

# *Ein Jahr Erfahrung mit PV + Stromspeicher*

Wolfgang Lehbrink

Vortrag zur Energiewende

15.1.2020

Vortrag = persönlicher Erfahrungsbericht, keine Produktempfehlung

Zielgruppe: PV-Neueinsteiger, potentielle Nachrüster, Neugierige

# Anlage 2020

- Bestands-Reihenhaus, BJ.1992
- Begrenzte Dachfläche (2 DFF)
- 4m<sup>2</sup> Solarthermie
  - + Brennwert mit Speicher
  - + Holzofen mit Wärmetauscher
- 15m<sup>2</sup> Photovoltaik
  - + Stromspeicher
- Unbeschattet (außer 1 Modul durch Kamin am späten Nachmittag)



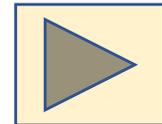
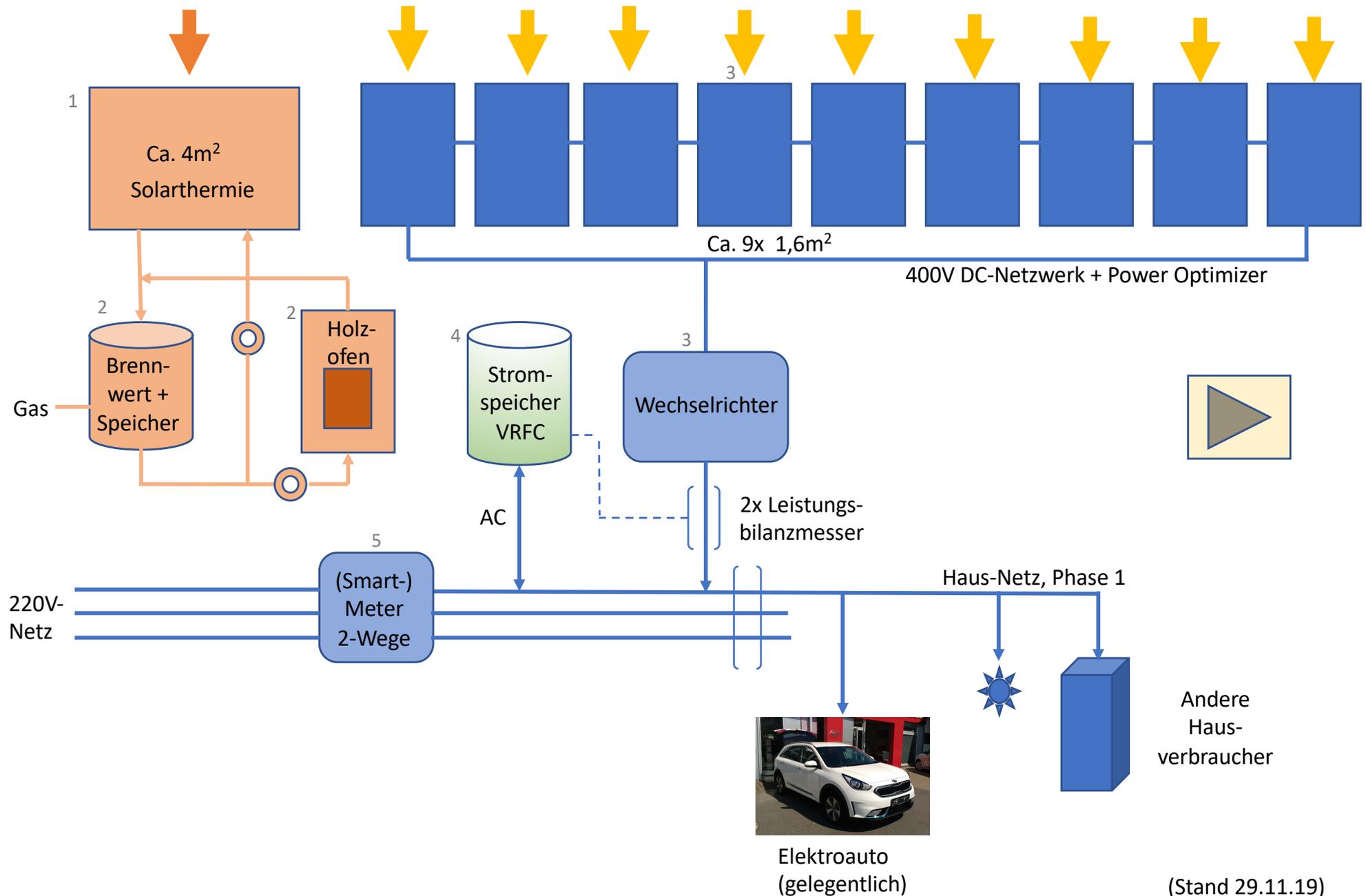
# Motivation für PV – verschiedene Optionen

- „Klassiker“ – Gewinne durch max. Einspeisung
  - Durch Wegfall der Förderung zunehmend unattraktiv
  - Einspeisevergütung überschaubar (ca. 0,10€)
- „alternatives Modell“ – Selbstnutzer = individueller Beitrag zur Energiewende
  - Beitrag zum Umweltschutz („nutze was von oben kommt“)
  - Stromkostenreduktion bzw. -unabhängigkeit
- Speicher als weiterer Beitrag zur Netzentlastung
  - Netzneutralität (möglichst viele Std. pro Tag)
    - Bis zu 90% des Tages (balanciert)
  - Bilanzielle Neutralität (im Jahresmittel, Netz als Puffer)
- Blackout + Autarkie

# Selbstverbraucher – was ist anders?

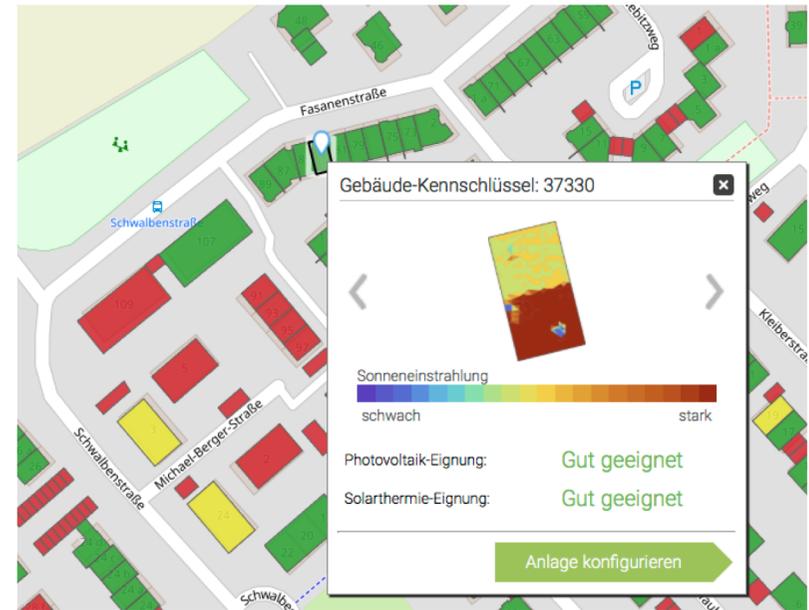
- Ziel: Hoher Eigennutzungsanteil -> eigene Kriterien
  - Systemauslegung muss balanciert sein
- Produktion = Verbrauch + Pufferspeicher
- Einspeisevergütung ist „egal“, 70% Kappung - Regel bleibt.
  - kaum Rendite durch Einspeisung, sondern durch Bezugsreduktion
  - 70% Kappung bleibt auch bei Speicher aktiv (-> keine Einspeiseleistungsmessung, Wechselrichter misst erzeugte PV-Leistung)
- Wie unabhängig will man werden?
  - Verbrauchsreduktion? Wieviel %? Grundlastreduktion?
  - Null-Einspeisung = 100% Eigenverbrauch?
  - Null-Bilanz (jährl. Ausgleich von Einspeisung und Bezug)?
  - Null-Bezug? Null-/oder Plus-Energiehaus?
  - Autarkie inkl. Inselbetrieb bei Blackout?
- Optimierung aller Systemkomponenten von Erzeugung über Speicher bis Verbrauch -> Vortrag in dieser Reihenfolge

