



AMSTEIN + WALTHERT

# Potenziale zur Produktion erneuerbarer Energien bei Transportunternehmen

Kurzfassung für die Transportunternehmen

Umsetzung Energiestrategie 2050  
im öffentlichen Verkehr ESöV2050



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra



Quelle Bild: [www.klima-wandel.com](http://www.klima-wandel.com)

Version 1 / 7. März 2017

## Einleitung

Die Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs sollen gemäss Auftrag des Bundesrats an das BAV im Rahmen der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050) ihren Beitrag zur Produktion erneuerbarer Energien leisten. Grundsätzlich hat das BAV drei Arbeitsbereiche definiert, welche schwerpunktmässig bearbeitet werden sollen:

- Grundsätze: Anreize und Verpflichtungen schaffen
- Information und Kommunikation: Austausch fördern
- Praxis : Förderung des technisch-betrieblichen Fortschritts (insbesondere durch Förderung von Forschungs- und Pilotprojekten)

Die vorliegende Studie, deren Kurzfassung Sie in Händen halten, verfolgt drei Ziele:

Interessen und Bedürfnisse der TU besser kennen

Über Recherche und Umfragen wurde festgestellt, dass sich einige TU bereits intensiv mit diesem Thema beschäftigen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei vielen TU das Engagement vorhanden ist, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen. Das Wissen zur Umsetzung fehlt aber weitgehend und Unterstützung ist deshalb willkommen. Die Wirtschaftlichkeit von Projekten wird als grösstes Hemmnis zur kurzfristigen Umsetzung von bestehenden Potenzialen betrachtet.

Potenzialanalyse

Im Folgenden werden die Potenziale der einzelnen Energieträger und Anwendungen beschrieben und abgeschätzt.

Massnahmenvorschläge an das BAV

Im Rahmen der Studie und als Resultat aus einem Workshop mit Vertretern von Unternehmen des öffentlichen Verkehrs werden insgesamt 19 Massnahmen in 6 Bereichen zur Unterstützung der Umsetzung bei den TU vorgeschlagen.

## Potenzialdefinition

**Theoretisches Potenzial:** Das theoretische Potenzial beschreibt das innerhalb einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot.

**Technisches Potenzial:** Das technische Potenzial ist der Anteil des theoretischen Potenzials, welcher unter Berücksichtigung der technischen Restriktionen nutzbar ist.

**Wirtschaftliches Potenzial:** Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, den man erhält, wenn die Gestehungskosten bis zu 20% über den momentanen Kosten konkurrierender Systeme liegen. Die Kostenschätzungen sind grob und weisen eine Genauigkeit von ca. ±30% auf. Stromgestehungskosten werden analog der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) berechnet:

$$\text{Stromgestehungskosten} = \frac{\text{Betriebskosten} + \text{Kapitalkosten (Annuitäten)}}{\text{Mittlere Energieproduktion}}$$

In der vorliegenden Studie geht es um die Abschätzung von Potenzialen zur Produktion von erneuerbaren Energien bei TU unter Berücksichtigung sämtlicher verfügbarer Infrastrukturen, Anlagen und Gebäuden. Es wurden die Resultate aus bestehenden Potenzialstudien (SBB) im ÖV-Bereich zur Produktion/Umwandlung erneuerbarer Energien zusammengetragen und die Resultate nach Möglichkeit auf den ganzen ÖV-Sektor hochgerechnet.

Analog zur KG-VBE wurde wo möglich das technische und das wirtschaftliche Potenzial betrachtet. Theoretische Potenziale sind dort angegeben, wo in der Literatur keine technischen Potenziale zu finden waren oder man auf Abschätzungen angewiesen war. Die Bottom-Up Erfassung von technischen Potenzialen war nicht Aufgabe dieser Studie.

## Potenziale Bereich Wärme

Im Bereich Wärme zeigt eine Potenzialabschätzung über den ganzen Bereich des öffentlichen Verkehrs ein technisches Potenzial von 133 GWh/a auf. Dieses basiert weitgehend auf bestehenden Potenzialstudien und Hochrechnungen. Unter den heutigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umsetzbar sind ca. 100 GWh/a. Der Hauptanteil liegt bei der Verwendung von Holz als Energieträger und der Substitution fossiler Energien durch Wärmepumpen im Gebäudebereich und bei Weichenheizungen.

