



Förderverein IES – Photovoltaik auf Verkehrsflächen

FV-IES:

NTB-IES: 11.02.2020

Stefan Bertsch

Ralph Kuster

Markus Markstaler



Agenda



- **Ausgangslage**
- **Marktsituation & Pilotprojekte**
- **Technische Aspekte**
- **Alternative Konzepte**
- **Fragen & Diskussion**

Fragestellungen:

- Wie ist die aktuelle Marktsituation?
- Welche Erfahrungen sind aus Pilotprojekten bekannt in Bezug auf Alterung, Abnutzung etc.?
- Wie sieht der technische Aufbau und der Systemansatz solcher PV-Lösungen aus?
- Wie schneiden horizontale PV-Systeme im Vergleich mit Überkopfinstallationen ab?
- Was sind sinnvolle Alternativen zur PV-Integration auf Verkehrsflächen?



ralph.kuster@ntb.ch

3

Marktsituation & Pilotprojekte

SolaRoad – Niederlande

Erstes grosses Pilotprojekt in Europa (2014)

- Krommenie (NL)
- 72m Radweg (ca. 120m²)
- Rutschfestes Hartglas
- Energieertrag ca. 73 kWh/a/m² ; 8.8 MWh/a
- 7-8% System-Effizienz
- Gesamtkosten: 3.5 Mio €
- Spez. Modul Kosten: 1300 CHF/m²

Erweiterung und Austausch mit verbesserten Zellen (2014-2016)

- Erweitert auf 90m x 3.5m (ca. 315m²)
- Energieertrag ca. 93 kWh/a/m² ; 29.3 MWh/a
- ≤9% System-Effizienz
- Verschiedene Zellentypen, Aufbauformen getestet



ralph.kuster@ntb.ch

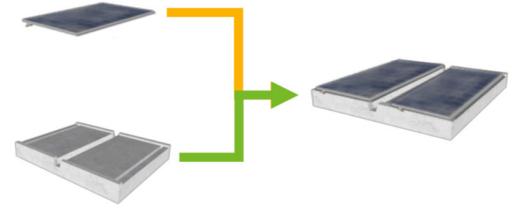
4

Marktsituation & Pilotprojekte

Solaroad – Niederlande

Konzept Zellenintegration / Aufbau

- Als Basis dient ein Betonsockel.
- Zellen werden auf dem Sockel platziert.
- Die ursprüngliche Fahrbahn muss vollständig entfernt werden.
- Die Deckschicht besteht aus Epoxidharzen mit eingesprützten Glaspartikeln.
- Auch für Hauptverkehrsstrassen geeignet.
- Gesamtkosten deutlich höher als bei einer gewöhnlicher Fahrbahn.
- Typische Effizienz des Systems: 9%
- Typischer spez. Ertrag des Systems: 90 kWh/a/m²



Informationen / Pilotprojekte

- <https://www.solaroad.nl/portfolio/>
- <https://www.solaroad.nl/faq/>



ralph.kuster@ntb.ch

5

Marktsituation & Pilotprojekte

Solmove – Deutschland

Erster deutscher Solar-Radweg (2018)

- Erfstadt (DE)
- 90m Radweg (ca. 220m²)
- Strukturiertes Sicherheitsglas
- Energieertrag ca. 72.5 kWh/a/m² ; 16 MWh/a
- 7-8% System-Effizienz
- Gesamtkosten: 784'000 € Förderbeitrag
- Spez. Modul Kosten: 400 CHF/m²



Defekt und Abbau der Anlage (2019)

- Schwelbrad durch tech. Defekt (Kurzschluss)
- Problematik: Eindringende Feuchtigkeit
- Ertragszahlen nur teilweise erreicht
- Stadt will Radweg rückbauen



ralph.kuster@ntb.ch

6

Marktsituation & Pilotprojekte

Solmove – Deutschland

Konzept Zellenintegration / Aufbau

- Die Module werden auf der bestehenden Fahrbahn aufgeklebt.
- Keine Erneuerung der ursprünglichen Fahrbahn nötig.
- Module lassen sich dank Stecksystem einfach verlegen.
- Verschiedene Modultypen je nach Anwendung (Voltstreet, Solawalk).
- Beheizung und LED-Beleuchtung integrierbar.
- Die Deckschicht besteht aus strukturiertem Sicherheitsglas.
- Struktur koppelt das Licht gut ein und soll die Selbstreinigung verbessern.
- Gesamtkosten sind tiefer als die einer Fahrbahn, da diese als Basis genutzt wird.
- Typische Effizienz des Systems: 9%
- Typischer spez. Ertrag des Systems: 95 kWh/a/m²

