



Solarpanels zwischen den Schienen

MYCLIMATE-PROJEKT 2017/PLANUNGSPROJEKT

Lehrperson: P. Sigrist

BBW Winterthur

Abteilung Maschinenbau

4KB13a

23.03.2017

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Motivation	1
2. Ideensuche / Projektdefinition.....	1
2.1 Projektdefinition und –Zielsetzung	1
2.2 Umsetzbarkeit.....	2
3. Projektplanung	2
4. Konkrete Umsetzung	3
4.1 Schienennetz	3
4.2 Solarzellen	3
4.3 Wetterauswertung.....	5
5. Berechnung.....	6
5.1 Kosten	6
5.2 Nutzen	7
5.3 Ökologische Auswertung	9
6. Auswertung der Projektarbeit	10
6.1 Rückblick	10
6.2 Erkenntnisse	10
6.3 Perspektiven	10
7. Quellen.....	11

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Rahmen des Faches Berufsübergreifende Projekte, kurz BüP, bekamen wir die Aufgabe ein Klimaprojekt zu konzipieren und realisieren.

Zuerst befassten wir uns mit dem Zusammenhang des Klimawandels und dem Energieverbrauch in der Schweiz. Natürlich ist die Schweiz ein Land welches ziemlich viel Energie pro Kopf verbraucht. Dies weil wir im Vergleich mit anderen Ländern eine Infrastruktur nach sehr hohen Standards haben.

Den Energieverbrauch senken kann jeder Einzelne, jeder kann mit wenig Aufwand unnötigen Energieverbrauch einsparen. Zusätzlich kann aber auch mit grösseren Projekten Energie eingespart werden oder fossile Energien mit erneuerbaren Energien ersetzt werden.

Den Einstieg stellte die Information durch eine Mitarbeitende von MyClimate dar. Dadurch gewannen wir schon einmal Motivation um eine gute Idee zu erarbeiten. So führten wir bereits in den Stunden danach angeregte Diskussionen um ein Thema zu finden.

1.2 Motivation

Die Thematik unsere Umwelt zu verbessern und ein nachhaltiges Projekt zu erarbeiten hat uns von Beginn an motiviert. Wir realisierten, dass wir damit etwas erreichen können. Denn die Klimaerwärmung und alle Probleme die diese mit sich bringt, betrifft uns alle und jeder kann seinen Teil dazu beitragen.

Mit dieser Motivation starteten wir in unser Klimaprojekt. In unserem Projekt untersuchten wir wieviel Strom wir gewinnen könnten, wenn wir zwischen den Gleisen der SBB Solarpanels verlegen würden. In der Hoffnung auf ein positives Resultat zu stossen, starteten wir mit unseren Berechnungen

2. Ideensuche / Projektdefinition

2.1 Projektdefinition und –Zielsetzung

Das Ziel unseres Projekts ist herauszufinden, ob sich eine flächendeckende Belegung von Bahngleisen mit Solarpanels lohnen würde. Wir sind uns bewusst, dass wir keine sehr genaue Berechnung machen können und für unsere Berechnungen auch gewisse Annahmen treffen müssen. Trotzdem ist das Ziel eine aussagekräftige Schlussfolgerung.

Wir haben uns am Anfang erhofft, dass wir mit dem Ertrag der Energie aus den Solarpanels den Stromverbrauch der SBB decken können. Zudem wollten wir herausfinden, wie lange diese Anlage in Betrieb sein muss bis sie finanziell gedeckt ist und Reingewinn abwirft.

