



Im Auftrag der Stadt Heidelberg - Amt für Umweltschutz,
Gewerbeaufsicht und Energie:

Photovoltaik verknüpfen mit Wärmeerzeugung und Mobilität – Sektorenkopplung im Eigenheim

Präsentation erstellt von J. Neumann, Sandhausen 07. Februar 2024

<https://parentsforfuture-heidelberg.de/kontakt/>





Referent Jens Neumann

- Verheiratet, zwei Kinder
- Physiklehrer, unterrichtet u.a. Klimaschutz und Erneuerbare Energien

- Aktiv bei Parents4Future Heidelberg
- Mitgründer von BI Heidel-Solar.de
- Montage Planung und Montage von PV-Anlagen als Minijobber

Sektorenkopplung im Reihenhaushaus (WEG):

- 17 PV-Module auf Dach und Balkon
- Wärmepumpe für Brauchwasser
- Heizen mit Multi-Split-Klimaanlage = Luft-Luft-Wärmepumpe
- Elektroauto
- Wallbox in Tiefgarage mit PV-Überschussladen
Zugang Nachbar:innen via RFID-Chip



Inhalt der Präsentation

- Vorstellung Referent
- Sektorenkopplung im Eigenheim – Wozu?
- PV-Anlage
- Stromladen ins Elektroauto
- Heizen mit Strom
- Effizienzsteigerungen am Beispiel



PV und Sektorenkopplung – Wozu?

Gesellschaft

- **Klimaschutz durch Dekarbonisierung**
(Reduktion Treibhausgase)
- Erhebliche **Reduzierung** des **Energiebedarfs** für **Gebäude** und **Mobilität**
- **Entlastung des Stromnetzes**

Persönlich

- **Finanzieller Vorteil** möglich
- **Komfortgewinn**
- **Dach: Hitzeschutz** und **Verwitterungsschutz**
- **Wertsteigerung** der **Immobilie**



Photovoltaikanlage – Was ist das?

Eine PV-Anlage

... schiebt **Energie** von der **Sonne** ins elektrische **Hausnetz**



... **reduziert** die **Stromrechnung** um die **geerntete Energiemenge**, die man **selbst verbraucht**