Informationen / Pilotprojekte

- <https://www.solmove.com/technologie/>
- <https://www.solmove.com/faqs-de/>



ralph.kuster@ntb.ch

7

Marktsituation & Pilotprojekte

Wattway – Frankreich

Erste Solarstrasse (2016)

- Tourouvre-au-Perche
- 1000m Strasse (ca. 2800m²)
- Wattway ist ein Produkt der COLAS Gruppe.
- Unterstützung durch das franz. Solarinstitut INES und die Agentur für Umwelt und Energiewirtschaft ADEME.
- Energieertrag geschätzt ca. 100 kWh/a/m² ; 280 MWh/a
- 7-8% System-Effizienz
- Ca. 5 Mio € Förderbeitrag vom franz. Staat.
- Spez. Modul Kosten: 2700 CHF/m²

Mässiger Ertrag und unzureichende Belastbarkeit (2019)

- Panels erreichen nur ca. die Hälfte des geschätzten Ertrags.
- Problematik: Verschattung durch Schmutz und Staub.
- Zellen brechen bei Belastung durch LKW's.
- Starke Geräuschentwicklung durch den Belag.



ralph.kuster@ntb.ch

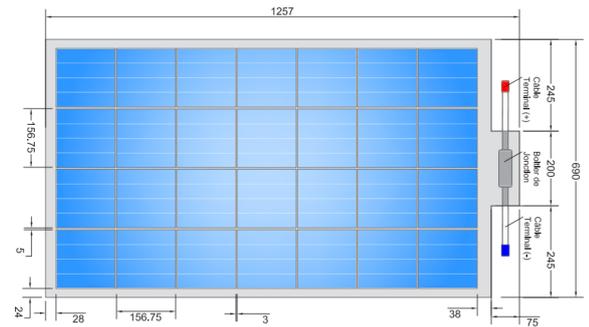
8

Marktsituation & Pilotprojekte

Wattway – Frankreich

Konzept Zellenintegration / Aufbau

- Die Module werden auf der bestehenden Fahrbahn aufgeklebt.
- Keine Erneuerung der ursprünglichen Fahrbahn nötig.
- Deckschicht aus besteht aus Polymer-/Harz-Schichten.
- Speziell dünne Module (ca. 7mm).
- 28 Zellen pro Modul
- Gesamtkosten sind tiefer als die einer Fahrbahn, da diese als Basis genutzt wird.
- Mehrheitlich Pilotprojekte abseits der Strasse (Gehwege, Radwege, Plätze).
- Auszeichnung des «Wattway-Pack» durch die Solar Impulse Foundation (2019).



Informationen / Pilotprojekte

- <https://www.wattwaybycolas.com/notre-offre.html>
- <https://www.wattwaybycolas.com/actualites.html>

ralph.kuster@ntb.ch

9

Marktsituation & Pilotprojekte

Solar Roadways – USA

Entwicklungsprojekt eines «Tüftler»-Paares (2014)

- Sandpoint, Idaho USA
- Mehrere Entwicklungsphasen von 2014-heute
- Fianziert durch Crowdfunding und Beiträge des US-Departements of Transportation (USDOT)
- Bis heute zwei Pilotprojekte im Auftrag von USDOT und der Gemeinde Sandpoint
- Keine Zahlen zu Ertrag und Effizienz.



News 2019:

- Prototyp der Phase 4 (SR4) wurde fertiggestellt
- Installation in Sandpoint (Idaho)
- Livecam: <https://www.sandpointidaho.gov/visiting-sandpoint/solar-roadways#ad-image-3>