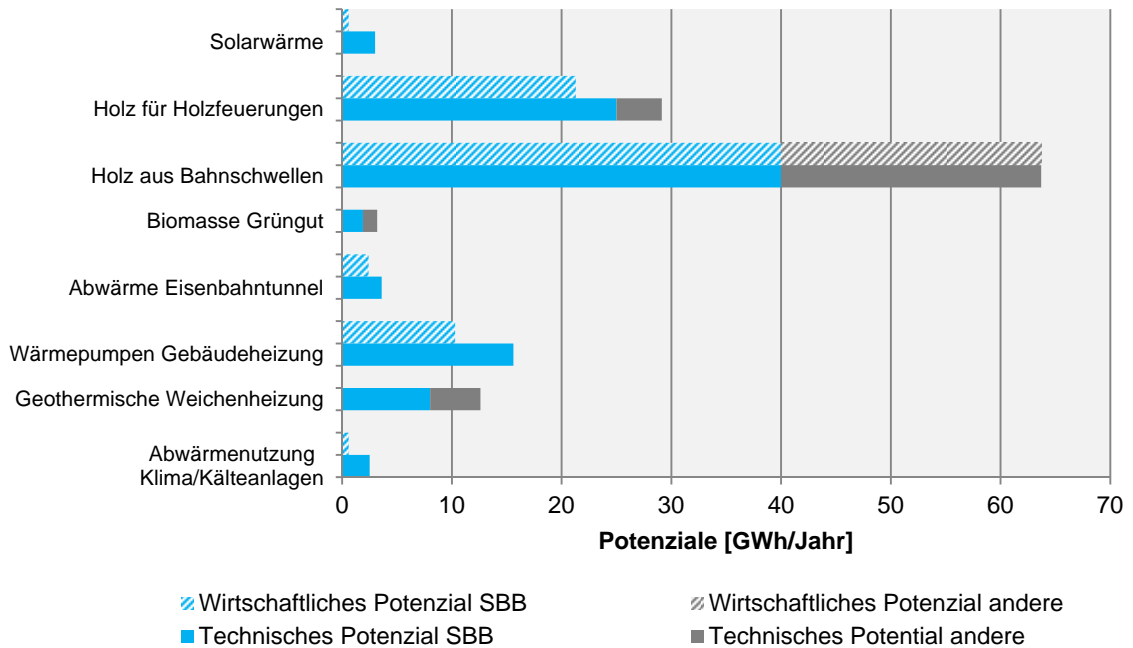



Abbildung 1 Technische und wirtschaftliche Potenziale erneuerbare Wärme


## Potenziale Solarwärme

Solarwärme für Bergrestaurants und Hotels und die SBB


<b>Plusenergie-Hotel Muottas Muragl</b> 	Relevanz Sektor: Eisenbahn, Seilbahn	
	Sonnenkollektoren (Flach- und Röhrenkollektoren) produzieren Solarwärme für Warmwasser und Heizung. Überschüssig erzeugte Wärmeenergie wird im Erdsondenfeld gespeichert und, wenn benötigt, über eine Wärmepumpe wieder abgerufen. Der Energiebedarf des Hotelgebäudes wird zu 100% durch Solarenergie gedeckt.	
Potenzial: Technisch	SBB;	Wärme: 3 GWh/Jahr
	Übrige TU;	Wärme: n.a.
Potenzial: Wirtschaftlich	SBB;	Wärme: 0.6 GWh/Jahr
	Übrige TU;	Wärme: n.a.
Handlungsempfehlungen TU:	Bei Neu- und Umbauten von Hotels, Restaurants und anderen Anlagen mit hohem Wärmebedarf Solarwärme als Energieträger mitberücksichtigen, auch für Regeneration von Erdsondenfeldern.	

## Potenziale Biomasse


### Holz aus eigenem Wald für Holzfeuerungen

 <p>Bild: waldwissen.net</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU mit Waldbesitz</p> <p>Die SBB verfügt über 1600ha Wald, ein Teil davon Schutzwald. Werden 70% dieser Waldfläche im Rahmen einer nachhaltigen Bewirtschaftung genutzt, resultiert ein Wärmepotenzial von 23.9 GWh. Dies entspricht dem im Rahmen der KG-VBE hochgerechneten Potenzial von 25 GWh/a für die Substitution fossiler Heizungen durch Holzfeuerungen. Die SBB könnte unter diesen Annahmen ihr Potenzial also weitgehend aus eigenem Waldbestand decken. Die gesamte rapportierte Waldfläche weiterer TU beträgt 276 ha.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Wärme: 25 GWh/Jahr          Übrige TU; Wärme: 4.13 GWh/Jahr</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB; Wärme: 21.3 GWh/Jahr          Übrige TU; Wärme: n.a.</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Möglichkeiten zur energetischen Verwertung von Holz aus eigenen Wäldern zur Substitution fossiler Energieträger abklären</p>

### Holz aus der Verwertung von Bahnschwellen



<p><b>Machbarkeitsstudie SBB</b></p> 	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Zur Entsorgung von 18'000t jährlich anfallenden Bahnschwellen schlägt eine Studie im Auftrag der SBB den Bau eines Holzheizkraftwerks vor. Über eine Dampfturbine sollen ca. 20 % des Energieinhalts verstromt werden.</p> <p>Ein Fernwärmenetz soll benachbarte Gebiete mit Wärme für Heiz-, Kühl und Klimaanwendungen versorgen. Zur Realisierung werden Projektpartner gesucht.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Wärme: 40 GWh/Jahr Strom: 9 GWh/Jahr          Andere TU; Wärme: 25 GWh/Jahr Strom: 6 GWh/Jahr</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>Das Holzheizkraftwerk könnte wirtschaftlich betrieben werden. Das wirtschaftliche entspricht dem technischen Potenzial.</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Entsorgung Bahnschwellen zur energetischen Nutzung im Inland vorsehen</p>

### Biomasse Grüngut Bahnborde

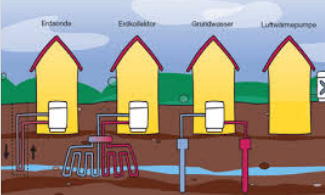
<p><b>Studie ZHAW</b> im Auftrag der SBB</p> 	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Entlang der Bahngelise fällt in der Schweiz jährlich rund 20'000 m<sup>3</sup> Schnittgrüngut an, welches bis heute liegengelassen wird. Die Studie kommt zum Schluss, dass sich der Grünschnitt für eine Biogasproduktion gut eignen würde.</p> <p>Die Kosten für Abtransport und Verwertung sind am tiefsten bei Co-Vergärung in bestehenden landwirtschaftlichen Biogasanlagen.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Wärme: 1.9 GWh/Jahr Strom: 1.4 GWh/Jahr          Andere TU; Wärme: 1.3 GWh/Jahr Strom: 1.0 GWh/Jahr</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Eigenes Potenzial zur energetischen Verwertung von Grüngut unter Berücksichtigung der Logistik abklären.</p>