2.2 Umsetzbarkeit

Ob unsere Idee tatsächlich in Realität verfolgt wird, liegt schlussendlich nicht an uns, sondern an möglichen Investoren. Dieser müsste bereit sein, umweltbewusst zu handeln und nicht auf Gewinn ausgerichtet sein. Daher ist eine Umsetzung eher unwahrscheinlich

3. Projektplanung

3.1 Detaillierter Aufgabenplan

Task	September			Oktober		Januar				Februar				März				März	
	Kw36	Kw37	Kw38	Kw39	Kw40	Kw1	Kw2	Kw3	Kw4	Kw5	Kw6	Kw7	Kw8	Kw9	Kw10	Kw11	Kw12	Kw13	
Informieren																			
Information durch Frau Püntener																			
Ideensuche (Mindmap)																			
Planen																			
Zeitplan																			
Aufgabenverteilung																			
Entscheiden																			
Themenauswahl																			
Dokumentation erarbeiten																			
Informationen sammeln																			
Berechnungen durchführen																			
Doku erarbeiten																			
Kontrollieren																			
Doku überprüfen																			
Präsentation																			

= Sollzeit
 = Ist Zeit
 = Abwesenheit

4. Konkrete Umsetzung

4.1 Schienennetz

Die Länge des Streckennetzes in der Normalspur beträgt 3'075 km. Das Streckennetz der Zentralbahn in Meterspur beträgt 98 km.¹ In unserer Arbeit beschränken wir uns jedoch auf die Normalspur, das heisst auf die 3'075 km.

Von dieser Strecke müssen wir aber die Strecke abziehen, welche in Tunnels gebaut sind. Beim Schweizer s machen diese ca. 11% des Schienennetzes aus. Genau sind es 360'950 km. Daraus resultieren 2714.05 km Strecke die wir für unser Solarnetz verwenden könnten.

Die Spurbreite der Normalspur beträgt 1435 mm. Da wir in den Kurven aber nicht die ganze Breite benutzen können haben wir uns entschieden, schmalere Solarzellen über die ganze Distanz zu verwenden. Da die Norm-Solarzellen eine Breite von 1000mm aufweisen haben wir uns entschieden diese Breite zu übernehmen.

