked="" type="checkbox"/>
	Abbauzonen gehören zu den "weiteren Zonen" im Sinne von Art. 18 RPG, für welche besondere Vorschriften gelten. Der Wortlaut von Art. 18a Abs. 1 RPG legt es nahe, bewilligungsfreie Solaranlagen auch in den weiteren Zonen zuzulassen. Auf jeden Fall können Solaranlagen in der Abbauzone nur bewilligungsfrei sein, wenn sie auf Dächern erstellt werden. Dies zu beurteilen ist zudem Sache der Gemeinde. Fix installierte PV-Freiflächenanlagen oder Solarstromanlagen auf Umzäunungen können dagegen zweifellos nicht zu den bewilligungsfreien Tatbeständen gezählt werden. Zudem ist nach Beendigung des Abbaus eine Umzonung nötig, falls Solarstromanlagen installiert werden sollen.				
Technisch / Wirtschaftlich	<p><u>Abbaugelände während des Betriebs:</u> Die Staubbildung durch LKWs, Kipplader, Auf-/ Abladen von Kies, Sand und Ton, Förderbänder etc. führt zu erhöhtem Reinigungsaufwand resp. zu geringeren Energieerträgen. Zudem befinden sich die meisten Abbaugelände fernab von den Verarbeitungswerken, wo der produzierte Strom am ehesten gebraucht werden könnte. Auf den Abbaugeländen selber ist der Strombedarf sehr gering, d. h. der Strom müsste ins öffentliche Netz eingespeist werden.</p> <p><u>Abbaugelände nach Einstellung des Betriebs:</u> Ein Abbaugelände wird nach Stilllegung aufgefüllt und renaturiert. Technisch-wirtschaftlich wären klassische Freilandanlagen die Anlagen der Wahl. Es ist allerdings fraglich, ob ein Verarbeitungswerk seinen Standort behält, wenn das unmittelbar benachbarte Abbaugelände stillgelegt wurde. Das bedeutet, dass der Strom vollumfänglich ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden muss.</p>				
Sichtbarkeit / Akzeptanz	Oft wird versucht, Abbaugelände nach deren Füllung möglichst optimal in die Landschaft einzugliedern, indem z.B. mit Begrünung oder Bewuchs eine Sichtbarriere erstellt wird, um die optische Beeinträchtigung zu reduzieren. Zumeist liegen die Abbaugelände ausserhalb der Bauzone, entsprechend würden hier PV-Systeme als technische Installation nicht im Kontext zu anderen Infrastrukturanlagen wahrgenommen.				
Potenzialabschätzung (vgl. Kap. 4.)					
<p><u>Abbaugelände während des Betriebs:</u> es müsste ein Teil des Abbaugeländes in eine andere Nutzungszone überführt werden, damit eine PV-Nutzung während des Abbaubetriebs möglich ist. Es kämen jedoch erschwerte Bedingungen hinzu wie Staubbildung und fragliche Wirtschaftlichkeit, weshalb kein Potenzial für Solarstromanlagen vorhanden ist.</p> <p><u>Abbaugelände nach Einstellung des Betriebs:</u> Ein Abbaugelände wird nach Stilllegung aufgefüllt, renaturiert und wieder seiner ursprünglichen Zone zugeordnet (Wald, Landwirtschaftszone). Eine PV-Nutzung in diesen Zonen ist vom politischen Willen abhängig und in Einzelfällen und bei sorgfältiger raumplanerischer Abstimmung durchaus zulässig. Zu denken ist beispielsweise an Situationen in ehemaligen Steinbrüchen, Kiesgruben o.Ä., wenn diese wenig einsehbar sind und eine Solarstromanlage daher keine nennenswerten landschaftlichen Auswirkungen hat. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dies nicht auf Kosten der ursprünglich dort vorhandenen Lebensräume gehen darf: Würde in der Abbaubewilligung eine Wiederherstellung des Geländes und des Lebensraums, allenfalls sogar mit ökologischen Aufwertungen, verfügt und wird diese infolge der neuen PV-Pläne nicht umgesetzt, werden Ersatzmassnahmen an einem anderen Ort erforderlich sein.<sup>31</sup></p> <p>Diese neue Sichtweise der rechtlichen Machbarkeit zeigt, dass es zwar nach wie vor schwierig, aber nicht unmöglich ist, Solarstromanlagen auf ehemaligen Deponien zu errichten. Ev. ist dies auch verbunden mit einer Anpassung der aktuellen rechtlichen Grundlage.</p>					

<sup>31</sup> Quelle: Ursula Ramseier: Photovoltaik-Anlagen im alpinen Raum. In: Schriften zum Energierecht, Band 18, herausgegeben von Oliver Streiff "Raumplanung und Photovoltaik". Zürich, 2021.

Sonstige Bemerkungen
Inwiefern eine temporäre Mischnutzung von Abbaugelände und Solarstromerzeugung denkbar ist, bleibt abzuklären.

**Tab. 20 Entsorgung: Abbaugelände**

### 3.7 Priorisierung der PV-Systeme nach Infrastrukturanlage

Aufgrund der rechtlichen, technischen und wirtschaftlichen Beurteilung der Potenziale sowie anhand der Rückmeldungen der unterschiedlichen Experten bzgl. PV-Systemen und Infrastrukturen ist pro Infrastruktur jedes PV-System qualitativ bewertet worden. Die Einschätzung wurde nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt, trotzdem kann eine gewisse Subjektivität ausgehend von den einzelnen Experten nicht immer vermieden werden.

