STUDIE

Nutzung von Industrie- und Gewerbeparkplätzen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie

Im Auftrag von De Lorean Power

Autor Björn Brugger, Project B

Unterstützt durch den Kanton Thurgau, Abteilung Energie

1 Ausgangslage 4
2 Management Summary 6
3 Grundlagen 8
3.1 Zukünftiger Strombedarf 8
3.2 Neue erneuerbare Energiequellen und Photovoltaik 8
3.3 Parkflächen und Leistungsfähigkeit von Photovoltaik 9
3.4 (Elektro-)Mobilität 11
3.5 Elektrifizierung, Park- und Photovoltaik-Flächen 13
3.6 Park- und Lade-Verhalten 14
4 Lösungsbeschreibung 17
4.1 Musterliegenschaft 17
4.2 Systemlösung und Simulation 18
4.3 System CarPort 19
4.3.1 Projektbeispiel Courgenay 19
4.3.2 Bilder 20
4.4 System Solarfaltdach 21
4.4.1 Projektbeispiel Kronberg 21
4.4.2 Bilder 22
4.5 System PV-Belag 23
4.5.1 Projektbeispiel Tourouvre-au-Perche 23
4.6 Option Batteriespeicher 24
4.7 Batteriespeicher aus Second Use Batterien 26
5 Variantenvergleich 27
6 Wirtschaftlichkeit 29
6.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen 29
6.2 Basisvariante 31
6.3 Finanzierungsvariante über zusätzliche Parkgebühr 32
6.4 Finanzierungsvariante über zusätzliche Förderung 33
6.5 Finanzierungsvariante über Strompreis 34
6.6 Kombination von Zusatzfinanzierungen 35
7 Empfehlungen 37
Anhang 43
Leistungsfähigkeit von PV 43

EXKURS: Umweltbelastung Elektrizität, Mobilität und Konsum 45
Elektrofahrzeuge im Vergleich mit Verbrennern 46
Strombezüge der Musterliegenschaft 47
Simulation Musterparkplatz 49
Auslegung Batteriesystem 51
Förderbeiträge 53

1 AUSGANGSLAGE

Im Rahmen des Vorstosses «Förderung von Solarparkplätzen» im Thurgauer Grossrat vom 27.01.2021 (Einfache Anfrage 47_112 [1]) wurde die Regierung aufgefordert, die zukünftigen Rahmenbedingungen für die Erstellung von Solarparkplätzen zu erläutern. In der Einleitung der Anfrage heisst es unter anderem: «Um die Produktion und die Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen, sollte vor allem dem Laden am Arbeitsplatz grössere Beachtung geschenkt werden» und weiter: «Die Parkplätze der öffentlichen Hand, im Detailhandel und bei Unternehmen verbrauchen eine grosse Landfläche. Oft an teuren und zentralen Standorten. Durch die Überdachung dieser Flächen mit Photovoltaikanlagen könnte Solarstrom erzeugt werden, der mittels Ladestation direkt in Elektroautos geladen werden könnte.». Die Fragen an den Regierungsrat drehen sich um eine mögliche kantonale Förderung von Solarparkplätzen, ob zusätzliche Anreize für deren Erstellung geschaffen werden können, wie der produzierte Solarstrom abgesetzt und ob der Genehmigungsprozess vereinfacht werden kann.

Die Thurgauer Regierung hat am 23.3.2021 auf den Vorstoss geantwortet. Der Regierungsrat identifiziert ein jährliches Solarstrom-Potential von 6.7 Gigawattstunden (GWh) auf grossen Parkplätzen im Thurgau. Weiter heisst es in der Antwort: «Zukünftig könnten Batteriespeicher das Angebot und die Stromnachfrage auf Parkplätzen ausgleichen. Somit ist eine Förderung von Solarparkplätzen mit Ladestationen, gegebenenfalls ergänzt um Batteriespeicher, grundsätzlich vorstellbar. Über ein vom Kanton unterstütztes Pilotprojekt, in dem die Praktikabilität und die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagekombination untersucht werden, könnten Erfahrungen zum Betrieb gesammelt werden. In einem nächsten Schritt könnte auf der Basis der Ergebnisse über die Aufnahme einer finanziellen Unterstützung in das Energieförderprogramm entschieden werden.»

Basierend auf dem parlamentarischen Vorstoss «Förderung von Solarparkplätzen» sowie dem Förderantrag für eine Machbarkeitsstudie wurde die vorliegende Studie erstellt. Darin wird folgenden Fragen nachgegangen:

- → Welche technischen Lösungen für die Nutzung von Parkflächen gibt es?
- → Was sind die Grundlagen dieser Technologien und welche Vor- und Nachteile haben sie?
- → Wie lässt sich die Wirtschaftlichkeit darstellen?
- → Wie werden sich die Kosten mittelfristig entwickeln?
- → Ist es notwendig, Solarparkplätze speziell zu fördern?

Ebenfalls geht die Studie auf generelle Herausforderungen der Energiewende ein und bewertet, wie Solarparkplätze dazu beitragen, diese Herausforderungen zu meistern:

- → Stabilität des Stromversorgungsnetzes wegen Ungleichgewichten zwischen Produktion und Nachfrage.
- → Notwendiger Zubau von Stromerzeugungsanlagen aus erneuerbaren Quellen.
- → Erhöhter Strombedarf durch die zunehmende Elektrifizierung von Mobilität und Wärmeerzeugung.
- → Versorgungslücke im Winterhalbjahr.
- → Tag/Nacht-Ausgleich.

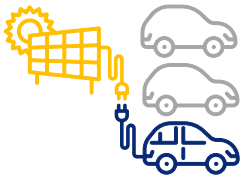
Zum Auftraggeber der Studie	Zum Autor
De Lorean Power GmbH unterhält Mandate bei verschiedenen Unternehmen der Energiewirtschaft. Der Fokus liegt auf erneuerbaren Energien und der Speicherung von Energie. Das Unternehmen konzentriert sich auf die Entwicklung von neuen Geschäftsfeldern. Der Energieexperte Marco Rüegg ist Gründer und Inhaber. Er verfügt über eine technische Grundausbildung und eine Weiterbildung zum Maschineningenieur. Seit 2020 ist er Mitglied des Grossen Rates Thurgau.	Björn Brugger arbeitet als selbständiger Berater und Projekt-Partner für öffentliche Verwaltungen und die Privatwirtschaft. Dabei begleitet er strategische Vorhaben mit Evaluationen und als Projektleiter. Davor hat er sich über mehr als 10 Jahre um grosse Infrastruktur-Projekte im Bahnumfeld gekümmert, zuletzt als Gesamtprojektleiter der Sicherungs-anlagen für den Ceneri-Basistunnel. Er ist gelernter Elektroniker, Systemingenieur FH und zertifizierter Project Director IPMA.
De Lorean Power GmbH Dorfstrasse 46 8546 Kefikon https://delorean-power.ch	Project B Brugger Pumpwerkstrasse 12 8357 Guntershausen https://projectb.ch

2 MANAGEMENT SUMMARY

Die vorliegende Studie hat die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten für die Nutzung von Industrie- und Gewerbeparkplätzen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie anhand eines Musterparkplatzes analysiert. Die wichtigsten Erkenntnisse sind nachfolgend zusammengefasst.

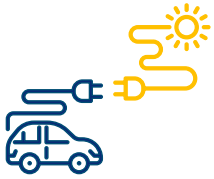
Parkzeit Arbeitnehmer = Produktionszeit Solarstrom

Das Parkverhalten von Arbeitnehmern deckt sich zeitlich sehr gut mit der anfallenden Solarstromproduktion, die am Tag stattfindet und ihr Maximum um die Mittagszeit erreicht. → Kapitel 3



Erwartete Ladenachfrage = Momentan-Produktion der PV-Anlage

Die erwartbare Nachfrage nach Ladeenergie – rund ein Drittel der Fahrzeuge wird voraussichtlich am Arbeitsplatz geladen für eine tägliche Reichweite von 30 Kilometern – kann durch eine PV-Überdachung, die mehrere Parkfelder umfasst, praktisch bei jeder Witterung abgedeckt werden. → Kapitel 3



Jahresstrombedarf eines Elektrofahrzeugs = Jahresproduktion auf verfügbarer Parkfläche

Ein Elektroauto benötigt pro Jahr rund 2'700 Kilowattstunden (kWh) Strom. Die mit Photovoltaik ausgestattete Dachfläche einer Parkplatz-Überdachung (12.5m2) erzeugt in der Jahresbilanz ziemlich genau den notwendigen Strom für die durchschnittliche Fahrleistung eines Elektrofahrzeugs. Zum Vergleich: Der Durchschnittsverbrauch eines Schweizer-Haushalts liegt bei rund 4'500 kWh pro Jahr (Verbrauchsprofil H3[1]; ohne Heizung, Lüftung und Elektromobilität). → Kapitel 3

Hohe technische Reife und stabile Preise

Die Überdachung von Parkplätzen mittels Photovoltaik lässt sich robust und einfach realisieren mit am Markt verfügbaren Lösungen. Alle notwendigen Teilsysteme sind technisch ausgereift. Bei einem gut besonnten Parkplatz kann mit denselben Erträgen wie bei einer Dachanlage gerechnet werden. Aufgrund der aktuell noch geringen Verbreitung von PV-Überdachungen ist mit Kostenreduktionen zu rechnen. Aktuell wird dieser Effekt allerdings durch die hohen Komponenten- und Rohstoffpreise egalisiert. → Kapitel 5

Wirtschaftlichkeit von Solarparkplätzen durch verkraftbare Zusatzmassnahmen erreichbar

Aufgrund der zusätzlichen Unterkonstruktion ist ein Solarparkplatz teurer als eine PV-Aufdachanlage mit derselben Leistung. Für kleine und mittlere Solarparkplätze ergeben sich unter den geltenden Rahmenbedingungen Amortisationszeiten von über 30 Jahren. Durch eine Zusatzförderung in Kombination mit weiteren Massnahmen kann trotzdem die Wirtschaftlichkeit von Solarparkplätzen erreicht werden. → Kapitel 6

[1] Verbrauchsprofil H3 gemäss Eidgenössische Elektrizitätskommission: 4-Zi.wohnung mit Elektroherd und Elektroboiler

Gewaltiges solares Potential von Parkflächen

Photovoltaiküberdachungen von Parkflächen haben das grösste Potential aller Infrastrukturflächen für die Stromproduktion. Für jeden zugelassenen Personenwagen stehen rund 2 Parkplätze zur Verfügung. Mit den verfügbaren Flächen könnten über 10 Terawattstunden Solarstrom pro Jahr erzeugt werden. → Kapitel 3.3

Lokale Energieerzeugung deckt lokale Nachfrage

Aufgrund der stark zunehmenden Elektromobilität wird schon bald ein erhöhter Ladebedarf auf Mitarbeiterparkplätzen bestehen. Durch Solarparkplätze kann ein grosser Teil des lokalen Strombedarfs direkt am Standort der Elektrofahrzeuge produziert werden. → Kapitel 3.6

Speicherung von Überproduktion

Dank grossen Batteriekapazitäten von Elektrofahrzeugen können PV-Überproduktionen im Frühling und Sommer durch angeschlossene Fahrzeuge gespeichert werden. Das öffentliche Stromnetz muss diese Energie somit nicht aufnehmen und wird entlastet.

Die generellen Herausforderungen der Energiewende können durch die angestrebte Lösung wie folgt unterstützt werden.

Herausforderung	Lösungsbeitrag
Stabilität des Stromnetzes Generell können grosse PV-Anlagen zu hohen Rückströmen und damit einem negativen Einfluss auf die Netzstabilität führen.	Durch den hohen Eigenverbrauchsanteil der Muster-liegenschaft wird das öffentliche Stromnetz hier kaum belastet. In naher Zukunft können angeschlossene Elektrofahrzeuge PV-Überschüsse direkt vor Ort verbrauchen bzw. speichern. Daneben besitzen grosse PV-Anlagen Schutzeinrichtungen, um die Netzstabilität sicherzustellen.
Notwendiger Zubau von neuen erneuerbaren Energieerzeugern Der Thurgau peilt eine PV-Fläche von 8-10 m2 pro Bewohner an.	Eine Parkplatzüberdachung kann auch eine bereits bestehende Photovoltaikanlage ergänzen. Im Falle der Musterliegenschaft sind die Voraussetzungen dafür optimal. Mittels PV-Überdachung von 1250 m2 Parkfläche werden so pro Mitarbeiter/Nutzer 8 m2 Solarfläche beigesteuert.
Erhöhter Strombedarf Durch die Elektrifizierung von Wärmeerzeugung und Mobilität steigt der zukünftige Strombedarf.	Der zusätzliche Strombedarf von Elektrofahrzeugen kann durch eine PV-Überdachung gedeckt und vor Ort produziert werden. Neben der Nutzung von bestehenden Dächern und Fassaden kann durch die Überdachung von Parkflächen das Solarstrom-Potential massgeblich erweitert werden.
Winterlücke Dem grösseren Stromhunger im Winter steht eine geringere Produktionskapazität gegenüber.	Im Gegensatz zu PV-Fassaden-Anlagen können Flächenanlagen, wie sie hier vorgesehen sind, keinen Beitrag zur Entschärfung der «Winterlücke» leisten.
Tag-Nacht-Ausgleich Erhöhter Strombedarf am Abend und in der Nacht.	Die zu «Bürozeiten» am Arbeitsplatz parkierten und ladenden Elektrofahrzeuge entlasten das öffentliche Netz, weil diese Fahrzeuge in der Nacht kaum Ladebedarf haben.

3 GRUNDLAGEN

3.1 ZUKÜNFTIGER STROMBEDARF

Entsprechend der Energiestrategie 2050 des Bundes soll der Ausstieg aus der Kernenergie durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und Steigerung der Energieeffizienz kompensiert werden. Aufgrund der geplanten Abschaltung der verbleibenden vier Kernkraftwerke entsteht eine Lücke von rund 20 Terawattstunden (TWh) jährlich, die abgedeckt werden müssen (Abbildung 1, graue Fläche).

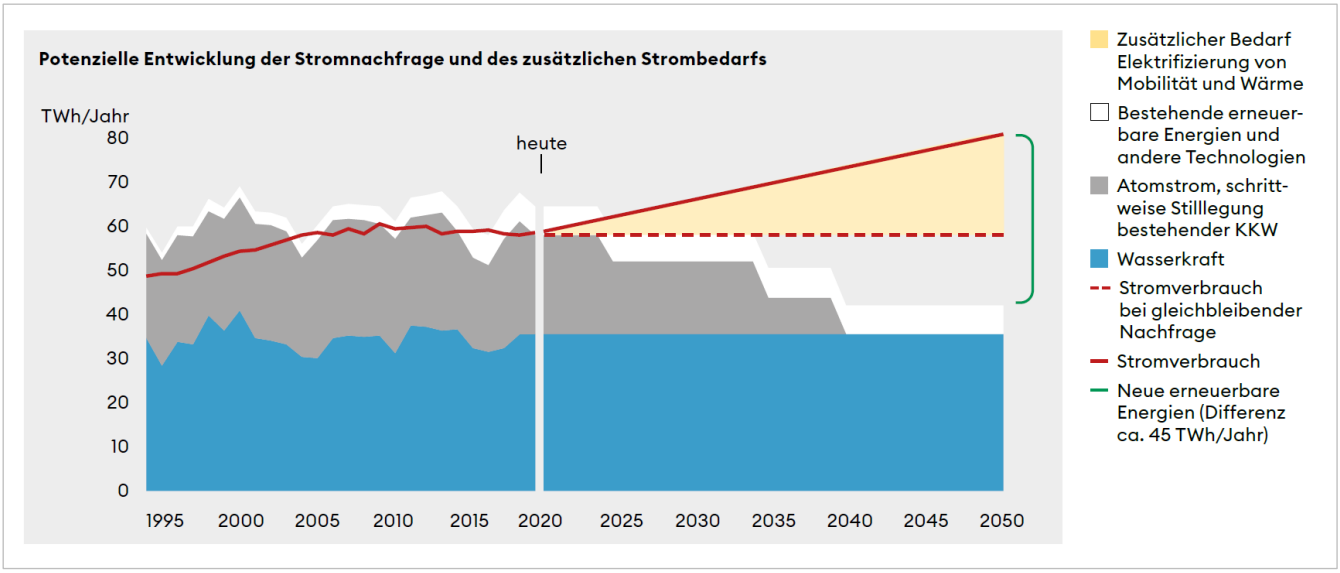


Abbildung 1: Rückblick und Ausblick zum Schweizer Strombedarf 1995 – 2050
Quelle: BAV, ESöV 2050 **[2]**

Weiter wird von einem schweizweiten Zusatzbedarf aufgrund des Umstiegs auf Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen sowie Elektrolyse-Systeme von weiteren 20-25 TWh ausgegangen (gelbe Fläche). Demzufolge muss der Anteil der erneuerbaren Stromproduktion von aktuell 4.7 TWh (ohne Wasserkraft) bis 2035 circa verfünffacht und bis 2050 beinahe verzehnfacht werden.

3.2 NEUE ERNEUERBARE ENERGIEQUELLEN UND PHOTOVOLTAIK

Gemäss dem Bundesamt für Energie (BFE) werden heute in der Schweiz ungefähr 2.6 TWh Strom mit Photovoltaik (PV) erzeugt. Der PV-Anteil an der Gesamtstromproduktion von rund 65.5 TWh beträgt damit aktuell 4 %.