## Potenziale Umweltwärme

### Drainagewasser aus Eisenbahntunnels und Gewölbeabsorber


<p><b>Furkatunnel</b></p>  <p>Bild: André Schild</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Etwa 5400 l/min Drainagewasser mit 16° C verlassen das Westportal des Furka-Eisenbahntunnels. Durch eine Leitung fliesst das Wasser zum Dorf Oberwald hinunter.</p> <p>Dezentral werden die Wärmepumpen der einzelnen Nutzer mit Hilfe eines Verteilernetzes mit Tunnelwasser versorgt. Es werden 177 Wohnungen und eine Sporthalle der Gemeinde mit der Tunnelwärme beheizt.</p> <p>Mittelfristig könnte die Abwärme des Ceneri-Basistunnel und des Simplontunnels potenziell genutzt werden.</p>
<p><b>CEVA Genf</b></p>  <p>Bild: ceva.ch</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>In einem Tunnel des Projekts CEVA wurden Geostrukturen eingebaut, welche durch die SIG (Service Industriel de Genève) Wärme und Kälte für ein angrenzendes Wohnquartier liefern. Das Projekt hat Pilotcharakter.</p> <p>Die aktivierbaren Strukturen (Schlitzwände und Fundamente) umfassen eine Oberfläche von 7633 m2 mit einem energetischen Potenzial (Wärme und Kälte) zwischen 1.6 und 3.2 GWh/Jahr.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Wärme: 3.6 GWh/Jahr Andere TU; Wärme: n.a.</p>
<p>Potenzialart: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB; Wärme: 2.4 GWh/Jahr Andere TU; Wärme: n.a.</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Dritten die Möglichkeit bieten, Geothermieanlagen in Tunnels zu erstellen und zu betreiben.</p> <p>Voraussetzung für erfolgreiche Projekte sind eine langfristige, koordinierte Planung.</p> <p>Bei eigenen Projekten (z.B. Tiefenbahnhöfen) die Nutzung von Gewölbeabsorbern für eigene Wärmeabnehmer prüfen.</p>

### Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden


 <p>Bild: heizungsfinder.de</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU</p> <p>Die Technologie zur Beheizung von Gebäuden mittels Erdsonden und Wärmepumpen ist in der Schweiz gut etabliert und bereits ein wichtiger Bestandteil der Substitution von fossilen Energieträgern. Sie ist grundsätzlich auch auf Verwaltungsgebäude, Bahnhöfe und Betriebsgebäude von TU übertragbar.</p> <p>Im Zusammenhang mit energetischen Sanierungsmassnahmen am Gebäude (Wärmedämmung, kontrollierte Lüftung) macht Substitution fossiler Energieträger durch den Einsatz von Wärmepumpen vielfach Sinn.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Wärme: 15.6 GWh/Jahr Andere TU; Wärme: Potenzial vorhanden (Substitution)</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB; Wärme: 10.3 GWh/Jahr Andere TU; Wärme: Potenzial vorhanden (Substitution)</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Gebäudestandard unter Einbezug der Produktion von erneuerbaren Energien einführen.</p> <p>Verwendung der KBOB-Empfehlungen Gebäudetechnik</p>



## Geothermische Weichenheizung

<p><b>Pilotanlage Bahnhof Grünberg D</b></p>  <p>Bild: PINTSCH ABEN Geotherm</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Autarke Weichenheizung mit Gravitationswärmerohr mit CO<sub>2</sub> als Arbeitsmedium (Heat-Pipe). Dieser Anlagentyp kommt ohne Zusatzenergie und Steuerung aus. Die Zuleitungen zu den Kondensatoren müssen eine stetige Steigung aufweisen damit das System funktioniert.</p> <p>Zwei weitere Anbieter verwenden Wärmepumpen mit konventionellen Erdsonden.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB;                      Wärme: 8 GWh/Jahr Andere TU;              Wärme: 4.6 GWh/Jahr</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Umbau konventioneller Weichenheizungen als Pilotprojekt in Betracht ziehen</p>

## Potenziale Abwärmenutzung Klima/Kälteanlagen

 <p>Bild: Amstein+Walthert AG</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU mit grossen Klimaanlage</p> <p>Zur Überwachung und Steuerung des Bahnbetriebs sind Rechenzentren sowie dezentrale Elektroanlagen entlang der Bahnlinien erforderlich. Die Geräte in diesen Anlagen erzeugen eine erhebliche Wärmelast, die im Sommer abgeführt werden muss. Bisher werden dafür meist Klimaanlage eingesetzt. Gerade bei dezentralen Anlagen könnte Geo-Cooling eine interessante und kostengünstige Alternative darstellen. Dabei wird über eine Erdsonde oder ein Erdregister Wärme in das Erdreich abgeführt. Im Winter kann das System bei Bedarf auch zur Beheizung genutzt werden. Die SBB testet zurzeit dieses System in vier Pilotanlagen.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB;                      Wärme: 1.9 GWh/Jahr Andere TU;              Wärme: n.a.</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB;                      Wärme: 0.6 GWh/Jahr Andere TU;              Wärme: n.a.</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Möglichkeiten der Abwärmenutzung zur Substitution fossiler Energieträger abklären.</p>

## Potenziale Bereich Strom

Im Bereich Strom konnte bei acht Anwendungen nur theoretische Potenziale ermittelt werden (in den folgenden Abbildungen 2 und 3 dunkelblau dargestellt). Diese betragen inkl. vier Anwendungen, die heute technisch noch nicht umsetzbar sind (Visionen) 1'000 GWh/a. Die Summe der technischen Potenziale aller untersuchten Anwendungen beträgt 202 GWh/a. Mit den heutigen Rahmenbedingungen sind davon 131 GWh/a wirtschaftlich umsetzbar, mehrheitlich bei der Windkraft, der Kleinwasserkraft, der Verstromung mittels Dampfturbine in einem geplanten Holzheizkraftwerk und Solarstromanlagen auf Werkstätten, Lagern, Depots und Perrondächern.