# Anlagendiagramm mit Ausbaustufen



# Solarproduktion - Anlagenbeschreibung

- Dachneigung: 37 Grad
- Hausbreite: 6 m
- Ausrichtung Süd-Ost (166 Grad)
- Abstand zum Nachbarhaus beachten!
- 9x PV-Module mit bis zu 310W mit je 1x Energie – Optimizer für 400V Bus -> **2,79KW** peak -> 70% = **2,1kW**
- Tagesproduktion: **17,75 kWh max.**
- Jahresproduktion:
  - 3000 kWh (erwartet, „Kleinunternehmer“)
  - 3210 kWh (real erreicht)
- Solarpotentialkataster der Gemeinde VAT
  - <https://www.solare-stadt.de/kreis-egersberg/Start>



# Intelligente, vernetzte PV-Module



# Ertragshochrechnung auf Basis der Sonnenscheindauer - München

Monatliche Durchschnittstemperaturen und -niederschläge für München														
	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez		
Max. Temperatur (°C)	2,7	4,3	9,0	12,5	18,0	20,5	23,1	23,0	18,8	13,2	6,9	3,7	Ø	13
Min. Temperatur (°C)	-3,7	-3,2	0,1	2,8	7,2	10,4	12,6	12,3	8,9	4,7	0,2	-2,3	Ø	4,2
Niederschlag (mm)	48,0	45,2	57,7	69,9	93,4	127,6	131,6	110,5	86,3	65,4	71,0	60,8	Σ	967,4
Sonnenstunden (h/d)	2,0	2,7	4,1	5,1	6,4	6,8	7,6	6,9	5,6	4,2	2,2	1,6	Ø	4,6
Regentage (d)	10,0	8,6	10,5	10,9	11,6	13,8	12,0	11,4	9,6	9,1	10,7	11,2	Σ	129,4
Luftfeuchtigkeit (%)	83	83	77	72	73	73	73	75	78	82	86	86	Ø	78,4

Quelle: DWD, Daten: 1971–2000<sup>[30]</sup>; wetterkontor.de, Daten: überwiegend 1961–1990<sup>[31]</sup>

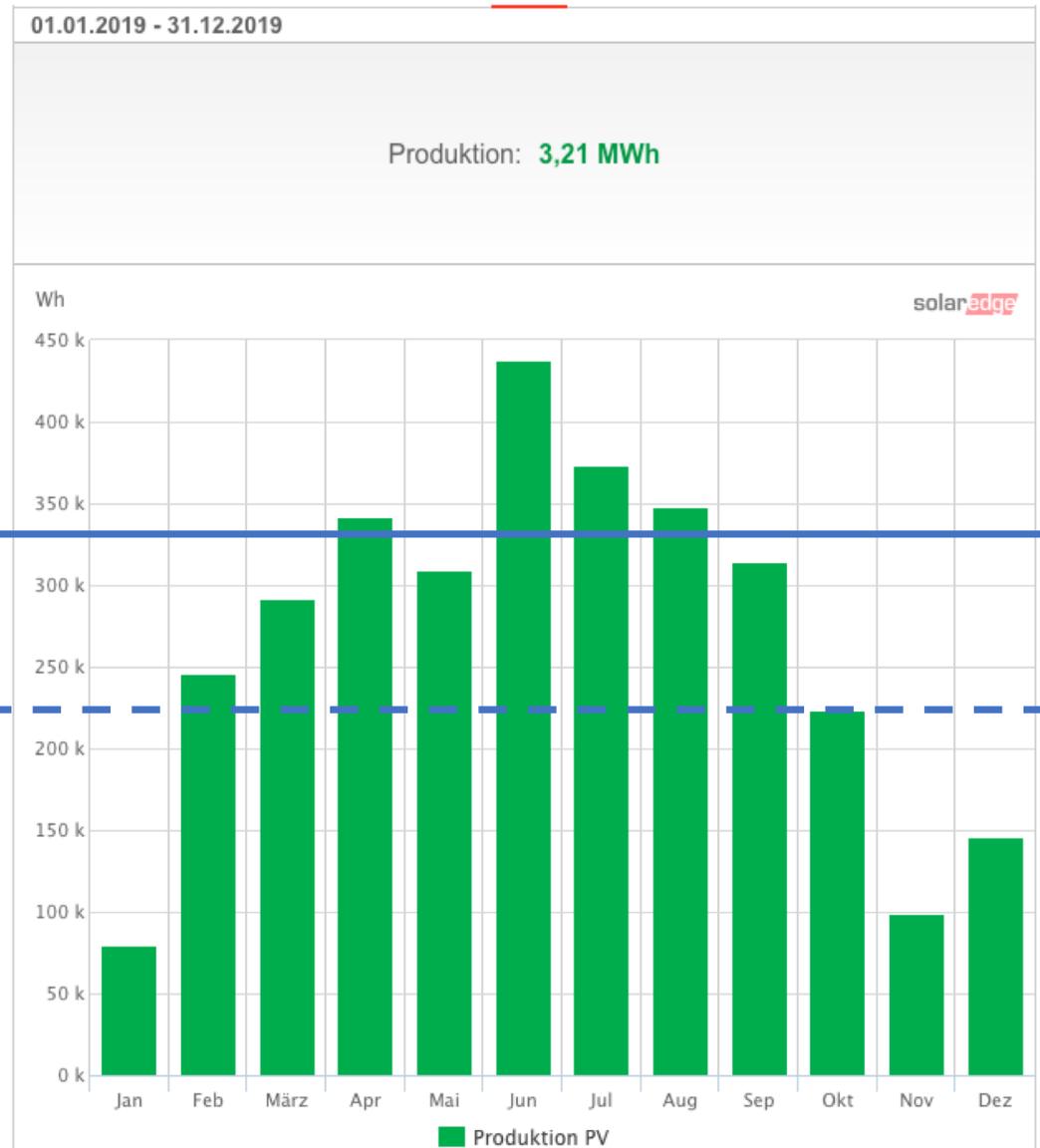
- $365 * 4,6h * 2,1kW = ca. 3500 kWh$  für diese Anlage (theoretisch)
- Sonnenschein definiert als  $>120W/m^2$ , ab  $200W/m^2$  sind Kollektoren spezifiziert
- Quelle DWD, Wikipedia