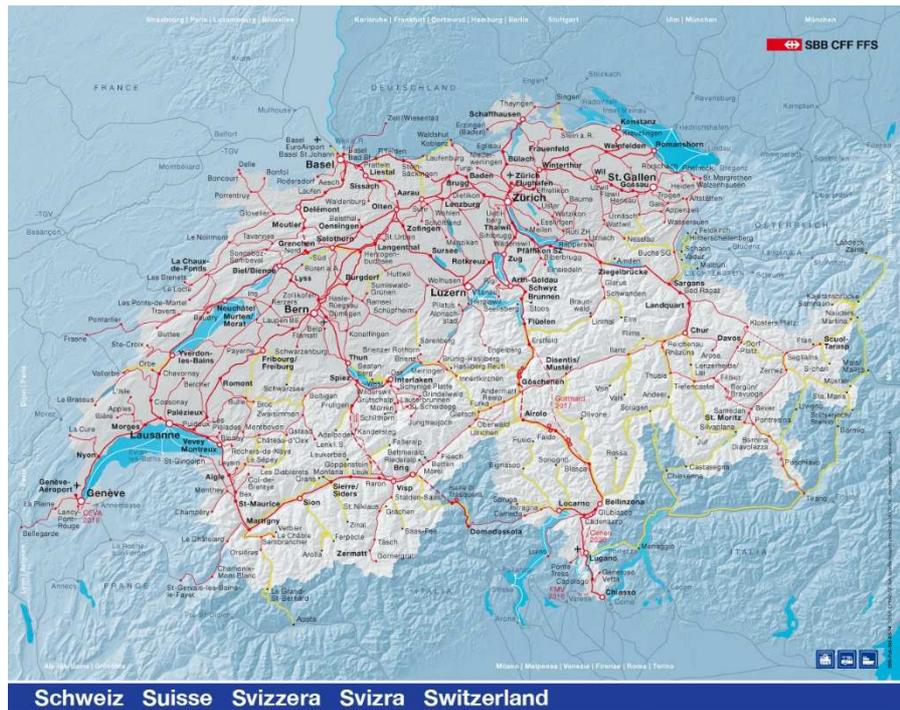


Abbildung 1 „Streckennetz“

4.2 Solarzellen

Solarzellen oder sogenannte Photovoltaik-Zellen sind im Grundprinzip, flache Zellen welche eingestrahktes Sonnenlicht in elektrischen Strom umwandeln können. Es gibt dabei wesentliche Unterschiede in Wirkungsgrad, Kosten und Verwendungsbereich. Diese Unterschiede sind abhängig von der Art der Solarzelle, denn es werden verschiedene Arten von Solarzellen hergestellt. Die am weitesten verbreiteten sind jedoch Monokristalline und Polykristalline Silizium Solarzellen, da diese über einen guten Wirkungsgrad und ein angemessenes Preisniveau bereitstellen. Monokristalline sind zwar etwas teurer in der Herstellung haben dafür aber einen etwas besseren Wirkungsgrad.

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Schweizerische_Bundesbahnen#Kennzahlen

Zelltyp	Wirkungsgrad
monokristallin	20 - 22 %
polykristallin	15 - 20 %
amorphes Silizium	8 %
CIS-Zellen	12 %
GaAS-Zellen	25 %
Farbstoffzellen	2 – 3 %

Funktionsweise von Siliziumsolarzellen²

Da Silizium ein Halbleiter ist, werden im Inneren Ladungsträger erzeugt. Diese Ladungsträger sind Elektronen und sogenannte Löcher. Die Löcher beschreiben eine positive Ladung aufgrund fehlender Elektronen und die Elektronen, die überschüssig sind, erzeugen eine Negative Ladung. Die Siliziumzelle ist beidseitig dotiert, das heißt sie hat eine p-n-Dotierung. Diese Dotierungen ermöglichen die Ladungstrennung der Löcher und Elektronen. Im Grunde heißt dies also, dass eine durch Sonnenlicht angeregte Solarzelle wie eine Batterie Elektronen auf der einen Seite abgibt und an der anderen wieder aufnimmt, mit dem bedeutenden Unterschied, dass dieser Prozess unbegrenzt weiterlaufen kann. Dies ermöglichen die Eigenschaften des Halbleiters Silizium, welches, angeregt von Sonnenstrahlen, die Elektronen im Inneren immer wieder von der p-Dotierung zur n-Dotierung transportiert.³

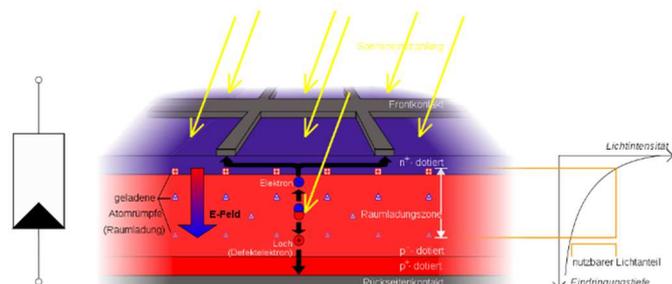


Abbildung 2 „Solarzelle“

Für unser Projekt wären Solarpanels mit Monokristallinen oder Polykristallinen Zellen, die auch auf vielen Dächern installiert werden eine gute Wahl, da diese witterungsbeständig, einsatzerprobt und zuverlässig sind. In den meisten Fällen ist ein solches Solarpanel, welches mit mehreren Zellen bestückt ist 990mm breit und ca. 1650mm lang. Diese Panels haben durchschnittlich eine Leistung von bis zu 300 Watt. Für unser Modell, rechnen wir mit dem Modell Bifacial 380 von Meyer Burger.⁴