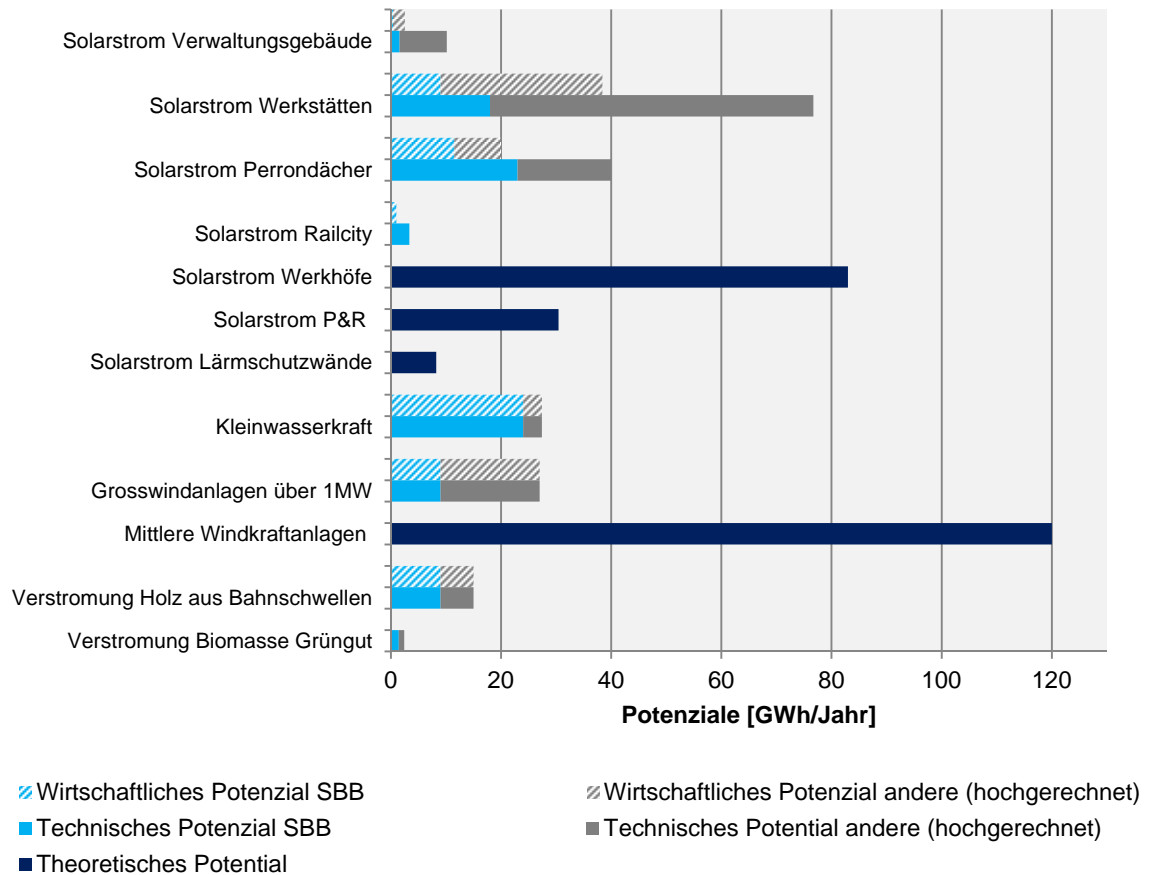


Abbildung 2 Theoretische, technische und wirtschaftliche Potenziale erneuerbarer Strom ohne Visionen

Die Visionen Solarstrom werden in einem anderen Massstab dargestellt:

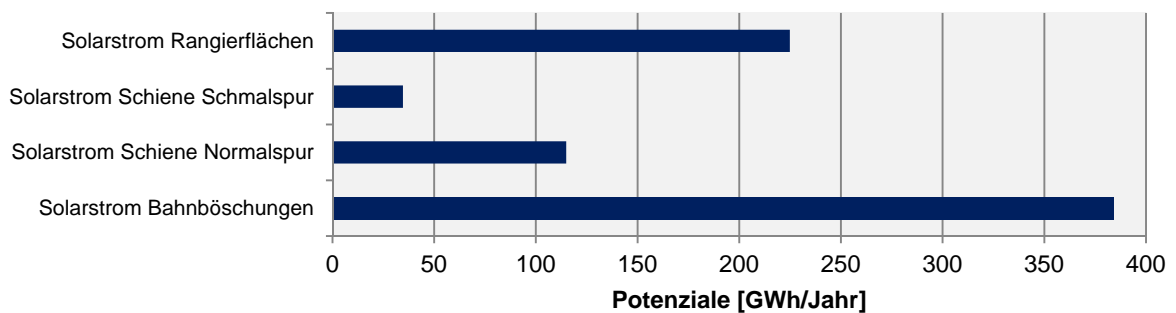



Abbildung 3 Theoretische Potenziale Visionen Solarstrom

## Potenziale Solarstrom

### Solarstrom Dach- und Fassadenflächen Verwaltung

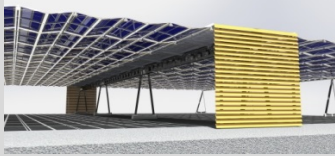
<p><b>115%-Plus Energie Bau Verwaltungsbau Flumroc</b></p>  <p>Bild: Flumroc</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU</p> <p>Das Verwaltungsgebäude der Flumroc AG wurde 2013 saniert. Die sorgfältig integrierte PV-Fassadenanlage erzeugt zusammen mit der 71 kWp-Dachanlage 114'000 kWh/a, was einer Eigenenergieversorgung von 115% entspricht.</p> <p>Die vorbildliche Wärmedämmung, die Solarfassade und die monokristalline PV-Dachanlage verwandelten das „energie-fressende“ Verwaltungsgebäude in einen wegweisenden PlusEnergie-Verwaltungsbau, mit einem Solarstromüberschuss für die angrenzende Flumroc-Fabrik.</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>SBB: Strom: Dach 1.33 GWh/a Fassade 0.24 GWh/Jahr Andere TU: Strom: Dach 7.27 GWh/a Fassade 1.3 GWh/Jahr</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB: Strom: Dach 0.33 GWh/a Fassade 0.06 GWh/Jahr Andere TU: Strom: Dach 1.81 GWh/a Fassade 0.32 GWh/Jahr</p>
<p>Energiegestehungskosten:</p>	<p>Bei Flachdachanlagen 17.8 Rp./kWh</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Ermitteln des Potenzials Solarstrom mittels Bottom-up-Methode.</p> <p>Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsabklärung unter Berücksichtigung vom Eigenstromanteil vorzugsweise in Zusammenhang mit energetischen Sanierungsmassnahmen am konkreten Gebäude.</p>