#### Qualitative Priorisierung der PV-Systeme pro Infrastruktur

		PV-System									
		Klassische Freilandsysteme	Fix installierte PV-Systeme als Überdachungen	Faltdachanlagen	Schiebedachanlagen «Urban Box»	An Kabel fixierte PV-Systeme	Wand-Systeme	PV-Systeme als oder auf Schallschutzmauern	PV-Systeme als Strassenbelag	Solarzaun / Solarbrüstung	
<b>Infrastruktur</b>	<b>Verkehrsinfrastruktur</b>										
	Nationalstrassen (fahrbahnnahe) *		★								
	Nationalstrassen (fahrbahnfern) *	★								★	
	Kantonsstrassen *			★							
	Bahntrasse *									★	
	Parkplätze		★	★	★						
	<b>Energieversorgung/Stromversorgung</b>										
	Kraftwerke									★	
	Unterwerke / Trafostationen	★									
	<b>Entsorgung</b>										
	Abwasserreinigungsanlagen ARA			★	★						
	Deponien	★									
	Abbaugelände	★									

Bewertungsklassen

- nicht möglich
- ★ am besten geeignet
- gut geeignet
- mässig geeignet
- nicht geeignet

\*Kunstbauten werden hier unter den Rubriken Nationalstrassen, Kantonsstrassen und Bahntrasse beurteilt

Tab. 21 Qualitative Priorisierung der PV-Systeme pro Infrastruktur

## 4. Grobe Potenzialabschätzung im Kanton Schaffhausen

### 4.1 Methodik

Als letzter Teil wird eine Potenzialabschätzung im Kanton Schaffhausen aufgrund der Prioritäten vorgenommen. Für die Abschätzung wird überall eine Luftbild-/ Kartenanalyse durchgeführt um auch die lokalen Begebenheiten grob einzubeziehen.

Der Potenzialbegriff kann in folgende Grössen unterteilt werden:

- \_ Theoretisches Potenzial: Unter dem theoretischen Potenzial versteht man die gesamthaft realisierbare PV-Leistung ohne Berücksichtigung von technischen Rahmenbedingungen der Komponenten oder wirtschaftlichen/zeitlichen Faktoren.
- \_ Technisches Potenzial: Das technische Potenzial beschreibt den Anteil am theoretischen Potenzial, welches mit technisch realen im Markt vorhandenen Möglichkeiten genutzt werden kann. Dabei werden die Einschränkungen durch typische marktübliche Komponenten mitberücksichtigt. Nicht berücksichtigt sind nicht-technische Einschränkungen.
- \_ Kurzfristiges und mittelfristiges Potenzial: Mit der Weiterentwicklung der PV-Technologie, Neuentwicklungen von Technologien und der weiteren zu erwartenden Preissenkung der PV-Systeme kann zwischen den kurzfristig sinnvollsten Solarstromanlagen und Anlagen, welche zu einem späteren Zeitpunkt realisiert werden können, unterschieden werden. Damit entsteht eine zeitliche Staffelung.
- \_ Erschliessbares Potenzial: Das erschliessbare Potenzial spiegelt den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag der Nutzung von PV wider. Es werden zusätzlich nicht-technische Faktoren berücksichtigt wie Akzeptanz oder politische/rechtliche Rahmenbedingungen.

Für die Potenzialabschätzung in dieser Studie sind v.a. das theoretische sowie das erschliessbare Potenzial von Bedeutung.

Das Potenzial wird einerseits als installierbare Solarstromleistung und andererseits als jährlich zu erwartender Stromertrag angegeben. Die mittlere Solarstrahlung wird anhand der Daten von [www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch) abgeleitet. Als Basis werden die folgenden Solarmodule definiert:

- \_ Module mit 300-400 Wp Leistung (je nach PV-System) und 2 m<sup>2</sup> Fläche resp. die spezifischen Angaben in den einzelnen Kapiteln
- \_ Modulwirkungsgrad 0.2
- \_ Performance ratio 0.8 (Verhältnis zwischen dem möglichen (maximalen) Ertrag und dem tatsächlich erreichten Ertrag, abhängig von u.a. Sonneneinstrahlung, Modulverschmutzung, Verschattung, Leitungs-/Wechselrichterverluste)

Der Energieertrag wird durch Multiplikation von Einstrahlung, Fläche, Modulwirkungsgrad und Performance ratio berechnet. Die Einstrahlung wird jeweils standortspezifisch und in Abhängigkeit der Modulausrichtung angegeben.

## 4.2 Resultierende Potenziale

### 4.2.1 Nationalstrassen

Grundsätzlich bieten Nationalstrassen ein grosses Potenzial zur Realisierung von Photovoltaik. Ein wesentlicher Punkt, welcher die Kosten beeinflusst, betrifft die Möglichkeit der Einspeisung bzw. vor Ort Nutzung des Stroms. Falls an der Nationalstrasse Stromleitungen geführt werden und sich daher kostengünstig eine Stromeinspeisung realisieren lässt, kann dies ein Punkt für die Realisierung solcher Systeme sein. Ein positiver Aspekt bildet der Umstand, dass sich das nachfolgend beschriebene Potenzial praktisch ausschliesslich auf das dicht besiedelte Gebiet der Stadt Schaffhausen bezieht, in welchem ein Stromanschluss in geringer Distanz wahrscheinlich ist.

Im Kanton Schaffhausen gibt es keine Autobahnraststätten wo ein Netzanschluss günstig wäre. Nutzbare Stromleitungen entlang von Autobahnen sind am ehesten in Siedlungsnähe zu finden. Hier ist auch das Landschaftsbild bereits stark von Infrastrukturbauten beeinflusst und eine zusätzliche Autobahnüberdachung mittels PV weniger störend. Die nicht in Tunnels geführten Autobahnabschnitte durch die Stadt Schaffhausen könnten daher überdacht werden, zumal diese einseitig bereits teilweise von einer Stützmauer begrenzt werden. Auf diesen Abschnitten ergäbe sich eine potenzielle PV-Fläche von ca. 8'000 m<sup>2</sup>. Bei einer spezifischen Leistung von 200 Wp/m<sup>2</sup> und einer Einstrahlung von 1'200 kWh/m<sup>2</sup> resultiert ein Potenzial von **1'600 kWp** resp. **1'536 MWh/a**.

Entlang der Autobahn in der Stadt Schaffhausen existiert zudem ein Potenzial für Freilandsysteme:

- \_ Grünfläche zwischen Bahngleis und Nationalstrasse bei der Ausfahrt "Schaffhausen Nord"
- \_ Böschungen und Freiflächen bei der Verzweigung "Mutzetäli"
- \_ Böschungen und Freiflächen bei der Ausfahrt "Schaffhausen-Herblingen"

Alle Böschungen und Freiflächen zusammen ergeben eine Fläche von 20'000 m<sup>2</sup>. Um das Potenzial von Freilandsystemen zu bestimmen, wird angenommen, dass auf einer Fläche von 1.5 ha rund 1 MW PV-Leistung installiert werden können bei einer mittleren Einstrahlung von 1'300 kWh/m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial von **1'300 kWp** resp. **1'352 MWh/a**.