# Solarproduktion – Messungen 2019

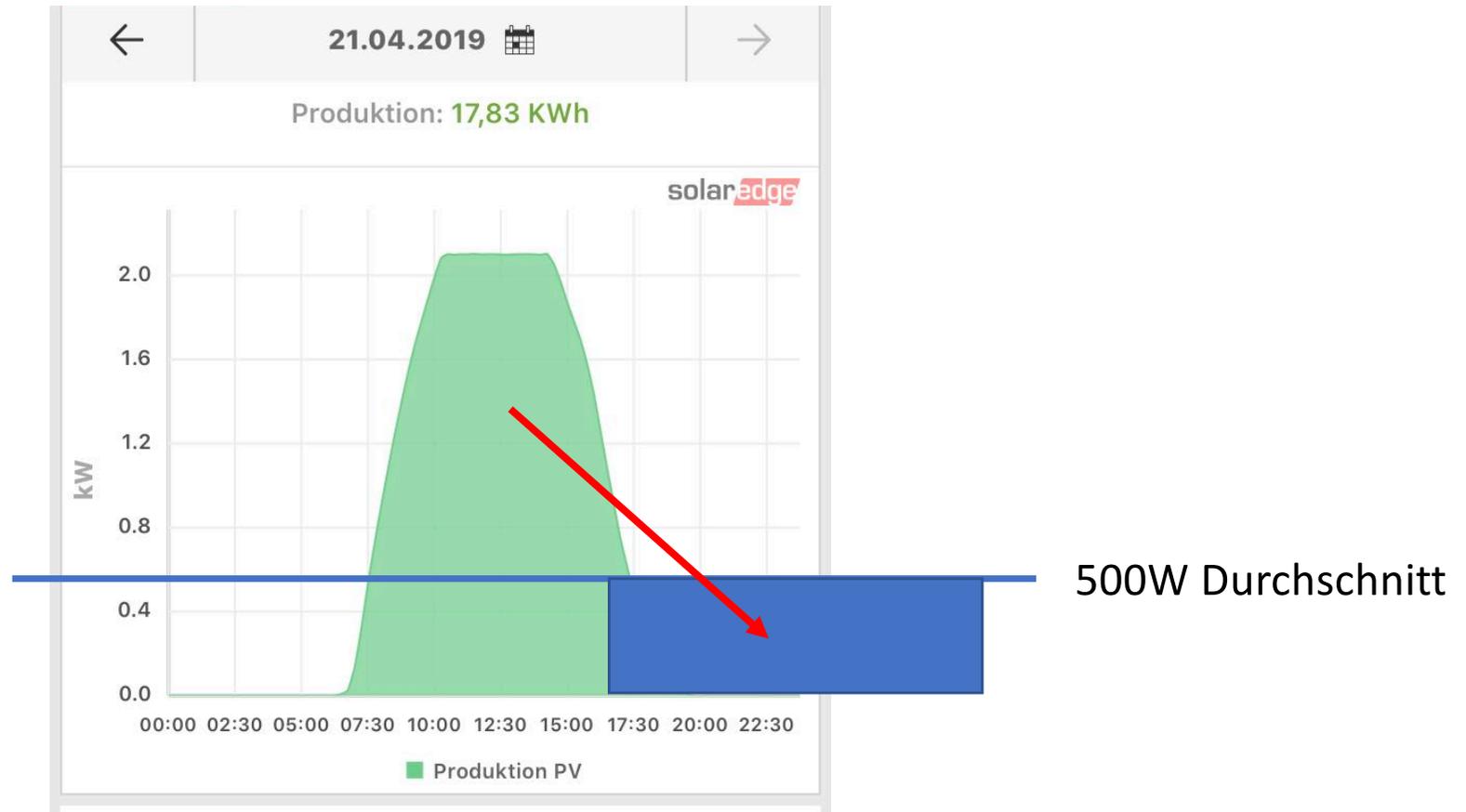
- Theoret. Maximum/Monat:  
 $17,5 \cdot 30 = 525 \text{ kWh}$
- Monatl. Bedarf: ca. 330 kWh
- 6...8 Monate "voll" abgedeckt
- Theor. Prod./Jahr: 3500 kWh
- Reales Resultat: 3210 kWh

Monatl.  
Durchschnittsverbrauch

Ab hier ca. wird gelegentlich eingespeist,  
weil Angebot und Nachfrage im Tagesablauf variieren,  
Akku voll, etc..

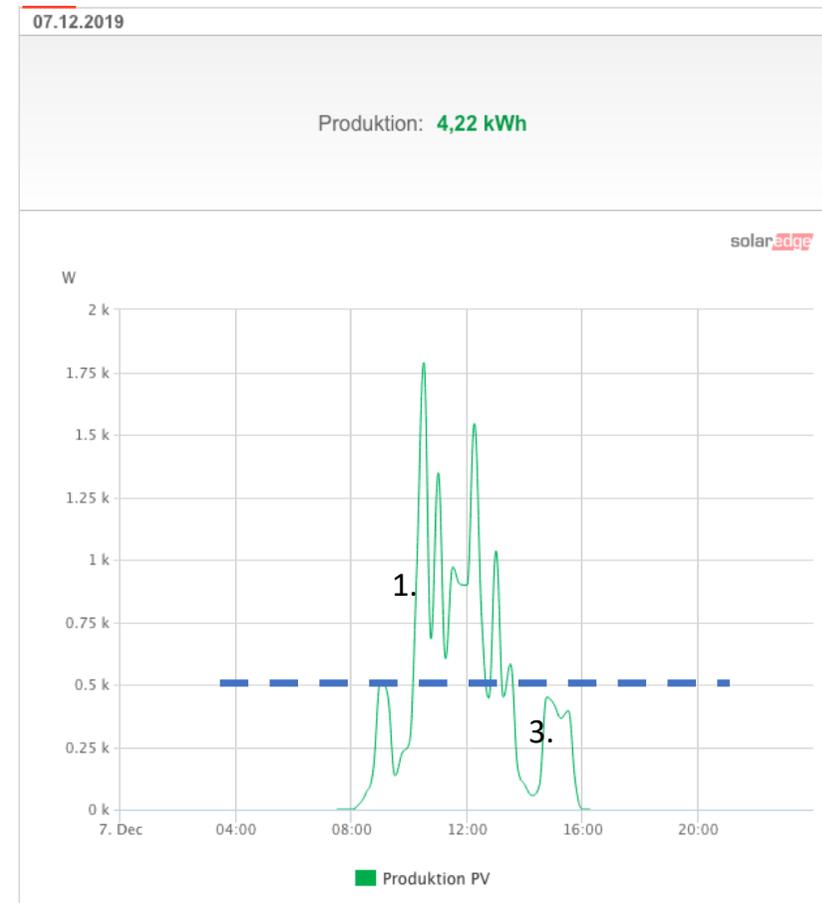
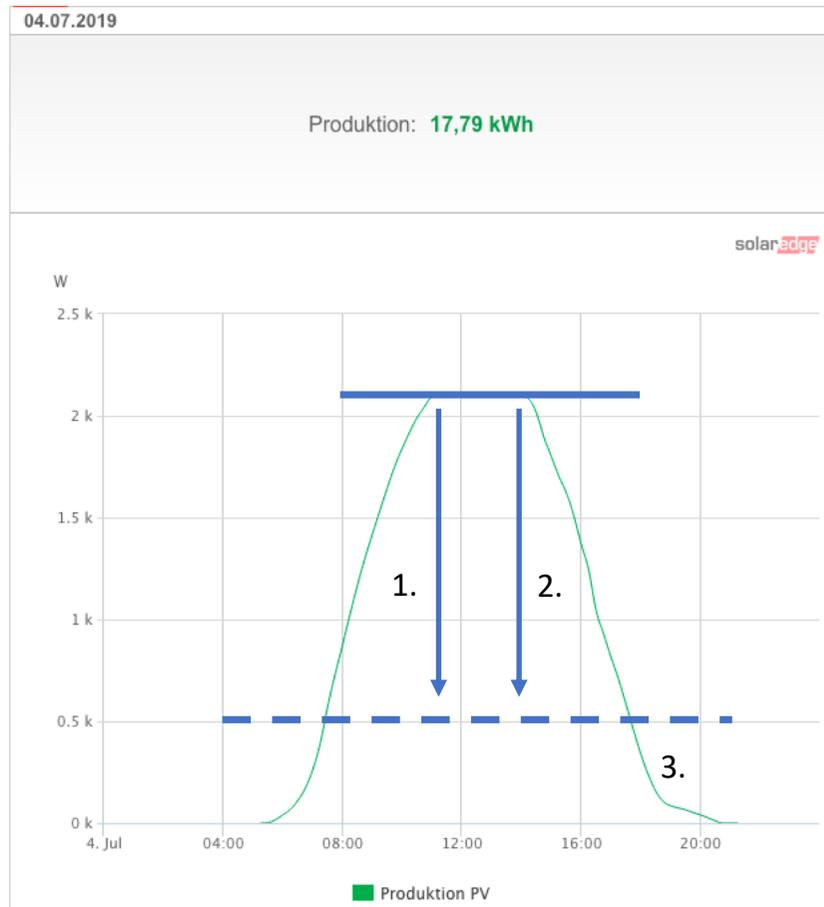


# Was würde bei einer reinen PV-Anlage ohne Speicher passieren?



- Der Großteil der produzierten Leistung ginge (je nach individuellem Profil) ins Netz