### Solarstrom Dachflächen Werkstätten/Lager/Depots

<p><b>PV-Anlagen Aar Bus+Bahn</b></p>  <p>Bild: www.aar.ch</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU</p> <p>Planung und Installation von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) haben sich zu einem zukunftsweisenden Standbein der IBAarau entwickelt. Sie realisiert eigene Grossanlagen aber auch Sonnendächer im Auftrag von Industrie, Gewerbe sowie öffentlichen und privaten Immobilienbesitzern.</p> <p>Zusammen mit AAR bus+bahn haben die IBAarau auf dem Dach der Busgarage Telli eine 580 Quadratmeter grosse Photovoltaik Anlage installiert, welche jährlich rund 100'000 Kilowattstunden erneuerbaren Strom produzieren wird</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB: Strom: 18 GWh/a Andere TU: Strom: 58.7 GWh/a</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB: Strom: 9 GWh/a Andere TU: Strom: 29.4 GWh/a</p>
<p>Energiegestehungskosten:</p>	<p>17 Rp./kWh</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Potenziale Solarstromnutzung aus standardisierten Potenzialanalysen erheben.</p> <p>Machbarkeits- und Wirtschaftlichkeitsabklärung unter Berücksichtigung von energetischen Sanierungsmassnahmen am konkreten Gebäude</p>



## Solarstrom Werkhöfe und Park & Ride (P&R)-Anlagen

<p><b>Solarfaltdach</b></p>  <p>Bild: dhp technology GmbH</p>	<p>Relevanz Sektor: Alle TU</p> <p>Eine neue interessante Möglichkeit zur Verwendung der Flächen von Werkhofarealen und Park&amp;Ride-Flächen zur Solarstromnutzung bietet bspw. das Produkt HORIZON (dhp technology GmbH). Das Startup-Unternehmen hat das Konzept Solarwings/Urban Plant weiterentwickelt und steht vor der Umsetzung erster Projekte. Die Stromgestehungskosten gelten für die Pilotphase und haben grosses Senkungspotenzial.</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>Überdachung P&amp;R Parkplätze: Strom: 30.4 GWh/a Überdachung Werkhöfe: Strom: 83 GWh/a</p>
<p>Energiegestehungskosten:</p>	<p>Stromgestehungskosten zwischen 20.5 und 22.1 Rp/kWh</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Parkplätze und Werkhöfe im Rahmen einer standardisierten Potenzialanalyse als Solarstromflächen mitberücksichtigen. Pilotprojekte auf eigenen Flächen in Betracht ziehen, bei P&amp;R in Kombination mit Stromtankstellen</p>

## Solarstrom Lärmschutzwände

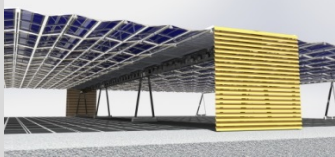
<p><b>Bahnhof Münsingen</b></p>  <p>Bild: TNC Consulting GmbH</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Entlang der wichtigen und stark frequentierten Nord-Süd Bahn Transversalen Bern-Lötschberg ist von der Gemeinde Münsingen die weltweit erste bifaciale Photovoltaik Schallschutz Anlage an einer Bahnlinie im Bahnhofsbereich Münsingen beauftragt worden. Der produzierte Solarstrom wird zu Gunsten der Ökostrombörse Münsingen eingespeist und verkauft. Die Anlage weist eine Leistung von 12.85kW<sub>p</sub> auf. Der prognostizierte Ertrag beträgt 6'750 kWh/a</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>50% Lärmschutzwände (Neubau, Retrofit): Strom: 8.2 GWh/a</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Koordiniertes Vorgehen mit dem BAV zur Abklärung des technischen Potenzials und weiterer Massnahmen. Bei Unterhaltszyklus Einsatz PV prüfen.</p>

## Solarstrom Perrondächer


<p><b>PV-Perrondach Zürich HB</b></p>  <p>Bild: energiebüro</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Perrondächer eignen sich gut zur Solarstromproduktion; Betriebserfahrungen sind positiv; ein erhöhter Reinigungsaufwand durch Bremsstaub sollte aber berücksichtigt werden.</p> <p>Die PV-Anlage auf dem SBB-Perrondach des Hauptbahnhofs Zürich, verfügt über eine installierte Leistung von 50 kWp mit einem Jahresertrag von rund 42'000 kWh/a. Die ADEV-Solarstrom AG in Liestal ist Eigentümerin der PV-Anlage. Die SBB stellt das Perrondach und das SBB-Netz bereit und die EWZ-Solarstrombörse übernimmt den Solarstrom.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB; Strom: 23 GWh/a Andere TU; Strom: 17 GWh/a</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>SBB; Strom: 11.5 GWh/a Andere TU; Strom: 8.5 GWh/a</p>
<p>Energiegestehungskosten:</p>	<p>Stromgestehungskosten: 19 Rp/kWh (erhöhte Installations- und Wartungskosten)</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Potenzielle Solarstromnutzung aus standardisierten Potenzialanalysen erheben</p>

