

Ein Jahr mit Photovoltaik

Ein Erfahrungsbericht

PC-Treff-BB

Roland Egeler

Agenda

- Ausgangslage
- Fragen
- Entscheidungsfindung
- Konzept / Prototyp
- Entscheidung
- Ausführung
- Förderung
- Verhalten
- Antworten
- Ausblick

Ausgangslage

- Freistehendes Einfamilienhaus Bj. 1999 (ca. 175m²)
 - (aktuell drei Personen, max. fünf)
- Ordentliche Dämmung (Kalksandstein / Styropor)
- Gasheizung (Viessmann Eurola, jetzt über 25 Jahre)
 - Zusätzlicher Kachelofen im EG
- Zisterne für Wasserspülung und Garten
- Nahezu perfekte Südausrichtung
- Ziegeldach / Dachneigung 28°
- Schornstein nahe Giebel
- Je zwei Dachfenster
- Große Satellitenschüssel im Süden [Maps]

Ausgangslage

- Extrem hoher Stromverbrauch (bis zu 10MWh/a, 3.000€)
 - In manchen Jahren im Schnitt über 1kW verbraucht!
- Zweirichtungszähler vorhanden
- Elektrofahrzeug seit 2019 (ca. 1,1MWh/a, 3kWh/d)
 - Akkukapazität knapp 18 kWh
- Garage (keine Wallbox, da Smart per Schukodose in neun Stunden über Nacht voll)
- Hohe Strompreise durch Ukrainekrieg
- Erfahrungsberichte von Photovoltaikanlagen

Ausgangslage

- Möglichkeit zum Einsparen von Energie gesucht
- Analyse bestehender Verbraucher
- Sparen durch
 - Abschalten unnötiger Verbraucher
 - Ersetzen durch effektivere Geräte
 - Energie selbst erzeugen
- Das Eine tun und das Andere nicht lassen...

Fragen

- Was wird das kosten?
- Förderung
- Geförderte Kredite
- Wie viele Module?
- Welche Ausführung / Typ?
- Auch Solarthermie?
- Wallbox (evtl. bidirektional)
- Speicher im Haus (wie groß/Typ)
- Kann ich das E-Fahrzeug auch im Winter solar laden?
- Entscheidung reines Einspeisen oder Eigenverbrauch

Fragen

- Zusatzenergie für Gasheizung (Heizstab im Rücklauf)
- Brauchwasser (Wärmepumpe?)
- Wärmepumpe für Heizung (Luft/Wasser)?
- Reicht die Solarenergie auch für die Heizung?
- Wärme aus Zisternenwasser
- Klimaanlage für Sommer (Luft/Luft)
- Welcher Energieverbrauch kann noch auf Elektrik umgestellt werden?
- Eigenverbrauchsoptimierung
- Macht sich das bezahlt (Return of invest)?

Fragen

• ...

Entscheidungsfindung

- Gespräche mit Nachbarn / Freunden
- Kosten von bestehenden Anlagen erfragt
- Artikel in der c't
- Recherche nach Förderung
- Überschlagsrechnung / Abschätzungen
- Elektroauto mit Sonnenenergie laden / fahren
- Warmwasser mit Sonnenenergie
- Angebote von drei unterschiedlichen Handwerkern
- Prototyp / Ausprobieren mittels Balkonkraftwerk

Prototyp / Proof of concept

- [Balkonkraftwerk] am Geländer auf der Garage
- Bekannte bestellte sich eins
- Noch vor dem Hype
- Daher relativ teuer
- Zwei 400W-Module (monofazial)
- Ein Mikrowechselrichter (max. 600W)
- Zehn Meter Kabel mit Schukostecker
- Außensteckdose vorhanden
- Montage mittels Rohrschellen am Geländer
- Anmelden beim Stromversorger (Stadtwerke)

Prototyp / Proof of concept

- WLAN
- App (Smart Life / Tuya)
- Server in China
- Schlechter Wirkungsgrad (Wechselrichter wird heiß)
- Einbinden in Heimautomatisierung (HomeAssistant)
- Sehr hilfreicher Artikel in der c't
- Kappen der Verbindung ins Internet (Firewall)
- Lief ziemlich genau ein Jahr
- Bei unserem hohen Verbrauch nahezu alles selbst verbraucht