[3]Im Jahr 2020 wurden fast 500 Megawatt (MW) PV-Leistung zusätzlich installiert. Trotz Rekordausbau im vergangenen Jahr dauert es beim aktuellen Ausbaufortschritt noch rund 70 Jahre, um die angestrebte PV-Leistung zu erreichen.

Die verfügbaren Technologien für die Erzeugung von Strom mittels Photovoltaik sind mittlerweile technisch ausgereift und in hohem Masse verfügbar. Das Gesamtpotential der Photovoltaik wird in der Schweiz auf 118 TWh geschätzt (45 TWh kurz- und mittelfristig).

Zusätzlich zu den PV-Produktionsanlagen werden auch Speicher benötigt, die die Stromproduktion puffern und entsprechend der Nachfrage zeitgerecht wieder zur Verfügung stellen. Aufgrund sinkender Batteriekosten darf erwartet werden, dass die kurzfristige Speicherung über den Tagesverlauf zukünftig kein Problem mehr darstellen wird.

Der Solarstromproduktion kommt eine entscheidende Bedeutung für die Energiewende zu. Aus heutiger Sicht ist die Photovoltaik die einzige erneuerbare Energiequelle, mit der mittelfristig ein Ausbau in der angestrebten Grössenordnung von 45 Terawattstunden möglich ist. Aus genannten Gründen sind PV-Anlagen hervorragend geeignet, um Parkplätze zu überdachen und somit diese doppelt nutzbar zu machen. Andere nachhaltige Technologien wie Windkraft, Geothermie oder Biomasse stellen für die Stromerzeugung auf Parkplätzen keine Alternative dar und werden in der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

3.3 PARKFLÄCHEN UND LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON PHOTOVOLTAIK

Laut einer Auswertung des Bundesamts für Statistik (BFS) gibt es in der Schweiz mindestens 5 Millionen oberirdische Parkplätze (6'400 Hektaren), dies bei rund 4,7 Millionen zugelassenen Personenwagen (PW). Diese Parkflächen wurden mittels digitaler Verfahren erfasst, die nur grössere zusammenhängende Flächen und keine Einzelparkplätze erkennen. Verkehrsexperten rechnen deshalb mit 8 - 10 Millionen Parkplätzen; das sind also rund zwei pro Personenwagen [4].

Die verfügbaren oberirdischen Parkflächen in der Schweiz von mindestens 6'400 Hektaren haben gemäss der «InfraSolaire»-Studie [5] das grösste Solar-Potential aller Infrastrukturflächen. Sie könnten jährlich bis zu 10 Terawattstunden (TWh) PV-Strom beisteuern; dies bei einer Gesamtstromproduktion in der Schweiz von 65,5 TWh.

Ein durchschnittliches Parkfeld für einen Personenwagen misst **12.5 m2** (2.5m x 5m). Das ist somit auch die Fläche, die eine Solarüberdachung aufweisen muss.

Der Energieertrag von PV-Systemen hängt von verschiedenen Faktoren wie Einstrahlung, Wirkungsgrad der Komponenten und Ausrichtung der Module ab. Im Thurgau können bei einer installierten PV-Leistung von 1 kW rund 1000 kWh Strom pro Jahr erzeugt werden **(1000 kWh pro kWp)**.

Abhängig von den eingesetzten PV-Modulen wird für 1 kWp installierte Leistung zwischen 4 und 8 Quadratmetern benötigt. Die vorliegende Studie rechnet mit **5 m2 pro kWp**. Damit lässt sich auf einem Parkfeld von 12.5 m2 eine Leistung von **2.5 kWp** errichten und ein Solarstromertrag von **2'500 kWh pro Jahr** erwirtschaften. Der Durchschnittsverbrauch eines Schweizer Haushalts liegt bei rund 4'500 kWh / Jahr (ohne Heizung, Lüftung und Elektromobilität).

Die Stromproduktion einer PV-Anlage **verteilt sich nicht gleichmässig** über die Zeit und hängt von der Jahreszeit und dem Wetter ab (Abbildung 2). Im Sommerhalbjahr (April – September) fallen rund drei Viertel des gesamten Stromertrages an (Abbildung 3). Im schwächsten Monat Dezember hingegen werden nur circa 20% eines durchschnittlichen Monats produziert. Durch den vermehrten Bau von PV an Fassaden und in Höhenlagen muss diesem Ungleichgewicht entgegengewirkt werden.

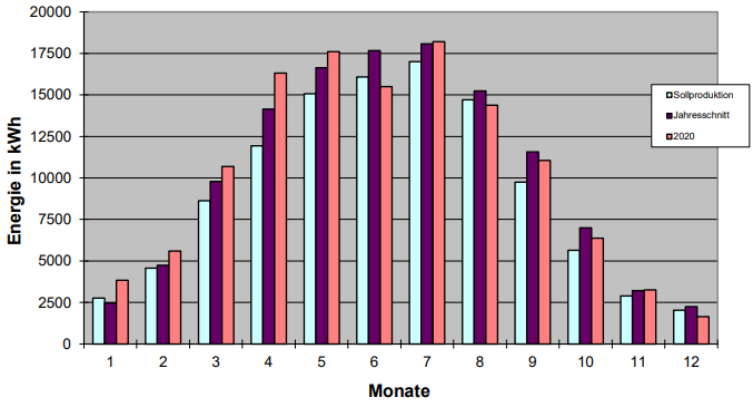


Abbildung 2: Soll- und Ist-Produktion der PV-Referenzanlage in der Jahresübersicht (Sporthalle Aadorf, 118 kWp, Ost-West-Ausrichtung)
Quelle: Webseite der Solargenossenschaft Aadorf **[6]**

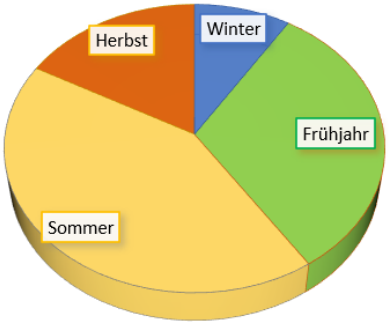


Abbildung 3: Verteilung der PV-Stromproduktion auf die Jahreszeiten
Quelle: selbsterstellt

Neben der Jahreszeit sind Ausrichtung und Neigung der Modulflächen entscheidende Faktoren für den Solarstromertrag. Im Idealfall trifft die Sonne im rechten Winkel auf die Module. Für den höchsten Jahresertrag in der Schweiz richtet man die Module südlich aus und neigt sie mit circa 30°. Bei Ost-West-Ausrichtung, die aufgrund der hohen Dachausnutzung häufig angewendet wird, erzielen flache Winkel die besten Ergebnisse. Eine minimale Neigung von 10° sollten alle Module aufweisen, damit das Wasser ungehindert ablaufen kann und sich der gewünschte Selbstreinigungseffekt einstellt.

3.4 (ELEKTRO-)MOBILITÄT

Gemäss dem statistischen Jahrbuch 2020 [7] legen Thurgauerinnen und Thurgauer im Schnitt täglich rund 40 Kilometer innerhalb der Schweiz zurück, grösstenteils in der Freizeit, gefolgt vom Arbeitsweg als zweithäufigsten Mobilitätsgrund. Drei Viertel der Tagesdistanz (30 Kilometer) werden mit dem Auto oder dem Motorrad zurückgelegt. [8]

Im Thurgau sind rund 177‘000 Personenwagen zugelassen. Bei den neu eingelösten Fahrzeugen haben Elektro- und Hybridfahrzeuge stark zugelegt. Im Jahr 2020 betrug ihr Anteil im Thurgau bereits 30,5% (12% rein elektrisch) der Neuzulassungen [7]. Da jedoch pro Jahr nur circa 10% der Personenwagen ersetzt werden, dauert es rund 10 Jahre, bis sich diese Entwicklung vollständig im Bestand zeigt. Der Anteil der reinen Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand der Personenwagen liegt darum aktuell erst bei 1%, zusammen mit den Hybridfahrzeugen sind es immerhin 3,3%.

Die Vorhersagen für die Zukunftsentwicklung der Elektromobilität schwanken stark. Tabelle 1 zeigt für das Jahr 2035 verschiedene Prognosen und deren Auswirkungen auf den Gesamtbestand der Personenwagen. Es fällt auf, dass ältere Prognosen bezüglich der Verbreitung von Elektrofahrzeugen eher zurückhaltend sind. Nicht überraschend geht der Branchenverband Swiss eMobility in seinem Ausblick von der höchsten Marktdurchdringung aus.

Grundlage	Neuzulassungen EV 2035	Anteil EV am Gesamtbestand 2035
Grundlagenbericht Chancen der Elektromobilität im Thurgau, 2018 [9]	28 – 65%	17 – 40%
Swiss eMobility, 2021 [10]	91 – 99%	48 – 60%
Bericht Energieperspektiven 2050+, 2021 [11]	80% *	46% **
* Interpoliert ** berechnet mit Erneuerungsrate von 10%		

Tabelle 1: Verschiedene Prognosen zu Neuzulassungen und Gesamtbestand von Elektrofahrzeugen im Jahr 2035

Gemäss Grundlagenbericht «Chancen der Elektromobilität im Thurgau» [9] werden im Jahr 2035 zwischen 43'000 und 99'500 Elektrofahrzeuge auf den Thurgauer Strassen verkehren. Bis im Jahr 2035 ergibt sich daraus abgeleitet ein zusätzlicher Strombedarf von 5-10% (80-170 GWh), verglichen mit dem Basisjahr 2015. Im Thurgau waren im Jahr 2020 rund 245'000 Motorfahrzeuge eingelöst, davon 179'000 Personenwagen.

Die Thurgauer Studie kommt weiter zum Schluss, dass «nur zusammen mit der Verwendung von erneuerbarem Strom die Vorteile der Elektromobilität voll ausgeschöpft werden können. Mit einem Zubau wie in der Energiestrategie 2050 vorgesehen, könnten 84% und mit zusätzlicher Installation von Batteriespeichern sogar 90% der Ladevorgänge abgedeckt werden. Um die Produktion und die Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen, sollte vor allem dem Laden am Arbeitsplatz grosse Beachtung geschenkt werden.» Neben dem Laden zu Hause wird das EV primär am Arbeitsplatz geladen werden, dies voraussichtlich bei einem Drittel der Ladevorgänge.

Im Anhang (Tabelle 8, Seite 46, Elektrofahrzeuge im Vergleich mit Verbrennern) befindet sich eine Gegenüberstellung beliebter Elektrofahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen, die Wirtschaftlichkeit und Klimabilanz darstellt. Diese zeigt, dass bei vergleichbaren Kleinwagen der Preisunterschied gravierend ist und sich

die Wirtschaftlichkeit zugunsten des Elektrofahrzeugs erst spät einstellt. Bei Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse hingegen wird der ökonomische Vorteil bereits nach kurzer Betriebsdauer deutlich. Die Klimabilanz eines Elektrofahrzeugs ist über die Laufzeit immer besser als bei einem konventionellen Auto. Bereits nach wenigen Jahren fährt man mit einem EV klimafreundlicher als mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

Die jährliche durchschnittliche Fahrleistung verschiedener Fahrzeuge zeigt Tabelle 2. Im Folgenden Kapitel 0 wird zu den jeweiligen Fahrzeugtypen dargestellt, wie hoch der jährliche Strombedarf für elektrische Antriebe aussieht und wie dieser mit Solarstrom abgedeckt werden kann.

Typ	Jährliche Fahrleistung **	Anzahl Fahrzeuge in der Schweiz **
Personenwagen	13'500 km	4'658’000
Lastwagen	40'000 km	53’000
Tram	40'000 km	800
Bus gross (ÖV)	45'000 km	13’000
** gerundet aus den statistischen Werten gemäss **[12]**		

Tabelle 2: Durchschnittliche Fahrleistungen verschiedener Fahrzeugtypen in der Schweiz

3.5 ELEKTRIFIZIERUNG, PARK- UND PHOTOVOLTAIK-FLÄCHEN

Ein Elektroauto gilt als rund 3-mal effizienter als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Aufgrund der massiv gesunkenen Speicherkosten von Lithium-Ionen-Zellen wird ein EV im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug in wenigen Jahren Kostenparität erzielen.

Tabelle 3 zeigt den Energiebedarf verschiedener elektrisch betriebener Fahrzeugtypen. Zum Vergleich: Ein Schweizer Durchschnittshaushalt benötigt 4'500 kWh pro Jahr (ohne Heizung, Lüftung und Elektromobilität). Weiter wird die Modulfläche berechnet, die für die Jahresstromproduktion mittels Photovoltaik nötig ist. Die letzte Spalte stellt dar, zu welchem Anteil die typische Parkfläche (= PV-Fläche) den Jahresstrombedarf abdecken kann.

Typ	Jährliche Fahr-leistung **	Strombedarf pro Jahr und Fahrzeug	Notwendige PV-Fläche zur Erzeugung des jährlichen Energiebedarfs ***	Typische verfügbare Parkfläche	Mögliche PV-Jahresproduktion auf verfügbarer Parkfläche
Personen-wagen	13’500 km	2’700 kWh	13.5 m2	12.5 m2	**93%**
Lastwagen	40’000 km	52’000 kWh	260 m2	45 m2	**17%**
Tram	40’000 km	200’000 kWh	1’000 m2	110 m2	**11%**
Bus gross (ÖV)	45’000 km	67’500 kWh	340 m2	35 m2	**10%**

* geschätzt ** gerundet aus den statistischen Werten gemäss **[12]** *** Berechnungsgrundlage: 1000 kWh/kWp, 5 m2 pro kWp

Tabelle 3: Strombedarf und notwendige Parkflächen verschiedener Fahrzeuge sowie mögliche PV-Jahresproduktion auf der verfügbaren Parkfläche

FAZIT

- Der jährliche Stromertrag eines Solarparkplatzes (2'500 Kilowattstunden) deckt sich praktisch mit der jährlichen Fahrleistung und dem damit verbundenen Stromverbrauch eines Elektrofahrzeugs.
- Im Gegensatz dazu genügen die Parkflächen der Transportfahrzeuge aufgrund der sehr hohen jährlichen Fahrleistungen nur für einen kleinen Teil der notwendigen Jahresproduktion. Zudem sind kommerzielle Fahrzeuge primär am Tag unterwegs und können somit den anfallenden Solarstrom nicht aufnehmen.

3.6 PARK- UND LADE-VERHALTEN

- → Statistisch gesehen steht ein Privatfahrzeug 22.5 Stunden pro Tag still. Die meiste Zeit davon zuhause und am Arbeitsplatz. Für die folgenden Überlegungen wird davon ausgegangen, dass das (Elektro-)Fahrzeug üblicherweise den ganzen Tag auf dem Parkplatz des Arbeitgebers steht und somit die gesamte Solarproduktion zum Laden genutzt werden kann.
- → Die Speicherkapazität von Elektrofahrzeugen (EV) bewegt sich zwischen 20 und 100 kWh. Damit lassen sich Reichweiten von 150 bis 500 km erzielen. Annahme zur **mittleren Kapazität eines EV: 55 kWh**.
- → Moderne Elektrofahrzeuge verbrauchen in der Praxis zwischen 15 und 30 kWh pro 100 km. Für die folgenden Betrachtungen wird von einem **mittleren Verbrauch von 20 kWh / 100 km** ausgegangen.
- → Die **mittlere Arbeitspendler-Fahrleistung** beträgt **30 km pro Tag** [8].
- → Es wird festgelegt, dass eine Ladung für mindestens 100 km ausreichen soll, d.h. während der Standdauer des Fahrzeugs müssen 20 kWh nachgeladen werden.
- → Es wird angenommen, dass ein Drittel der parkierten Elektrofahrzeuge am Arbeitsplatz geladen wird.
- → Der Solarstromertrag teilt sich zeitlich nicht gleichmässig auf und hängt stark von der Jahreszeit und dem Wetter ab.

Die folgende Tabelle 4 zeigt für verschiedene Jahreszeiten und Wetterkonstellationen den zugehörigen ungefähren Stromertrag eines Solardaches für die damit verfügbare Ladeenergie auf. Dies für die durchschnittliche Fahrleistung eines Pendlerfahrzeugs von 30 km pro Tag bzw. der zugehörigen Energiemenge von 6 kWh. Lesebeispiele: Bei schönem Wetter im Frühjahr kann ein einzelner PV-Parkplatz 10 kWh Solarstrom produzieren und damit ein Elektrofahrzeug für die Reichweite von 50 km nachladen. Dies entspricht 167% der durchschnittlichen Tagesfahrleistung. An einem trüben Wintertag können hingegen nur gerade 7% der notwendigen Ladeenergie von 6 kWh produziert werden und die Reichweite mit PV-Strom beträgt nur gerade 2 Kilometer.

Jahreszeit	Wetter	Ertrag pro Tag und Solarparkplatz	Reichweite pro Tag mit PV-Strom	Abdeckung Tagesfahrleistung mit Solarparkplatz (12.5m2)
Frühjahr	Schön	10 kWh	50 km	**167%**
	Trüb	2.5 kWh	10 km	**42%**
Sommer	Schön	16 kWh	80 km	**267%**
	Trüb	5 kWh	25 km	**83%**
Herbst	Schön	6 kWh	30 km	**100%**
	Trüb	2.0 kWh	12.5 km	**33%**
Winter	Schön	2.0 kWh	10 km	**33%**
	Trüb	0.4 kWh	2 km	**7%**
Ein überdachter Einzelparkplatz mit 12.5 m2 PV-Fläche und 2.5 kWp Leistung, angestrebte Tagesladung des angeschlossenen EV: 6 kWh (30 km). Es sind keine Ladeverluste berücksichtigt.				