## Visionen Solarstrom

### Solarstrom Rangierbahnhöfe

<p><b>Solarfaltdach</b></p>  <p>Bild: dhp technology GmbH</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Das Solar-Faltdach HORIZON könnte Gleisanlagen für Langsamverkehr (Rangier/Abstellflächen) überdachen, ohne dass die Fläche eine Einschränkung erfährt. Durch die maximalen Stützenabstände von 17 und 25 Metern kann die Tragstruktur auf den Strommasten abgestützt werden. Das Solarfaltdach schützt durch Schatten die Geleise, Züge, Güter und Personen vor UV-Strahlung und Überhitzung. Abends zieht sich das Faltdach zurück und ist die Nacht hindurch vor Vandalismus geschützt.</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>Rangierfläche SBB: Strom: 217.7 GWh/a Andere TU: Strom: 7.3 GWh/a</p>
<p>Notwendige Entwicklungen und Abklärungen:</p>	<p>Skalierbaren Tragwerksstruktur für die statische Mitnutzung der Strommasten über den Gleisanlagen - Wechselrichtertechnologie zur direkten Versorgung des Bahnnetzes mit Solarstrom - Sicherheit im Umfeld von Fahrleitungen - Umwelteinflüsse auf das Faltdach über einer Gleisanlage</p>

### Solarstrom Bahnböschungen und Schienennebenflächen


<p><b>Solarstromanlage Neumarkt</b></p>  <p>Bild: EXAPHI GmbH</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>In unseren Nachbarländern werden Freiflächenanlagen im grossen Stil und mit sehr attraktiven Stromgestehungskosten umgesetzt. Eine Studie des ISE Fraunhofer prognostiziert für 2018 Stromgestehungskosten von weniger als 0.08 EUR/kWh. Einer Einspeisung in das Bahnstromnetz sollte aus wirtschaftlichen Gründen in Zukunft nichts im Weg stehen.</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>Grünflächen im Schweizer Schienennetz: Strom: 384 GWh/a</p>
<p>Notwendige Entwicklungen und Abklärungen:</p>	<p>Wechselrichtertechnologie zur direkten Versorgung des Bahnnetzes mit Solarstrom - Untersuchung der Auswirkung von dezentraler Solarstromeinspeisung ins Bahnstromnetz und dessen Leistungsgrenze - Prüfung der Umweltverträglichkeit</p>

### Solarstrom Schienenflächen

 <p>Bild: Wattway</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn</p> <p>Es bestehen bereits jetzt Projekte, um benutzte Strassenflächen zur Produktion von Solarstrom zu nutzen. Dafür wurden Solarmodule entwickelt, die den harschen Bedingungen von Strassen standhalten sollen. Ein ähnliches System könnte in Zukunft zur Produktion von Solarstrom auch auf Schienenflächen installiert werden.</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>Schienenfläche Normalspur: Strom: 115 GWh/a Schienenfläche Schmalspur: Strom: 35 GWh/a</p>
<p>Notwendige Entwicklungen und Abklärungen:</p>	<p>Wechselrichtertechnologie zur direkten Versorgung des Bahnnetzes mit Solarstrom - Instandhaltungszyklen von Schienenstrecken - Selbstreinigungseigenschaften der Oberflächen / Automatische Reinigung - Beschädigung - Beschattung.</p>

## Potenziale Wasserkraft

### Ausbau Kleinwasserkraft


<p><b>Jungfraubahnen Ausbau Kraftwerk Lütschental</b></p>  <p>Bild: Jungfraubahn AG</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn, Seilbahn</p> <p>Aufgrund des Alters der Maschinen wurde 2008 der Neubau der Produktionsanlage lanciert. Die Arbeiten des Projekts „G55“ konnten 2011 erfolgreich abgeschlossen werden. Neu sind 2 vertikal angeordnete, 6-düsige Peltonturbinen in Betrieb, welche in der Summe eine installierte Leistung von 11.5 MW aufweisen. Anstelle von ca. 35 GWh/a können neu ca. 55 GWh/a elektrische Energie erzeugt werden.</p> <p>Die Jungfraubahnen geben an, dass die Projektierung für ein zusätzliches Kleinwasserkraftwerk abgeschlossen ist und bereits eine KEV-Zusage besteht. Die Jahresproduktion wird bei 3.4 GWh/a liegen.</p>
<p>Potenzial: Technisch</p>	<p>SBB Strom: 24 GWh/a Andere TU Strom: 3.4 GWh/a</p>
<p>Potenzial: Wirtschaftlich</p>	<p>Das wirtschaftliche entspricht dem technischen Potenzial</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Potenzial Wasserkraftproduktion im Rahmen einer Potenzialanalyse erfassen.</p>

### Speicherseen für Beschneigung

<p><b>Sinfonia d'Aua Flims Electric / Weisse Arena</b></p>  <p>Bild: Flims Electric</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn, Seilbahn</p> <p>Sinfonia d'aua ist ein technisches Kulturprojekt unter der Federführung der Flims Electric AG und entstand in enger Zusammenarbeit mit der Gemeinde Flims und der Weissen Arena AG. Umweltschonende Stromproduktion in 6 Kleinwasserkraftwerken im Verbund mit Speicherseen zur Beschneigung im Winter ermöglichen für die Zukunft, Speicherung und Stromproduktion aus Wasserkraft sinnvoll zu verbinden.</p> <p>Potenziale können keine ausgewiesen werden. Vielen Bergbahnen ist aber klar, dass bei weiterer Klimaerwärmung Speicherseen die Funktion der Gletscher übernehmen müssen..</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Zusammenarbeit mit Energieversorgern suchen zur umweltverträglichen und energieeffizienten Nutzung der Ressourcen und Schaffung von Synergien.</p>