Prototyp / Proof of concept

- Hat ca. 580 kWh erzeugt
- Bei 0,34€ pro kWh sind das 197€
- Bei 0,45€ pro kWh sind das 261€
 - War allerdings auf 0,40€ gedeckelt
- Allerdings war das 2023 und der Preis war hoch
- Bei 0,29€ pro kWh sind das immer noch 168€
- Würde sich nach wenigen Jahren amortisieren
- Entscheidung: Große Dachanlage

Entscheidungen

- Bifaziale Module wegen gutem Wirkungsgrad (diffus)
- Speicherakku als LiFePo
 - Leichte Bedenken, ob sich das rechnet
- Eigenverbrauch statt Einspeisen
- Mitbenutzung des Norddachs
- Notstromversorgung
 - Inselbetrieb möglich
- Wallbox wegen Förderung
- Keine Solarthermie – Fläche lieber als PV
 - Weitere Technik und Wartung nötig
 - Leistung auch bei diffus – Strom ist vielseitiger

Ausführung

- Viel hilft viel... (Bild)
- Südseite: 30 Module („Landscape“)
- Nordseite: 28 Module („Portrait“)
- Jeweils zwei Stränge wegen Spannung
- Pro Modul 425Wp bifazial sind das 24,65 kWp
- 20 KW Hybridwechselrichter mit zwei Eingängen
- LiFePo-Speicher mit 14,2 kWh brutto / 12,8kWh netto
- Notstromversorgung möglich
- Wallbox mit 11kW
- Dreiphasiger Stromzähler

Ausführung

- Warum weniger als 25kWp?
- Auf dem Dach wäre noch Platz
- Bei mehr als 25kWp darf der Versorger die Anlage bei Netzüberlastung abregeln [$>25\text{kWp}$]
- Früher musste man zwischen 10 und 25kWp die Leistung auf [70%] beschränken. Ist ab dem 1.1.2023 weggefallen.
- Das wären maximal 17,5 kW Einspeisung
- Mehr sieht man extrem selten im Sommer
- Das wäre keine große Einschränkung
- Versorger hat sich aber noch nicht zum Thema geäußert

Ausführung

- Handwerker: Black Forest Solar (Althengstedt)
- Geräte von neoom (connect.neoom.com)
- Stromzähler, Wechselrichter, Speicher und Wallbox
- Österreichischer Hersteller mit Server dort
- Lokale Datenverarbeitung mit „beaam“
- Kleinrechner ähnlich Raspberry PI
- Schickt Daten nach Österreich („ntuity“)
- Aktuelle Daten können dort eingesehen werden
- Ältere Daten werden zusammengefasst
- In Cloud gespeichert („matomo.cloud“)

Ausführung

- Auf Geräten steht zwar „neoom“, sind aber teilweise von anderen Herstellern
- Wechselrichter von „Sofar“
- Speicher von „Pylontech“
- Wallbox von „Compleo“ Typ „Solo“
 - Kann Betriebsart „schnell“ / „solar“
- Können auch mit anderer bekannter Hardware arbeiten
 - Shelly
 - Tasmota
 - ...

Ausführung

- Alle Geräte per Ethernet vernetzt
 - Protokoll ist „ModBus TCP“
 - Vernetzung mit Heimautomatisierung geplant
 - „Feindliche Übernahme“...
-
- Außerdem möchte ich alle Daten aus deren Cloud holen
 - Bereitstellung über REST-API
 - Speicherung in InfluxDB
 - Visualisierung mit Grafana

Förderung

- Der Verkehrsminister hatte Geld übrig
- Er wollte Wallboxen fördern
- Eigentlich wollte ich gar keine
- Förderung galt auch für Solaranlagen
- Voraussetzung war Wohneigentum und E-Fahrzeug
- Fördersumme war 9.600€
- Hat geklappt...