ralph.kuster@ntb.ch

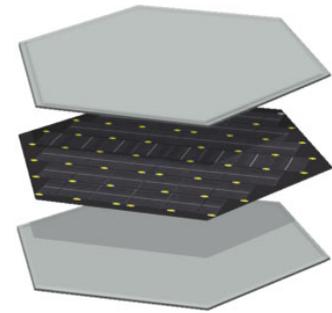
10

Marktsituation & Pilotprojekte

Solar Roadways – USA

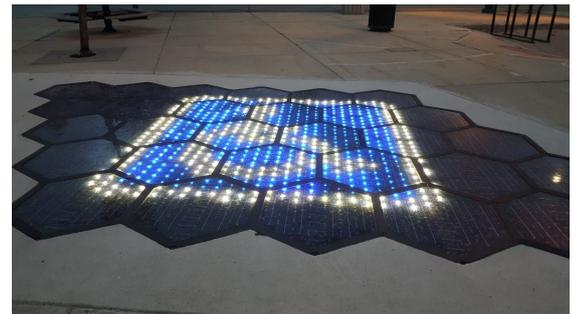
Konzept Zellenintegration / Aufbau

- Die Module werden auf die bestehende Fahrbahn aufgebracht (Details unklar).
- Geringe Anpassung der ursprünglichen Fahrbahn nötig.
- Deckschicht besteht aus strukturiertem Sicherheitsglas.
- Hexagonal-geformte Paneelen sollen die beste Flexibilität bieten.
- Unternehmen rechnet mit einer Zelleneffizienz von 17%, was für die horizontale Ausrichtung in Bodennähe sehr hoch ist.
- Beheizbarkeit der Paneelen soll den Winterdienst erübrigen.
- Beleuchtung mittels integrierten LED's soll für Sicherheitshinweise im Strassenverkehr genutzt werden können.
- Diverse Auszeichnung in den USA.



Informationen / Pilotprojekte

- <https://solarroadways.com/specifics/solar/>
- <https://solarroadways.com/our-journey/>



Marktsituation & Pilotprojekte

Weitere Hersteller / Pilotprojekte

Platio Solar Pavement (Budapest) – Solare Pflastersteine

- Lösungen ausschliesslich für Gehwege, Plätze etc. ohne Verkehrsbelastung.
- Diverse Pilotanlagen in verschiedenen Städten Europas (vorwiegend Osten).
- Anlagen mit Peak-Leistungen von 0.7-12.4 kWp und 5-80m² Zellenfläche.
- Effizienzwerte liegen im Bereich von Dachanlagen und sind vermutlich wenig realistisch (~15%).
- <http://www.platio.cc/#tech>



ERTEX Solar (Österreich)

- Grosses Know-How im Bereich Modultechnologie, Fassadenlösungen, Überkopfanlagen
- Einige wenige Projekte im Bereich horizontaler Anlagen
 - Sun Monument (Zadar, Kroatien), ca. 400m², 15 kWp
 - TUM-Campus (München), ca. 9m², 0.7 kWp
 - <https://www.ertex-solar.at/videos/projekte/>



Unternehmen	Land	Erstes Projekt [Typ; Jahr; Fläche]	Element-typen	Anlagen-typen	Durchschnittliche Modul-effizienz	Spez. Modul-kosten [CHF/m ²]	Strom-gestehungs-kosten [CHF/kWh]	Status	Link
SolaRoad	Nieder-landen	Radweg; 2014; 120m ²	Komplett mit Sockel (Unterbau)	Leicht- und Hauptverkehr	9% [2]	1300	0.85	aktiv	https://www.solaroad.nl/portfolio/
Solmove	Deutsch-land	Radweg; 2018; 220m ²	Aufklebbare Elemente	Leicht- und Hauptverkehr	9% [3]	400	0.32	aktiv	https://www.solmove.com/faqs-de/
Wattway	Frankreich	Verkehrs-strasse; 2016; 2800m ²	Aufklebbare Elemente	Hauptsächlich Hauptverkehr	8% [4]	2700	1.40	aktiv	https://www.wattwaybycolas.com
Solar Roadways	USA	Vorplatz; 2014; k.A.	Verbindbare Elemente, ohne Basis	Leicht- und Hauptverkehr	k.A.	705	k.A.	aktiv	https://solarroadways.com
Platio	Ungarn	diverse; 2015; 5-80m ²	Komplett mit Sockel (Unterbau)	Leicht- und Hauptverkehr	k.A.	k.A.	k.A.	aktiv	http://www.platio.cc/#tech
ERTEX Solar	Österreich	diverse; 2013; 9-400m ²	vermutlich verbindbar, ohne Basis	Plätze	k.A.	k.A.	k.A.	aktiv	https://www.ertex-solar.at