## Potenziale Windenergie

### Anlagen zwischen 50 und 300kW

<p><b>Kleinwindkraftanlagen bei Bergbahnen in GR und VS</b></p>  <p>Bild: Pixabay</p>	<p>Relevanz Sektor: Eisenbahn, Seilbahn</p> <p>Im Rahmen einer Zertifikatsarbeit für das CAS Erneuerbare Energie wurde 2010 an der FHNW das Potenzial von Kleinwindkraftanlagen bei Bergbahnen in den Kantonen GR und VS untersucht. Aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten eignen sich 1130 potenzielle Standorte. Für die Potenzialberechnung wurden Kleinwindkraftanlagen mit 5,5 kW Leistung auf 100 kW hochskaliert. Beim Einsatz von grösseren Anlagen bei Bergbahnen müssten folgende Punkte detaillierter abgeklärt werden: Bewilligungsverfahren, Landschaftsschutz, max. Gewicht der Windanlagen zum Transport an exponierte Lagen, Sicherheit (Eiswurf).</p>
<p>Potenzial: Theoretisch</p>	<p>Potenzial für Bergstationen hochgerechnet aus FHNW-Studie: Strom: 120 GWh/a</p>
<p>Handlungsempfehlungen TU:</p>	<p>Pilotanlagen (BFE P+D+L-Programm) in Erwägung ziehen.</p>

## Grosswindanlagen über 1MW

<b>Windpark Vorab Flims Electric/Weisse Arena</b>  Bild: ZVG	Relevanz Sektor: Eisenbahn, Seilbahn 2013 haben die Weisse Arena zusammen mit dem lokalen EW Flims Electric und der BKW die Machbarkeit für einen Windpark im Vorabgebiet abgeklärt. Geplant sind 6 Windturbinen mit einem Jahresertrag von insgesamt 18 GWh. Rund zwei Drittel dieser gewonnenen Energie sind für den Betrieb der Bergbahnen vorgesehen. Diese reicht aus, um sämtliche Bahnen und Beschneiungsanlagen zu versorgen. Der Rest, also rund ein Drittel, soll ins Netz eingespeist werden.	
	Potenzial: Technisch	SBB (gemäss Studie); Andere TU (Vorab);
Potenzial: Wirtschaftlich	Das wirtschaftliche entspricht dem technischen Potenzial	
Handlungsempfehlungen TU:	Beteiligung bei Grosswindprojekten im Einflussbereich in Erwägung ziehen	

## Konklusion

Zusammenfassung		Nur Theor.	Techn.	Wirts.	Visionen	Total
		[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]	[GWh/a]
Alle TU	Gesamtpotenzial Wärme		133.3	98.9		
	Gesamtpotenzial Strom	241.6	202.2	131.5	758.9	
	<b>Total</b>	<b>241.6</b>	<b>335.5</b>	<b>230.4</b>	<b>758.9</b>	<b>1336</b>

Tabelle 1 Potenziale Zusammenfassung

Im Bereich Wärme ist ein technisches Potenzial von 133 GWh/a ausgewiesen. Unter den heutigen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umsetzbar sind ca. 99 GWh/a. Als Vergleich: Der aktuelle Wärmebedarf in der Schweiz für Heizung und Warmwasser beträgt ca. 85'000 GWh/Jahr. Der gesamte heutige Wärmebedarf der TU ist nicht bekannt.

Im Bereich Strom konnte bei vier Anwendungen nur ein theoretisches Potenzial ermittelt werden. Dieses beträgt 242 GWh/a. Liessen sich Rangierflächen und Schienenflächen inkl. angrenzende Grünflächen mittels Solarstromanwendungen nutzen, ergäbe sich ein zusätzliches theoretisches Potenzial von 759 GWh (Visionen Solarstrom). Die Summe der technischen Potenziale aller anderen Anwendungen beträgt 202 GWh/a. Mit den heutigen Rahmenbedingungen sind davon 132 GWh/a wirtschaftlich umsetzbar.

**Mit dem ermittelten und weitgehend theoretischen Gesamtpotenzial inkl. Visionen könnten 1.34 TWh/a erneuerbarer Strom produziert werden. Der öffentliche Verkehr könnte also theoretisch 6% an die Ausbauziele für Neuen Erneuerbaren Strom von 22.8 TWh/a gemäss Energieperspektiven 2050 beisteuern.**





**Der Gesamtenergieverbrauch des öffentlichen Verkehrs beträgt ca. 4 TWh. Etwa 50% davon oder 2 TWh sind heute bereits erneuerbar. Mit dem in dieser Studie ermittelten theoretischen Gesamtpotenzial Produktion Strom und Wärme von 1.34 TWh könnten <sup>2</sup>/<sub>3</sub> des aktuellen nicht erneuerbaren Gesamtenergieverbrauchs des öffentlichen Verkehrs abgedeckt werden. Dies ohne Berücksichtigung des Potenzials von Effizienzmassnahmen.**

## Massnahmen: Empfehlungen an das BAV

Die erlangten Erkenntnisse aus den Umfragen und der Potenzialabschätzung bildeten die Grundlage für die Formulierung von Massnahmen. Zusätzlich wurde ein Workshop mit Vertretern von TUs durchgeführt und mögliche Massnahmen diskutiert. Die Massnahmenliste wurde anschliessend aufgrund von neuen Erkenntnissen aus dem Workshop ergänzt (Tabelle 2 gekennzeichnet mit "Massnahme aus dem Workshop"). Die zum Zeitpunkt des Workshops bereits bestehenden Massnahmen wurden von den Teilnehmern mit Punkten bewertet<sup>1</sup>.

Die Massnahmenliste ist umfassend und wurde *als Vorschlag* zuhanden des BAV formuliert. Mit der Umsetzung kann das BAV die TU unterstützen deren Beitrag an die Energiestrategie 2050 des Bundes zu leisten und das vorhandene Potenzial auszuschöpfen.