Verhalten Planet

- Sonnenscheindauer siehe [Zeitgleichung]
 - Sommer: 16h Tag, 8h Nacht
 - Winter: 8h Tag, 16h Nacht
- Zenithhöhe siehe [Zenithhöhe]
 - Von 27. Oktober bis 12. Februar Nordseite immer im Schatten
 - Minimal $17,8^\circ$, maximal $64,6^\circ$
- Viel Sinus im Spiel ist... :-)

Verhalten Planet

- Überschlagsrechnung:
- Achsneigung Erde: Ca. $23,5^\circ$
- Position Sindelfingen:
 - Nördliche Breite: Knapp 49° (Freiburg 48° , Mainz 50°)
 - Östliche Länge: Ziemlich präzis 9°
 - Damit hängt zusammen, dass der Sonnenhöchststand bei uns nicht präzis um 12:00 Uhr ist (wie bei 15°)
- Bei Tag- und Nachtgleiche:
 - Sonnenhöchststand $90^\circ - 49^\circ = 41^\circ$
 - Bei Sommersonnwende: $41^\circ + 23,5 = 64,5^\circ$
 - Bei Wintersonnwende: $41^\circ - 23,5^\circ = 17,5^\circ$

Verhalten Gesamtanlage

- Inbetriebnahme 4.3.2024
- Nach wenigen Tagen Speicher zum ersten Mal voll
- Erst im November wieder Strom von außen geholt
 - (Zweimal im Oktober...)
- Hat ein bisschen weh getan...
- Aber immerhin fast acht Monate Autarkie

Verhalten Gesamtanlage

- Der Wirkungsgrad von Fotozellen ist abhängig von der Temperatur
- Kalte Zellen sind besser
- Das ist im Winter natürlich toll, wenn die Sonne tief steht
- Im Hochsommer folgender Effekt
- Nachdem die dicke Wolke weg ist und die Sonne auf die komplette Fläche trifft, habe ich kurze Peaks von 21kW gesehen
- Wenn gar keine Wolken da sind, ist eine Dauerleistung von 18kW drin
- Damit kann man einen Autoakku recht schnell vollladen

Verhalten Gesamtanlage

- Bifaziale Zellen können Licht sowohl von der Vorder- als auch von der Rückseite her umwandeln
- Daher sind sie bei diffusen Lagen besser
 - Sichtbar ab November bei trübem Wetter
- Die Nordseite verdoppelt bei diffusen Lagen die Fläche
- Die Leistung im Norden ist dann gleich wie im Süden
- Bei komplett wolkigen Lagen und sogar bei Regen habe ich manchmal mehr als 3kW gesehen
- Reif macht quasi gar nichts
- Sobald die Zellen produzieren, werden sie warm

Verhalten Gesamtanlage

- Schnee war bisher auch kein Problem
- Fällt ja auch eher selten
- Sobald die Zellen ein bisschen produzieren und warm werden, rutscht der Schnee ab
- Resultat: Dachlawinen
- Bei einer Dachneigung von 28° kannten wir das nicht
- Wie das bei strengem Frost nach Schneefall aussieht, kann ich nicht beurteilen, da nicht aufgetreten
 - Doch: Einmal im Februar (14.2.2025). War bitter...
- In höheren Lagen könnte das den Ertrag aber stark mindern

Verhalten Gesamtanlage

- Im Sommer wurde der Speicher nur zu <40% genutzt
- Beim ersten Sonnenstrahl noch zu 60% voll
- Teilweise war der Speicher schon voll, bevor ich aufgestanden bin... (Sa. 6.7.2024)
- Im Sommer keine Chance, die Energie selbst zu verbrauchen
- Einspeisung ca. 14,6MWh
- Vergütung ca. 8 ct/kWh
- Sind knapp 1.200€/a
- Wäre das der einzige Nutzen, würde es sich nicht rechnen

Verhalten Gesamtanlage

- Eigenverbrauch bringt wesentlich mehr Geld
- Gesamtverbrauch von 9,4MWh
 - Heizlüfter müsste man fairerweise abziehen
- Bei 29ct/kWh sind das 2.726€/a
- Energie, die man nicht beim Stromversorger kaufen muss
 - Mit Anlage nur 543kWh (157,50€)
- Strompreise werden sich erhöhen
- Alleine durch CO₂-Abgabe
- Zur Zeit 55€/t CO₂