² <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Funktionsprinzip>

³ <http://www.photovoltaik.org/wissen/photovoltaik-wirkungsgrad>

⁴ <http://www.schweiz-solar.ch/de/produkte/Solarmodule>

4.3 Wetterauswertung

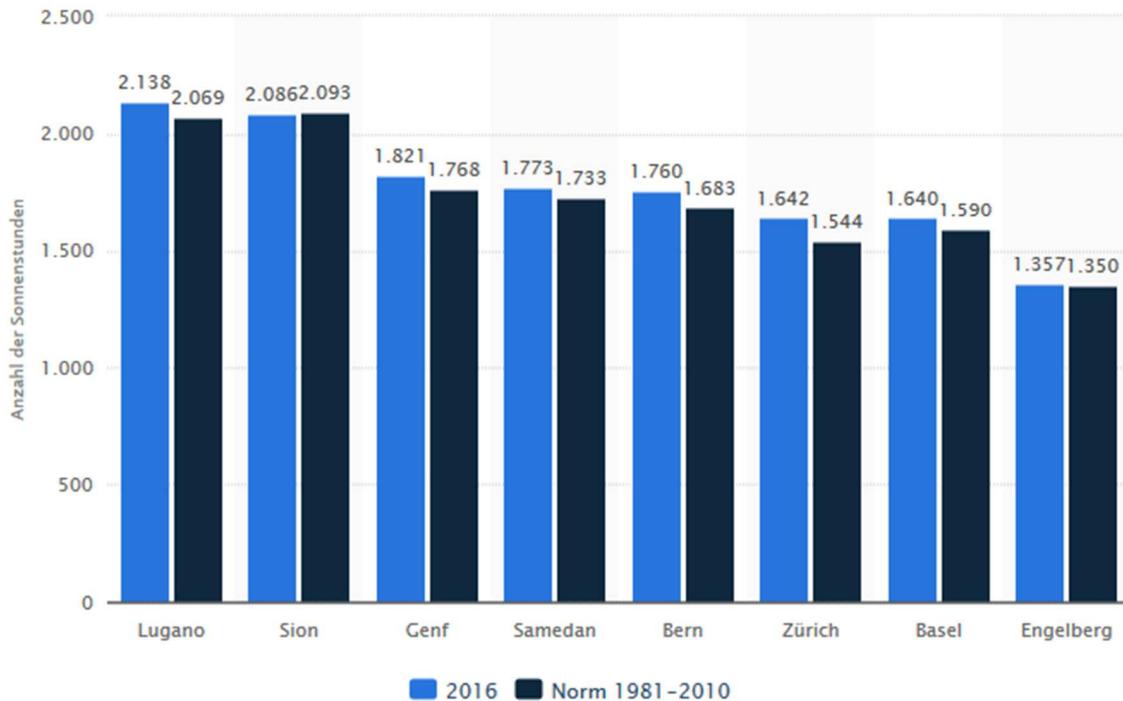


Abbildung 3 „Wetterstatistik“

Die Anzahl Sonnenstunden in den Jahren 1981-2010 pro Jahr betrug im Durchschnitt 1729 Stunden pro Jahr, Tendenz steigend. ⁵

Für unsere Berechnungen sind diese Sonnenstunden von grosser Bedeutung. Da wir nicht jede Wirkungsgradänderung bei bewölktem Wetter beachten können, rechnen wir mit den Anzahl Sonnenstunden und dem maximalen Energiegewinn aus dem Solarpanel.

Unseren Annahmen zufolge sollten wir so auf ein relativ genaues Mittel kommen welches nahe an der Realität liegt.

⁵ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/297546/umfrage/sonnenstunden-in-der-schweiz-nach-ausgewaehlten-orten/>

5. Berechnung

5.1 Kosten

Wie bereits beschrieben haben wir uns beim Solarpanel für unsere Berechnungen für das Modell Bifacial 380 von Meyer Burger entschieden. Dies, weil es ein neues Modell ist und weil der Hersteller seinen Sitz in der Schweiz hat.