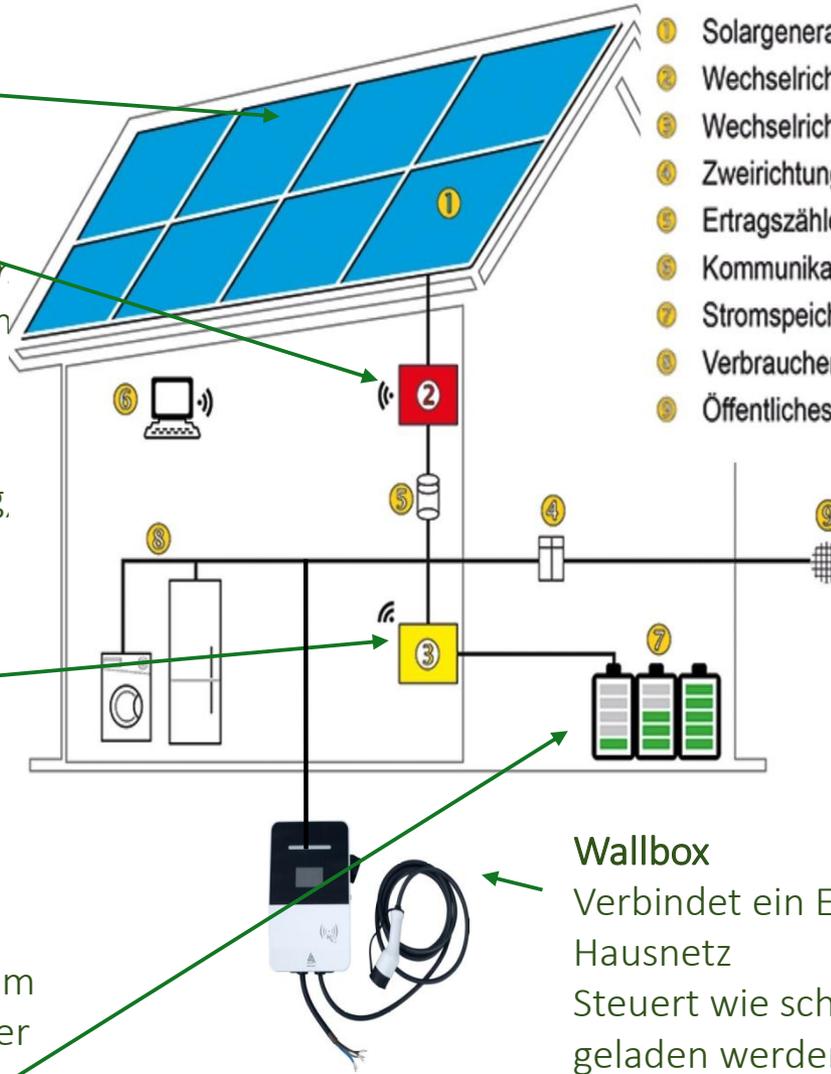
(Eigenverbrauch) pro kWh ca. 35 Cent

... **speist** die **nicht** im Haus **genutzte Energiemenge** ins öffentliche Stromnetz **ein**

(Einspeisevergütung) pro kWh ca. 8 Cent



- 1 Solargenerator
- 2 Wechselrichter-Solargenerator
- 3 Wechselrichter-Stromspeicher
- 4 Zweirichtungszähler
- 5 Ertragszähler (ab 30 kWp Anlagenleistung)
- 6 Kommunikation/Steuerung
- 7 Stromspeicher
- 8 Verbraucher
- 9 Öffentliches Stromnetz



PV-Module (Solargenerator)

Stromerzeugung Gleichstrom DC

Wechselrichter

Umwandlung in Wechselstrom AC

Stromnetz mit 230 V / 50 Hz Wechselstrom

Kommunikation über LAN/W-LAN mit dem Internet

optional:

Energiemanager zur Anlagenüberwachung, sonst Anlage „dumm“

Batterie-Wechselrichter

Umwandlung AC Wechselstrom in Gleichstrom DC zur Batterie und zurück in Wechselstrom AC zu den Verbrauchern

Verbindung über LAN/W-LAN mit dem Internet

Entfällt beides bei Hybridwechselrichter:

Batterie- und Solar-Wechselrichter in einem Gerät. 2 Umwandlungen weniger = weniger Verluste

Wallbox

Verbindet ein E-Auto mit dem Hausnetz
Steuert wie schnell das E-Auto geladen werden kann.

Batterie (Heimspeicher, Stromspeicher)

Speichert Energie z.B. für den Verbrauch in der Nacht.

**Strombetriebene Wärme-
erzeuger kommen hinzu**



Was leistet eine Solaranlage?

**Luft-Luft-
Wärmepumpe bis 2 kW**

Handyladegerät 5W

Laptop 70W

**Brauchwasser-
Wärmepumpe 450 W**

Waschmaschine: bis 3 kW
Heizen, 200W Drehen der
Trommel, 400W Schleudern

15 PV-Module:

Jeden Tag
durchschnittlich 12h
lang 1700 Watt
=> 20,4 kWh

Fluktuierend 0 bis
max. 6 kW

**IR-Heizplatte 300
bis 1200 W**

Kühlschrank
120W

Fön 2 kW

Wallbox 1,4 bis 22 kW

Ladegerät E-Bike
50W bis 200W



Was leistet eine PV-Anlage?

Beispiel Vollbelegung auf Reihenhaus Süd-Dach:

15 Module können bei uns **jährlich ...**

... 7800 kWh elektrische **Energie ernten!**

Anmerkung Referent: Das ist **mehr** als wir als vierköpfige Familie **für den Hausstrom**, das **Warmwasser** (Brauchwasserwärmepumpe), die **Heizung** mit Splitklima-Anlagen und **12000 km Elektroauto** brauchen! 😊😊😊😊