Weitere Flächen sind unwahrscheinlich, da der Autobahnverlauf durch das Herblingertal zu stark durch Verschattung von der umliegenden Topografie beeinflusst wird.

Weitere Potenziale, wenn auch untergeordnete, könnten sich durch Solarzäune oder Wandsysteme ergeben, falls Autobahnüberdachungen nicht realisiert werden können. Der Verlauf der Autobahn durch das Herblingertal ist jedoch punkto Verschattung nicht ideal für Solarstromanlagen.

### 4.2.2 Kantonsstrassen

Eine PV-Nutzung entlang von Kantonsstrassen dürfte schwierig sein. Innerorts ist zwar meistens ein Netzanschluss vorhanden, doch die Besiedlung ist dicht, die Verschattung hoch, die Geschwindigkeit von Fahrzeugen eher gering und auch die Akzeptanz in der Bevölkerung dürfte gering sein. Ausserorts ist meist kein Netzanschluss vorhanden, die

Besiedlung gering, die Verschattung aufgrund von Bäumen, Wäldern u. ä. divers, die Fahrzeuggeschwindigkeit hoch (problematisch für an Kabel montierte PV-Systeme) und die Akzeptanz dürfte aufgrund des Landschaftsschutzes vielerorts eingeschränkt sein. Sowohl inner- als auch ausserorts kommen hohe Anforderungen bzgl. Strassensicherheit hinzu.

Am ehesten sind Fahrbahnüberdachungen innerorts mittels Falt- oder Schiebedachsystemen vorstellbar. Zentrumsbereiche sind auszuschliessen. Kantonsstrassen in oder entlang von Gewerbe- und Industriezonen sind vielversprechender. Anhand einer Luftbildanalyse sind Strassenabschnitte mit einer Länge von 1'300 m identifiziert worden, welche ein Potenzial aufweisen. Bei einer durchschnittlichen Strassenbreite von 10 m ergibt sich eine PV-Fläche von 13'000 m<sup>2</sup> oder **1'400 kWp** (Solarfaltdächer haben eine spezifische Leistung von ca. 110 Wp/m<sup>2</sup>). Damit könnte rund **1'200 MWh/a** produziert werden, wenn man einen ähnlichen spezifischen Ertrag wie beim Faltdach über der ARA in Chur von 860 kWh/kWp zugrunde legt.

#### 4.2.3 Bahntrasse

Solarzäune werden idealerweise in Bahnhofsnähe installiert, wo die Züge mit reduzierter Geschwindigkeit verkehren und ein Netzanschluss besteht. Das Potenzial ist bei jedem Bahnhof anhand einer Luftbildanalyse grob abgeschätzt worden (siehe Tabelle). Bei 190 Wp/Laufmeter ergibt sich ein Potenzial von rund **920 kWp** resp. **780 MWh/a**.

Bahnhof	Potenzialeinschätzung	Länge	Potenzial	
		[m]	[kWp] <sup>1</sup>	[MWh/a] <sup>2</sup>
Trasadingen	gut	800	152	129
Wilchingen-Hallau	kein Potenzial wegen Gebäuden und Laderampen für Industrie	---	---	---
Neunkirch	gut	500	95	81
Beringen Bad Bhf	gut	550	104	88
Beringerfeld	gut	400	76	65
Neuhausen Bad Bhf	mittel, wegen Gebäuden	200	38	32
Neuhausen	mittel, wegen Gebäuden und Bäumen	300	57	48
Schaffhausen	gut, v.a. beim Rangierbahnhof	1'000	190	162
Herblingen	kein Potenzial, weil Bhf. vertieft liegt	---	---	---
Thayngen	gut	500	95	81
Stein am Rhein	gut	600	114	97
Hemishofen	kein Potenzial, da Bahnlinie nicht elektrifiziert	---	---	---
Ramsen	kein Potenzial, da Bahnlinie nicht elektrifiziert	---	---	---
<b>Total</b>			<b>921</b>	<b>783</b>

<sup>1</sup> basierend auf Angaben zur Frontseite der bifazialen Module

<sup>2</sup> Angabe für beide Seiten der bifazialen Module

Tab. 22 Potenzial für Solarzäune an Bahnhöfen

Die Freifläche beim Rangierbahnhof Schaffhausen zwischen Bahnlinie und Autobahn ist bereits bei den Autobahnen berücksichtigt worden.

#### 4.2.4 Kunstbauten

Lärmschutzwände LSW

Autobahn: Das realisierbare Potenzial von Solarstromanlagen an Schallschutzmassnahmen wurde im Jahre 2012 im Rahmen einer Studie im Auftrag des ASTRA gesamtschweizerisch auf 108-165 MW oder 103-156 GWh geschätzt.<sup>32</sup> Würde dieses Potenzial verhältnismässig zu den Autobahnkilometern auf den Kanton Schaffhausen heruntergebrochen (CH: 1'462 km; SH: 11 km), resultierte ein kantonales Potenzial von 810 – 1'240 kWp. Eine Analyse anhand von Luftbilder zeigt jedoch, dass es in Realität nur rund 400 m (freistehende) Lärmschutzwände entlang von Schaffhauser Autobahnen gibt mit einem Potenzial von **76 kWp** resp. **65 MWh/a**. Würden die Lärmschutzmassnahmen an bestehenden Stützmauern sowie weitere Stützmauern innerhalb der Stadt Schaffhausen ebenfalls dazugezählt, wäre es einiges mehr. Das Potenzial solcher Stützmauer wird aber bereits durch eine Überdachung der Autobahn berücksichtigt resp. aufgehoben.

Bahnlinien: Gemäss dem Bericht «Lärmsanierung der Eisenbahn» existieren entlang der Bahnlinien im Kanton Schaffhausen zwei Lärmschutzwände mit einer Länge von 420 m und einer Fläche von 696 m<sup>2</sup> (Stand 2015). Zudem sind für die Periode 2016-2025 keine grossen Projekte vorgesehen. Würden diese beiden Lärmschutzwände als Solarzaun mit Schalldämpfungsfunktion umgewandelt, ergäbe dies ein Potenzial von **80 kWp** oder **68 MWh/a**.