Tabelle 4: Solarertrag eines einzelnen Solarparkplatzes im Mittelland, abhängig von Jahreszeit und Wetter und resultierende Reichweite eines EV

Es ist zu beachten, dass Elektrofahrzeuge minimale Leistungen benötigen, damit das Laden funktioniert (1.4 kW 1-phasig bzw. 4.2 kW 3-phasig). Das bedeutet, dass die angeschlossenen EV nicht gleichzeitig, sondern sequenziell

geladen werden müssen. Dieses Verfahren kommt bereits heute zur Anwendung und wird bei der weiteren Verbreitung der Elektromobilität viele Halter betreffen. Hintergrund: Es ist in einem Mehrfamilienhaus aufgrund der Kapazität des Hausanschlusses nicht möglich, alle Fahrzeuge gleichzeitig zu laden. Dies ist allerdings auch nicht nötig, da pro Fahrzeug im Schnitt nur 6 kWh pro Tag nachgeladen werden müssen. Mit einem AC-Ladegerät mit 11 kW Leistung kann das innerhalb einer halben Stunde erfolgen (bei 4,2 kW wären es rund 1 ½ Stunden, mit 1,4 kW rund 4 ½ Stunden).

FAZIT

- An schönen Tagen im Frühjahr, Sommer und Herbst kann der durchschnittliche tägliche Ladebedarf eines Elektrofahrzeugs mit der Solarproduktion eines einzelnen PV-Parkplatzes erreicht werden.
- Mit einem EV, das ganztags an die Ladestation angeschlossenen ist, kann ein sehr hoher Eigenverbrauch des produzierten PV-Stroms erzielt werden (freie Akku-Kapazität und vernetzte Ladeinfrastruktur vorausgesetzt).
- Die Verteilung der Solarstromproduktion über den Tag passt optimal auf die Parkzeiten eines Arbeitnehmers mit «Bürozeiten».
- Im Winter und an trüben Tagen reicht der Solarstrom eines einzelnen Parkplatzes nicht aus, um ein EV für 30 Kilometer zu laden. Da eine PV-Überdachung üblicherweise mehrere Parkfelder umfasst und elektrische Personenwagen momentan erst rund 3% des Bestands ausmachen, spielt das für ein aktuelles Projekt eine untergeordnete Rolle. Zudem werden viele EV daheim geladen werden und nur ein Drittel der Fahrzeughalter wird eine Lademöglichkeit am Arbeitsplatz nutzen.

Tabelle 5 zeigt für einen Musterparkplatz mit 100 Parkfeldern auf, wie sich die jahreszeit- und wetterabhängige Tagesproduktion auf die verfügbare Ladeenergie auswirkt. Lesebeispiel: An einem trüben Frühlingstag können mit Solarstrom 6 Elektrofahrzeuge vollständig oder 42 EV für 30 Kilometer geladen werden.

Jahreszeit	Wetter	Solarstrom-Ertrag pro Tag auf dem Musterparkplatz	Elektrische Reichweite pro Tag mit PV-Strom	EV, die vollständig (44 kWh = 80%) geladen werden können	EV, die mit 6 kWh (=30 km) geladen werden können
Frühjahr	Schön	1‘000 kWh	5‘000 km	23	**167**
	Trüb	250 kWh	1‘250 km	6	**42**
Sommer	Schön	1‘600 kWh	8‘000 km	36	**267**
	Trüb	500 kWh	2‘500 km	11	**83**
Herbst	Schön	600 kWh	3‘000 km	14	**100**
	Trüb	200 kWh	1‘000 km	5	**33**
Winter	Schön	200 kWh	1‘000 km	5	**33**
	Trüb	40 kWh	200 km	1	**7**
Musterparkplatz mit 100 Parkfeldern mit total 1250 m2 Modul-Fläche und 250 kWp Leistung, angestrebte Nachladung 6 kWh (30 km) bzw. bei Vollladung 44 kWh.					

Tabelle 5: Solarertrag des Musterparkplatzes abhängig von Jahreszeit und Wetter und mögliche Anzahl EV, die mit 6 kWh bzw. 44 kWh aufgeladen werden können

Abbildung 4 zeigt anhand des Musterparkplatzes und der erwarteten Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen bis ins Jahr 2050, wie gut der tägliche Solarstrom-Ertrag die Ladenachfrage abdecken kann. Die Entwicklung des EV-Bestands wurde basierend auf den Szenarien von Swiss eMobility [10] und einer jährlichen Erneuerungsrate von 10% gerechnet. Es wird angenommen, dass ein Drittel der Elektrofahrzeuge am Arbeitsplatz geladen wird mit einem durchschnittlichen Ladebedarf von 6 kWh (30 km). Nicht dargestellt sind die Abdeckungen bei schönem Wetter im Frühjahr, Sommer und Herbst, weil dann die PV-Produktion die Nachfrage immer komplett abdecken kann. Lesehilfe (dunkelblaue/rote Linie): An trüben Wintertagen kann die PV-Produktion ab dem Jahr 2026 die Ladenachfrage nicht mehr vollständig befriedigen, weil dann mehr als 7 EV geladen werden müssen. Bei allen anderen Konstellationen kann der täglich produzierte Solarstrom die angeschlossenen EV mit 6 kW nachladen.

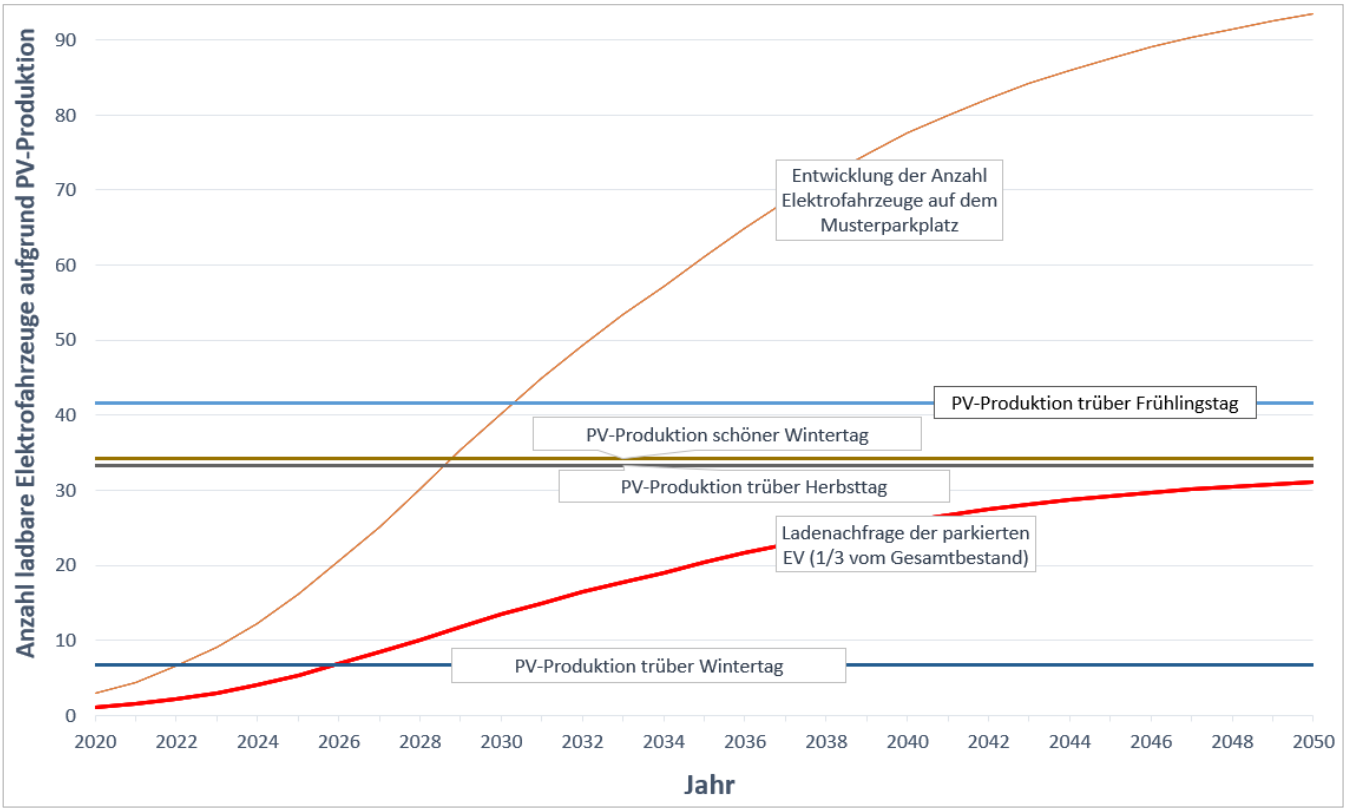


Abbildung 4: Voraussichtliche Ladenachfrage (Ladeenergie 6 kWh / Reichweite 30 km) der parkierten EV auf dem Musterparkplatz und deren Abdeckung durch die Solarüberdachung

FAZIT

- Basierend auf der durchschnittlichen täglichen Fahrleistung eines Personenwagens kann die notwendige Ladeenergie praktisch immer durch die Solarüberdachung bereitgestellt werden.
- An trüben Tagen wird in einigen Jahren der produzierte Solarstrom nicht mehr ausreichen, um die angeschlossenen Elektrofahrzeuge zu laden.

4 LÖSUNGSBESCHREIBUNG

4.1 MUSTERLIEGENSCHAFT

Anhand einer Musterliegenschaft wird die Lösung eines Solarparkplatzes konkretisiert. Die Liegenschaft stellt ein typisches Beispiel einer Industrie- oder Gewerbeliegenschaft im Thurgau dar.

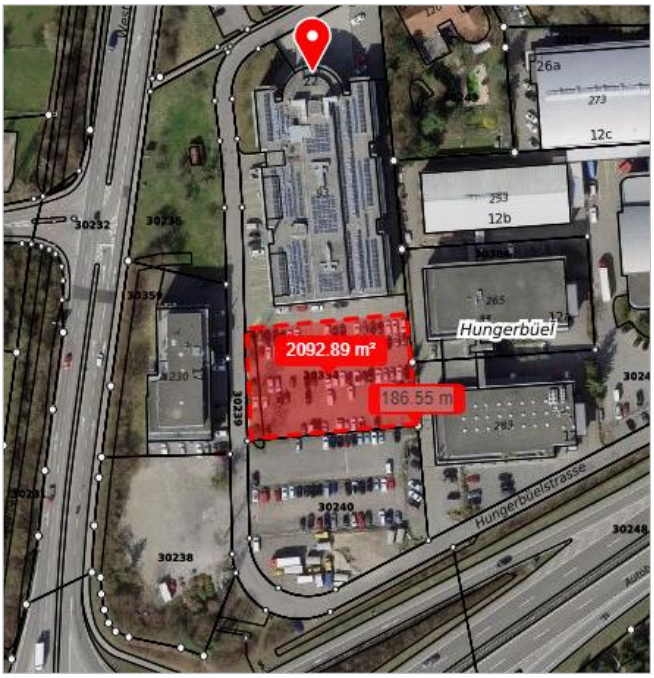


Abbildung 5: Satellitenansicht Liegenschaft
Quelle: ThurGIS

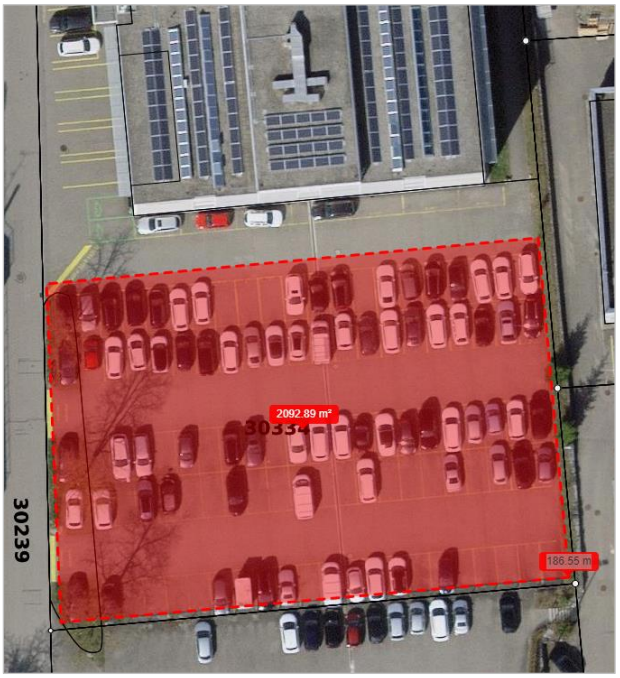


Abbildung 6: Satellitenansicht Musterparkplatz
Quelle: ThurGIS

- Gebäude und Parkplatz an der Hungerbüelstrasse 22 in Frauenfeld, in unmittelbarer Nähe zur Autobahn und der Ein-/Ausfahrt Frauenfeld-West.
- Die nutzbare Parkplatz-Fläche für eine zusammenhängende Überdachung der 100 Parkfelder beträgt circa 2000 m2. Die reine Parkfläche (ohne Verkehrswege) umfasst **1'250 m2**, dies ohne Berücksichtigung der Grenzabstände. Bei entsprechender Berücksichtigung reduziert sich die überdachte Fläche um 5m pro betroffene Seite.
- Eine bestehende PV-Dachanlage mit einer installierten Leistung von 83 kWp ist seit dem Jahr 2017 in Betrieb.
- Die Vergütung für die Rückspeisung aus der PV-Anlage beträgt aktuell 11.6 Rp./kWh (Tarife Thurplus 2021).
- Die Liegenschaft verfügt aktuell über **4 Ladestationen** für Elektrofahrzeuge.
- Aufgrund der bestehenden technischen Voraussetzungen kann AC-seitig eine maximale Leistung von 200 kVA aufgenommen werden.
- Der Strombezug (netto) des Gebäudes beträgt rund **430 Megawattstunden (MWh) pro Jahr**, was dem Bedarf von knapp 100 Haushalten entspricht. Der Bezugsverlauf entspricht einem typischen 5-Tage-Gewerbeprofil (Anhang, Abbildung 32). Es gibt deutliche Unterschiede zwischen Tag und Nacht sowie zwischen Wochentagen und Wochenenden. Über den Jahresverlauf zeigen sich die Absenkungen in der Nacht und an den Wochenenden sowie ein leicht erhöhter Energiebedarf im Winter.

4.2 SYSTEMLÖSUNG UND SIMULATION

Abbildung 7 zeigt die angestrebte Lösung einer PV-Überdachung für den Musterparkplatz. Das Gesamtsystem, dargestellt als Modulschaltbild, besteht aus Solargenerator und Wechselrichter, den Stromzählern sowie den Verbrauchern (Elektrofahrzeuge und Gebäude). Ebenfalls dargestellt ist eine optionale Speicherbatterie.

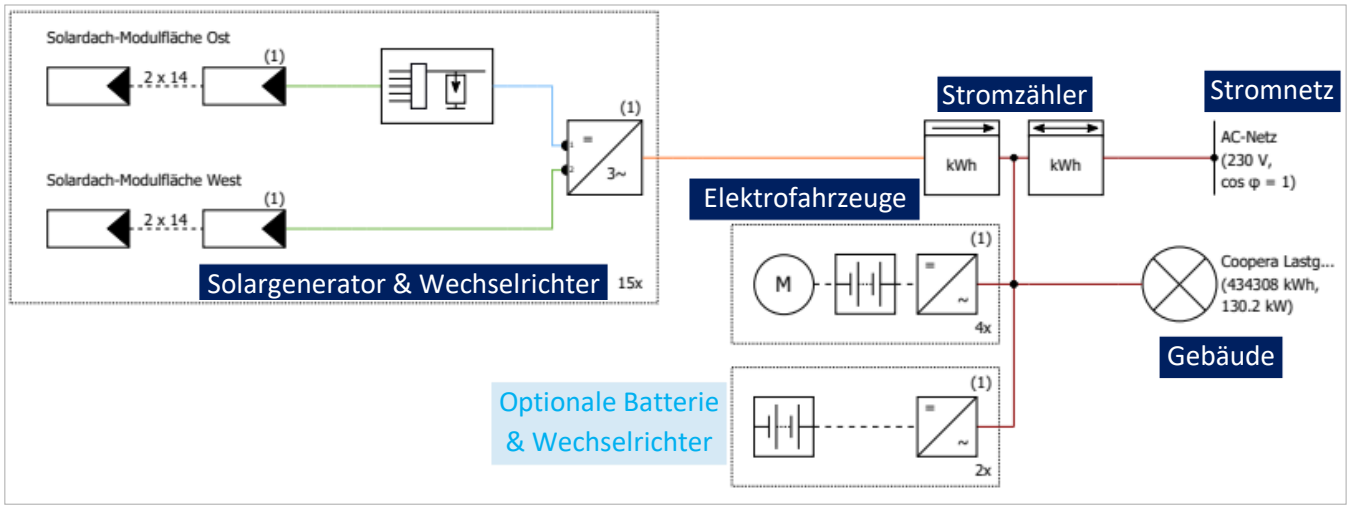


Abbildung 7: Gesamtsystemansicht

Die Grösse der PV-Anlage orientiert sich an der maximal möglichen Anschlussleistung von 200 kVA. Damit können, je nach Leistungsfähigkeit des PV-Systems, zwischen 1250 und 1700 m2 überdacht werden. Das passt somit optimal auf die summierte Parkfeldfläche des Musterparkplatzes von 1250 m2 (100 Parkfelder à 12.5 m2).