Für die Berechnung der belegbaren Strecke haben wir die von der totalen Strecke die Tunnels abgezogen. Zudem haben wir 2% abgezogen für sonstige unbelegbare Streckenteile. (z. B. Weichen, extreme Schattenstellen)

Nutzbare Strecke	= (Total Strecke – Tunnelstrecken) *Korrekturfaktor ₁		
	= (3075km – 360.95 km)*0.98 = <u>2659.769 km</u>		
Anzahl Solarpanels	= $\frac{\text{Nutzbare Strecke}}{\text{Länge Solarpanel}}$	=	$\frac{2659769 \text{ m}}{1.7 \text{ m}} = \underline{1'564'570 \text{ Panels}}$
Preis Solarpanels	= 465.- CHF/Stück		
Preis Anbauteile	= 135.- CHF/Stück (angenommener Wert)		
	= <u>600.-CHF/Modul</u>		
Preis Solarpanels	= 938'742'000.- CHF		
Preis Gesamtanlage, inklusiv Planung, Installation, und Material. (Annahme)=	2 Mrd CHF		
<i>Korrekturfaktor₁: Abzug für Bahnübergänge, Weichen und andere unbelegbare Streckenabschnitte</i>			

Der Aufwand für die Solarpanels beträgt somit knapp eine Milliarde Franken. Da bei einem solchen Grossprojekt jedoch sicherlich mit einem Rabatt des Herstellers gerechnet werden kann, könnte man von dieser Zahl mindestens nochmals 20% abziehen, was einer Summe von knapp 800 Mio. entsprechen würde. Für die Installationen rechnen wir mit einem Aufwand von einer zusätzlichen Milliarde. Diese Zahl ist aber noch ziemlich variabel, da abgeklärt werden müsste ob auch bisherige SBB-Mitarbeiter diese Arbeiten erledigen könnten oder nicht. Denn falls ja würden diese nicht stark gewichtet werden, da diese sowieso auf der Lohnliste der Bundesbahnen stehen.

5.2 Nutzen

Für die Berechnung der Leistung die die Solarpanels insgesamt erzeugen können brauchen wir ein paar zusätzliche Angaben. Ein ziemlich wesentlicher Faktor dabei ist das Rollmaterial der SBB. Denn diese stehen immer irgendwo auf den Gleisen und verdecken damit die Solarpanels sodass diese keine Energie erzeugen können. Um diese abgedeckte Strecke zu berechnen haben wir die Anzahl Wagen mit der Durchschnittslänge eines Wagens, 25 Meter, multipliziert.

Rollmaterial.

Bestand am Jahresende				
	Anzahl			
Triebzüge		472	492	504
Streckenlokomotiven	[802]	699	689	688
Rangierlokomotiven	[260]	273	244	239
Reisezugwagen	...	2550	2379	2359
Güterwagen	10769	7360	6816	6458
				6
				<u>10'248 Wagen</u>

Rollmaterial: 10'248 Wagen * 25 Meter = 256200 Meter = 256.2 km.

Desweiterem muss natürlich auch bei der stromproduzierenden Strecke die Tunnelstrecken abgezogen. Zudem haben wir 25% abgezogen für die Variation des Sonnenstandes. Denn je nachdem wie dieser steht, wird mehr oder weniger Schatten auf das Gleis geworfen. Zudem spielt es sowieso eine Rolle aus welchem Winkel die Sonnenstrahlen auf dem Panel eintreffen. Am besten ist es, wenn sie senkrecht von oben kommen, was einer Uhrzeit von ca. 12.00 Uhr entspricht. Mit diesen Koeffizienten können wir relativ realistische Berechnungen durchführen.