- Die ersten grösseren Projekte für Horizontalanlagen auf Verkehrsflächen wurden ab 2014 lanciert und stammen aus den Niederlanden, Deutschland, USA und Frankreich.
- Pilotprojekte wurden sowohl von Startups und Kleinunternehmen als auch von staatlich unterstützten Betrieben realisiert.
- Auf dem Markt sind grundsätzlich zwei Konzepte zur Integration horizontaler Module unterscheidbar:
 - PV-Module für geringe Belastungen → Für Fuss- und Radwege, Plätze, Hafenspieren, Piers
 - PV-Module für Vollbelastung → Für Hauptverkehrswege, Parkplätze, Einfahrten etc.
- Die Module werden entweder auf eine bestehende Basis aufgebracht (Wattway, Solmove) oder stellen selbst den kompletten Unterbau zur Verfügung (SolaRoad, Platio).
- Die meisten Pilotanlagen sind von einem zuverlässigen und lukrativen Betrieb weit entfernt.
- Typische Problemfelder der Pilotanlagen sind:
 - Stark verminderte Leistung/Ertrag durch Verschattung, Verschmutzung, Ausfall etc.
 - Beschädigung oder Zerstörung der Deckschicht durch Überlast, Zerkratzen, Winterdienst
 - Beschädigung oder Zerstörung der Zellen durch Kurzschluss, eindringendes Wasser
 - Unzureichende Fahrbahnqualität in Bezug auf Haftung und Lärmentwicklung
 - Preisniveau der Lösungen nicht konkurrenzfähig (Vergleich zu Dachanlagen)

Kennzahlen	Horizontalanlagen gemäss Recherche	Typ. Dachanlagen mit optimaler Ausrichtung [6],[8],[12],[14]
Reale Zelleneffizienz [%]	7-9	14-20
Spez. Peakleistung [Wp/m ²]	70-90	140-200
Spez. Modulertrag [kWh/a-m ²]	60-80	125-175
Spez. Invest.-Kosten [CHF/m ²]	400-2700	140-300
Spez. Invest.-Kosten [CHF/kWp]	5000-30'000	1000-2000
Stromgestehungskosten [CHF/kWh]	0.30-1.50	0.12-0.18

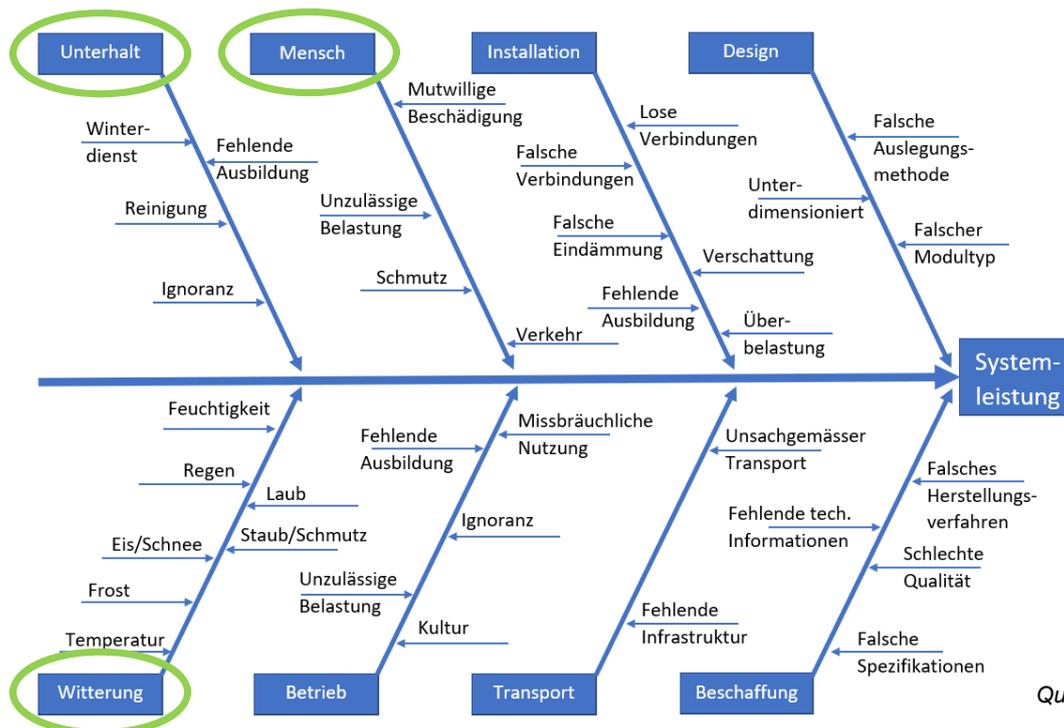
- Der direkte Vergleich zwischen horizontaler Pilotanlagen und typischen Dachanlagen ist mit Vorsicht zu betrachten, da sich die Technologie von Horizontalanlagen im Forschungs-/Prototypstadium befindet und auf dem Markt (noch) nicht breit etabliert ist.
- Dennoch kann festgehalten werden, dass die spezifische Peakleistung und der Jahresertrag von Pilotanlagen auf Verkehrsflächen gegenüber optimal ausgerichteter Dachanlagen in etwa halbiert werden kann.