Für den Musterparkplatz wurde, angelehnt an ein vorliegendes Richtpreis-Angebot, eine Simulation eines PV-Systems mit Ost-West-Ausrichtung, einer installierten Leistung von 228 kWp sowie 4 Ladestationen durchgeführt. Eine PV-Anlage mit dieser Leistung könnte von einer Förderung des Bundes (grosse Einmalvergütung) in der Höhe von knapp CHF 70'000 profitieren → Details zur Förderung von Photovoltaik gemäss Anhang, Seite 53, Förderbeiträge.

FAZIT DER SIMULATION

- Der Musterparkplatz weist optimale Voraussetzungen für die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf, speziell in Kombination mit Elektrofahrzeugen, die während des Tages aufgeladen werden können. Solange die Ladenachfrage aufgrund der geringen Verbreitung von Elektrofahrzeugen noch gering bleibt, lässt sich der produzierte Solarstrom grösstenteils im Gebäude selbst verbrauchen. Der Eigenverbrauch über das ganze Jahr gesehen liegt bei 76% und schwankt, abhängig von der Jahreszeit, zwischen 64% und 100%.
- Es kann mit einem Jahresertrag des Solarparkplatzes von rund 230 MWh gerechnet werden. Das entspricht etwas mehr als der Hälfte des aktuellen Strombedarfs der Musterliegenschaft.
- Die 4 Elektrofahrzeuge können praktisch immer mit Solarstrom aufgeladen werden.
- Am Wochenende sinkt der Strombedarf jeweils deutlich ab. Dann kann die Solarstromproduktion nur zu einem Teil selbst verbraucht werden. Eine stationäre Speicherbatterie oder eine zukünftige Flotte von elektrisch betriebenen Firmenwagen könnte den «Wochenend-Überschuss» aufnehmen.

Die Ergebnisse der Simulation sowie die verfügbaren Förderprogramme finden sich im Anhang (Seite 49ff, Simulation Musterparkplatz, Auslegung Batteriesystem und Förderbeiträge).

4.3 SYSTEM CARPORT

Bei einem Carport-System mit fixer Unterkonstruktion kann mit hohen Solarerträgen und einem Komfortgewinn durch die permanente Beschattung gerechnet werden. Einen Gewinn für Elektrofahrzeug-Besitzer stellen auch die Ladestationen dar. Die notwendige Verkabelung, wie auch die Ladestationen, können einfach an der Unterkonstruktion angebracht werden.

Der modulare Aufbau eines Carport-Systems ist vorteilhaft und man kann damit die Überdachung an beinahe beliebige Parkplätze anpassen und erzielt so eine weiterhin gute Ausnutzung der Parkfläche und stellt die Ausbaubarkeit sicher.

Durch die auftretenden Kräfte aufgrund von Wind- und Schneelasten müssen die Tragelemente eines Carports sehr robust ausgeführt werden. Dies wiederum führt zu aufwändigen Fundamenten, die einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten haben. Speziell für eine zusammenhängende Dachfläche ist mit beträchtlichen Aufwänden für die Unterkonstruktion zu rechnen. Durch zusätzliche Wandelemente könnte die mechanische Konstruktion etwas vereinfacht und die südlichen Wandflächen zusätzlich mit PV-Modulen belegt werden. Dies wäre dem Solarertrag im Winter sehr zuträglich. Eine solche hallenartige Konstruktion wäre allerdings ein erheblicher Eingriff in die Umgebung und mit beträchtlichem Aufwand verbunden. Als Neubau auf einem bestehenden Mitarbeiterparkplatz scheint eine entsprechende Konstruktion nicht angebracht.

Mittels bifazialer Module kann eine Lichtdurchlässigkeit des Carports erreicht werden. Dies ist optisch sehr interessant und führt zu höheren Solarerträgen, da entsprechende PV-Module auch von unten einfallendes Licht verwerten können und so 10-20% Mehrertrag liefern. Aktuell kommt die Bifazial-Technik noch wenig zum Einsatz, da die Wirtschaftlichkeit aufgrund höherer Modul-Preise nicht zwingend gegeben ist. Man nimmt allerdings an, dass sich diese Technik in den nächsten Jahren etablieren wird.

4.3.1 PROJEKTBEISPIEL COURGENAY

Das Projektbeispiel des Solarcarports GEFCO-Gruppe in Courgenay JU ist seit September 2016 in Betrieb und der aktuell grösste Solarparkplatz der Schweiz und einer der grössten in Europa. Dieser weist beeindruckende Eckdaten auf:

- Gesamtfläche Dach: 43’000m2
- Gedeckte Parkfelder: 1'650 (berechnet mit 26 m2)
- Komponenten: 23’886 Module à 280 W
- PV-Leistung: 6.68 MWp
- Strom-Produktion pro Jahr: 6.6 GWh (= Bedarf von rund 1’500 Haushalten)
- Spezialität der Überdachung: Strom wird u.a. zum Laden der importierten EV verwendet
- Gesamtinvestitionskosten: CHF 13 Mio. (davon 1.2 Mio. für die Netzintegration)
- Kosten pro Parkplatz (26 m2): ca. CHF 9’300
- Kosten pro kWp: ca. CHF 2’000

Abbildung 8: Solarkraftwerk der GEFCO-Gruppe
Bild: presseportal.ch

4.3.2 BILDER

Obwohl in der Schweiz bereits einige grosse Solarparkplätze realisiert wurden, sind solche Projekte noch die Ausnahme.

Abbildung 9: Solarparkplatz Schindler, Ebikon LU (128 Parkfelder, 328 kWp)
Bild: Megasol Energie AG

Abbildung 10: Privater Solarcarport
Bild: Solarandwind Ltd.

Abbildung 11: Solarcarport «Flash» (6 Parkfelder, 23kWp)
Bild: swisscarport.ch

Abbildung 12: Solarcarport der GEFCO Gruppe, Courgenay JU
Bild: adiwatt.com

Abbildung 13: Solarparkplatz der Migros, Chablais VD (1.6 MWp)
Bild: Romande Energie

Abbildung 14: Solarcarport mit bifazialen Modulen
Bild: opsun.com

4.4 SYSTEM SOLARFALTDACH

Eine innovative Lösung für die Überdachung von grossen Flächen bietet ein sog. Solarfaltdach. Auf dem Besucher-Parkplatz der Kronbergbahn in Jakobsbad wurde das erste Solarfaltdach der Schweiz über einer offenen Parkfläche realisiert.

Durch die Faltmechanik kann bei hohen Wind- oder Schneelasten die Überdachung eingezogen und in einer geschützten Parkposition belassen werden. Die mechanische Trag-Konstruktion sowie die Fundamente reduzieren sich dadurch deutlich im Vergleich zu einem fixen PV-Carport. Der Leichtbau ermöglicht zudem weite Stützenabstände und grosse Durchfahrtshöhen, so dass auch LKW unter einem Faltdach manövrieren und parkieren können.

Die PV-Leistung ist leicht reduziert gegenüber modernen Hochleistungsmodulen, da die verwendeten glasfreien Spezialmodule auf ein möglichst geringes Gewicht optimiert sind. Die notwendige Fläche für eine Spitzenleistung von 1 kWp beträgt bei einem Solarfaltdach aktuell rund 6.7 m2. Im Gegenzug werden bei einem Solarfaltdach auch die Fahrwege überdacht, was eine hohe Ausnutzung von rechteckigen Parkflächen erlaubt.

Aufgrund der beweglichen Teile des Faltmechanismus ist mit leicht höheren Wartungskosten zu rechnen im Vergleich zu einer fixen PV-Überdachung. Vollständig entfallen kann dafür die Reinigung der Module von Schnee, da bei Schneefall das Faltdach eingezogen wird. Die Ertragsminderung aufgrund von Sturm oder Schnee beträgt rund 3% pro Jahr.

Die für den Musterparkplatz angebotene Lösung vom Modell Horizon schlägt eine Ost-West-Ausrichtung der Module vor und leistet insgesamt 216 kWp bei einer überspannten Fläche von 1'441 m2. Dies führt zu einem jährlichen Solarertrag von 200 MWh.

4.4.1 PROJEKTBEISPIEL KRONBERG

Einige Kennwerte zur PV-Überdachung der Kronbergbahn, wo im Juni 2020 das erste Solarfaltdach der Schweiz über einer offenen Parkfläche in Betrieb genommen wurde:

- Anzahl gedeckte Parkfelder: 152
- Gesamtfläche Dach: 4’000m2
- Komponenten: 1320 Module à 325 W, 6 x 67 kVA Wechselrichter
- PV-Leistung: 429 kWp
- Produzierter Strom pro Jahr: 350 MWh (entspricht dem Bedarf von 78 Haushalten)
- 2 Ladestationen für Elektrofahrzeuge mit je einer Maximalleistung von 22kW
- Spezialität: Überdachung wird bei Sturm und Schnee eingefahren
- Gesamtinvestitionskosten: CHF 1.5 Mio. CHF (ohne Parkplatzsanierung und Quartierplan)
- Kosten pro Parkplatz (26 m2): ca. CHF 9’900
- Kosten pro kWp: ca. CHF 3’500

Abbildung 15: Solarfaltdach Kronberg
Bild: selbsterstellt

4.4.2 BILDER

Die Bilder zeigen zum einen die Lösung «Horizon», die schon im Markt etabliert ist. Mehr als ein Dutzend Projekte wurden damit in der Schweiz bereits realisiert, darunter auch zwei im Thurgau (ARA Münsterlingen und Romanshorn). Daneben existiert das System «Urban Plant». Ein Prototyp davon steht im liechtensteinischen Balzers.

Abbildung 16: Solarfaltdach Urban Plant
Bild: zhaw.ch

Abbildung 17: Solarfaltdach Horizon, Träger und Fundamente
Bild: selbsterstellt

4.5 SYSTEM PV-BELAG

In Frankreich, Deutschland und Holland fanden Versuche mit sogenannten PV-Fahrbelägen statt. Auch in China und den USA laufen vereinzelt Pilotprojekte. Die verfügbaren Produkte haben allerdings noch diverse Kinderkrankheiten und man geht davon aus, dass die Technologie frühestens in 5 Jahren marktreif sein wird. Die notwendige Robustheit aufgrund der Befahrbarkeit der PV-Module führt zu sehr hohen Kosten. Positive Erfahrungen wurden bisher mit Fahrrad- und Gehwegen gesammelt, bei öffentlichen Strassen führen die hohen Belastungen durch schwere Fahrzeuge aber noch zu vielen Problemen.

Die Eignung eines PV-Belages auf einem Mitarbeiter-Parkplatz scheint nicht optimal, da sich durch die Abschattung der parkierten Fahrzeuge grosse Ertragsminderungen ergeben. Bei einem Parkplatz würde man demzufolge nur die Verkehrswege mit einem PV-Belag ausrüsten, was wiederum eine geringe Flächenausnutzung ergibt. Beim vorliegenden Musterparkplatz könnte man so nur rund 800 m2 (40% der Gesamtfläche) bedecken.

Die PV-Beläge sind eine interessante technische Lösung, deren Entwicklung man im Auge behalten sollte. Schweizweit sind rund ein Drittel der Siedlungsfläche mit Verkehrswegen belegt. Im Kanton Thurgau sind 3,8% der Gesamtfläche damit bedeckt, dies entspricht praktisch derselben Fläche, die durch Wohnbauten beansprucht wird (4,2%). Es würde sich hier also ein gewaltiges Potential erschliessen, falls dereinst eine robuste und ökonomische Lösung am Markt verfügbar ist.

4.5.1 PROJEKTBEISPIEL TOUROUVRE-AU-PERCHE

Einige Kennwerte zum Pilotprojekt in der Normandie, wo rund ein Kilometer Strasse mit einem PV-Belag ausgerüstet wurde:

- → Inbetriebnahme: Ende 2016
- → Bedeckte Fahrbahn: 2'800 m2
- → PV-Leistung: 420 kWp
- → Produzierter Strom pro Jahr: 150 MWh (entspricht dem Bedarf von 33 Haushalten)
- → Gesamtinvestitionskosten: CHF 5.5 Mio. (€ 5 Mio.)
- → Kosten pro Parkplatz (26 m2): ca. CHF 51’000
- → Kosten pro kWp: ca. CHF 13’100

Abbildung 18: Solarstrom-Belag Wattway in Frankreich
Bild: Brice Robert

4.6 OPTION BATTERIESPEICHER

Batteriespeicher sind sehr effiziente Energiespeicher mit hohem Gesamtwirkungsgrad. Kleine und mittlere Speicher sind aktuell noch teuer; es ist aber weiterhin mit sinkenden Preisen zu rechnen. Abbildung 19 zeigt die aktuellen Kosten von mittleren und grossen elektrischen Speichern pro kWh. Trotz hoher Kosten können sich Mehrwerte für die Nutzer ergeben, die in untenstehender Tabelle 6 beschrieben werden. Auch die Förderbeiträge des Kantons Thurgau und der Stadt Frauenfeld können sich positiv auf die Rentabilität auswirken. Einen deutlichen «Knick» erkennt man bei mittleren Speicherkapazitäten von 100-500 kWh. Bei grösseren Kapazitäten sind stationäre Stromspeicher bereits heute ökonomisch interessant. Es ist zu beachten, dass die aufgeführten Preise nur den eigentlichen Speicher berücksichtigen. Zusätzlich dazu fallen Aufwände für die Installation, die Inverter und auch die Gehäuse an. Für ein schlüsselfertiges Speichersystem muss der aufgeführte mittlere Preis ungefähr verdoppelt werden.

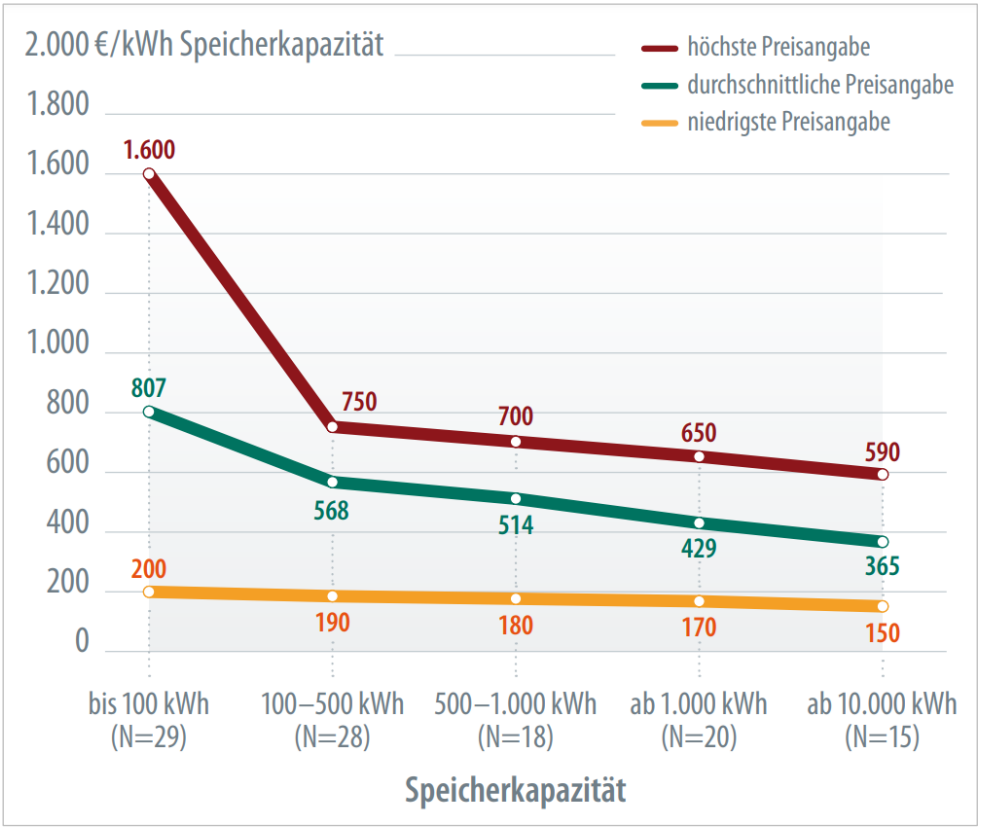


Abbildung 19: Speicherkosten für Gross- und Gewerbespeicher 2021
Quelle: pvmagazine März 2021 **[13]**

Eine typische Speicherdimensionierung nimmt die PV-Spitzenleistung für 1-2 Stunden auf und deckt den Strombedarf in einer Nacht ab. Das wäre im Fall der Musterliegenschaft mit einer Speicherkapazität von 200-500 kWh erfüllt. Bei einer angenommenen Kapazitäts-Auslegung von 300 kWh, Speicherkosten von CHF 1’200 pro kWh und abzüglich der Förderbeiträge von Kanton und Stadt läge die Investition für eine entsprechende Speicherbatterie bei rund CHF 300'000. Eine durchgeführte Simulation zeigt, dass ein Batteriespeicher für die vorliegende Musterliegenschaft aktuell nicht wirtschaftlich ist (siehe Anhang).

Der Bau eines Solarcarports macht insbesondere Sinn unter der Annahme, dass die Elektromobilität in den nächsten Jahren eine hohe Verbreitung finden wird. Die parkierten Elektrofahrzeuge können als «fahrende Batterien» angesehen werden, die den produzierten PV-Strom aufnehmen.