Kantonsstrassen: Relevante Lärmschutzwände gibt es gemäss Kantonsingenieur nur entlang der Umfahrung Hemishofen. Sie wurden erst kürzlich ersetzt. Deren Ausrichtung sowie die Verschattung durch Wald, Gebüsch und Topografie sind nicht ideal, weshalb kein Potenzial vorhanden ist.

Brücken

Solarstromanlagen an Brücken müssten nicht zwangsläufig vertikal sein, sondern könnten auch schräg montiert sein, wodurch die Modulausrichtung in Bezug zur Sonne optimiert werden kann. Dadurch steigt auch die Anzahl in Frage kommender Brücken als PV-Standort.

Es wird davon ausgegangen, dass Solarmodule (je 300 Wp) entlang von Brücken Querformat in zwei Modulreihen installiert werden können (vgl. Bild).

---

<sup>32</sup> Quelle: «Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen». Forschungsauftrag ASTRA 2010/009, erstellt von TNC Consulting AG Feldmeilen, Dezember 2012.



**Abb. 1 Solarstromanlage Rheinbrücke Bendern-Haag.**

(Quelle: Solargenossenschaft Liechtenstein)

#### Bahn:

Im Kanton Schaffhausen gibt es 4 Bahnbrücken mit einer Länge >50 m und einer Gesamtlänge von ca. 700 m, wobei sich etwas mehr als die Hälfte auf Schaffhauser Boden befindet (Rheinbrücken hälftig Schaffhausen und Kanton Zürich/Thurgau). Aufgrund der Ausrichtung sind die beiden Rheinbrücken in Hemishofen und zwischen Schaffhausen und Feuerthalen beidseitig für PV-Anlagen nutzbar, die anderen beiden nur einseitig. Insgesamt resultiert ein Potenzial von **201 kWp** oder **189 MWh/a**.

Brücke	Länge	Brückenverlauf	Nutzbar	Mittlere Einstrahlung*	Potenzial	
	[m]			[kWh/m <sup>2</sup> /a]	[kWp]	[MWh/a]
Rheinbrücke Rheinfall	80	Ost-West	einseitig	Süd: 1'400	24	27
Rheinbrücke Schaffhausen-Feuerthalen	150	NNW-SSO	beidseitig	WSW: 1'200 ONO: 1'050	90	81
Rheinbrücke Hemishofen	120	NNO-SSW	beidseitig	OSO: 1'200 WNW: 1'050	72	65
Wilchingen-Hallau Kreisel	50	NO-SW	einseitig	SO: 1'300	15	16
<b>Total</b>	<b>400</b>				<b>201</b>	<b>189</b>

\* gemäss [www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch)

**Tab. 23 Potenzial für Solarstromanlagen an Bahnbrücken**

Autobahn:

Im Kanton Schaffhausen gibt es 8 Autobahnbrücken, die sich grundsätzlich für PV-Anlagen eignen würden. Die nutzbare Brückenlänge beträgt ca. 500 m, wobei diese wegen ihrer Ausrichtung nur einseitig für PV genutzt werden können. Es könnten somit rund **150 kWp** PV-Leistung installiert werden. Die Ausrichtungen variieren gemäss [www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch) von sehr gut bis hervorragend, weshalb eine mittlere Einstrahlung von 1'300 kWh/m<sup>2</sup>/a zugrunde gelegt wird. Bei einer Fläche von 1'000 m<sup>2</sup> und eingangs erwähnten Verlusten resultiert ein potenzieller Ertrag von **156 MWh/a**.

Kantonsstrassen

Die 4 grossen Rheinbrücken in Rüdlingen, Schaffhausen, Hemishofen und Stein am Rhein sind gemäss Einschätzung des Kantonsingenieurs nicht alle gleich gut geeignet für eine PV-Nutzung:<sup>33</sup>

- \_ In Rüdlingen wird in den kommenden 3 Jahren die Rheinbrücke ersetzt. Das Projekt wurde in einem Wettbewerbsverfahren entwickelt. Die Einbettung in die Landschaft und die architektonische Ausgestaltung ist sehr anspruchsvoll und heikel. Die Brücke wird zudem vom Kanton Zürich gebaut und unterhalten. Die Integration einer PV-Anlage wird als sehr schwierig beurteilt.
- \_ Die Rheinbrücke in Schaffhausen hat auch Rahmenbedingungen, die eher nicht für PV Module sprechen (Ausrichtung). Insbesondere ist auch hier die Ästhetik im städtischen Raum von Bedeutung.
- \_ Federführend bei der Hemishoferbrücke ist der Kanton Thurgau. Die Brückenausrichtung ist nicht ideal.
- \_ Die Brücke in Stein am Rhein ist u.a. aus ästhetischer Sicht nicht für die PV-Nutzung geeignet.

Brücke	Länge [m]	Brücken- verlauf	Nutzbar	Mittlere Ein- strahlung* [kWh/m <sup>2</sup> /a]	Potenzial	
					[kWp]	[MWh/a]
Rheinbrücke Rüdlingen	kein Potenzial					
Rheinbrücke Schaffhausen	100	SO-NW	beidseitig	NO: 1'050 SW: 1'200	60	54
Rheinbrücke Hemishofen	120	NNO-SSW	beidseitig	OSO: 1'200 WNW: 1'050	72	65
Rheinbrücke Stein a. Rhein	kein Potenzial					
<b>Total</b>	<b>220</b>				<b>132</b>	<b>119</b>

\* gemäss [www.sonnendach.ch](http://www.sonnendach.ch)

**Tab. 24 Potenzial für Solarstromanlagen an Kantonsstrassenbrücken**

<sup>33</sup> Quelle: Dino Giuliani, Kantonsingenieur Kanton Schaffhausen

#### 4.2.5 Parkplätze

Gemäss Luftbildanalyse gibt es im Kanton Schaffhausen ca. 80 Parkplätze, welche eine Parkfläche von mehr als 1'000 m<sup>2</sup> aufweisen. Gesamthaft bedecken sie eine Fläche von 215'000 m<sup>2</sup>. Diese sind mehrheitlich bei Industriearealen zu finden, aber auch bei Bahnhöfen, Freizeiteinrichtungen (Schwimmbäder, Sportplätze, Touristenattraktionen, Kino), Zollstationen, Spital und Einkaufszentren. Diese Parkplätze eignen sich theoretisch für eine Überdachung mittels fix installierten PV-Carports oder falt-/ schiebedachanlagen.