ralph.kuster@ntb.ch

15

Technische Aspekte

Einflüsse auf die Systemleistung (ähnlich Ishikawa)



Quelle: Angelehnt [8]

16

Spezifische Einflüsse bei Horizontalanlagen für Verkehrsflächen

Witterung:

- Häufige Temperaturwechsel sowie Frost führen zu **Spannungen in der Modulstruktur**, Ablösungen und Risse können die Folge sein.
- Feuchtigkeit und Regen können über Beschädigungen (z.B. der Deckschicht) eindringen und das Modul zerstören.
- Laub, Schnee, Schmutz/Staub führen zur **Verschlechterung der Lichttransmissionsgrad** oder zur kompletten Verschattung. Dies kann zur Abschaltung eines ganzen Zellenstrangs führen.

Unterhalt:

- Horizontalmodule erfordern einen **grossen Aufwand im Unterhalt/Reinigung** um optimalen Ertrag zu gewährleisten.
- Der **Winterdienst** stellt bei Einsatz von Räumfahrzeugen, Kies-/Salzstreuung eine sehr hohe Belastung der Module dar.

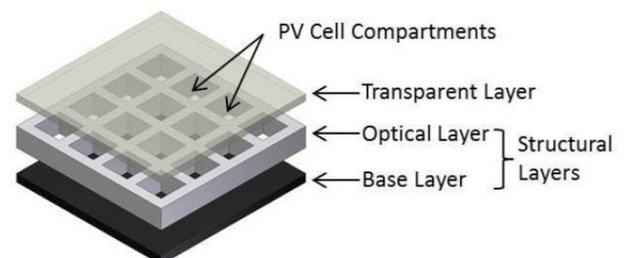
Mensch:

- Die Module können durch **unzulässige Belastung** oder Vandalismus leicht beschädigt werden, da sie **gut zugänglich** sind. In einigen Fällen wurden auch Module gestohlen (China).
- **Verschattung durch Verkehrsteilnehmer** (abgestelltes Fahrzeug etc.) führt rasch zu deutlichen Ertragsminderungen (Strangabschaltung)

Aufbau horizontaler PV-Module für Verkehrsflächen

Auf dem Markt werden je nach Anwendung und Hersteller verschiedene Aufbaukonzepte für horizontale PV-Anlagen eingesetzt. Eine grobe Unterteilung lässt sich folgendermassen vornehmen:

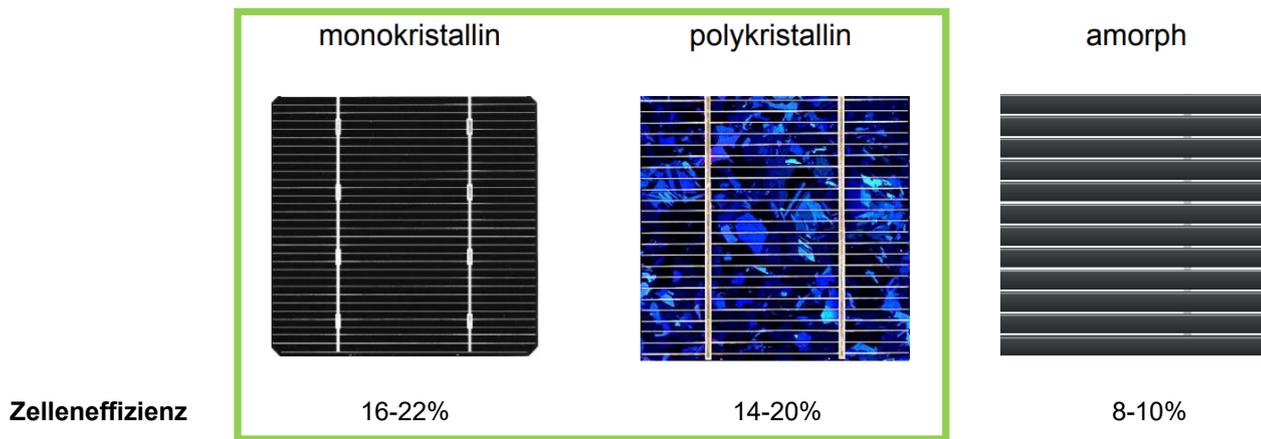
- Photovoltaik-Zellen
- Deckschicht (Glas, Kunststoff, Silikon etc.)
- Haftstruktur
- Unterbau (Beton, Kunststoff, bestehender Asphalt)
- Zusatzfunktionen (LEDs, Abtauung etc.)