Nutzen eines Batteriespeichers	Anwendung und Nutzen für die Musterliegenschaft
Reduktion von Last- oder Produktionsspitzen (Peak Shaving) Die Abdeckung oder Aufnahme von Leistungsspitzen durch die Batterie kann das Stromnetz entlasten. Industrie- und Gewerbe müssen Leistungsspitzen dem Verteilnetzbetreiber separat bezahlen. Ein mit einem Batteriespeicher ausgerüstetes Unternehmen kann somit potenziell die Energiekosten senken.	Im Sommer und an Wochenenden könnten Produktionsspitzen des Solarparkplatzes aufgenommen werden. Kurzfristige Spitzenbezüge liegen kaum vor, damit bleibt auch das Potential für Peak Shaving klein.
Eigenverbrauchsoptimierung Ein hoher Eigenverbrauch ist der Schlüssel zur Rentabilität einer PV-Anlage. Durch die Speicherung von Solarstrom-Überschuss kann diese Energie, die sonst ins öffentliche Stromnetz zurückgespeist wird, zu einem späteren Zeitpunkt verbraucht werden.	Aufgrund des vorliegenden Lastprofils kann auch ohne Batteriespeichersystem ein sehr hoher Eigenverbrauch realisiert werden.
Blindstromkompensation Grosse induktive oder kapazitive Lasten können mit einem Batteriespeichersystem kompensiert werden.	Es ist nicht mit relevanten Lasten zu rechnen.
Notstrombereitstellung Bereitstellung einer unterbruchsfreie Stromversorgung zur Überbrückung von kurzen Ausfällen des öffentlichen Stromnetzes.	Es sind keine empfindlichen Verbraucher bekannt.
Integration von Ladeinfrastruktur Aufnahme von PV-Überproduktion, Brechen von Verbrauchsspitzen und Pufferung für hohe Ladeleistungen von Schnellladestationen.	Zu einem späteren Zeitpunkt denkbar zur Verbesserung des Ladekomforts durch Erhöhung der Ladeleistung.
Bereitstellung von Regelenergie Durch eine Speicherbatterie können Schwankungen im Netz, die durch Ungleichgewichte zwischen Produktion und Nachfrage entstehen, ausgeglichen werden.	Zu einem späteren Zeitpunkt denkbar.

Tabelle 6: Möglicher Nutzen eines Batteriespeichers und Anwendung für die Musterliegenschaft

4.7 BATTERIESPEICHER AUS SECOND USE BATTERIEN

Batterien, die für Elektrofahrzeuge (EV) nicht mehr genügend leistungsfähig sind, sollen ein zweites Leben in Form eines stationären Stromspeichers erhalten. Ausgemusterte Batterien von Elektrofahrzeugen bieten noch ca. 80% der ursprünglichen Kapazität und sind deutlich günstiger in der Anschaffung als neue Batterien. Die Restlebensdauer solcher Batterien beträgt ungefähr 10 Jahre. Die Verfügbarkeit ist heute noch sehr eingeschränkt, dies wird sich aber mit der Zunahme der Elektromobilität rasch ändern. Zukünftig können sich deshalb interessante Anwendungen ergeben. Des Weiteren kann so die CO2-Bilanz der EV weiter verbessert werden.

Als Herausforderung dürfte sich die Integration ausgedienter Batterien verschiedener Hersteller zu einem grossen Speicher erweisen.

Abbildung 20: Das Projekt "Advanced Battery Storage" mit "Second Life" Batterien aus dem Renault Zoé
Bild: Renault

Abbildung 21: Innenansicht eines "Second Life" Batteriespeichers aus dem Nissan Leaf mit 24 kWh
Bild: building-excellence.ch

Ausgedienten Autobatterien können für die stationäre Stromspeicherung weiterhin verwendet werden und ihre Nutzungsdauer somit verdoppeln. Durch die weitgehend kontrollierbaren Lade- und Entlade-Zyklen können die Batterien schonend weiter betrieben werden. Speziell im Zusammenhang mit einem Solarcarport kann die Verwendung von Second Use Batterien aus Elektrofahrzeugen eine naheliegende Kombination darstellen.

5 VARIANTENVERGLEICH

Der Vergleich der Varianten beruht im Wesentlichen auf den Grundlagen, die anhand der vorliegenden Richtofferten für den Musterparkplatz ermittelt wurden. Die quantitativen Angaben stellen die Grössenordnung dar und können im Einzelfall deutlich abweichen. Sie beziehen sich auf einen Solarparkplatz mit 100 Parkfeldern.

	Faltdach	**Carport**	**Aufdachanlage**
Erstinvestition	Hoch ~ CHF 3'500 pro kWp	Hoch ~ CHF 3'000 pro kWp	Gering ~ CHF 1’200 pro kWp
Betriebskosten	Gering ~ 4 Rp. / kWh	Sehr gering ~ 3 Rp. / kWh	Sehr gering ~ 3 Rp. / kWh
Flexibilität der Parkplatz-Nutzung	Hoch Grosse Stützenabstände und Durchfahrtshöhe. Zugänglichkeit von oben möglich, z.B. mit Kran.	Mittel Etwas reduziert durch massive, eng stehende Träger und Höhenbeschränkungen.	---
Technische Reife	Hoch	Sehr hoch	Sehr hoch
Zukünftige Kostenentwicklung	Stabile/leicht sinkende Kosten Kostensenkung aufgrund höherer Stückzahlen und Lerneffekten. Hohe Rohstoffkosten können diese Effekte egalisieren.	Stabile/leicht sinkende Kosten Kostensenkung aufgrund höherer Stückzahlen und Lerneffekten. Hohe Rohstoffkosten können diese Effekte egalisieren.	Leicht sinkende Kosten
Akzeptanz bei Nutzern und Öffentlichkeit	Hoch	Hoch	Sehr hoch
Flächenausnutzung zur Solarstrom-produktion	Hoch Rechteckiger Parkplatz kann mitsamt den Fahrwegen überspannt werden. Etwas geringere Leistungen der Leichtbaumodule.	Hoch Die Stellflächen werden überdacht, die übrigen Flächen bleiben frei. Hohe Stromerträge durch Standardmodule.	Sehr hoch Sehr gute Flächenausnutzung bei Dachanlagen möglich.

	Faltdach	Carport	Aufdachanlage
Materialaufwand	Mittel Leichtbauweise führt zu deutlich reduziertem Materialbedarf.	Hoch Robuste Konstruktion notwendig aufgrund von Wind- und Schneelasten.	Gering
Anpassbarkeit auf die Parkplatz-Abmessungen	Mittel Die Bahnen haben eine feste Breite und sind in der Länge etwas variabel.	Hoch Parkplatzanordnungen können einfach abgedeckt werden.	Sehr hoch Es können beliebige Flächen mit Modulen belegt werden.
Wirtschaftlichkeit	Gering Innerhalb von 20 Jahren kaum zu amortisieren.	Gering Innerhalb von 20 Jahren kaum zu amortisieren.	Mittel Mit hohem Eigenverbrauch ist ein wirtschaftlicher Betrieb möglich.

6 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Das vorliegende Kapitel untersucht die Wirtschaftlichkeit von Solarparkplätzen.

Aufgrund der aufwändigen mechanischen Unterkonstruktion ist ein Solarparkplatz deutlich teurer in der Anschaffung als eine Dachanlage mit identischer PV-Leistung. Die Betriebskosten sind vergleichbar mit einer konventionellen Dachanlage.

Gegenüber einer Dachanlage weist eine PV-Parkplatzüberdachung einen Mehrnutzen auf (Witterungsschutz und Lademöglichkeit von EV), der allerdings schwer quantifizierbar ist.

Zur Vereinfachung werden in den folgenden Berechnungen keine Kapitalkosten, keine Degradation der PV-Module und keine steuerlichen Effekte berücksichtigt.

6.1 GRUNDLAGEN DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNGEN

Die in der Studie verwendeten Investitionskosten wurden aus vorliegenden Richtpreisangeboten etablierter Hersteller ermittelt und mit Angaben aus Nachkalkulationen verifiziert. Die Investitionskosten setzen sich aus der mechanischen Konstruktion (Fundamente, Erschliessung, Träger, Befestigungen), den elektrischen Komponenten (Solarmodule, Wechselrichter, Kabel, Ladestationen) sowie den Bau- und Management-Aufwänden zusammen. Die aktuell geltenden Einmalvergütungen (gemäss Anhang, Seite 53, Förderbeiträge) sind berücksichtig und bereits abgezogen.

Park-felder	Fläche [m2]	Investitions-kosten [CHF]	Kosten pro kWp [CHF]
1	12.5	**14'800**	5’920
10	125	**94’000**	3’760
100	**1’250**	**700’000**	**2’800**
1000	12’500	**5'000’000**	2’000

Die Kostenaufteilung auf die einzelnen Bestandteile zeigt das folgende Diagramm. Die Management- und Logistikkosten können nicht weiter aufgeschlüsselt werden, geschätzte 2/3 davon entfallen auf die (Mehr-) Aufwände aufgrund der Unterkonstruktion. Die Aufteilung wurden aufgrund vorliegender Richtangebote ermittelt und ist nicht statistisch erhärtet.

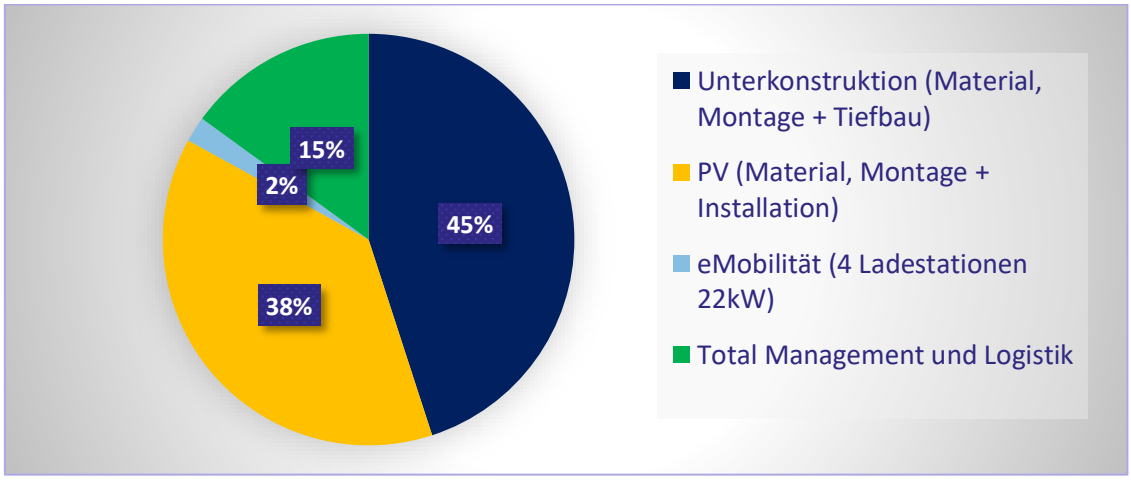


Abbildung 22: Kostenteiler Solarüberdachung

Der Ertrag der PV-Anlage wird mit 10 Rappen pro Kilowattstunde und einer Eigenverbrauchsquote von 40% gerechnet. Die Betriebskosten sind darin bereits enthalten, d.h. bereits abgezogen. Herleitung:

Art	Anteil	Vergütung pro kWh	Erklärung
Vergütung für den Eigenverbrauch	40%	18 Rappen	Hoch-Tarif (Lokaltarif bei Bezug aus dem öffentlichen Netz)
Vergütung für die Netzrückspeisung	60%	10 Rappen	Prognose zukünftiger Rückliefertarife (inkl. Herkunftsnachweis)
Betriebskosten	100%	- 3 Rappen	Abzug für Betrieb, Unterhalt und Versicherung
Durchschnitt	100%	**10.2 Rappen**	

Die Lebensdauer des Gesamtsystems wird mit 25 Jahren angenommen. Reparatur und Ersatz von allfälligen Teilsystemen (z.B. Wechselrichter) sind in den Betriebskosten (3 Rp. pro kWh) berücksichtigt. Bei kleinen Anlagen, die bei vorliegender Studie nicht im Fokus sind, muss ein etwas höherer Unterhaltsbeitrag angenommen werden.

Die jährlich erwartbaren Strom-Erlöse von Solarparkplätzen unterschiedlicher Grösse zeigt nachfolgende Tabelle.

Rechenbeispiel für 100 Parkfelder:

$$\text{Stromerlös} = \text{Stromproduktion x Stromvergütung} = 250'000\ \text{kWh x 10 Rp./kWh} = \text{CHF } 25'000$$

Parkfelder	Parkplatz-Fläche [m2]	Stromproduktion pro Jahr [kWh]	Strom-Erlös aus PV-Produktion pro Jahr [CHF]
1	12.5	2’500	**250**
10	125	25’000	**2’500**
100	**1’250**	**250’000**	**25’000**
1000	12’500	2'500’000	**250’000**

6.2 BASISVARIANTE

Tabelle 7 zeigt die jährlichen Erlöse aus der Stromproduktion und die Amortisationszeiten von Solarparkplätzen verschiedener Grössen auf. Zur Vereinfachung werden in den folgenden Berechnungen keine Kapitalkosten, keine Degeneration der PV-Module und keine steuerlichen Effekte berücksichtigt.

Rechenbeispiel für 100 Parkfelder:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Investitionskosten}}{\text{Stromerlös}} = \frac{\text{CHF } 700'000}{25'000 \text{ CHF/Jahr}} = 28 \text{ Jahre}$$

Park-felder	Fläche [m2]	Stromerlös pro Jahr [CHF]	Investitions-kosten [CHF]	Kosten pro kWp [CHF]	Amortisations-zeit
1	12.5	250	14'800	5'920	**64 Jahre**
10	125	2'500	94'000	3'760	**38 Jahre**
100	**1'250**	**25'000**	**700'000**	**2'800**	**28 Jahre**
1000	12'500	250'000	5'000'000	2'000	**20 Jahre**

Tabelle 7: Kosten und Amortisationszeiten von PV-Überdachungen, Basisvariante

Die Amortisation von PV-Überdachungen dauert zwischen 20 und 64 Jahre. Bei PV-Anlagen rechnet man mit einer Lebensdauer von 25 Jahren. Damit übersteigt die Amortisationszeit die Lebensdauer wichtiger Systemkomponenten teilweise deutlich.

FAZIT

- Bei allen betrachteten Grössen von Solarparkplätzen ergeben sich lange Amortisationszeiten. Mit den aktuellen Kosten und Rahmenbedingungen lassen sich kleine und mittlere PV-Überdachungen deshalb nicht wirtschaftlich betreiben. Einzig sehr grosse Überdachungen (> 1000 Plätze) können innerhalb von 20 Jahren amortisiert werden. Solche riesigen Parkplätze kommen in der Schweiz allerdings kaum vor.
- Um einen wirtschaftlichen Betrieb eines Solardaches zu ermöglichen, müssen zusätzliche Massnahmen ergriffen werden. Folgende Ideen stehen dafür im Raum:
  - Zusätzliche Erträge durch Erhöhung der Parkgebühr
  - Zusätzliche Einmalförderung von PV-Überdachungen
  - Langfristig fixierter, attraktiver Stromtarif über einen Stromabnahmevertrag

6.3 FINANZIERUNGSVARIANTE ÜBER ZUSÄTZLICHE PARKGEBÜHR

Ziel dieser Variante ist, mittels einer Erhöhung der Parkgebühr den Mehrnutzen abzugelten und dadurch die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu verbessern. Es wird mit einer Amortisationsdauer von 20 Jahren gerechnet.

Berechnung der notwendigen zusätzlichen Parkgebühr pro Monat (Rechenbeispiel für 100 Parkfelder):

$$\text{Aufschlag Parkgebühr} = \frac{\text{Investitionskosten} - \text{Stromerlös}}{\text{Anzahl Parkplätz x Amortisationszeit [Monate]}} = \frac{\text{CHF 700'000} - \text{CHF 500'000}}{\text{100 PP x 20 Jahre x 12}} = 8.33\ \text{CHF/Monat}$$

Parkfelder	Fläche [m2]	Stromerlös in 20 Jahren [CHF]	Investitions-kosten [CHF]	Aufschlag Parkgebühr pro Monat [CHF]
1	12.5	5'000	14'800	**40.85 Franken**
10	125	50'000	94'000	**18.35 Franken**
100	**1250**	**500'000**	**700'000**	**8.35 Franken**
1000	12500	5'000'000	5'000'000	**0**

FAZIT

- Für mittlere Parkplätze kann mit einem moderaten monatlichen Aufschlag die Wirtschaftlichkeit einer PV-Überdachung verbessert werden.
- Es muss erhoben werden, ob für den erzielten Komfortgewinn durch die Beschattung, den Witterungsschutz und die Lademöglichkeit von EV eine Erhöhung der Parkgebühr gerechtfertigt ist und wie hoch diese ausfallen kann.

6.4 FINANZIERUNGSVARIANTE ÜBER ZUSÄTZLICHE FÖRDERUNG

Diese Variante zeigt die nötige Zusatzförderung auf, um eine PV-Überdachung innerhalb von 20 Jahren zu amortisieren.