Wird angenommen, dass aus diversen Gründen wie Ortsbildschutz, Verschattung, ungünstige Ausrichtung / Form, fehlendem Netzanschluss o. ä. nur rund 20% des Potenzials genutzt werden kann, resultiert bei einer spezifischen Leistung von 110 Wp/m<sup>2</sup> ein Potenzial von ca. **4'730 kWp**. Damit könnte rund **4'070 MWh/a** produzieren, wenn man einen ähnlichen spezifischen Ertrag wie beim Faltdach über der ARA in Chur von 860 kWh/kWp zugrunde legt.

#### 4.2.6 Kraftwerke

Das Solarstrompotenzial auf Dächern der Kraftwerke, die das grösste Potenzial aufweisen, wird bereits in der Studie "Grosse Solarstromanlagen im Kanton Schaffhausen: Konzept zur Verbesserung der Rahmenbedingungen" berücksichtigt.

Als PV-System mit dem vielversprechendsten Potenzial wird der Solarzaun resp. das Solargeländer erachtet. Der Solarzaun besteht aus bifazialen PV-Modulen und weist ein Potenzial von ca. 190 Wp pro Laufmeter auf. Daraus wird ein technisch erschliessbares Potenzial von **86 kWp** resp. **73 MWh/a** abgeschätzt. Ob zusätzlich ein Potenzial für Floating-PV beim Pumpspeichersee Engeweiher vorhanden ist, müsste abgeklärt werden.

Kraftwerk	Potenzialeinschätzung	Potenzial	
		[kWp] <sup>1</sup>	[MWh/a] <sup>2</sup>
Laufkraftwerk Schaffhausen	Teilverschattung durch südlich gelegenen Hügel mit Wald; keine freien Flächen vorhanden --> beschränktes Potenzial mittels 300 m Solarzaun als Geländer	57	48.5
Pumpspeicherwerk Engeweiher	Staubecken auf Hügel, aber von Wald umgeben; beliebtes Naherholungsgebiet --> kein Potenzial an Land --> ev. könnte die Wasserfläche mittels "Floating PV" genutzt werden	k. A.	k. A.
Neuhausen am Rheinflall	Nördlich des Rheinflalls; dicht bebaut und bewaldet; schattig und enge Platzverhältnisse --> kein Potenzial	---	---
Wunderklingen	Kleines Areal; Tallage mit Verschattung durch umliegende Hügel --> beschränktes Potenzial mittels Umzäunung mit 150 m Solarzaun	29	24.5
<b>Total</b>		<b>86</b>	<b>73</b>

<sup>1</sup> basierend auf Angaben zur Frontseite der bifazialen Module

<sup>2</sup> Angabe für beide Seiten der bifazialen Module

Tab. 25 Potenzial für Solarstromanlagen bei Kraftwerken

#### 4.2.7 Unterwerke

In der Umgebung von Unterwerken haben Freiflächenanlagen und PV-Zäune nebst Dachanlagen, welche im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet werden, das grösste Potenzial. Die Angaben in folgender Tabelle sind anhand von Luftbildern abgeschätzt worden.

Unterwerk	Potenzial für PV-System		Potenzial	
	Zaun [m]	Freifläche [m <sup>2</sup> ]	[kWp]	[MWh/a]
Wilchingen	Kleines UW bestehend aus U-förmigem Gebäude und kleinem nordseitigen Innenhof mit Transformatoren; PV-Anlage auf Dach --> Kein Potenzial		---	---
Schaffhausen Kraftwerk	UW beim Laufkraftwerk im Gebäude --> Potenzial bereits unter Kraftwerk beziffert		---	---
Schaffhausen Geissberg	---	800	53	55
Herblingen	Kleines UW mit Transformatoren im Gebäude; sehr wenig Umschwung; PV-Anlage auf Dach --> Kein Potenzial		---	---
Thayngen	UW mit Transformatoren südseitig des Gebäudes; sehr wenig Umschwung; PV-Anlage auf Dach --> Kein Potenzial		---	---
Hemishofen	100	---	19 <sup>1</sup>	16 <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>800</b>	<b>72</b>	<b>71</b>

<sup>1</sup> basierend auf Angaben zur Frontseite der bifazialen Module

<sup>2</sup> Angabe für beide Seiten der bifazialen Module

Tab. 26 Potenzial für Solarstromanlagen bei Unterwerken

Um das Potenzial von Freilandssystemen zu bestimmen, wird angenommen, dass auf einer Fläche von 1.5 ha rund 1 MW PV-Leistung installiert werden können bei einer mittleren Einstrahlung von 1'300 kWh/m<sup>2</sup>. Das Potenzial des Solarzauns wird mit 190Wp pro Laufmeter berechnet. Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial von **72 kWp** resp. **71 MWh/a**.

#### 4.2.8 Abwasserreinigungsanlagen ARA

Das grösste Potenzial bei ARAs bieten falt- oder schiebedachanlagen, welche über den Klärbecken errichtet werden. 3 von 11 Schaffhauser ARAs liegen auf deutschem Hoheitsgebiet und werden daher nicht weiter betrachtet. Von den übrigen eignen sich die ARA Röti, Bibertal-Hegau und Stein a. R. für die Installation von Faltdachanlagen. Diese 3 Anlagen zusammen haben ein Potenzial von **2'140 kWp** und könnten rund **1'840 MWh/a** produzieren, wenn man einen ähnlichen spezifischen Ertrag wie beim Faltdach über der ARA in Chur von 860 kWh/kWp zugrunde legt.

ARA	Potenzial für Solarfaltdach vorhanden?	Potenzialabschätzung	
		[kWp]	[MWh/a]
Rüdlingen	Nein, zu klein	---	---
Hallau	Nein, runde und zu grosse Klärbecken	---	---
Röti	Ja	130	110
Schleitheim	Nein, zu klein, Verschattung	---	---
Beggingen	Nein, zu klein, Verschattung	---	---
Bargen	Nein, zu klein, Verschattung	---	---
Bibertal Hegau	Ja	1'860	1'600
Stein a. R.	Ja	150	130
Büsingen	Liegt auf deutschem Hoheitsgebiet; zu klein	---	---
Oberes Bibertal	Liegt auf deutschem Hoheitsgebiet	---	---
Klettgau	Liegt auf deutschem Hoheitsgebiet	---	---
<b>Total</b>		<b>2'140</b>	<b>1'840</b>

Tab. 27 Potenzial für Solarfaltdächer auf Schaffhauser Abwasserreinigungsanlagen

Bei Liegenschaften ausserhalb der Bauzone, die nicht an die Schmutzwasserkanalisation angeschlossen werden können, wird das häusliche Abwasser in dezentralen Kleinkläranlagen gereinigt. Solche Abwasserreinigungsanlagen sind bei der Potenzialabschätzung nicht berücksichtigt worden.