Quelle: Angelehnt [19]

Daneben unterscheiden sich die Konzepte vor allem auch durch ihre Aussenform (Quadratisch, Hexagonal etc.) und ihre Modulgrösse.

Zellentypen



- Die besten Effizienzwerte von breit eingesetzten PV-Zellen werden von mono- und polykristallinen Zellentypen erreicht.
- Die effektive Zelleneffizienz wirkt sich im Vergleich zu den anderen Einflüssen eher gering aus, weshalb auf die einzelnen Zellentypen nicht weiter eingegangen wird.

Aufbau der PV-Module diverser Hersteller

Anlagenhersteller	Form/Grösse	Deckschicht	Haftstruktur	Unterbau	Zusatzfunktionen
SolaRoad (NL)	Rechteckig ~6m ²	Epoxidharz	Glaspartikel	Betonsockel	k.A.
Solmove (DE)	Quadratisch 1.4m ²	Sicherheitsglas	Reliefstruktur	Keine, aufklebbar	Heizung, LED
Wattway (FRA)	Rechteckig ~0.9m ²	Polymer-/Harzschichten	Oberflächenbehandlung	Keine, aufklebbar	k.A.
Solar Roadways (USA)	Hexagonal ~0.4m ²	Sicherheitsglas	Reliefstruktur	Keine, vermutlich klebbar	Heizung, LED
Platio (HUN)	Quadratisch ~0.25m ²	Sicherheitsglas	k.A.	Kunststoff, recycelt	k.A.

- Die **Deckschicht** übernimmt eine Schlüsselrolle, da sie **höchsten Belastungen** ausgesetzt ist, **Licht optimal einkoppeln** muss und **vergleichbare Haftung wie Asphalt** oder Beton bereitstellen soll.

Photovoltaik Hersteller aus der Umgebung – MGT Feldkirch

- Das Unternehmen Mayer Glastechnik AG (MGT) aus Feldkirch verfügt über die Infrastruktur und auch das Knowhow um PV-Module für den Einbau auf Verkehrsflächen herzustellen.
- Jedoch rät das Unternehmen klar von PV-Integrationen auf Verkehrsflächen ab.
- Die Technologie ist zu wenig zuverlässig und kaum rentabel was, auch die Erfahrung von diversen Pilotprojekten zeigt.
- Die Empfehlung von Mayer Glastechnik deckt sich mit den Erfahrungen unserer Recherche.



Zusammenfassung PV auf Verkehrsflächen

- Reifegrad der Technologie (Technical Readiness Level TRL1-9)
 - Horizontale Anlagen für Strassen/Plätze befinden sich noch in den Prototyp-Stadien (TPL5-7).
 - Ein Nachweis der Funktionstüchtigkeit der Technologie unter Einsatzbedingungen (TPL8) ist nicht vorhanden.
- Ertrag und Effizienz
 - PV-Anlagen mit horizontaler Ausrichtung verfügen über 10% schlechtere Effizienz/Ertrag als Dachanlagen.
 - Diverse Umwelt-Einflüsse führen zu zusätzlichen Verminderung des Ertrags und der Effizienz (stand heute ca 1/2 einer optimal ausgerichteten Anlage).
- Kosten und Aufwand
 - Je nach Konzept ist der finanzielle Aufwand für PV-Module auf Verkehrsflächen enorm, und zahlt sich (noch) nicht gegenüber herkömmlichen Fahrbahnen aus.
 - Der Unterhalt- und Wartungsaufwand gegenüber gewöhnlichen Verkehrsflächen ist gross und erfordert spezielle Massnahmen und Fachkenntnisse.
- Risiko und Sicherheit
 - Die primäre Funktion von Verkehrsflächen muss jederzeit gewährleistet sein und sollte möglichst nicht behindert werden.