# Perfekter Sommertag vs. wolkiger Wintertag



- 1. Die erzeugte Überschuss-Leistung der Anlage wird zuerst in den Speicher eingelagert
- 2. Danach können manuell Verbraucher zugeschaltet werden (Waschen, E-Auto)
- 3. Speicharentladung setzt kurz vor Sonnenuntergang ein, Speicher-Spitzenleistung 1,5 kW, Rest aus Netz

# Stromspeicher Varianten (Auswahl)

- Lithium-Ionen Akkus
  - Gängigste, kompakte Speicherform
  - Ableger aus dem Automobilbereich
  - Sehr unterschiedlich (emotional) bewertet bei Langlebigkeit, Umweltverträglichkeit, Sicherheit, ...
- Fuel-Cells (FC)
  - Funktionsprinzip bewährt aus dem Kraftwerksbereich (Grid-Buffer)
  - Kompakte Geräte für Privathaushalte seit 2018/19 auf dem Markt
  - Wirkungsprinzip einer reversiblen Brennstoffzelle (sowohl Reduktion, Oxydation)
- Wasserstoff-Brennstoffzellen (großtechnisch, bzw. erste Anlagen in Bau)
  - Aktuell auf Basis von reformiertem Erdgas, Aufwand zu lokaler Speicherung groß
- Ziel im Privathaushalt:
  - Pufferung über 24 Std. Zyklus (<10kWh)
  - Mehrere Tage (Schlechtwetterperioden) werden **nicht** abgedeckt
  - Nutzungsprofil definieren (Speicherkapazität, Spitzenleistung)
  - Forderung an den Stand der Speicher-Technik: effizient, günstig, sicher, zuverlässig

# VRFC = Vanadium Redox Flow Cell Stromspeicher

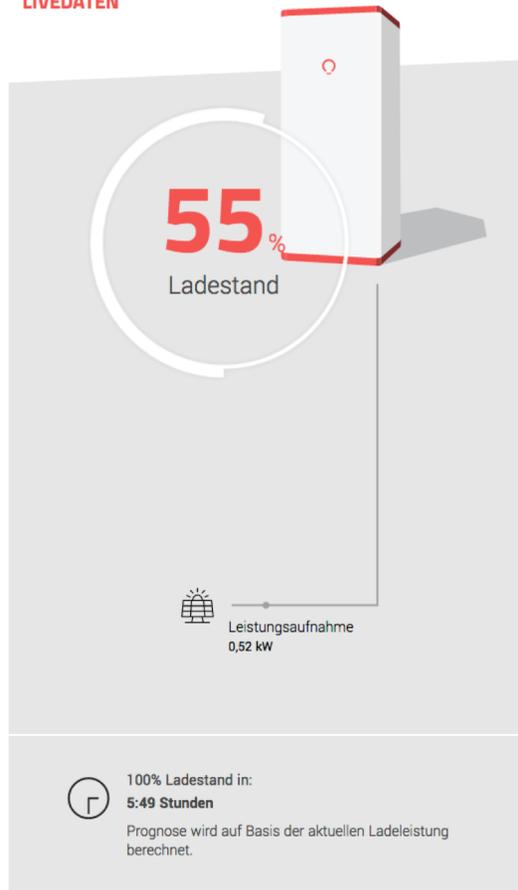
- 6,9 kWh Kapazität, 1,5 kW Spitzenleistung
- Beachten: Größe + Aufstellungsort
  - Geräusche (Pumpen, Ventilatoren)
- Kosten 2018: ca. 6.500 € (1.000 Euro/kWh)
- Hohe Sicherheit (nicht-brennbare Flüssigkeit)
- (r)ein-/(r)aus-Effizienz (geschätzt, Literatur): 80%
- Langlebig, keine Kapazitätsabnahme
  - + Unkritische Entsorgung, Sicher, ...
- Gute Nachrüstbarkeit, da AC-gekoppelt, unabhängig vom Wechselrichter (nur 2 zusätzliche Leistungsmesser)
- Keine Kommunikation mit der PV-Anlage, netzgeführt
- Physikalisches Funktionsprinzip siehe Wikipedia
  - <https://de.wikipedia.org/wiki/Vanadium-Redox-Akkumulator>

Beachte: Jeder Speichertyp hat seine individuelle Lade-/Entladekurve + max.Leistung, d.h. 100% Leistung steht typ. nur am Anfang zur Verfügung (Leer bzw. Voll)