⁶ SBB_Zahlen-und-Fakten_2015

Stromproduzierende Strecke:

(Total Strecke - Tunnelstrecke – Rollmaterial) * Schatten und Energiekoeffizient₂

$((3075\text{km} - 360.95\text{km} - 256.2\text{ km}) * 0.98) * 0.75 = 1843.3875\text{ km}$

$1843387.5\text{ km} / 1.7\text{m} = 1084346\text{ stromproduzierende Panels}$

Anzahl stromproduzierende Panels*Leistung pro Panel*Anzahl Sonnenstunden =
Jahresleistung der Solaranlage

$1084346\text{ Panels} * 380\text{W} * 1729\text{h} = 712437008.92\text{Wh} = 712437.008\text{ kWh} = \underline{712\text{GWh}}$

₂Schatten- und Energiekoeffizient: Als Schatten- und Energiekoeffizient haben wir den Faktor 0.75 angewendet. Diesen Koeffizienten braucht es, da je nach Sonnenstand Schatten auf die Schienen geworfen werden kann.

Insgesamt können pro Jahr 712 GWh gewonnen werden. Um diese Zahl besser darzustellen, haben wir sie in Relation zum Jahresstromverbrauch der SBB gesetzt. Dieser beträgt 2612 GWh.

Gesamtnutzung Strom SBB / Jahresleistung Solaranlage = Stromanteil der Solaranlagen

$2612\text{ GWh} / 712\text{GWh} = 27\% \text{ des SBB Netzes}$

$712\text{ GWh} * 0.06\text{ Fr./kWh} = 42'720'000.-\text{CHF}$ „Ersparnis“ pro Jahr

Somit könnte mit der Solaranlage 27 % des Strombedarfs gedeckt werden. Diese könnten direkt fürs Eisenbahnnetz genutzt werden, was der SBB erlauben würde den Strom aus den eigenen Wasserkraftwerken anderweitig zu verkaufen. Aber ob diese Investition wirklich lohnenswert wäre zeigt die nächste Berechnung. Sie zeigt auf wie lange es dauern würde bis die Solarpanels sich finanziell kompensiert hätten.

$2\text{ Mia. CHF.-} / 42,72\text{ Mio. CHF} = \underline{46.83\text{ Jahre}}$

Diese Zahl stimmt uns etwas nachdenklich da man von den heutigen Solarzellen keine so lange Lebensdauer erwarten kann. Diese Berechnung muss man allerdings noch etwas korrigieren. Denn da in der Schweiz die Atomenergie in nahender Zukunft abgeschaltet wird, wird auch der Strompreis steigen. Darum wird es ziemlich sicher weniger als diese 47 Jahre dauern.

5.3 Ökologische Auswertung

Im Zusammenhang mit Solarpanels wird immer wieder von der grauen Energie gesprochen. Tatsächlich beträgt die graue Energie 887 KWh pro Quadratmeter.⁷

$1'564'570 \text{ Panels} * 1.6 \text{ m}^2 * 887 \text{ KWh} = 2220.44 \text{ GWh}$

$2220.44 \text{ GWh} / 712 \text{ GWh} = \underline{3.1 \text{ Jahre}}$

Somit braucht es etwas mehr als 3 Jahre bis die Solarzellen ihre graue Energie kompensiert haben. Unserer Meinung nach ist diese Dauer durchaus vertretbar und zudem auch überraschend, da wir mit mehr gerechnet haben.

Allgemein würde unser Projekt aus ökologischer Sicht Sinn machen. Denn diese erneuerbare Energie könnte andere nicht erneuerbare Energiequellen ablösen. Zudem besteht bei dieser Energiemethode keine Umweltgefahr wie dies zum Beispiel bei der Kernenergie der Fall ist.

Ein weiterer Vorteil ist, dass kein zusätzlicher Platz verschandelt wird, da diese ungenutzte Fläche sowieso besteht.