Ungenutzte Flächen besser ausschöpfen

- Bestehende, ungenutzte Gebäudeflächen berücksichtigen.
 - Ungenutzte Dachflächen von Wohnhäusern, Firmen- und öffentlichen Gebäuden etc.
 - Freie Fassaden an Firmen- und öffentlichen Gebäuden etc.
- Überkopfanlagen erlauben die Doppel-Nutzung von besetzten (Verkehrs-)Flächen.
 - Parkplätze, Wendeplätze, Veloabstellplätze
 - Gedeckte Gehwege, Durchgänge etc.
- Über-/Bedeckung von Wasserflächen
 - Klärbecken von Abwasseraufbereitungsanlagen (z.B. ARA Chur)
 - Über Wasserflächen an Brücken (z.B. Rheinbrücke bei Bendern)



Beispiel: Flächenvergleich Zentrum Schaan

- Überdachung der Verkehrsbetriebe Lichtenstein (grün)
 - 1330 m² Dachfläche
 - Peakleistung ca. 200kWp bei 150 $\frac{Wp}{m^2}$
 - Jahresertrag von ca. 200 $\frac{MWh}{a}$
 - Gesamtkosten (Bsp.): 400'000 CHF
 - Stromgestehungskosten: 0.12 $\frac{CHF}{kWh}$ (2% Zins, 20 Jahre)
- Vergleich Horizontalanlage am Boden
 - Der Vorplatz bei der Postfiliale mit Parkplatz (gelb) bietet ziemlich genau dieselbe Fläche.



Überkopfanlagen, Rechenbeispiel

- Doppelnutzung auch von Verkehrsflächen, ohne deren direkte Beeinflussung.
- Vorteil durch Überdachung vor allem für Parkplätze
 - Sommer: Schattenparkplätze, Hagelschutz
 - Winter: Reduzierter Winterdienst.
- Kostenabschätzung Carport für 2 Fahrzeuge
 - Dachfläche: ca. 25 m^2
 - Peakleistung / Ertrag: $3.8 \text{ kWp} / 3.8 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$
 - PV-Zellen, Wechselrichter, Installation: $300 \frac{\text{CHF}}{\text{m}^2}$
 - Unterkonstruktion, Gerüst: $170 \frac{\text{CHF}}{\text{m}^2}$
 - Spez. Gesamtkosten: $470 \frac{\text{CHF}}{\text{m}^2}$



Quelle Zahlen: Photon, 1/2020

Parkplatz- und Dachflächen nahe Schaan

- Überkopfanlagen bei Parkplatz Hilcona (grün)
 - 8500 m^2 Überdeckfläche
 - Leistung ca. 1275 kWp bei $150 \frac{\text{Wp}}{\text{m}^2}$
 - Jahresertrag von ca. $1275 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$
 - Gesamtkosten (Bsp.): 3.99 Mio. CHF
 - Stromgestehungskosten: $0.19 \frac{\text{CHF}}{\text{kWh}}$ (2% Zins, 20 Jahre)
- Freie Dachflächen auf dem Hilcona-Gelände (gelb)
 - 4150 m^2 Überdeckfläche
 - Leistung ca. 625 kWp bei $150 \frac{\text{Wp}}{\text{m}^2}$
 - Jahresertrag von ca. $625 \frac{\text{MWh}}{\text{a}}$
 - Gesamtkosten (Bsp): 1.25 Mio. CHF
 - Stromgestehungskosten: $0.12 \frac{\text{CHF}}{\text{kWh}}$ (2% Zins, 20 Jahre)



Alternative Konzepte

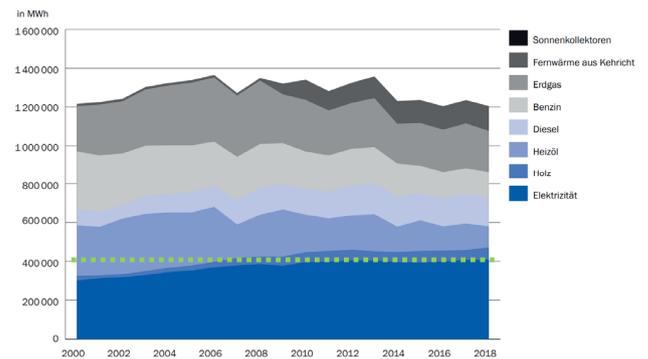
Gedankenexperiment: Nutzung des Rheins

Idee:

- Die ungenutzte Fläche des Rheins entlang der Grenze zu Lichtenstein könnte zur PV-Integration verwendet werden.
- Bei einer Nutzung der halben Rheinbreite (50m) Zwischen Bangs und Mäls (ca. 27km) erreicht man eine Fläche von **1.35 km²**.
- Bei optimaler Ausrichtung entspricht dies einer Leistung von **~200 MWp** (150 Wp/m²) und einem Jahresertrag von **~200 GWh** elektrische Energie.
- Damit wäre **der halbe elektrische Energiebedarf** von Lichtenstein (2018) gedeckt.



Energieverbrauch bzw. -import seit 2000



ralph.kuster@ntb.ch

27

Fragen & Diskussion



ralph.kuster@ntb.ch

28

- [1] C. Kost, S. Shammugam, V. Jülich, H. T. Nguyen und T. Schlegl, «Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien,» Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2018.
- [2] S. Huntington, «TriplePundit: Looking at the Dutch Solar Bike Path After One Year,» 2016. [Online]. Available: <https://www.triplepundit.com/story/2016/looking-dutch-solar-bike-path-after-one-year/29346>. [Zugriff am Januar 2020].
- [3] C. Hausel, «Basic thinking: Start-up-Check! Solmove verwandelt unsere Straßen in Solarkraftwerke,» 2019. [Online]. Available: <https://www.basicthinking.de/blog/2019/01/23/solmove-emobility-start-up-check/>. [Zugriff am Januar 2020].
- [4] W. Pluta, «Golem: Frankreichs Straßen sollen Solarstrom produzieren,» 2018. [Online]. Available: <https://www.golem.de/news/wattway-frankreichs-strassen-sollen-solarstrom-produzieren-1809-136731.html>. [Zugriff am Januar 2020].
- [5] S. Matasci, «Energysage: Solar patio covers, pergolas & gazebos can provide both shade and power,» 2017. [Online]. Available: <https://news.energysage.com/solar-patio-covers-gazebos-shade-provide-power/#comments>. [Zugriff am Januar 2020].
- [6] H. Wirth, «Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland,» Fraunhofer ISE, Freiburg, 2020.
- [7] T. Erhart und B. Schwarz, «Energiestatistik 2018, Lichtenstein,» Amt für Statistik Lichtenstein, Vaduz, 2019.
- [8] A. Luque und S. Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, West Sussex: Wiley, 2003.
- [9] «Das Solarstrom-Magazin,» *Photon*, pp. 1-58, Januar 2020.
- [10] P. Nunes, R. Figueiredo und M. Brito, «The use of parking lot to solar charge electric vehicles,» Elsevier, IDL Lisbon, 2016.
- [11] S. Comello, S. Reichelstein und A. Sahoo, «The road ahead for solar PV power,» Elsevier, Stanford, 2018.
- [12] S. Electrosuisse, «Energie – Sonnenklar Photovoltaik: Technik und Infrastruktur,» Electrosuisse, Swissolar, Fehraltorf, 2019.
- [13] B. Northmore, «Canadian Solar Road Panel Design: A Structural and Environmental Analysis,» Canadian, Waterloo, Ontario, Canada, 2014.
- [14] S. F. f. Sonnenenergie, «Jahresbericht 2018,» Swissolar, Zürich, 2019.
- [15] G. Jorgensen, K. Terwilliger und J. DelCueto, «Moisture transport, adhesion, and corrosion protection of PV module packaging materials,» National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, 2006.
- [16] S. Booth, «International Applications for Floating Solar Photovoltaics,» National Renewable Energy Laboratory, Golden, 2019.
- [17] A. Shekhar und P. Venugopal, «Solar Road Operating Efficiency and Energy Yield – an Integrated Approach towards Inductive Power Transfer,» Delft University of Technology, 2016.
- [18] A. Mehta, N. Aggrawal und A. Tiwari, «Solar Roadways-The future of roadways,» International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET), Ghaziabad, 2015.
- [19] A. B. Northmore und S. L. Tighe, «Performance modelling of a solar road panel prototype using finite element analysis,» International Journal of Pavement Engineering, 2014.