Tabelle 2: Massnahmenliste

M1	Vermittlung von Fachwissen und Kommunikation		
MN-Nr.	Massnahmentitel	Idee	Punkte <sup>2</sup>
M1.1	Regelmässige Kommunikation bestehender Programme an TU	Programme bekannter machen Projekte auslösen	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
M1.2	<b>Eine</b> Ansprechperson beim Bund (BAV) für die TU definieren	Klare Strukturen bieten Vertrauen schaffen	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
M1.3	Aufbau und Betrieb einer Fach- und Anlaufstelle	Anlaufstelle für Fragen aller Art anbieten	
M1.4	Aufbau und Betrieb eines Beratungsangebots	Erste (kostenlose) Unterstützung bei der Planung und Umsetzung Weiterführendes (kostenpflichtiges) Beratungsangebot	
M1.5	Aufbau eines Expertenpools	Kontaktliste von Experten mit spezifischem Know-How zu den TUs zur Verfügung stellen	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
M1.6	Aufbau und Betrieb einer Veranstaltungs- und Austauschplattform	Fachwissen vermitteln Wissenstransfer fördern Kontakte vermitteln	
M1.7	Publikation und Kommunikation von guten Umsetzungsbeispielen	Vorgehensweisen aufzeigen	

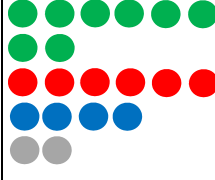


<sup>1</sup> Jeder Teilnehmer erhielt drei Punkte, welche er der aus seiner Sicht wichtigsten Massnahme zuordnen konnte.

<sup>2</sup> Grün = Vertreter Eisenbahnunternehmen, Rot = Vertreter Seilbahnunternehmen, Blau = Vertreter Bus-/Tramunternehmen, grau = Vertreter Bundesamt (BAV/BFE)

<sup>3</sup> Die Massnahmenliste wurde aufgrund von neuen Erkenntnissen aus dem Workshop mit weiteren Massnahmen ergänzt. Da die Massnahmen erst nach dem Workshop formuliert wurden, konnten sie nicht bewertet werden.



<b>M2</b>			
<b>Zur Verfügung stellen von Hilfsmitteln</b>			
<b>MN-Nr.</b>	<b>Massnahmentitel</b>	<b>Idee</b>	<b>Punkte<sup>2</sup></b>
M2.1	Leitfaden für standardisierte Energiekonzepte für TU (inkl. standardisierte Potenzialbeurteilung)	Hilfestellung bieten Qualitätssicherheit schaffen	● ●
M2.2	Vorlagen und Merkblätter zum Vorgehen und zu Abläufen beim Vermieten von Dachflächen an Dritte	Prozesse vereinfachen Hilfestellung bieten	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
<b>M3</b>			
<b>Förderprogramme und finanzielle Unterstützung</b>			
M3.1	Finanzielle Unterstützung für die Erstellung von Energiekonzepten	Einstiegshürden vermindern Anreiz setzen	● ● ● ● ●
M3.2	Finanzielle Unterstützung von Pilot-, Demonstration- und Leuchtturmprojekten auf Basis der nichtamortisierbaren Mehrkosten (analog BFE)	Technische Entwicklung fördern Investitionshürden abbauen	● ● ● ●
M3.3	Finanzielle Unterstützung von "normalen" Anlagen	Investitionshürden abbauen	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
M3.4	Investitionskostenbeihilfe in Anlehnung an die EIV	Investitionshürden abbauen	● ● ● ●
M3.5	EIV/KEV für das Bahnstromnetz	Investitionshürden abbauen	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>

<b>M4</b>			
<b>Bewilligungshürden, Leistungsvereinbarungen, Abläufe</b>			
<b>MN-Nr.</b>	<b>Massnahmentitel</b>	<b>Idee</b>	<b>Punkte<sup>2</sup></b>
M4.1	Abbau von bestehenden Bewilligungshürden, Vereinfachen der Bestimmungen und Abläufe, Verkürzen von Verfahren	Prozesse vereinfachen Hürden abbauen	
M4.2	Anpassen der Leistungsvereinbarung mit den TU, Ergänzungen zu Produktion erneuerbaren Energien	Legitimation schaffen Verpflichtung generieren	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
M4.3	Anpassen von Abläufen beim BAV (Massnahmenlisten) bspw. im Bereich der Perrondacherneuerung	Produktion erneuerbare Energien in Abläufe integrieren	Massnahme aus dem Workshop <sup>3</sup>
<b>M5</b>			
<b>Zentrale Datenbank Energiekennzahlen</b>			
M5.1	Zentrale Datenbank zu Energiekennzahlen der TU (Wärme und Strom)	Entwicklung aufzeigen	
<b>M6</b>			
<b>Label / Zertifikate für vorbildliche TU</b>			
M6.1	Label / Zertifikate für vorbildliche TU	Anreize schaffen Vermarktung ermöglichen	

## Glossar (Abkürzungen/ Def.)

BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
Best Practice	Vorbildlich
CO <sub>2</sub> -Reduktion	Reduktion der Treibhausgase zum Klimaschutz
ESöV 2050	Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
GWh/a	Gigawattstunden pro Jahr: jährlich produzierte oder verbrauchte Energiemenge Wärme oder Strom
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung, Förderinstrument des Bundes zur Vergütung von ins Netz eingespeistem erneuerbaren Strom
KG-VBE	Koordinationsgruppe Energie-Vorbild Bund
kW <sub>p</sub>	Kilowatt peak: Angabe der installierten Spitzenleistung von Solarstromanlagen
öV	Öffentlicher Verkehr
PV	Photovoltaik → Solarstrom
PV-Anlage	Photovoltaik-Anlage → Solarstromanlage
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
TU	Transportunternehmen
zhaw	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

## Impressum

Zürich, 7. März 2017

Autoren: Amstein+Walthert AG: Stefan Brändle, Nathalie Benkert, Nora Herbst

Begleitgruppe: Bundesamt für Verkehr BAV: Tristan Chevroulet, Stefan Schnell

Programmmoffice ESöV2050: Francois Bauer

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren –innen dieses Berichts verantwortlich.