Berechnung der notwendigen Zusatzförderung pro installierte Leistung (Rechenbeispiel für 100 Parkfelder):

$$\text{Zusatzförderung} = \frac{\text{Investitionskosten} - \text{Stromerlös}}{\text{PV–Leistung}} = \frac{\text{CHF } 700'000 - \text{CHF } 500'000}{250 \text{ kWp}} = 800 \text{ CHF/kWp}$$

Park-felder	Fläche [m2]	PV-Leistung [kWp]	Stromerlös in 20 Jahren [CHF]	Investitions-kosten [CHF]	Zusatz-Förderung pro kWp [CHF]
1	12.5	2.5	5'000	14'800	**3'920**
10	125	25	50'000	94'000	**1'760**
100	**1250**	**250**	**500'000**	**700'000**	**800**
1000	12500	2'500	5'000'000	5'000'000	**0**

FAZIT

- Bei einem mittleren Parkplatz wie dem der Musterliegenschaft ist eine zusätzliche Förderung von CHF 800 pro Kilowatt installierter Leistung notwendig, um die Solarüberdachung innerhalb von 20 Jahren zu amortisieren. Zusätzlich zur regulären Einmalvergütung wären das insgesamt CHF 200'000, was rund 25% der Gesamtinvestition entspricht (vor Abzug der grossen Einmalvergütung GREIV).

6.5 FINANZIERUNGSVARIANTE ÜBER STROMPREIS

Ein garantierter, über 20 Jahre festgelegter Strompreis kann ebenfalls die notwendige Finanzierung bzw. Investitionssicherheit gewährleisten. Im Folgenden die Darstellung für die verschiedenen Parkplatzgrössen.

Berechnung des notwendigen, langfristig gesicherten Strompreises (Rechenbeispiel für 100 Parkfelder):

$$\text{Notwendiger Strompreis} = \frac{\text{Investitionskosten}}{\text{Stromproduktion}} + \text{Betriebskosten} = \frac{\text{CHF } 700{'}000}{5{'}000{'}000\ \text{kWh}} + 3\ \text{Rp./kWh} = 17.0\ \text{Rp./kWh}$$

Park-plätze	Fläche [m2]	Stromproduktion in 20 Jahren [kWh]	Investitions-kosten [CHF]	Notwendiger Strompreis [Rp./kWh]
1	12.5	50’000	14’800	**32.6**
10	125	500’000	94’000	**21.8**
100	**1250**	**5’000’000**	**700’000**	**17.0**
1000	12500	50'000’000	5'000’000	**13.0**

FAZIT

- Mit einer zugesicherten Vergütung von rund 17 Rappen pro Kilowattstunde könnte eine PV-Überdachung mittlerer Grösse innerhalb von 20 Jahren amortisiert werden.

6.6 KOMBINATION VON ZUSATZFINANZIERUNGEN

Im Folgenden wird mit verschiedenen Kombinationen der beiden Finanzierungsvarianten «Erhöhung Parkplatz-Miete» und «Zusatzförderung durch Kanton» die Wirtschaftlichkeit verbessert. Damit wäre die Amortisation der Investition innerhalb von 20 Jahren möglich.

Kombination 1a

Leistung	Beitrag	Total
Zusätzliche Förderung durch den Kanton Thurgau → gemäss Kapitel 7 «Empfehlungen»	CHF 800 pro Kilowatt installierte PV-Leistung (zusätzlich zu CHF 290 / kWp Einmalvergütung)	CHF 200'000
Total	---	**CHF 200'000**

Über 25 Jahre gerechnet liesse sich eine mittlere Kapitalrendite von 1.6 % realisieren. Die Amortisation erfolgt innerhalb von 20 Jahren.

Kombination 1b

Leistung	Beitrag	Total
Zusätzliche Parkgebühr, erhoben durch den Immobilienbesitzer → gemäss Kapitel 6.3 «Finanzierungsvariante über zusätzliche Parkgebühr»	CHF 6.67 pro Parkfeld und Monat	CHF 200'000 (über 25 Jahre)
Total	---	**CHF 200'000**

Kombination 2

Leistung	Beitrag	Total
Zusätzliche Förderung durch den Kanton Thurgau → gemäss Kapitel 7 «Empfehlungen»	CHF 800 pro Kilowatt installierte PV-Leistung (zusätzlich zu CHF 290 / kWp Einmalvergütung)	CHF 200'000
Zusätzliche Parkgebühr, erhoben durch den Immobilienbesitzer → gemäss Kapitel 6.3 «Finanzierungsvariante über zusätzliche Parkgebühr»	CHF 6.67 pro Parkfeld und Monat	CHF 200'000 (über 25 Jahre)
Total	**---**	**CHF 400'000**

Über 25 Jahre liesse sich damit eine mittlere Kapitalrendite von 3.9 % realisieren. Die Amortisation erfolgt innerhalb von 16 Jahren.

FAZIT

- Die obigen Kombinationen 1 zeigen, dass eine Zusatzmassnahme allein zu keiner nennenswerten Rendite führt. Aufgrund der beträchtlichen Risiken eines Investments in einen Solarparkplatz – dies betrifft hauptsächlich die Höhe der zukünftigen Rückliefertarife – werden grosse Investitionen weiterhin ausbleiben.
- Lediglich die Kombination 2, die eine kantonale Zusatzförderung mit einer Erhöhung der Parkgebühr verbindet, führt zu einer nennenswerten Rendite für einen Immobilienbesitzer bzw. Investor.

7 EMPFEHLUNGEN

Mit dieser Studie wird die Machbarkeit und das grosse Potenzial von Solarparkplätzen im Kanton Thurgau bestätigt. Da die Art der Anlagen neu ist und noch eine Lernkurve durchschritten werden muss, ist eine Absicherung der Wirtschaftlichkeit durch den Kanton wünschenswert. Ein Förderbeitrag für Solarparkplätze wird deshalb ausdrücklich empfohlen. Die Studie zeigt, dass mittlere und grosse Solarparkplätze mit moderaten Zusatzförderungen wirtschaftlich errichtet und betrieben werden können. Damit erste Anlagen entstehen, müssen die Förderbeiträge während mindestens 3 Jahren garantiert werden können. Als gute Referenzgrösse gilt eine Parkplatzgrösse für 100 Fahrzeuge. Im Gegenzug für ausbezahlte Fördergelder müssen die Ersteller über ihre Erfahrungen bei der Planung und Erstellung der Anlagen berichten (Erstellungskosten), und während fünf Jahren die Betriebsdaten zur Verfügung stellen (Produktionsmengen, Eigenverbrauch, Ladeenergie, Unterhaltsaufwände etc.). Förderbeiträge dürfen nicht für die Gewinnmaximierung verwendet werden. Falls die Anlage eine Rendite von >5% pro Jahr über 20 Jahre erwirtschaften kann, sollen die Förderbeiträge entsprechend gekürzt werden.

Von der Förderung sollen Unternehmen und Privatpersonen profitieren können (keine Energieversorgungsunternehmen oder Netzbetreiber). Damit sollen Anreize geschaffen werden für die wirtschaftliche Erstellung von PV-Überdachungen. Für die angestrebte Energiewende ist es unabdingbar, dass grosse PV-Anlagen entstehen, und zwar unabhängig vom aktuellen Eigenverbrauch. Die Flächen-Beanspruchung von oberirdischen Parkplätzen ist enorm und sollte dringend einer Doppelnutzung zugeführt werden. Ersteller von grossen PV-Überdachungen sind – neben den Aufwänden für Netzverstärkungen und den Risiken aufgrund unklarer zukünftiger Rückliefertarife – mit hohen Kosten aufgrund der aufwändigen Unterkonstruktion konfrontiert. Dem soll mit einer angemessenen Zusatzförderung entgegengewirkt werden.

Photovoltaik, Speicherung und E-Mobilität gehören eng zusammen. Aktuell verkehren noch zu wenig Elektrofahrzeuge, um den produzierten Strom eines Solarparkplatzes jederzeit aufzunehmen. Gleichzeitig sind kleine und mittelgrosse stationäre Speicher noch teuer. Eine Zusatzförderung von Speichern könnte dafür sorgen, dass ein Betrieb nahe der Wirtschaftlichkeit möglich wird und diese vermehrt gebaut werden. Durch deren Einsatz kann der Solarstrom-Überschuss gepuffert und die Netzbelastung reduziert werden.

Folgende kantonale Förderbeiträge wären aus Sicht des Autors angebracht:

Element	Vorschlag Kantonale Förderung (Einmalbeitrag)	Anteil an den Gesamtkosten (Basis Musterparkplatz)
Solarparkplatz (mindestens 10 Parkplätze)	CHF 800 pro Kilowatt installierte PV-Leistung	26%
Batteriespeicher	CHF 300 pro Kilowattstunde Speicherkapazität	25%
Ladeinfrastruktur	CHF 300 pro Ladepunkt	10%

Im Kapitel 6 finden sich Berechnungen mit den hier vorgeschlagenen Förderbeiträgen, die die Wirtschaftlichkeit aufzeigen.

Der Autor ist überzeugt, dass sich durch Lerneffekte und sinkende Systemkosten, steigende Energiepreise, dem erhöhten Bedarf an Solarstrom und der Verbreitung der Elektromobilität die Wirtschaftlichkeit von Solarparkplätzen zukünftig verbessern wird und Förderbeiträge in wenigen Jahren wieder abgebaut werden können.

REFERENZDOKUMENTE

[1] S. W. A. O. M. Rüegg, «Einfache Anfrage im Grossen Rat des Kantons Thurgau | Förderungen von Solarparkplätzen | EA 47_112,» 2021.

[2] Bundesamt für Verkehr BAV, «Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr – ESöV 2050,» 2020.

[3] Bundesamt für Energie BFE, «Energieperspektiven 2050+ - Kurzbericht,» November 2020.

[4] S. Häne, «Parkplatz-Land Schweiz,» März 2015. [Online]. Available: https://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/parkplatzland-schweiz/story/12262446.

[5] Meteotest/Swissolar, «Das Schweizer PV-Potenzial basierend auf jedem Gebäude,» 2019.

[6] Solargenossenschaft Aadorf, «Ertragsstatistik Anlage Sporthalle,» 2019, 2020. [Online]. Available: https://www.sg-aadorf.ch/dokus/index.shtml. [Zugriff am 2021].

[7] Kanton Thurgau, Dienststelle für Statistik, «Statistisches Jahrbuch 2020,» 2021.

[8] Bundesamt für Statistik BFS, «Pendlermobilität in der Schweiz 2019,» 2021.

[9] EBP Schweiz AG, «Chancen der Elektromobilität für den Kanton Thurgau | Grundlagenbericht,» 2018.

[10] Swiss eMobility, «Marktdurchdringung für Steckerfahrzeuge (PEV) in der Schweiz,» Juli 2021. [Online]. Available: https://www.swiss-emobility.ch/de-wAssets/docs/SwisseMobility_Szenario_2035_quer_interaktiv_e6.pdf.

[11] Prognos AG | TEP Energy GmbH | Infras AG | Ecoplan AG, «Energieperspektiven 2050+ | Kurzbericht,» 2020.

[12] Bundesamt für Raumentwicklung ARE, «Fahrleistung der Schweizer Fahrzeuge,» 2000.

[13] pv magazine, «Groß- und Gewerbespeicher für alle Fälle,» März 2021.

[14] Bundesamt für Energie BFE, «Stätionäre Batteriespeicher in Gebäuden,» 2018.

[15] Bundesamt für Umwelt BAFU, «Methode der ökologischen Knappheit,» [Online]. Available: https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/methodische-grundlagen-von-oekobilanzen/methode-der-oekologischen-knappheit.html.

[16] Pronovo, «Richtlinie zur Energieförderungsverordnung (EnFV) | Photovoltaik,» 2020.

[17] Kanton Thurgau, Abteilung Energie, «Förderprogramm Energie 2020,» 2020.

[18] Schweizerische Eidgenossenschaft, «Energieförderungsverordnung, EnFV,» Januar 2020.

[19] International Energy Agency, «Net Zero by 2050 | A Roadmap for the Global Energy Sector,» 2021.

[20] Swisssolar, «Stromversorgung sicherstellen,» 2020.

[21] ETH Zürich, «Sources of Primary Electricity Supply | Synthesis Report,» 2021.

[22] Fraunhofer ISE, «Photovoltaics Report,» 2021.

[23] Bundesamt für Statistik BFS, «Verkehrsverhalten der Bevölkerung 2015,» 2017.

[24] EcoWatt AG, «Grundlagenbericht Stromnetze Thurgau,» 2014.

[25] Regierungsrat des Kantons Thurgau, «Botschaft Energiekonzept Kanton Thurgau 2020-2030,» Mai 2020. [Online]. Available: https://www.tg.ch/public/upload/assets/96683/Botschaft__Energiekonzept.pdf.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Rückblick und Ausblick zum Schweizer Strombedarf 1995 – 2050 8

Abbildung 2: Soll- und Ist-Produktion der PV-Referenzanlage in der Jahresübersicht (Sporthalle Aadorf, 118 kWp, Ost-West-Ausrichtung) 10

Abbildung 3: Verteilung der PV-Stromproduktion auf die Jahreszeiten 10

Abbildung 4: Voraussichtliche Ladenachfrage (Ladeenergie 6 kWh / Reichweite 30 km) der parkierten EV auf dem Musterparkplatz und deren Abdeckung durch die Solarüberdachung 16

Abbildung 5: Satellitenansicht Liegenschaft 17

Abbildung 6: Satellitenansicht Musterparkplatz 17

Abbildung 7: Gesamtsystemansicht 18

Abbildung 8: Solarkraftwerk der GEFCO-Gruppe 19

Abbildung 9: Solarparkplatz Schindler, Ebikon LU (128 Parkfelder, 328 kWp) 20

Abbildung 10: Privater Solarcarport 20

Abbildung 11: Solarcarport «Flash» (6 Parkfelder, 23kWp) 20

Abbildung 12: Solarcarport der GEFCO Gruppe, Courgenay JU 20

Abbildung 13: Solarparkplatz der Migros, Chablais VD (1.6 MWp) 20

Abbildung 14: Solarcarport mit bifazialen Modulen 20

Abbildung 15: Solarfaltdach Kronberg 21

Abbildung 16: Solarfaltdach Urban Plant 22

Abbildung 17: Solarfaltdach Horizon, Träger und Fundamente 22

Abbildung 18: Solarstrom-Belag Wattway in Frankreich 23

Abbildung 19: Speicherkosten für Gross- und Gewerbespeicher 2021 24

Abbildung 20: Das Projekt "Advanced Battery Storage" mit "Second Life" Batterien aus dem Renault Zoé 26

Abbildung 21: Innenansicht eines "Second Life" Batteriespeichers aus dem Nissan Leaf mit 24 kWh 26

Abbildung 22: Kostenteiler Solarüberdachung 29

Abbildung 23: Schönwetterproduktion im Herbst 43

Abbildung 24: Schönwetterproduktion im Winter 43

Abbildung 25: Schönwetterproduktion im Sommer 43

Abbildung 26: Schönwetterproduktion im Frühjahr 43

Abbildung 27: Schlechtwetterproduktion im Herbst 43

Abbildung 28: Schlechtwetterproduktion im Winter 43

Abbildung 29: Schlechtwetterproduktion im Sommer 44

Abbildung 30: Schlechtwetterproduktion im Frühjahr 44

Abbildung 31: Umweltbelastung verschiedener Strombezugsquellen, konventioneller Automobilität und Fleischkonsum 45
Abbildung 32: Strombezug in einer Januar-Woche (Montag-Sonntag) im Jahr 2019 mit Tages-Durchschnitt 47
Abbildung 33: Jahres-Lastgang sowie Tages-, Wochen- und Monats-Durchschnitte 47
Abbildung 34: Monats-Lastgang mit Tages-Durchschnitt 47
Abbildung 35: Typische Tages-Lastgänge im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter 48
Abbildung 36: Zeitliche Leistungsverteilung des Lastgangs 48
Abbildung 37: Simulation Musterparkplatz Frühlingswoche 49
Abbildung 38: Simulation Musterparkplatz Sommerwoche 49
Abbildung 39: Simulation Musterparkplatz Herbstwoche 50
Abbildung 40: Eigenverbrauch und Netzeinspeisung auf Monatsbasis 50
Abbildung 41: Autarkie auf Monatsbasis 50

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Verschiedene Prognosen zu Neuzulassungen und Gesamtbestand von Elektrofahrzeugen im Jahr 2035 11

Tabelle 2: Durchschnittliche Fahrleistungen verschiedener Fahrzeugtypen in der Schweiz 12

Tabelle 3: Strombedarf und notwendige Parkflächen verschiedener Fahrzeuge sowie mögliche PV-Jahresproduktion auf der verfügbaren Parkfläche 13

Tabelle 4: Solarertrag eines einzelnen Solarparkplatzes im Mittelland, abhängig von Jahreszeit und Wetter und resultierende Reichweite eines EV 14

Tabelle 5: Solarertrag des Musterparkplatzes abhängig von Jahreszeit und Wetter und mögliche Anzahl EV, die mit 6 kWh bzw. 44 kWh aufgeladen werden können 15

Tabelle 6: Möglicher Nutzen eines Batteriespeichers und Anwendung für die Musterliegenschaft 25

Tabelle 7: Kosten und Amortisationszeiten von PV-Überdachungen, Basisvariante 31

Tabelle 8: Vergleich beliebter Schweizer Elektrofahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen 46

ANHANG

LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON PV

Die folgenden 8 Abbildungen zeigen typische Tageserträge im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter bei schönem und trübem Wetter einer Referenzanlage [6] sowie die Soll- und Ist-Erträge in der Jahresübersicht.