Verhalten Gesamtanlage

- Wir haben 3MWh aus dem Speicher verbraucht
- Bei 29ct/kWh sind das 870€/a
- Der Speicher hat mehrere Tausend Euro gekostet
- Wenn er mehr als zehn Jahre durchhält, kann er sich amortisieren
- LiFePo-Akkus sollen robust sein
- Es wird sich weisen

Verhalten Energiezähler

- Dreiphasiger saldierender Zähler mit Ethernet
- Funktioniert
- Keine besonderen Vorkommnisse

Verhalten Wechselrichter

- Wechselrichter hat vier Lüfter
- Zwei pro Strang
- Lüfter laufen permanent bei Umrichtung
- Nervt ein bisschen
- Hört man nur in der Waschküche
- Lüfterloser Betrieb bei 20kW vermutlich nicht möglich
- Regelverhalten recht präzise
- Überschuss läuft in Speicher (Überschussladen)
- Trotzdem werden permanent kleine Mengen Energie eingespeist oder geholt

Verhalten Speicher

- Nur 90% der Kapazität sind nutzbar
- Brutto: 14,2kWh
- Netto: 12,78kWh
- Begründung: Akkuschonung und „Eigenverbrauch“
- Beschränkung nach unten ist einstellbar
- Z.B. auf 20%, dann sind nur 80% nutzbar
- Im Winter nicht sinnvoll
- Nach oben kann nicht beschränkt werden
- Schade, da das die Lebensdauer erhöhen könnte
- Im Sommer könnte man problemlos auf 75% beschränken

Verhalten Speicher

- Wenn er lange leer ist, bleibt er nicht bei 10%
- Manchmal geht er in Schritten bis 5% runter
- Dann lädt er sich aus dem Netz auf 10% hoch
- Bis zu einem Ladezustand von 15% holt er Energie aus dem Netz, obwohl er gerade geladen wird
- Ab 16% wird Energie aus dem Speicher geholt
- Ist er mal auf 100% gewesen und wird leicht entladen, so will er nicht mehr auf 100%
- Erst wenn man ihn auf 95% entlädt, wird er wieder voll
- Manchmal geht er „unmotiviert“ von 100% auf 99%

Verhalten Speicher

- Maximale Ladeleistung ist 7,5kW
- Alles darüber wird eingespeist
 - Überschussladen ist dann möglich
- Wird eine Kapazität von 90% erreicht, drosselt er auf 3kW
- Bei 95% drosselt er auf 400W
- Von 95% bis 98% zieht er aber noch mehrmals kurz wieder 3kW
 - Stört Überschussladen
 - Nervt im Winter, da wir ja nicht einspeisen wollen, sondern selbst verbrauchen (Firmwareupdate?)
- Bei 98% drosselt er auf 200W, voll noch 20W

Verhalten Notstrom

- Netzausfall simuliert durch Abschalten der Hauptsicherung (im Sommer)
- Nach wenigen Sekunden wird das Haus aus dem Speicher versorgt
- Bis wieviel kW ist unklar
- Ich habe aber schon nachts Leistungen bis 6kW gesehen
- Kochen und Backen geht also
- E-Auto eher nicht
- Trotzdem ist die Möglichkeit sehr angenehm, lange Stromausfälle durchzuhalten

Verhalten Notstrom

- Für Rechner ist die Umschaltzeit zu lange
- Für die Server braucht man also eine USV
- Ist das Netz wieder da (oder die Sicherung wieder drin) wird automatisch wieder umgeschaltet
- Fehlerleuchte geht dann aus

Verhalten Wallbox

- Könnte auch 22kW
- Wir wollen aber nur Sonnenenergie laden
- 22kW leisten die Module nicht
- Überschussladen mit mehr als 11kW würde gehen
- Smart ist dann in deutlich weniger als zwei Stunden voll
- In Weboberfläche nerviges Gepiepse und überflüssige Beleuchtung abgestellt
- Kann auch NFC
- Hat leider keine Schukosteckdose (Dokumentation)
- Kann einphasig und dreiphasig laden (bis 11kW, 4.3.24)
- Zieht in Modus „schnell“ Speicher leer (5.4.2024)