#### 4.2.9 Deponien

Die Ausgangslage für die Potenzialabschätzung bilden die beiden in die Richtplankarte aufgenommenen, genehmigten Deponien "Pflumm" und "Birchbüel". Beide Gebiete sind anhand von topografischen Karten sowie Luftbildern beurteilt worden. Die Flächenangaben sind aus dem Geoportal Schaffhausen gemessen worden.

Die Multikomponentendeponie "Pflumm" (Reaktordeponie mit Schlackenkompartiment) liegt zwischen Siblingen und Schleithem. Der Deponiestandort ist von Wald umgeben und wird vom westlichen Ausläufer des Langen Randen teilweise verschattet. Trotzdem könnten rund 20'000 m<sup>2</sup> für eine PV-Nutzung erschlossen werden. Mögliche Netzan-schlüsse dürften sich in Siblingen oder Schleithem befinden (je 2.2 km entfernt).

Die Inertstoffdeponie Birchbüel in Siblingen liegt ebenfalls im Wald, wird aber von der umliegenden Topografie weniger stark verschattet als die Deponie Pflumm. Die Lage an einem Südwesthang bietet grundsätzlich ein Potenzial für die Sonnenenergienutzung. Die Deponiezone weist eine Fläche von ca. 79'200 m<sup>2</sup> auf, wovon aktuell etwa 56'000 m<sup>2</sup> in Betrieb sind. Die restliche Fläche ist bewaldet. Bei einer Inertstoffdeponie ist anzunehmen, dass ihr ökologischer Wert nach Stilllegung beschränkt und der Boden relativ gut verdichtet ist. Weiter wird angenommen, dass mit Ausnahme eines Randstreifens die gesamte aktuell bewirtschaftete Fläche zur Verfügung stehen könnte (ca.

50'000 m<sup>2</sup>). Ein möglicher Netzanschluss dürfte sich im 1.2 km entfernten Siblingen befinden, was jedoch zu überprüfen ist.

Um das Potenzial von Freiflächen-Anlagen zu bestimmen, wird angenommen, dass auf einer Fläche von 1.5 ha rund 1 MW PV-Leistung installiert werden kann. Daraus ergibt sich ein theoretisches Gesamtpotenzial von **4'650 kWp** oder **4'650 MWh/a**.

#### 4.2.10 Abbaugelände

Die Ausgangslage für die Potenzialabschätzung bilden die in der Richtplananpassung 2020 aufgeführten Materialabbaugelände für Kies, Grien sowie Kalk/Ton/Mergel. Sämtliche Gegendern sind anhand von topografischen Karten sowie Luftbildern beurteilt worden, ohne jedoch die vorgesehene Nachnutzung zu berücksichtigen. Die Flächenangaben sind aus dem Geoportal Schaffhausen gemessen worden.

Um das Potenzial von Freiflächen-Anlagen zu bestimmen, wird angenommen, dass auf einer Fläche von 1.5 ha rund 1 MW PV-Leistung installiert werden können. Weiter wird angenommen, dass mit Ausnahme eines Randstreifens die gesamte aktuell bewirtschaftete Fläche zur Verfügung stehen könnte. Daraus ergibt sich ein theoretisches Gesamtpotenzial von **37'800 kWp** resp. **37'800 MWh/a**.

Kiesabbaugelände	Potenzial vorhanden?	Nutzbare Fläche	Potenzialabschätzung	
		[m <sup>2</sup> ]	[kWp]	[MWh/a]
Beringen "Auf dem Hard"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Beringen "Haarlachen"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Beringen "Holoo"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Beringen/Neunkirch "Langacker"	Ja, aber Gegendern in der Richtplananpassung 2020 erst als Vororientierung klassiert	155'000	10'400	10'400
Dörflingen "Chessel"	Nein (Wald: Verschattung, Nachnutzung)	---	---	---
Hallau "Wasserfallen"	Ja	43'000	2'900	2'900
Neunkirch "uf Doktri"	Ja	53'000	3'550	3'550
Rüdlingen "Fallentor"	Nein (Wald: Verschattung, Nachnutzung)	---	---	---
Schaffhausen "Solenberg"	Nein (Wald: Verschattung, Nachnutzung)	---	---	---
Thayngen "Hinterberg"	Nein (Wald: Verschattung, Nachnutzung)	---	---	---
Wilchingen "Holderäcker"	Ja, aber die Hälfte des Gegenderns in der Richtplananpassung 2020 erst als Zwischenergebnis klassiert	190'000	12'750	12'750
<b>Total</b>		<b>441'000</b>	<b>29'600</b>	<b>29'600</b>

**Tab. 28 Potenzial Kiesabbaugelände**  
(Alle Werte auf 50 gerundet)

Grien-Abbauggebiet	Potenzial vorhanden?	Nutzbare Fläche	Potenzialabschätzung	
		[m <sup>2</sup> ]	[kWp]	[MWh/a]
Bargen "im Raa"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Beggingen "Buechisebni"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Gächlingen "Dachlöcheren"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Merishausen "Untere Barmen"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Merishausen "Usseri Barmen"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Merishausen "Hage"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Neunkirch "Tobeläcker"	Ja	3'500	250	250
Schleitheim "Heidenlöcher"	Nein (Verschattung Topografie und Wald)	---	---	---
Siblingen "Burghalde"	Ja, aber teilweise Verschattung durch Wald	3'000	200	200
Wilchingen "Gräsli, Wangental"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Wilchingen "Radeggerhalde"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
<b>Total</b>		<b>6'500</b>	<b>450</b>	<b>450</b>