⁷ http://www.solar-sg.ch/downloads/Vorurteile_zu_Solarstrom.pdf

6. Auswertung der Projektarbeit

6.1 Rückblick

Auch wenn wir uns einen etwas höheren Stromgewinn erhofft haben sind wir zufrieden mit dem Resultat. Wir denken, dass wenn man die Solarpanels noch etwas optimieren könnte und einen höheren Wirkungsgrad erreichen könnte wäre eine solche Investition durchaus sinnvoll. Es ist auch zu beachten, dass die Kosten für die Herstellung von Solarzellen sinken werden weil die Produktion immer effizienter gestaltet werden kann.

Finanziell würde es zwar einige Jahre dauern bis die Anlagen amortisiert wären, aus ökologischer Sicht wäre es aber sinnvoll. Auch die finanzielle Auswertung wird sich verbessern wenn man beachtet, dass die Stromkosten in den nächsten Jahren wohl eher wieder steigen werden. Diese Kombination von den billigeren Solarzellen und die teureren Stromkosten würde unsere Bilanz noch einmal erheblich aufbessern.

Auch im Zusammenhang mit dem Vorhaben des Bundesrates bis 2050 auf atomare Energie zu verzichten, wäre dies ein relativ grosser Schritt in die richtige Richtung.

Unsere Gruppenzusammenarbeit verlief ziemlich gut. Jeder erfüllte seinen Teil der Arbeit und brachte seine eigenen Ideen ein.

6.2 Erkenntnisse

In unserer Arbeit haben wir einiges an neuem Wissen dazugelernt. So kennen wir nun die Funktionsweise von Solarzellen und wissen wieviel Strom durch diese nach aktueller Technik gewonnen werden kann. Zudem haben wir uns intensiv mit dem Streckennetz der SBB befasst und Zusammenhänge dazu entdeckt, die wir ansonsten wohl kaum überlegt hätten.

6.3 Perspektiven

Wir denken, dass unsere Idee durchaus umsetzbar wäre. Aus ökologischer Sicht wäre es auch eine sinnvolle Investition, jedoch müsste man zuerst bereit sein einen solchen enormen Geldbetrag aufzuwenden. In diesem Fall von den schweizerischen Bundesbahnen und somit auch vom Schweizer Steuerzahler. Wenn man dann diese 2 Milliarden Franken in Relation zum Gotthard-Basis-Tunnel, welcher 12 Mrd. Franken kostete, setzt, ist diese Summe auch gar nicht mehr so enorm.

7. Quellenverzeichnis

Internetquellen:

Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Schweizerische_Bundesbahnen#Kennzahlen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle#Funktionsprinzip>

Photovoltaik <http://www.photovoltaik.org/wissen/photovoltaik-wirkungsgrad>

Schweiz Solar <http://www.schweiz-solar.ch/de/produkte/Solarmodule>

http://www.solar-sg.ch/downloads/Vorurteile_zu_Solarstrom.pdf

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/297546/umfrage/sonnenstunden-in-der-schweiz-nach-ausgewaehlten-orten/>

Abbildungen:

Abbildung 1 „Streckennetz“	3
Abbildung 2 „Solarzelle“	4
Abbildung 3 „Wetterstatistik“	5

Anhang

Von: weisero@bluewin.ch
Sendedatum: 02/03/2017 - 10:46
An: mbinfo@meyerburger.ch
Betreff: Hypothetische Offerte

Guten Tag

In der Schule befassen wir uns in einer Projektarbeit gerade mit dem Thema Umwelt und erneuerbare Energien.

Wir haben dabei einige berechnungen angestellt und würden nun gerne eine Theoretische Offerte anfragen, um den Umfang und das Preisniveau abzuwägen.

Der Umfang unseres theoretischen Projektes ist zwar durchaus gross, aber wir würden wenn möglich dennoch eine Kosteneinschätzung machen können.

Uns würde interessieren, wie viel 1'564'570 Solarpanels des Modells Bifacial 380 inklusive Wechselrichteranlagen Kosten würden.

Vielen dank im Voraus

Severin Weiss

E-Mail Anfrage an Meyer Burger