Verhalten Wallbox

- Beim Laden ist der Strom pro Phase auf 6A nach unten beschränkt, bei weniger wird abgeschaltet
- Einphasig ist das $230V * 6A = 1,38kW$
- Dreiphasig etwas mehr als 4kW
- Die Wallbox kann an einem dreiphasigen Kabel nicht einphasig laden
- Das bedeutet, dass die Wallbox beim Überschussladen bei weniger als 4kW abschaltet
- Bei wolkegem Wetter nicht praktikabel
- Zumal die Wallbox dreiphasig nicht zuverlässig wieder einschaltet (oder der Smart)

Verhalten Wallbox

- Möchte man die vier kW Überschuss trotzdem nutzen, muss man das Kabel umstecken
- Nervt...
- Einphasig schaltet die Wallbox nach Unterbrechungen zuverlässig wieder ein
- Manche Wallboxen können wohl vom drei- aufs einphasige Laden umschalten
- Laut Gerüchten nimmt das die Ladeelektronik vom Smart übel
- Möchte ich nicht riskieren

Verhalten Bewohner

- Anfänglich bei Überschuss Aufforderung zum Verbrauch
- Kocht, backt, spült, wascht, bügelt, dörret, ladet den Smart...
- Hat sich schnell gelegt, da es nicht möglich ist, die gesamte Leistung zu verbrauchen
- In der Übergangszeit wurde der Überschuss mit Heizlüftern verbraten
- Die Gasheizung konnte dadurch tatsächlich erst Wochen später eingeschaltet werden
- Funktioniert manchmal sogar im Winter, es wäre also manchmal auch Energie für eine Wärmepumpe übrig

Verhalten Bewohner

- Im Winter haben wir planbare Fahrten auf die Dunkelheit verlegt, da bei Sonnenlicht geladen werden musste
- Das E-Fahrzeug mutiert also im Winter zum Nachttier...
- Im Sommer haben wir einen aufblasbaren Whirlpool solar beheizt, das war sehr angenehm
- Wir haben die Anschaffung einer Klimaanlage erwogen
- Das heißt Luft-Luft-Wärmepumpe oder Split-Klimaanlage
- Diese können in der Übergangszeit auch heizen
- Sie erzeugen mehr Wärme als elektrische Energie verbraucht wird (Arbeitszahl)

Verhalten Bewohner

- Man beschäftigt sich zu viel mit dem Verhalten der Anlage
- Aktuell ist der Überschussverbrauch noch Handarbeit
- Es müsste mehr automatisiert werden
- Heimautomatisierungssoftware noch unklar
- Ganz allgemein werden die großen Verbraucher eher bei Tag eingeschaltet
 - Haben wir tatsächlich schon gemacht, bevor wir PV hatten
 - „Hoffnungssolarladen“
 - „Strom vom Nachbarn“

Verhalten Bewohner

- Große Verbraucher:
- Energie ist Leistung mal Zeit
- Verbrauch ist also groß, wenn viel Leistung gebraucht wird oder ein Gerät eine lange Zeit eingeschaltet ist
- Das Jahr hat gar nicht so viele Stunden:
- 365 Tage mal 24h/d ist 8760 Stunden
- Jedes Watt, das das ganze Jahr lang verbraucht wird, braucht 8,76 kWh im Jahr
- Bei 29ct/kWh sind das 2,54€/a
- Dauerläufer sind also ein Problem

Verhalten Bewohner

- Große Verbraucher (Dauerläufer):
- Netzwerkinfrastruktur
- Glasfasermodem, Fritzbox, Firewall, WLAN-Basen, Ethernetswitche...
- Mehrere Server
 - Pro Netzwerksegment einer (ASRock DeskMini, ca. 15/10 Watt)
 - Alte Server ziehen bis zu 70 Watt
 - Wird gerade optimiert (ASRock DeskMeet, ca. 25/15 Watt)
 - VDR 20 Watt
- Kühlung: Kühlschranks, Gefrierschranks 1, Gefrierschranks 2