# Monitoring der Speicherladung

LIVEDATEN



VERLAUFSDATEN



STROMSPEICHER



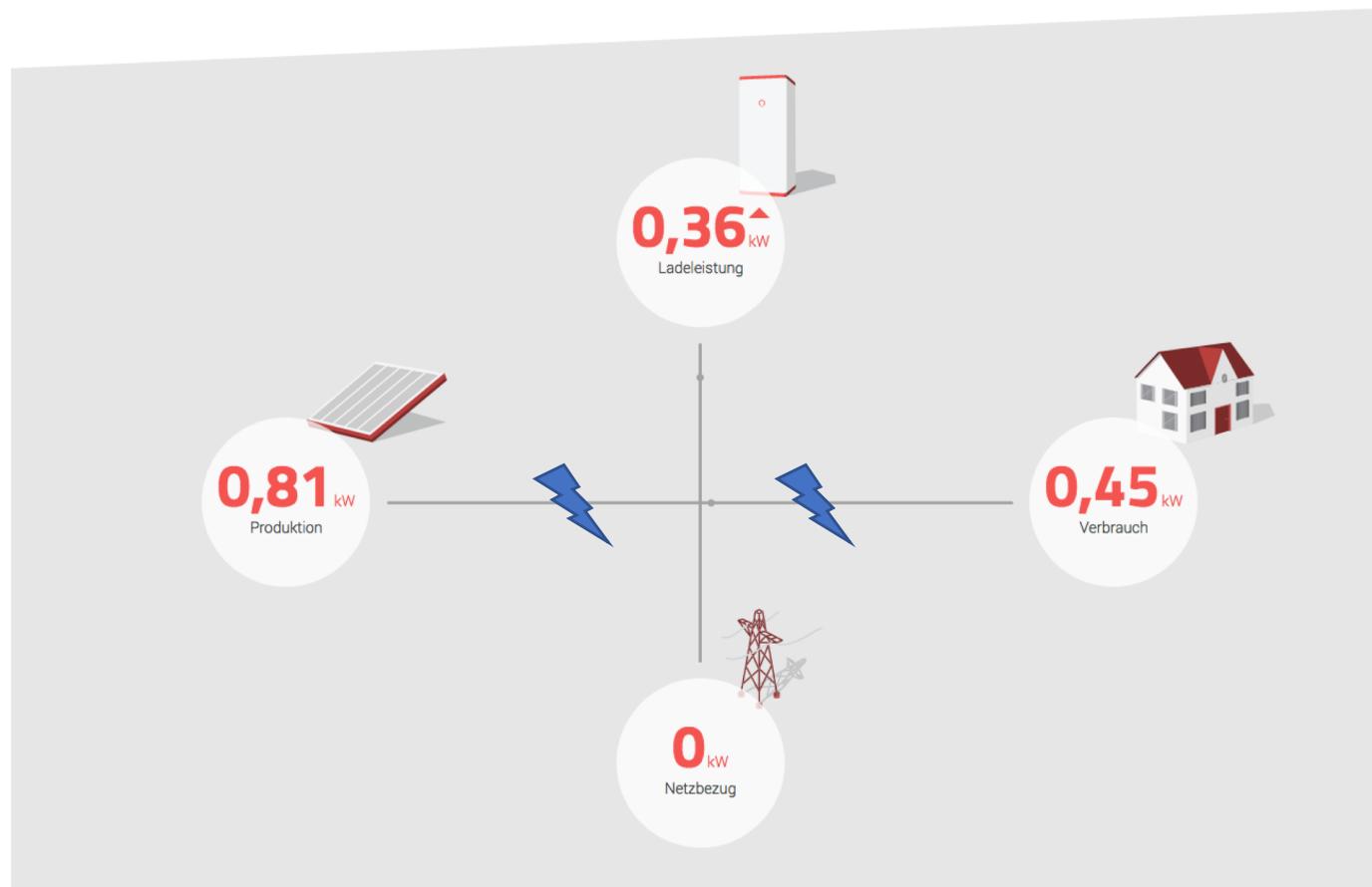
Energieaufnahme



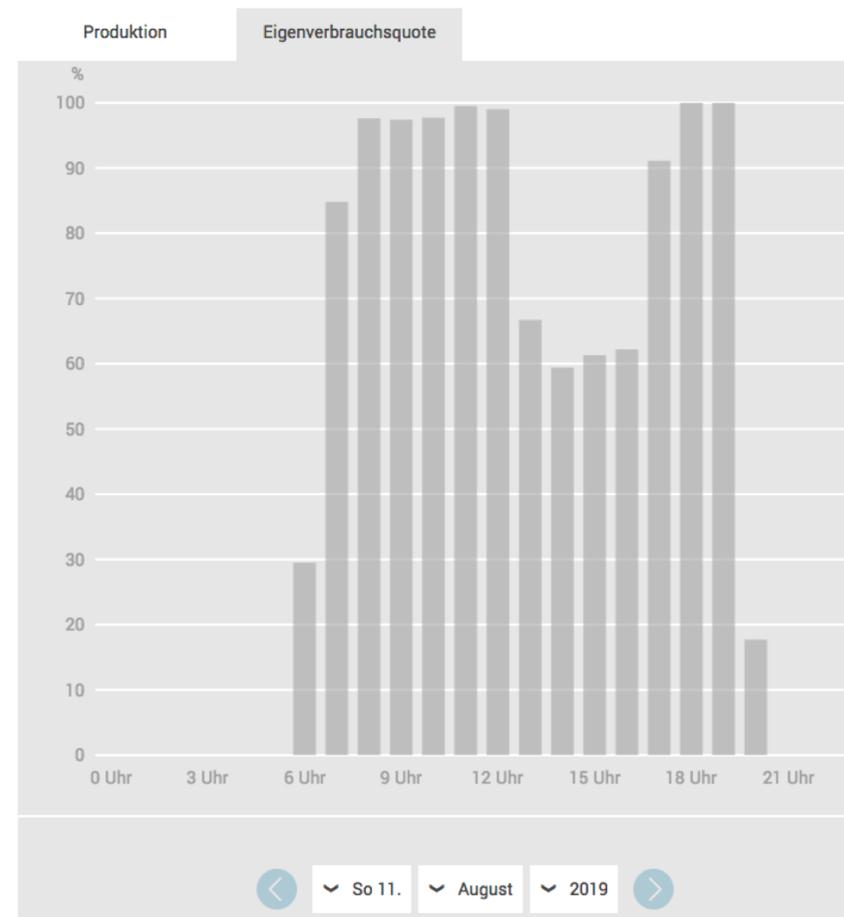
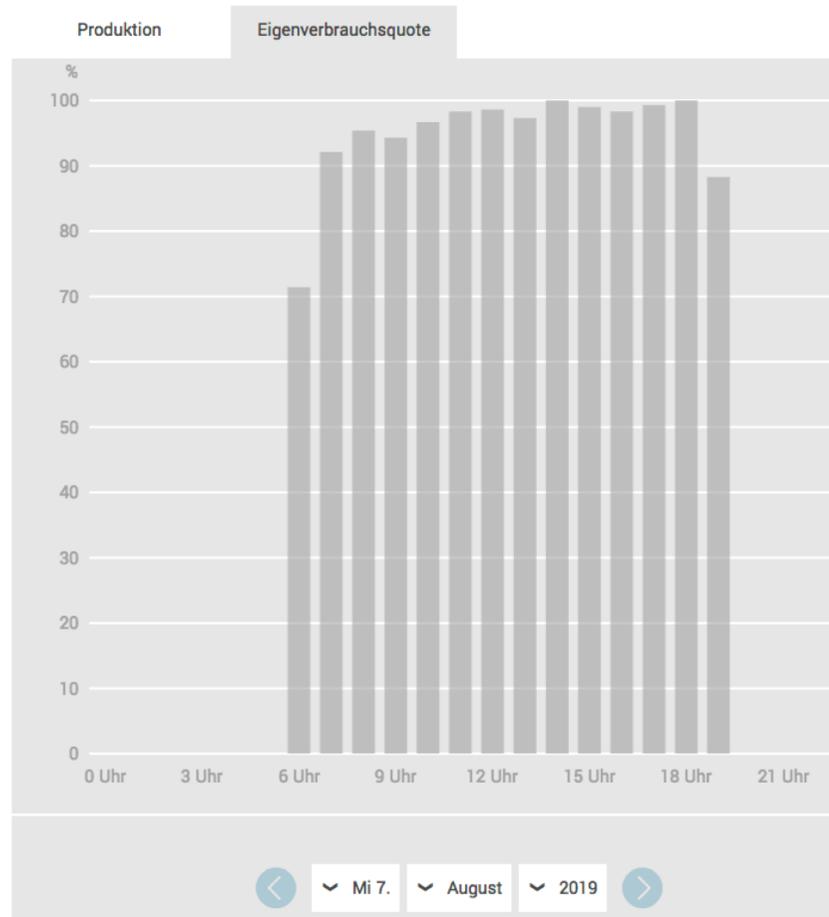
26.08.2019