**Tab. 29 Potenzial Grien-Abbaugebiete**  
(Alle Werte auf 50 gerundet)

Abbauggebiet Kalk/Ton/Mergel	Potenzial vorhanden?	Nutzbare Fläche	Potenzialabschätzung	
		[m <sup>2</sup> ]	[kWp]	[MWh/a]
Buchberg "Sollbüel"	Ja	36'000	2'400	2'400
Büttenhardt "Vordere Ticki"	Ja	11'700	800	800
Lohn "Blattenacker"	Ja	2'400	150	150
Lohn "Fläckwiisli"	Ja, teilweise Verschattung durch Wald	3'000	200	200
Lohn "Obere Ticki"	Ja	3'400	250	250
Lohn "i der Rüti"	Ja	2'000	150	150
Lohn "Rüti Nordwest"	Ja	6'500	450	450
Lohn "Rüti Ost"	Ja	6'700	450	450
Siblingen "Birchbühl"	bereits bei den Deponien berücksichtigt			
Thayngen "Bibermeregg"	Nein (topografische Verschattung)	---	---	---
Lohn "Kalksteinbruch"	Ja, teilweise Verschattung durch Wald	43'000	2'900	2'900
<b>Total</b>		<b>114'700</b>	<b>7'750</b>	<b>7'750</b>

**Tab. 30 Potenzial Abbaugebiete Kalk/Ton/Mergel**  
(Alle Werte auf 50 gerundet)

Infrastruktur	Eigenverbrauch	Prioritäre Technologie(n)	Machbarkeit			Gestehungskosten [Rp. / kWh]	Abgeschätztes Potenzial		Bewertung / Hauptproblemfeld
			technisch	wirtsch. <sup>1</sup>	rechtlich <sup>2</sup>		[MW]	[GWh]	
Nationalstrassen (fahrbahnnahe)	Tief	Fixe PV-Überdachung	●	●	●	Keine Angaben	1.6	1.5	Teure Konstruktion, wenig Eigenverbrauch, Bewilligung aufwändig / innerhalb Siedlungen ev. Ortsbildschutz
Nationalstrassen (fahrbahnfern)	Tief	Freilandssysteme	●	●	●	6-7	1.3	1.4	Wenig Eigenverbrauch, Bewilligung aufwändig / ausserhalb Siedlungen ev. Landschaftsschutz
Kantonsstrassen	Tief	Falt-/ Schiebedachanlage	●	●	●	12-13	1.4	1.2	Wenig Eigenverbrauch, Bewilligung aufwändig, Ortsbildschutz
Bahntrasse	Hoch	Solarzaun	●	●	●	(9-) 15	0.9	0.8	Bewilligung aufwändig, ausserhalb von Siedlungen ev. auch Landschaftsschutz
Kunstabauten (Lärmschutzwände)	Tief	PV auf/an Lärmschutzwand	●	●	●	12 (Best Case) bis 75	0.2	0.1	Bewilligung bez. Sicherheit, wenig Eigenverbrauch
Kunstabauten (Brücken)	Tief	Wandsysteme	●	●	●	Keine Angaben	0.5	0.5	Ausrichtung, Ästhetik, Netzanschluss
Parkplätze	Unterschiedlich	Fixe PV-Überdachung, Falt-/ Schiebedach	●	●	●	12-15	4.7	4.1	Wirtschaftlicher Betrieb nur möglich wo Eigenverbrauch genügend hoch oder Standard-PV-Carports einsetzbar, Ortsbildschutz
Kraftwerke	Tief	Solarzaun	●	●	●	9-15	0.1	0.1	Wenig Eigenverbrauch, Landschaftsschutz, Wirtschaftlichkeit bei kleinen Projektgrössen
Unterwerke	Tief	Freilandssystem, Solarzaun	●	●	●	6-7 (Freilandssystem) 9-15 (Solarzaun)	0.1	0.1	Meist in Gebäude, wenig Eigenverbrauch, Freiflächen für Wartung/Ausbaupläne besetzt
ARA	Hoch	Falt-/ Schiebedachanlage	●	●	●	12-13	2.1	1.8	Wirtschaftlicher Betrieb nur möglich, wenn Fläche >1'000 m <sup>2</sup>
Deponien	Tief	Freilandssystem	●	●	●	6-7	4.6	4.6	Politische Rahmenbedingungen, Landschaftsschutz, kein Eigenverbrauch, Netzanschluss,
Abbaugelände	Mittel (Betrieb) Tief (Stilllegung)	Freilandssystem	●	●	●	6-7	37.8	37.8	Kosten für Ersatzmassnahmen
<b>Total</b>	---	---	---	---	---	---	<b>55.3</b>	<b>54.0</b>	---

Bewertung der Machbarkeit

- Gut
- Mittel
- Schwierig

<sup>1</sup> abhängig von Förderung und Eigenstromanteil<sup>2</sup> abhängig vom politischen Willen

Tab. 31 Resultatmatrix der Solarstromanlagen an Infrastrukturanlagen im Kanton Schaffhausen (ohne Einbezug der Gebäudedächer).

## 5. Zusammenfassung

### 5.1 Eignung von PV-Systemen

Die wohl ausgereiftesten PV-Systeme auf Infrastrukturanlagen sind fix installierte PV-Überdachungen, wie sie z. B. auf Carports v. a. im Privatgebrauch schon zahlreiche Verwendung finden. Mittlerweile sind aber auch grössere Parkplatzüberdachungen mit solchen Systemen standardmässig erhältlich und der Bedarf wird weiter zunehmen.

Klassische Freilandssysteme, vertikale Wandsysteme und PV-Systeme an Lärmschutzmauern sind erprobte und marktreife PV-Systeme. Trotzdem gibt es in der Schweiz nicht viele solche Anlagen. Die Gründe sind vielschichtig:

- \_ Klassische Freilandssysteme stehen in Konkurrenz mit der landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen, wobei die Landwirtschaft zum aktuellen Zeitpunkt meist stärker gewichtet wird. Synergien in Form von positivem Effekt der Beschattung oder Etablierung von Biodiversitätsstreifen werden jedoch noch zu wenig berücksichtigt.
- \_ Vertikale Wandsysteme im Zusammenhang mit Verkehrsflächen sind oft weit entfernt von einem Netzanschluss. Dank der raschen Entwicklung von verwandten PV-Systemen an Häuserfassaden dürften auch Wandsysteme in Zukunft an Bedeutung gewinnen.
- \_ PV-Systeme an Lärmschutzmauern scheitern oft an den hohen sicherheitstechnischen Anforderungen, den vergleichsweise geringen Energieerträgen oder am erhöhten Wartungsaufwand.