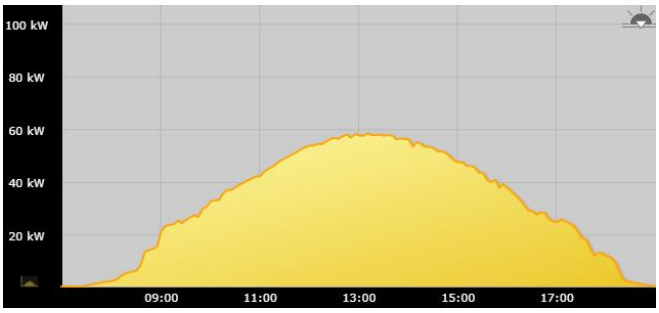


Abbildung 23: Schönwetterproduktion im Herbst

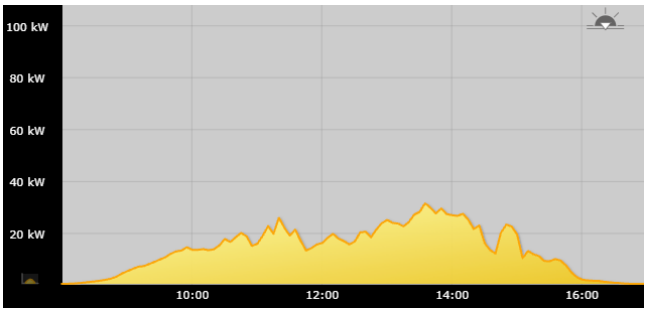


Abbildung 24: Schönwetterproduktion im Winter

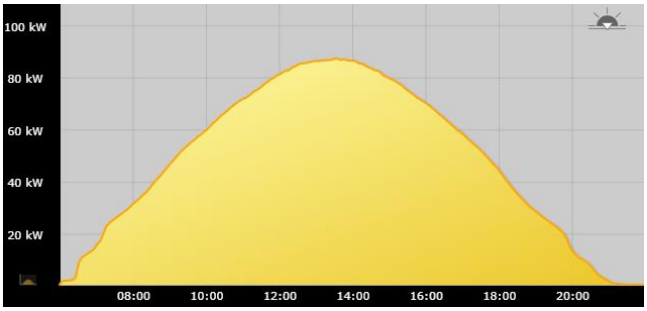


Abbildung 25: Schönwetterproduktion im Sommer

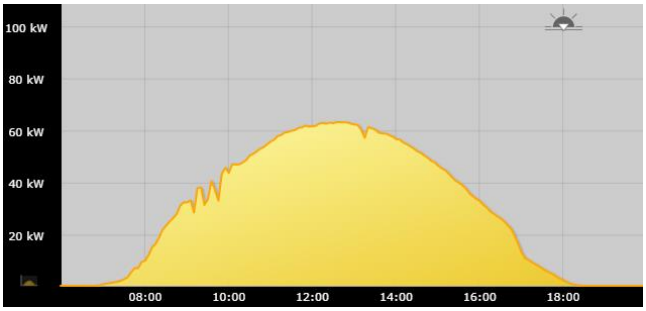


Abbildung 26: Schönwetterproduktion im Frühjahr

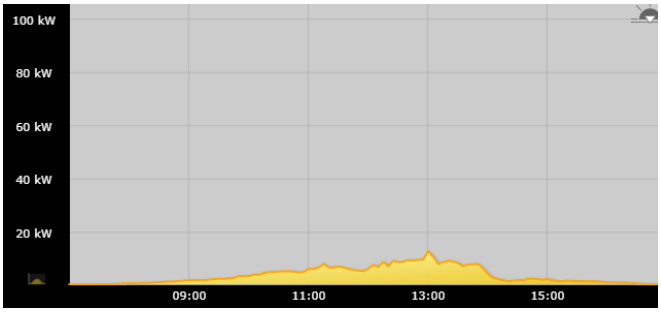


Abbildung 27: Schlechtwetterproduktion im Herbst

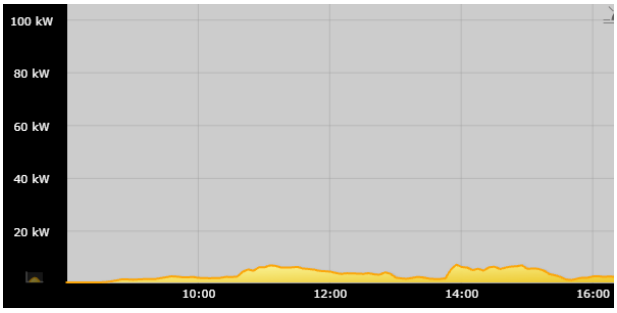


Abbildung 28: Schlechtwetterproduktion im Winter

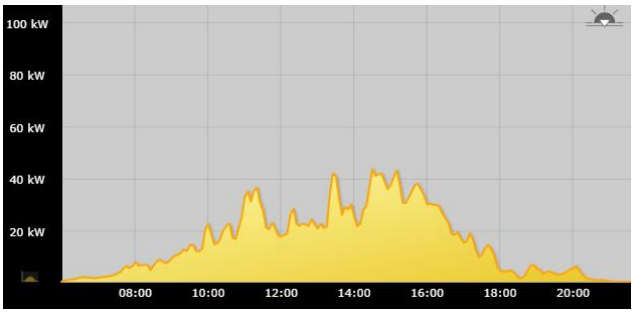


Abbildung 29: Schlechtwetterproduktion im Sommer

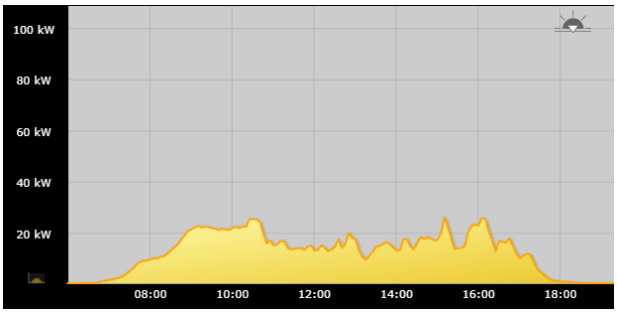


Abbildung 30: Schlechtwetterproduktion im Frühjahr

EXKURS: UMWELTBELASTUNG ELEKTRIZITÄT, MOBILITÄT UND KONSUM

Die nachfolgende Abbildung 31 zeigt einen Vergleich der Umweltbelastungspunkte verschiedener Strombezugsquellen in Relation zur konventionellen Automobilität und dem Fleischkonsum. Es zeigt sich, dass der Schweizer Strommix bereits heute im Vergleich zum EU-Mix sehr gut dasteht, dass aber durch die Nutzung von Photovoltaik, speziell mit hohem Eigenverbrauchsanteil, die Umweltbelastung nochmals deutlich reduziert werden kann. Gegenüber dem Standardmix lässt sich die Belastung durch die Nutzung von PV-Strom um rund 20 % reduzieren, bei ausschliesslicher Verwendung des eigenen Solarstroms ohne Netznutzung sogar um 67%. Allerdings führt eine solche Konstellation zu einem Komfortverlust, der für die meisten Konsumenten nicht annehmbar ist. Interessant ist auch, dass das konventionelle Auto gleichauf liegt mit dem hiesigen Verbraucherstrommix, der durchschnittliche Fleischkonsum einer Familie allerdings die Umwelt mehr als doppelt so stark belastet und sogar den Bezug von 100% Kohlestrom übertreffen würde.

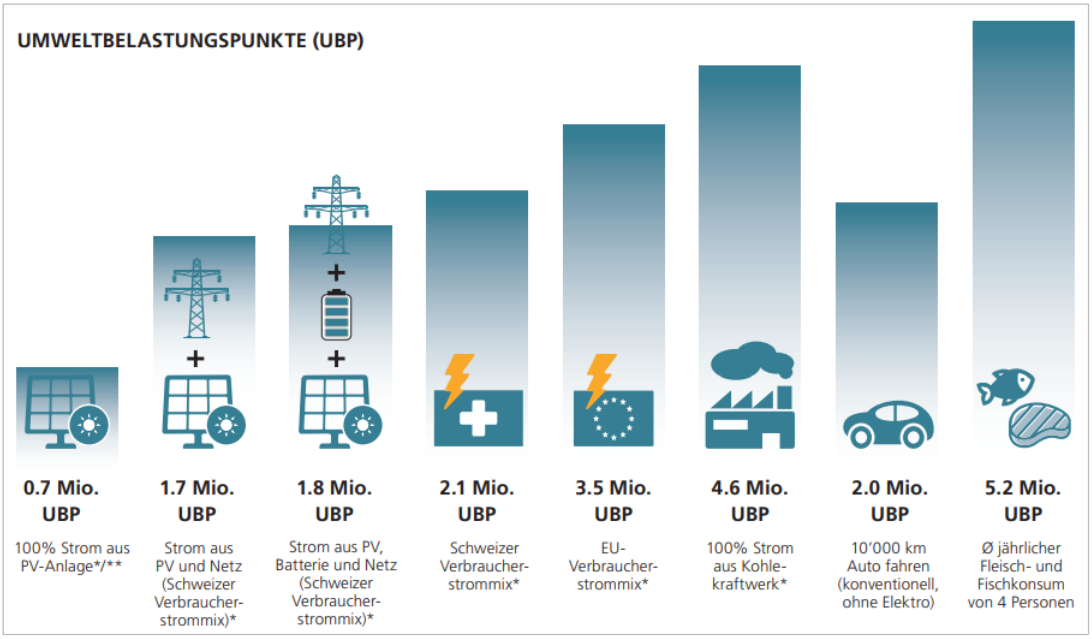


Abbildung 31: Umweltbelastung verschiedener Strombezugsquellen, konventioneller Automobilität und Fleischkonsum
Quelle: Bundesamt für Energie BFE **[14]**

Was sind Umweltbelastungspunkte?

Mittels der Methode der ökologischen Knappheit wird im Rahmen einer Ökobilanz die Wirkung von Schadstoffemissionen und der Entnahme von Ressourcen auf die Umwelt bewertet. Zentrale Grösse der Methode sind die Ökofaktoren, welche die Umweltbelastung einer Schadstoffemission respektive Ressourcenentnahme in der Einheit Umweltbelastungspunkte (UBP) pro Mengeneinheit angeben. Der Ökofaktor eines Stoffes leitet sich aus der Gesetzgebung oder entsprechenden politischen Zielen ab. Je mehr die aktuellen Emissionen beziehungsweise der Ressourcenverbrauch das gesetzte Umweltschutz-Ziel überschreiten, desto grösser wird der Ökofaktor, ausgedrückt in UBP. [15]

ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH MIT VERBRENNERN

Die Betriebskosten und die Klimabilanz beliebter, in der Schweiz zugelassener Fahrzeuge, werden genauer betrachtet und für ausgewählte Modelle gegenübergestellt.

Tabelle 8 zeigt eine Gegenüberstellung der beliebtesten Schweizer Elektrofahrzeuge mit vergleichbaren Benzin- bzw. Diesel-Fahrzeugen (basierend auf dem TCS-Vergleichsdienst, der in Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut entwickelt wurde). Ein Elektrofahrzeug ist aktuell noch teurer als vergleichbare Autos mit Verbrennungsmotor. Aufgrund des Energiespeichers ist die Herstellung eines Elektrofahrzeugs CO_2-intensiver als ein konventionelles Auto. Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei vergleichbaren Kleinwagen der Preisunterschied gravierend ist und sich die Wirtschaftlichkeit zugunsten des Elektrofahrzeugs erst spät einstellt. Bei Fahrzeugen der Mittel- und Oberklasse hingegen stellt sich der ökonomische Vorteil bereits nach kurzer Betriebsdauer ein. Die Klimabilanz eines Elektrofahrzeugs ist über die Laufzeit immer besser als bei einem konventionellen Auto. Bereits nach wenigen Jahren fährt man mit einem EV klimafreundlicher als mit einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.

Fahrzeuge	Betriebskosten *	Klimabilanz	Kaufpreis
Renault Zoé R110 **vs.** **Renault Clio Tce140**	Die grosse Preisdifferenz kann über die Lebensdauer nicht egalisiert werden. Der Renault Zoé R110 Life weist für die gesamte Betriebsdauer die höheren Betriebskosten als der Clio auf.	41'400 km Ab dieser Laufleistung ist ein Renault Zoé R110 Life klimafreundlicher als ein Renault Clio Tce 140 unterwegs.	35'900 CHF 24'700 CHF
VW ID.3 Pure **vs.** **VW Golf 1.0 TSI**	77'700 km Ab dieser Laufleistung und einer Betriebsdauer von rund 5 Jahren wird der ID.3 die günstigeren Gesamtkosten aufweisen.	52‘900 km Ab dieser Laufleistung ist ein VW ID.3 Pure Performance klimafreundlicher als ein VW Golf 1.0 TSI evo OPF Life unterwegs.	32'450 CHF 29'400 CHF
Tesla Model 3 Perf. **vs.** **BMW 3 320i xDrive**	40'400 km Ab dieser Laufleistung und einer Betriebsdauer von circa 3 Jahren wird das Model 3 Performance die günstigeren Gesamtkosten aufweisen.	26'100 km Ab dieser Laufleistung ist ein Tesla Model 3 Performance klimafreundlicher als eine BMW 3er Limousine unterwegs.	58'990 CHF 55'900 CHF
* Angenommene Laufleistung 15'000 km / Jahr. Allfällige Förderbeiträge sind nicht berücksichtigt.			

Tabelle 8: Vergleich beliebter Schweizer Elektrofahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen

STROMBEZÜGE DER MUSTERLIEGENSCHAFT

Verschiedene Darstellungen des Lastgangs der Musterliegenschaft.

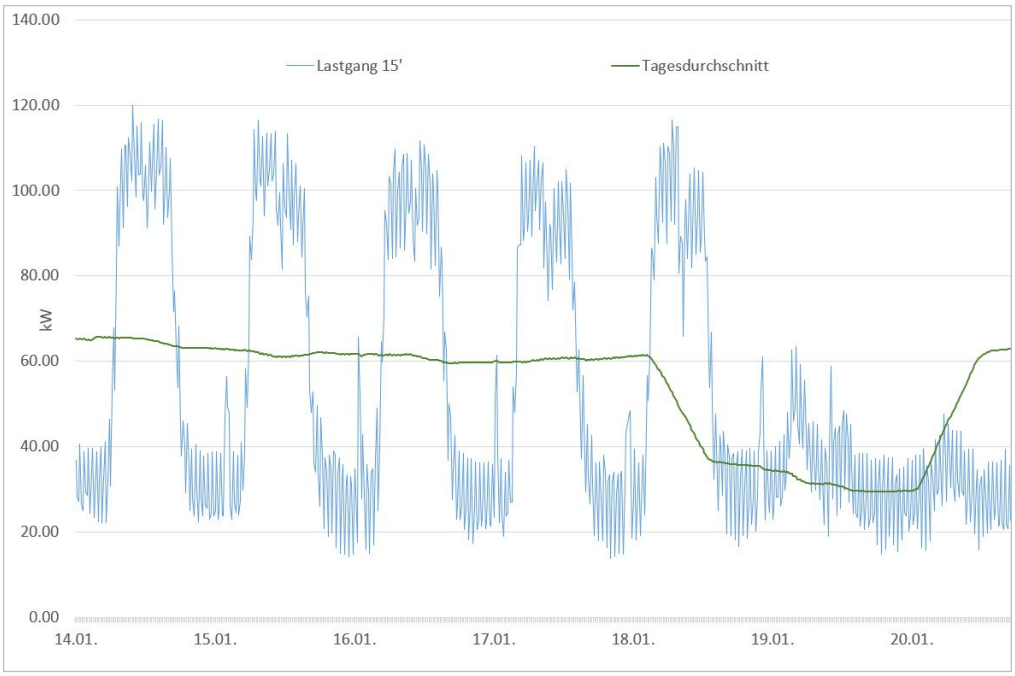


Abbildung 32: Strombezug in einer Januar-Woche (Montag-Sonntag) im Jahr 2019 mit Tages-Durchschnitt

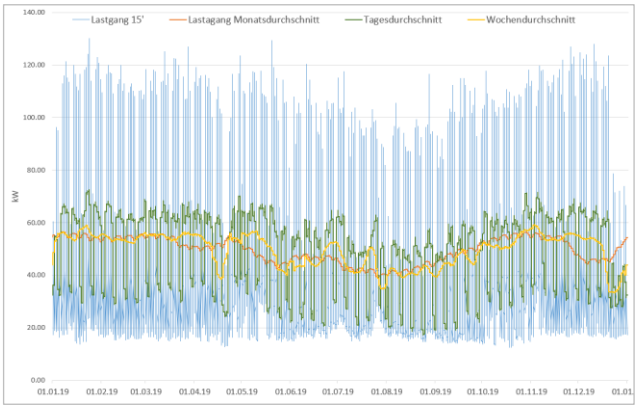


Abbildung 33: Jahres-Lastgang sowie Tages-, Wochen- und Monats-Durchschnitte

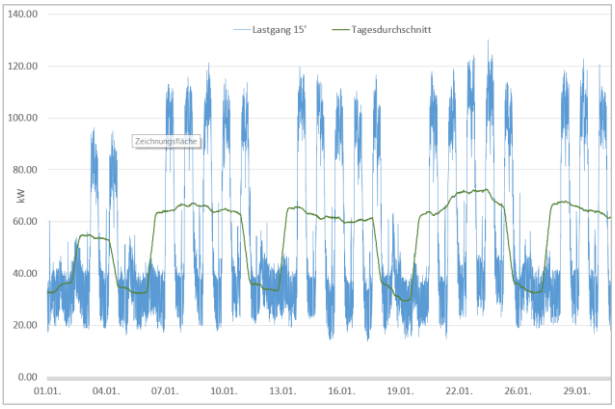


Abbildung 34: Monats-Lastgang mit Tages-Durchschnitt

Abbildung 35: Typische Tages-Lastgänge im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter

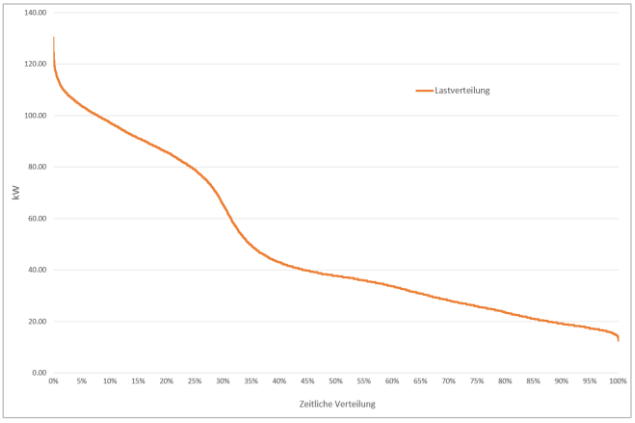


Abbildung 36: Zeitliche Leistungsverteilung des Lastgangs

SIMULATION MUSTERPARKPLATZ

Der Solarertrag hängt von verschiedenen Faktoren wie Einstrahlung, Wirkungsgrad der Komponenten und Ausrichtung der Module ab. Mittels einer Simulation wurde einer realistischen PV-Anlage mit Ost-West-Ausrichtung für den Musterparkplatz mit 228 kWp und 4 Elektrofahrzeugen, basierend auf dem realen Lastgang der Liegenschaft, nachgebildet. Diese Eckwerte basieren auf einem vorliegenden Richtpreisangebot. Folgende Erkenntnisse konnten aufgrund der Simulation gewonnen werden:

- → Es kann mit einem Jahresertrag von rund 230 MWh gerechnet werden, das entspricht 53% des aktuellen Gesamtstrombedarfs der Musterliegenschaft.
- → Der Eigenverbrauch über das ganze Jahr gesehen liegt bei 76% und schwankt, abhängig von der Jahreszeit, zwischen 64% und 100% (Abbildung 40). Im Frühling und Sommer resultiert häufig ein Produktionsüberschuss, der rückgespeist wird. Übers Jahr gesehen werden 24% der PV-Produktion ins öffentliche Stromnetz gespeist.
- → Die 4 Elektrofahrzeuge können praktisch immer mit Solarstrom aufgeladen werden.
- → Der erzielbare Autarkiegrad liegt im Jahresmittel bei rund 40% und bewegt sich zwischen 14% und 70% (Abbildung 41).

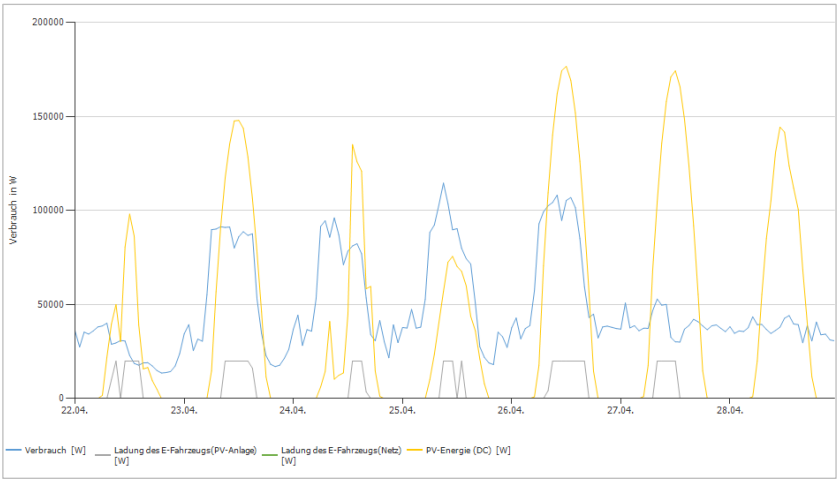


Abbildung 37: Simulation Musterparkplatz Frühlingswoche

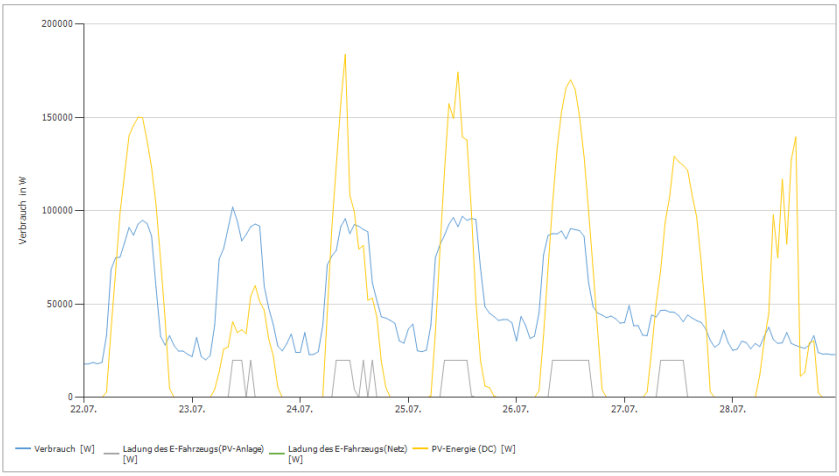


Abbildung 38: Simulation Musterparkplatz Sommerwoche

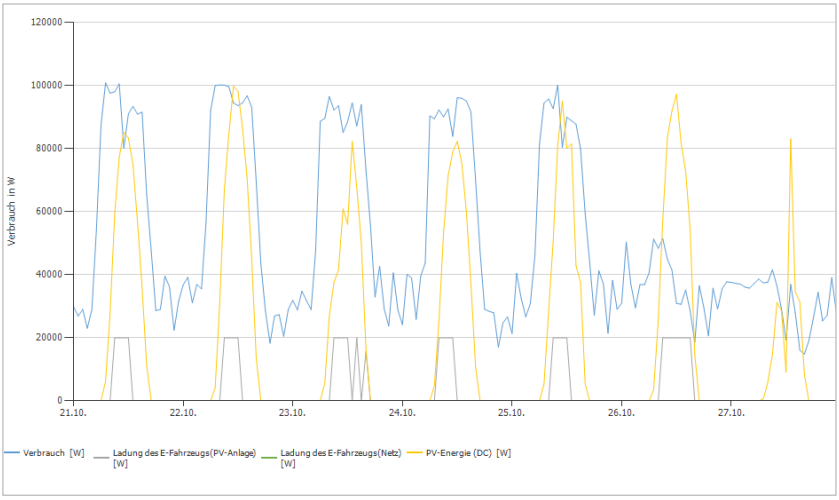


Abbildung 39: Simulation Musterparkplatz Herbstwoche

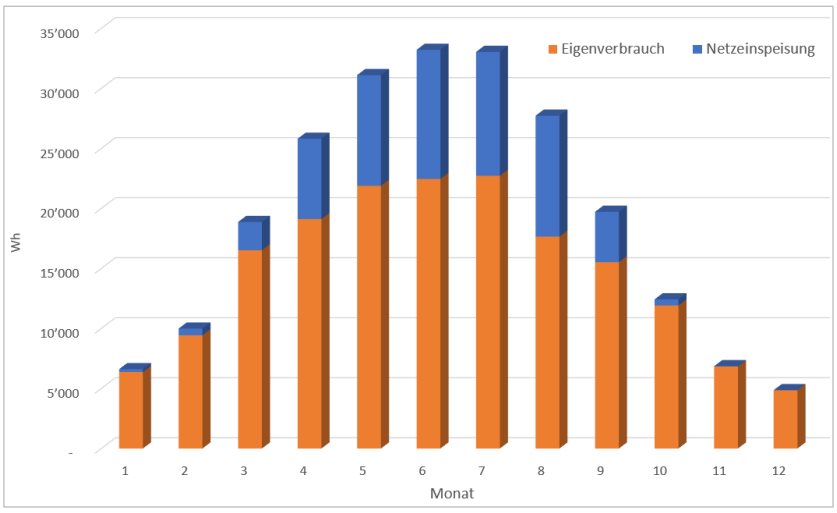


Abbildung 40: Eigenverbrauch und Netzeinspeisung auf Monatsbasis

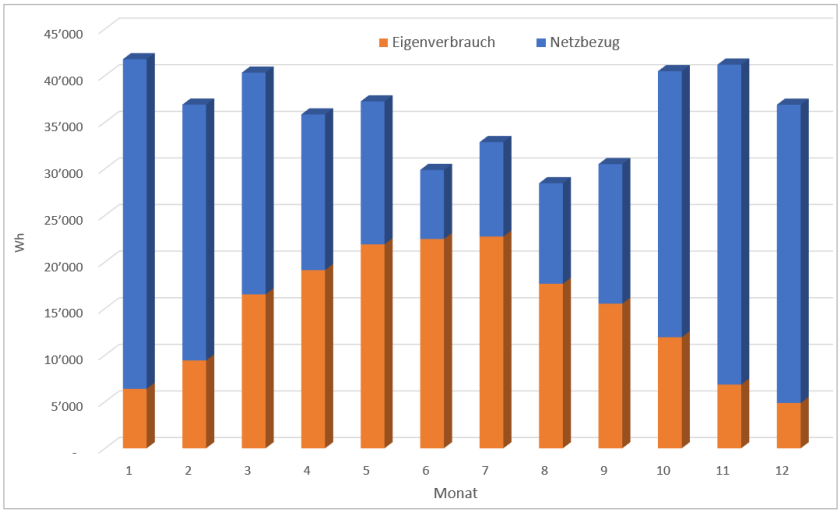
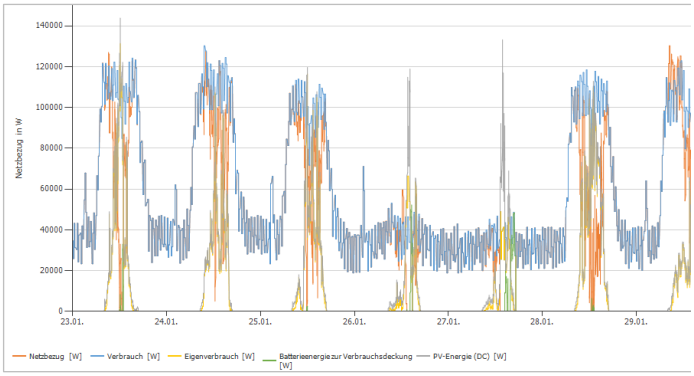


Abbildung 41: Autarkie auf Monatsbasis

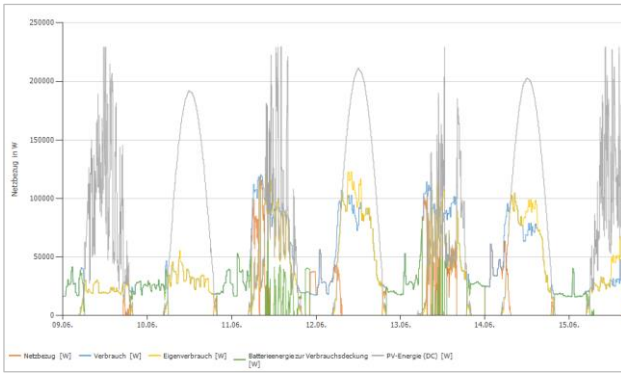
AUSLEGUNG BATTERIESYSTEM

Darstellung der Simulationsergebnisse eines PV-Systems mit einem Batteriespeicher von 300 kWh.



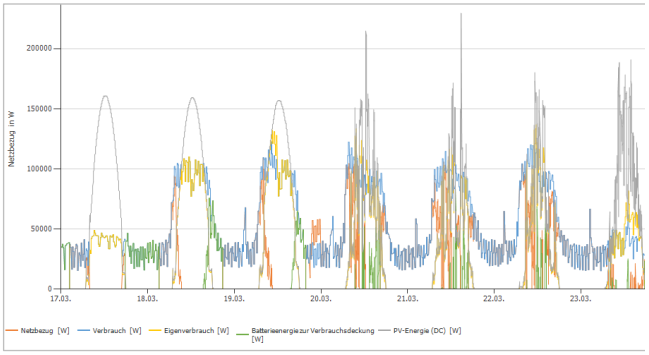
1 durchschnittliche Winterwoche

Die PV-Produktion deckt nur einen kleinen Teil des Energiebedarfs ab. Die Speicherbatterie kann kaum aufgeladen und der Spitzenbezug kann nicht gebrochen werden. Um einen Einfluss zu haben, müssten PV-Anlage und Speicher deutlich grösser dimensioniert sein.



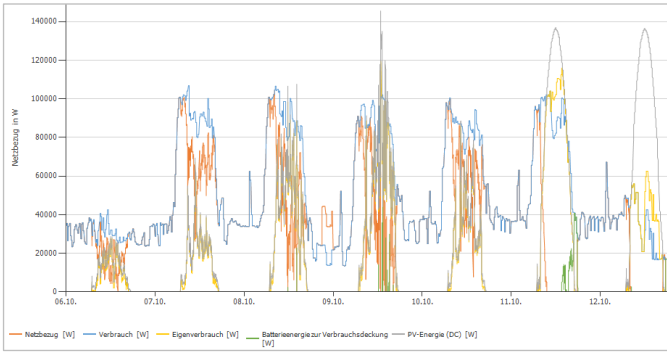
1 durchschnittliche Sommerwoche

Die PV-Produktion deckt den Energiebedarf am Tag sehr gut ab. Dank der Batterie kann auch der Energiebedarf in der Nacht häufig gedeckt werden. In den frühen Morgenstunden wird häufig Netzstrom benötigt. Der Spitzenbezug vom Netz kann teilweise gebrochen werden, allerdings nicht zuverlässig über einen ganzen Monat. Würde das gelingen, kann man davon ausgehen, dass damit in den Sommermonaten ca. 30% der Spitzenlast (von 110 kW) reduziert werden können. So wäre eine monatliche Ersparnis von rund CHF 254 realisierbar (CHF 7.7 / kW x 33 kW). Dies bedingt ein entsprechendes Lastmanagement. Es müsste geklärt werden, ob es verbraucherseitig möglich ist, die Spitzenbezüge aktiv zu managen und umzulegen.



1 durchschnittliche Frühlingswoche

Die PV-Produktion deckt den Tagesbedarf gut ab. Der Spitzenbezug kann teilweise gebrochen werden. Der Batteriespeicher kann Produktionsüberschuss in die Nacht «retten». Häufig wird in den Morgenstunden Netzstrom benötigt, um den erhöhten Bedarf in dieser Zeit zu decken.



1 durchschnittliche Herbstwoche

Die PV-Produktion kann den Tagesbedarf nur noch sporadisch abdecken. Es entsteht eher selten ein Produktionsüberschuss am Tag, der gespeichert werden könnte. Der Spitzenbezug kann trotz Batterie nicht gebrochen werden. Durch ein geeignetes Management könnte zumindest der «Wochenend-Überschuss» gespeichert und Anfangs der Woche konsumiert werden.

FÖRDERBEITRÄGE

Neue Photovoltaik-Anlagen werden vom Bund seit 2018 ausschliesslich mit Einmalvergütungen gefördert. Diese setzen sich aus einem Grundbeitrag und einem Leistungsbeitrag zusammen. Die Ansätze von Grund- und Leistungsbeitrag sind von der Energieförderungsverordnung (EnFV) festgelegt und betragen maximal 30% der bei der Inbetriebnahme massgeblichen Investitionskosten von Referenzanlagen. Erweiterungen von bestehenden Anlagen, die bereits mit einer Einmalvergütung geförderten wurden, haben kein Anrecht mehr auf einen Grundbeitrag.

Bei grossen Anlagen (> 100 kWp) kommt die grosse Einmalvergütung (GREIV) zum Tragen [16]. Im aktuellen Zeitraum (ab dem 1.4.2021) gelten folgende Sätze für angebaute und freistehende Anlagen:

Förderung Solarstrom	Grundbeitrag	Leistungsbeitrag	Total
GREIV Angebaut/Freistehend/Integriert	700 CHF	290 CHF / pro kWp	---
GREIV PV-Anlage Musterparkplatz 250 kWp	700 CHF	250 kWp x 290 CHF / kWp	**73'200 CHF**

Weiter werden im Thurgau leistungsabhängige Förderbeiträge für Batteriespeicher gesprochen [17]. Zudem fördert die Stadt Frauenfeld Batteriespeicher mit 50% des Kantonsbeitrages, maximal CHF 15'000.

Für eine Speicherbatterie mit einer Kapazität von 300 kWh würde das Folgendes bedeuten:

Förderung Batteriespeicher	Grundbeitrag	Leistungsbeitrag	Total
Förderbeitrag Kt. TG für Batteriespeicher	1‘500 CHF	150 CHF / kWh	**---**
Förderbeitrag Kanton Thurgau Batteriespeicher 300 kWh Musterparkplatz	1'500 CHF	300 kWh x CHF 150 / kWh	46’500 CHF
Förderbeitrag Stadt Frauenfeld Batteriespeicher 300 kWh Musterparkplatz	750 CHF	100 CHF / kWh	15'000 CHF (Maximalbeitrag)
Total			**61'500 CHF**