# Netzneutralität durch angepasste Speicherladung/-entladung

LIVE-ÜBERSICHT

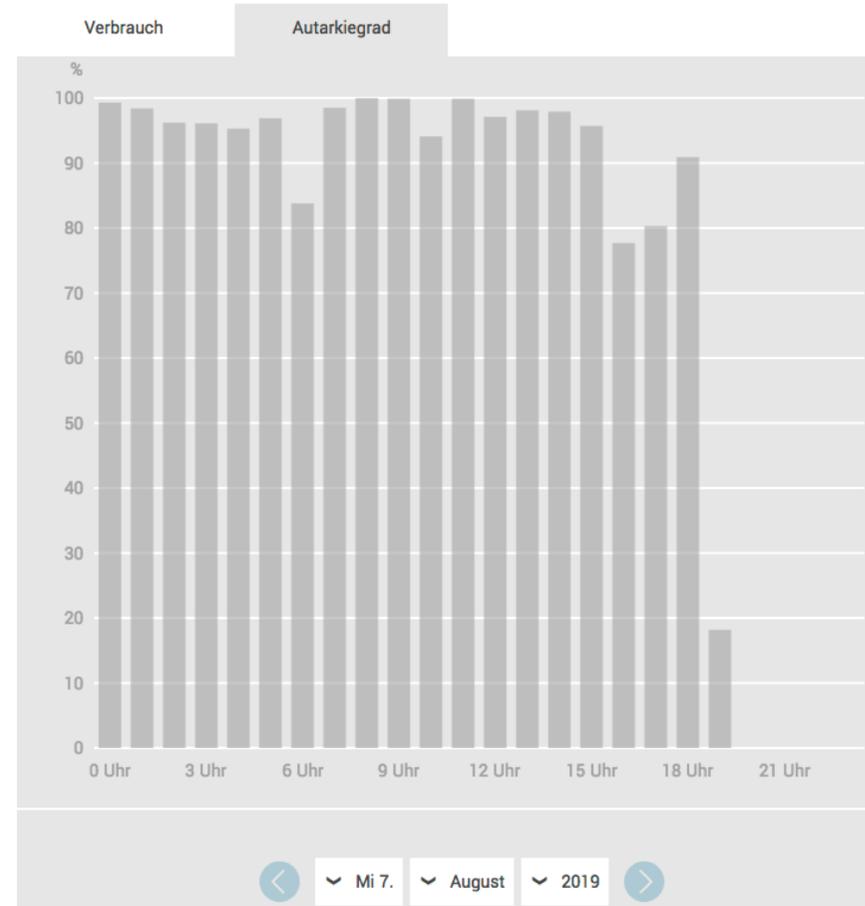
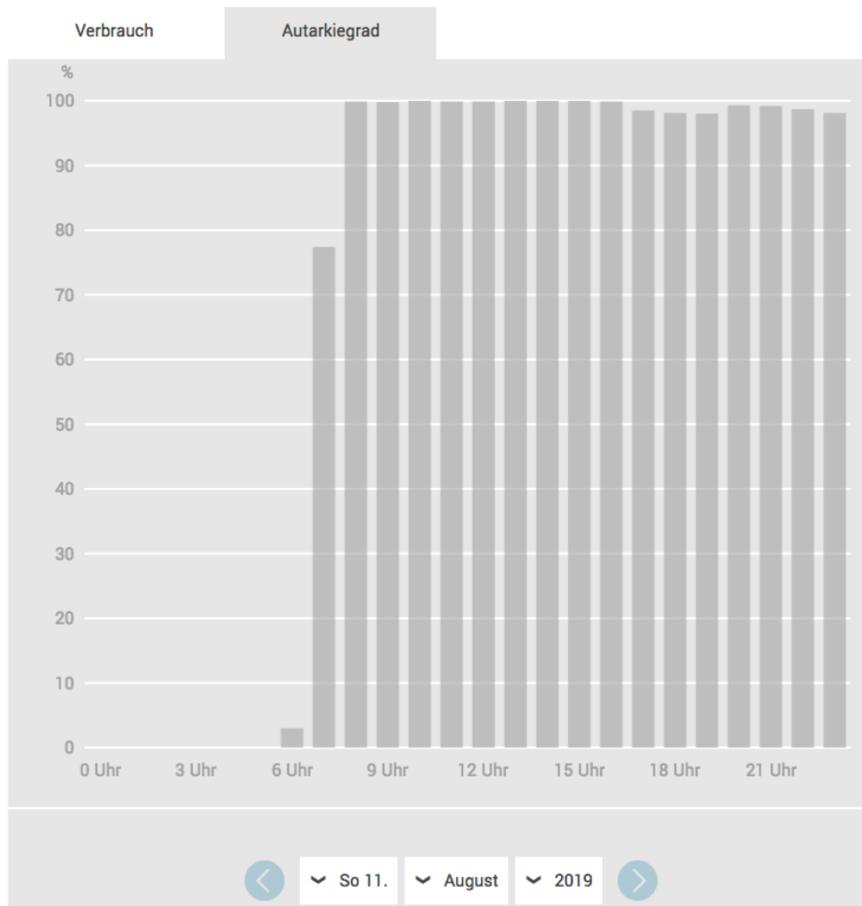


# Eigenverbrauchsquote



Die Eigenverbrauchsquote gibt an, wie viel Prozent des aktuell produzierten Solarstroms direkt im Haushalt verbraucht bzw. gespeichert wird und damit nicht ins Stromnetz eingespeist wird

# „Autarkiegrad“ = Selbstversorger-Grad



Der Autarkiegrad gibt an, wie viel Prozent des aktuellen Strombedarfs durch die Solaranlage bzw. den Stromspeicher gedeckt wird und damit nicht aus dem Stromnetz bezogen wird -> dies geht so nur mit Speicher! (Leider keine Statistik verfügbar wieviele Std./Jahr z.B. >90%)

# Auswirkungen des Speichers auf die Netzbelastung

Ein lokaler Strom-Speicher wirkt in verschiedener Weise:

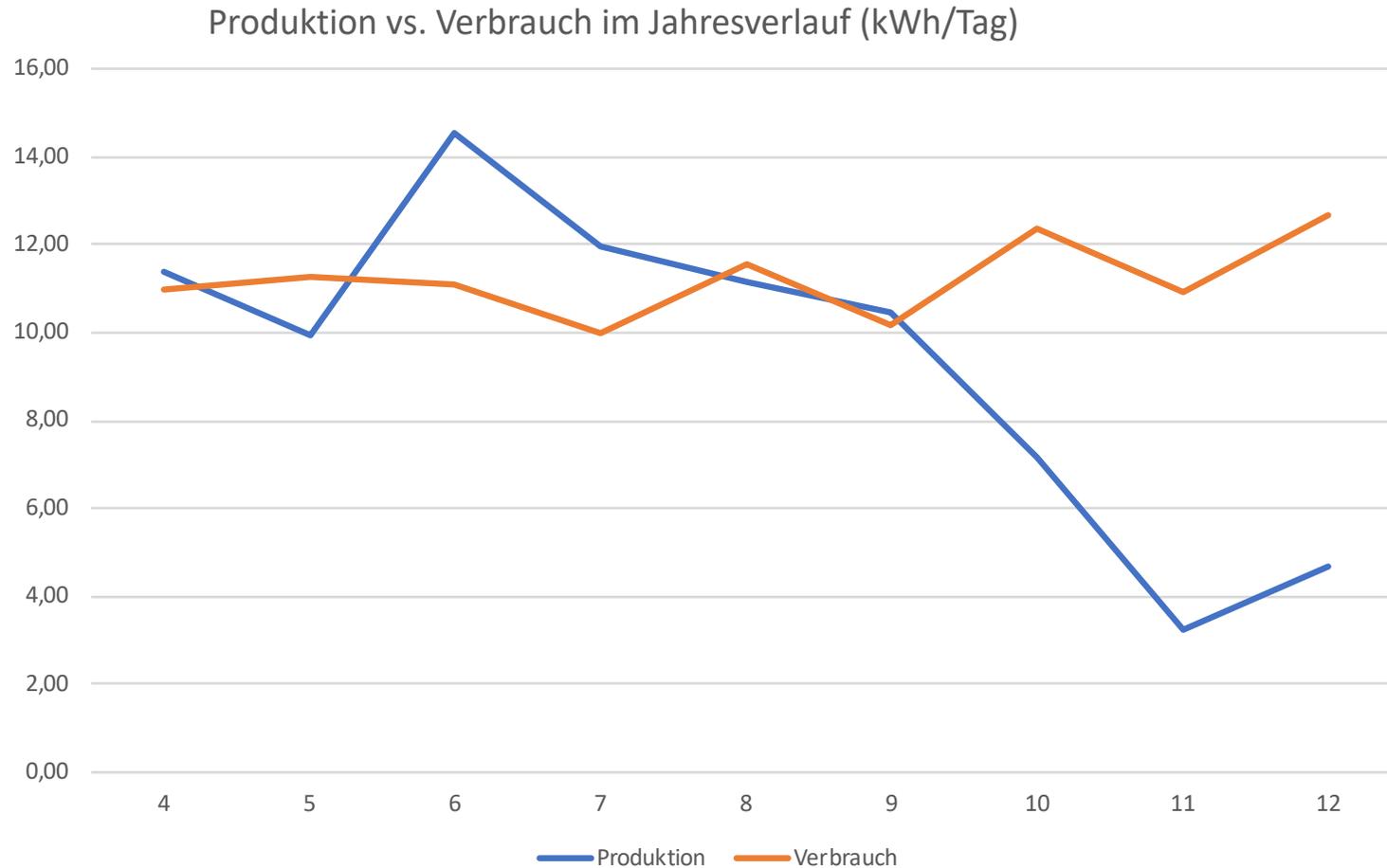
1. Speicherung des Solarstroms zur Steigerung des Eigennutzungsanteils („eigener Strom ist billiger“) + **Reduktion** der Netz-Gesamtbilanz
2. **Reduktion** der Einspeisespitzen im Sommer verursacht z.B. durch „reine/ungepufferte“ PV-Anlagen. Durch prognose-gesteuertes Laden könnte dieser Effekt weiter gesteigert werden
  - „Einspeisen->Laden-> Einspeisen“ statt „Laden->Einspeisen“
3. **Reduktion** der Lastspitzen beim Betrieb von „Energiefressern“. Im Idealfall kommt die Leistung komplett aus Akku und vom Dach. Das hilft auch bei geringfügig geladenem Speicher und teilweise Sonnenschein.