Faltdachsysteme, welche zurzeit auf mehreren ARAs und grösseren Parkplätzen errichtet werden, haben das Potenzial für Kostensenkungen. Dasselbe gilt für Schiebgedachanlagen, die zwar noch nicht gebaut wurden, aber dank ihrer Leichtbaukonstruktion erhebliche Kostenvorteile versprechen. Es fehlen hier jedoch noch langjährige Erfahrungen.

Der Solarzaun ist prinzipiell eine ausgereifte Technik, gemessen am gesamten PV-Markt deckt er jedoch eine Nische ab, die aber durchaus Potenzial hat.

Die ersten Erfahrungen mit Strassenbelägen aus PV-Modulen sind ernüchternd. V.a. auf Strassen mit Schwerverkehr waren grosse Schäden an den Modulen zu entdecken und der Energieertrag blieb weit unter den Erwartungen. Mit PV-Modulen ausgelegte Rad- oder Fusswege könnten in Zukunft mehr Potenzial haben.

### 5.2 Potenzial von Solarstromanlagen auf Infrastrukturanlagen

Insgesamt ist auf Infrastrukturanlagen im Kanton Schaffhausen ein Potenzial von ca. 55 MW oder 54 GWh vorhanden, wobei das grösste auf Abbaugeländen und Deponien liegt (77 % des Gesamtpotenzials). Freiflächenanlagen auf Deponien / Abbaugeländen sind zum aktuellen Zeitpunkt schwierig zu realisieren, da diese Gebiete nach Einstellung des Betriebs einerseits wieder in die ursprüngliche Zone zugeordnet (Wald, Landwirtschaftszone) oder Ersatzmassnahmen andernorts geleistet werden müssen und andererseits die Nachfrage nach Landwirtschaftsland gross ist und somit eine PV-Nutzung in diesen Zonen politisch nicht gewünscht wird. Obwohl Freiflächenanlagen mittlerweile sehr tiefe Stromgestehungskosten haben, ist ein wirtschaftlicher Betrieb unter

den heute geltenden Bedingungen (kein Eigenverbrauch, Kosten für Netzanschluss und Ersatzmassnahmen) kaum möglich.

Rund 18 % des Gesamtpotenzials liegt entlang von Strassenflächen (Autobahnen, Kantonsstrassen, Kunstbauten und Parkplätze).

Entlang von Autobahnen ist das Bewilligungsprozedere oft analog zu grösseren Bauten wie Tunnels und Brücken mit der Integration einer Vielzahl von Stakeholdern und umfangreichen Anforderungen verbunden. Hier könnte eine Vereinfachung im Sinne einer Lockerung des Anforderungskatalogs bzgl. Verkehrssicherheit angebracht sein, v. a. hinsichtlich kleinerer Installationen oder fahrbahnferner Installationen. Fahrbahnahe Arbeiten entlang von Autobahn und Bahnlinien inkl. Kunstbauten sind immer teuer, da diese sicherheitstechnisch aufwändig sind. Es ist nicht zu erwarten, dass sich dies in Zukunft ändert. Falls Tests an Autobahnüberdachungen mittels PV in Deutschland und Österreich positiv verlaufen, könnte dies ein positives Signal für die Schweiz aussenden und womöglich die sicherheitstechnischen Anforderungen aufweichen sowie die Wirtschaftlichkeit von Projekten verbessern.

Die Überdachung von Parkplätzen, insbesondere bei Industrien mit hohem Strombedarf oder bei Bahnhöfen oder im Zusammenhang mit Elektroladstationen für Fahrzeuge, stellt ein interessantes Potenzial dar, zumal die Technik ausgereift und ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist. Dasselbe gilt für Überdachungen von ARAs, wobei diese den Vorteil haben, dass sie genehmigungstechnisch einfacher zu realisieren sind als z. B. PV-Anlagen entlang von Strassen und dass sie an eine Infrastruktur mit einem hohen Strombedarf gekoppelt sind, was sich generell positiv auf die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen auswirkt. Hinzu kommt der Zusatznutzen in Form von Beschattung der offenen Wasserbecken.

## 6. Fazit und Ausblick

Gerade wenn kein Eigenstrombedarf an der Infrastrukturbauwerke vorhanden ist und der Strom ins öffentliche Netz eingespeist werden muss, sind Solarstromprojekte, die nicht dem Standard entsprechen, oft nicht wirtschaftlich. Mit besseren Einspeisebedingungen z. B. in Form eines kantonalen Rückliefertarifs / kantonalen Investitionsanreize könnte viel zusätzliches Potenzial erschlossen werden.

Auf Basis der recherchierten Informationen könnten weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden wie z. B.:

- \_ Autobahnen: Es sollte untersucht werden, inwiefern sicherheitstechnische Anforderungen für kleinere oder fahrbahnferne PV-Installationen aufgeweicht werden können. Zudem könnte die Machbarkeit einer Autobahn-Überdachung in der Stadt Schaffhausen vertieft untersucht werden.
- \_ Kantonsstrassen: Eine Überdachung einer Kantonsstrasse im Mutzentäli wurde vom Kanton bereits angedacht, jedoch aus Sicherheitsgründen wieder verworfen. Eine vertiefte Untersuchung der Machbarkeit könnte sich trotzdem lohnen, wenn nur Strassenabschnitte mit Innerortsverkehr und in Industriezonen betrachtet werden.

- \_ Parkplätze: Die Überdachung von Parkplätzen v.a. in Industriegebieten könnten ein interessantes Potenzial darstellen, welches sich detaillierter zu untersuchen lohnt.
- \_ Deponien und Abbaugelände: Diskussion, wie die Bewilligungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit von Solarstromanlagen in diesen Gebieten erhöht werden können.

Des Weiteren könnte der Diskussion bzgl. Akzeptanz von Solarstromanlagen und v. a. Ortsbild- / Landschaftsschutzbedenken vorgegriffen werden, indem der Aufwand für Umweltuntersuchungen in entsprechenden «Beurteilungsrichtlinien» im Sinne einer Erleichterung für PV-Projekte definiert wird.