Verhalten Bewohner

- Große Verbraucher (momentan):
- Der höchste Leistung hat theoretisch der Smart mit 22kW
- Den haben wir freiwillig auf 11kW beschränkt
- Es folgt der Backofen
- Dieser zieht beim Aufheizen einphasig 3,7kW
- Wenn er seine Zieltemperatur erreicht hat, schaltet er aus und nur zur Erhaltung kurz ein
- Dasselbe gilt für die Herdplatten mit 0,5 bis 2kW
- Alle Geräte an Schukosteckdosen sind auf zwei kW beschränkt

Verhalten Bewohner

- Große Verbraucher (momentan):
- Schukodosenlader Smart (2kW)
- Heizlüfter (2kW)
- Waschmaschine (60° - 2kW für recht lange Zeit)
- Spülmaschine (2kW – nicht ganz so lange)
- Wasserkocher (ca. 2 kW)
- Mikrowelle (1,5kW)
- Föhn / Heißluftföhn / Toaster (1200W)
- Spieletauglicher Rechner (bei uns bis zu 500W)
- Ist also quasi auch ein Heizlüfter...

Verhalten Bewohner

- Große Verbraucher:
- Heizung mit Pumpen laufen im Winter lange
 - Pumpe zwischen 40 und 60W (zwei Stück)
- Zisternenpumpe 500W
- Dörrautomat / Eierkocher 350W
- Fernseher 125W
- Computerbildschirme (LCD)
- Verstärker 35W
- Subwoofer mit 20W lief leider mehrere Jahre durch
- Es wird viel mit schaltbaren Steckdosen gearbeitet

Verhalten Bewohner

- „Vorausseilendes Überschussladen“
- Wenn absehbar ist, dass der Speicher voll wird
- Man fängt dann schon vorher mit dem Verbrauchen an
- Z.B. mit dem Schukodosenlader vom Smart
- Hauptsache, die Energie landet in einem Akku
- In welchem, ist fast egal
- Ist ein bisschen spekulativ
- Blöd, wenn die Kaltfront kommt (18.3.2024)
- Wird der Speicher leer, muss man halt kaufen (11.12.2024 / 14.2.2025)

Antworten

- Amortisiert sich die Anlage: Ja, und zwar erstaunlich schnell
- Reicht die Leistung im Winter: Nein, man muss Strom kaufen, aber nicht sehr viel
- Reicht die Leistung im Winter zu Heizen: Im Leben nicht
- Kann man im Winter das Auto mit Sonnenlicht aufladen: Viel öfter, als man denkt. Aber nicht immer (11./12.2.).
- Ist der Speicher groß genug: Ja, auch im Winter reicht er über die Nacht, wenn man ihn voll bekommt (26.12.2024)
- Man muss aber haushalten
 - Heizlüfter zum Autoabtauen / Bei Dunkelheit kochen...

Ausblick

- Was steht an?
 - Heizung durch Wärmepumpe / noch höherer Eigenverbrauch
 - Förderung beantragen, solange es sie noch gibt
 - Einbindung in Heimautomatisierung
 - Abkopplung vom österreichischen Server
 - Eigene Datenspeicherung
 - Holen der Daten aus der Cloud per REST-API
 - InfluxDB und Grafana
 - Klimaanlage für heiße Sommer
 - E-Auto mit größerem Speicher?
 - Dann Bidirektionale Wallbox?
 - ...

Vielen Dank!

Quellen

- [Zeitgleichung]: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitgleichung>
- [Zenithhöhe]:
<http://www.solartopo.com/sonnenumlaufbahn.htm>
- [Sonnenposition]:
<https://help.valentin-software.com/pvsol/de/berechnungsgrundlagen/einstrahlung/sonnenposition/>
- [>25kWp]:
<https://do-netz.de/einspeisung/neue-anlagen/anschlusszusage-und-inbetriebnahme/b-photovoltaik-anlagen-ueber-25-kwp>
- [70%]:
<https://www.solarwatt.de/ratgeber/eeg-novelle-2023>