Unter allen 3 Aspekten ist der Speicher ein positiver Beitrag zur dezentralen Versorgung

# Verbrauchsoptimierung (Strom)

- Beleuchtung (defekte/neue Lampen durch LED ersetzen)
- Einbau moderner Zirkulations-Pumpen (für Solarthermie, Heizung, Warmwasser)
- Kühlgeräte -> Einschalten bei Überschuss (z.B. Wärmepumpe im Sommer zur Kühlung)
- Kochen -> z.B. Umstellung auf Gas
- Backen -> Kombi-/Mikrowelle -> schneller, kleiner
- Waschen -> Anschluss an „Solarwasser“ + PV
- Wassererhitzung möglichst gering elektrisch (außer z.B. Wasserkocher) -> Vorwärmen mit Solarthermie oder Wärmepumpe

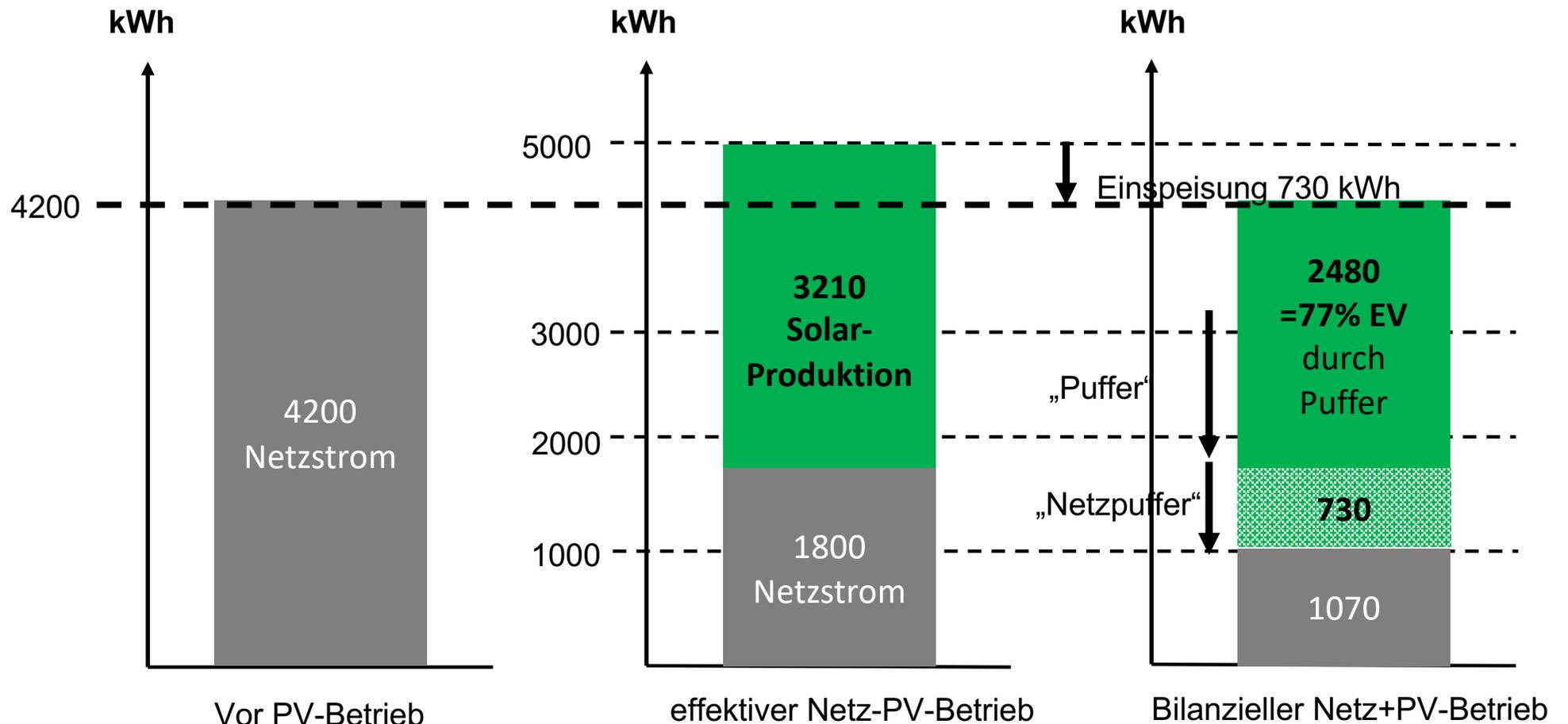
# Stromverbrauch vs. PV Produktion



- Abdeckung des durchschnittlichen Tagesbedarfs über das Sommerhalbjahr (ca. März-September)

# Jährl. Stromverbrauch im Haus (3..4 Personen)

Basis: 4200 kWh



- Durch die begrenzte Akku-Kapazität, Verfügbarkeit/Wetter und manuelle Laststeuerung kommt es weiter zu Angebot und Nachfrage-Unterschieden = **Einspeisung + Netzbezug**
- Resultat: **77% direkte Eigennutzung (EN) des PV-Stroms**, Reduktion Netzbezug um 75% (bilanziell) – ohne Speicher wahrscheinlich <<40% (eigene Daten nicht vorhanden)

# Eigenverbrauchsanteil Solar ohne Speicher

Um den durchschnittlichen jährlichen Stromverbrauch eines Drei-Personen-Haushaltes von 3.500 kWh solar zu erzeugen, wäre eine installierte PV-Leistung von etwa 4 kWp erforderlich. Der Strom wird allerdings nur selten genau dann im Tagesverlauf erzeugt, wenn er gebraucht wird. Auch jahreszeitlich kommt es zu großen Schwankungen in der Stromerzeugung infolge der unterschiedlichen Sonneneinstrahlung.

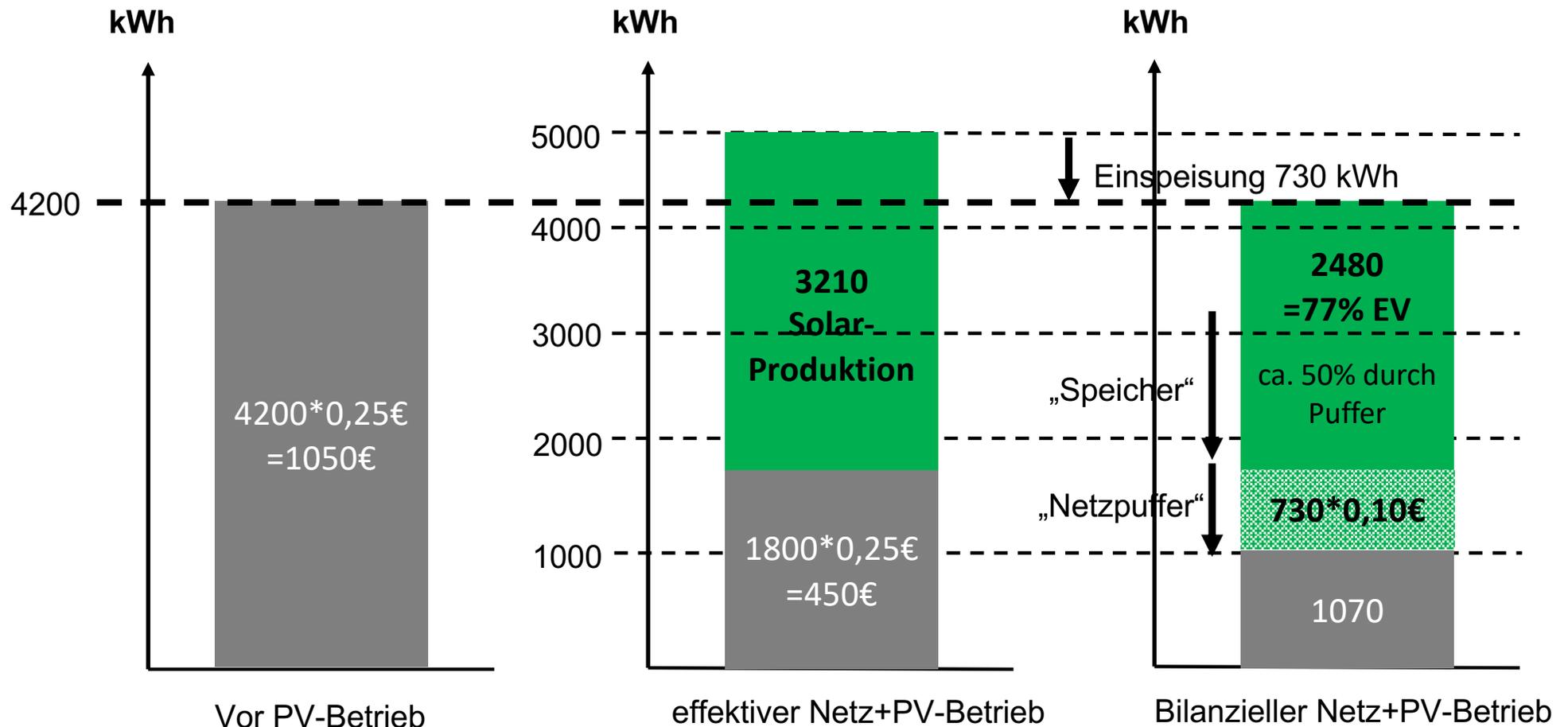
Der typische Eigenverbrauchsanteil am erzeugten Solarstrom übersteigt selten 30 Prozent (bezogen auf die oben genannte Konstellation). Mit einem Energiemanagement (gesteuerte Nutzung der Elektrogeräte zu Sonnenzeiten zum Beispiel) und/oder mit einem Batteriespeicher lässt sich dieser Anteil deutlich erhöhen.

Ohne Puffer wird der meiste Strom eingespeist,  
Mit Puffer >70% selbst genutzt

- Aus „Photovoltaik für Privathaushalte“:  
[https://www.verbraucherzentrale-rlp.de/sites/default/files/migration\\_files/media226239A.pdf](https://www.verbraucherzentrale-rlp.de/sites/default/files/migration_files/media226239A.pdf)

# Jährl. Stromverbrauch aus dem Netz sinkt auf 25%

Kosten/Preise - Annahme: 1kWh = 0,25€ (EK) = 0,10€ (VK)



- Aus **1050€**/Jahr werden  $450\text{€} - 73\text{€} = \mathbf{377\text{€}}$  -> bei 77% EN **Kosten-Reduktion um ca. 2/3**
- Beachte: "Eigenentnahme" wird versteuert, es kommen Zählerkosten hinzu  
EK ungleich VK = 0,15€ Differenz -> 109€ "Verlust", ...
- **Ohne Speicher** (25% EN, geschätzt):  $850\text{€} - 240\text{€} = \mathbf{610\text{€}}$
- **Ersparnis durch Speicher:**  $610\text{€} - 377\text{€} = \mathbf{233\text{€}}$  bzw.  $1605\text{kWh} \times 0,528 \text{ kg CO}_2 = \mathbf{847 \text{ kg CO}_2}$  (dt.Strommix)

# Bedarfs-Überschlagsrechnung

- Pro 1000 kWh/Jahresbedarf:
- **PV-Erzeugung**
  - 1 kW Spitzenleistung (theoretisch), ca. 3..4 Module ~ 5m<sup>2</sup> Fläche
  - Installation mit Ost/West/Vertikal für <70% Spitzenleistung (real)
  - 6kWh Energie/Tag (Spitze), 3 kWh (Mittelwert)
- **Speicher**
  - Spitzenlade-Leistung = PV-70%-Leistung
  - Kapazität: 50% der tägl. Max. PV-Produktion (kWh) – s.o.
- **Verbrauchersteuerung**
  - Verbrauch, wenn Überschuss-Leistung vorhanden
    - Sonne + Speicher >80% -> E-Auto, Klimagerät
  - Ablauf: nacheinander, damit Lastspitzen < Systemleistung
  - Timing ist (fast) alles, wenn man ansonsten weiter macht wie gehabt

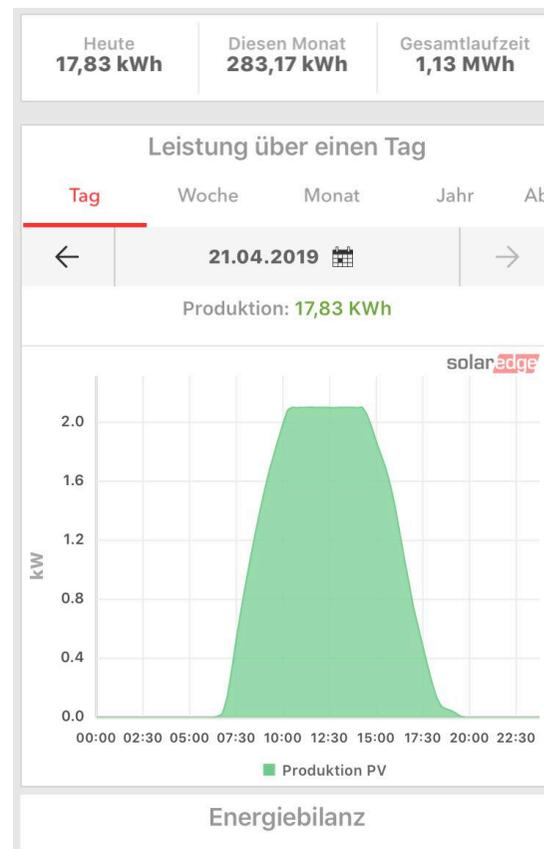
# Was würde ich empfehlen bzw. heute anders machen?

- Auslegung größer
  - Mehr PV Ost-West-Nord Anteil für „breite, flache“ P-Kurve <70%
  - PV steiler bzw. vertikal montieren (Winter, Schnee)
    - Beheizung?, Beschichtung?,
  - 20% der Dachfläche für Solarthermie reservieren
  - Energieberater konsultieren
- Integrierte Anlage
  - PV, Wechselrichter, Speicher, Wallbox aus einer Hand -> 1 App
- Über Fördermittel informieren + nutzen (vorher!)
  - Speicher (Gemeinde VAT, Staat/BAFA)
- PV-Sammelbestellungen nutzen (siehe Aktion Dez.19)
- Vor Montage alles in Ordnung bringen
  - Dachziegel-Zustand prüfen lassen
  - Dachisolation auf den neuesten Stand
  - ...

# Zusammenfassung

- PV + Speicher zur Eigenverbrauchsoptimierung funktioniert gut
  - Ökonomisch und ökologisch „vertretbar...sinnvoll“
  - Größere Unabhängigkeit von der Strompreisentwicklung
  - Alles läuft wartungsfrei im Hintergrund (Ferndiagnose!)
  - Merke: Man ist nach wie vor auf das „Grau-Netz“ angewiesen
  - AC-gekoppelte Speicher lassen sich an jeder existierende PV-Anlage betreiben -> Nachrüstbarkeit gegeben
- Voraussetzung:
  - Zum Verbrauch und der PV passend dimensionierter **Strom-Speicher** (idealerweise mit „grüner“ Technik, ohne „seltene Erden“)
  - Mitdenken: Angepasstes Verbrauchsverhalten (Last-Spitzen vermeiden)
  - Zukünftig: intelligentes Last-Management inkl. vorausschauender Planung der hausinternen Verbraucher + Wetterführung
- PV-Dimensionierung und Modul-Platzierung sollte so sein, dass es zu einer möglichst hohen MITTELWERT-Produktion kommt, so dass die Spitzenproduktion von 70% selten überschritten wird.
- Mini-Alternative – auch für Mieter – bevor man gar nichts macht:
  - Balkon-Solaranlage bis 600W zur Grundlastreduktion

# Ende -> Ein sonniges 2020!



Jeder kann und sollte mit Solarenergie vom eigenen Dach/Balkon seinen Beitrag leisten!