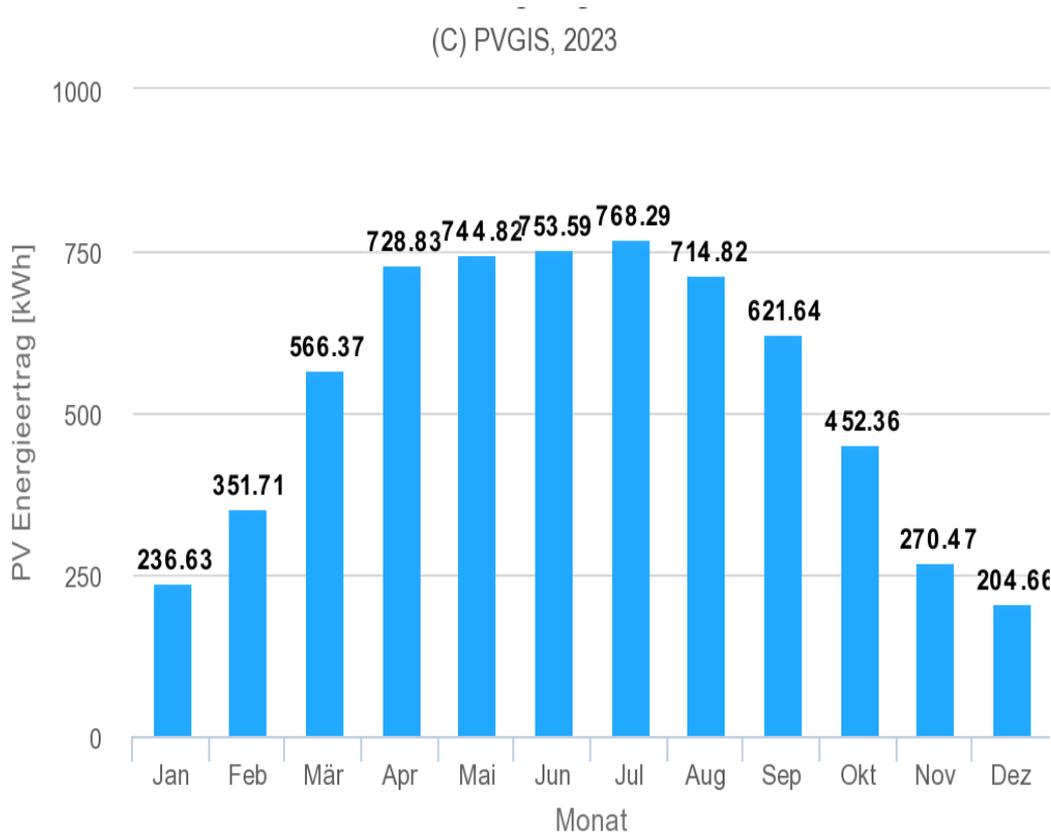
Verbrauch Fam. Neumann	
Haushalt	2000kWh
Warmwasser	1000kWh
E-Auto	1680kWh
Heizen Klima	2000kWh
Summe	6680kWh

Anmerkung: Referenten-PV-Anlage hatte Jahresernte von 6800 kWh bei 370 Wp – Modulen. Heute werden 430 Wp Module verbaut.



Ertragsprognose mit **Tool PV-Gis:**
 Reihenhaushdach Sandhausen (15 Module je Dach)

Süd, 30 Grad Dachneigung



Jan nur ca. 7 kWh
 pro Tag
 bei ca. 20 kWh
 Strom für
 Wärmebedarf



- Die **Nennleistung** in der Einheit **Wp** gibt die Spitzen-**Leistungsfähigkeit** des **Moduls** an (Kenndatenblatt).
Wp = Watt peak
- Bestimmung im Labor bei **25 °C** unter einer Beleuchtung von **1000 W pro m²** gemessen, was gleißendem Sonnenschein entspricht
- **Nennleistung** Standard-Module: bis **440 Wp** bei 2m²
- Die **Nennleistung** einer **PV-Anlage** wird **in Kilowattpeak angegeben**:
z.B. **6,6 kWp**, gesprochen „**6,6 Kilowatt peak**“
- Entscheidend ist die **Nennleistung pro** zur Verfügung stehender **Fläche**.



Energiemenge in Wattstunden = Leistung in Watt x Zeitdauer in Stunden

Z.B.: Fahrradergometer **Leistung** von **100 Watt** eine **Dauer** von **10 Stunden** pedalisieren
 = 100 x 10 x Watt x Stunde
 = 1000 Wattstunde = 1000 Wh = 1 kWh

in der Maßeinheit **Wattstunde = 1 Wh**
 oder **1000 Wh = 1 kWh = eine Kilowattstunde**



- **1 kWh** braucht es etwa für **1x Wäsche/Geschirrspülmaschine, 1 h Föhnen**
- **1 kWh** sind in **100 ml = 1/10 Liter Benzin** enthalten
- **1 kWh** kostet beim Stromversorger **30 bis 40 Cent**



Kapazität Speicher:

- Batterie Photovoltaik typischerweise **3,7** bis etwa **10 kWh** elektr. Energie
- Batterie Elektroauto 30 bis **100 kWh** elektr. Energie
- Brauchwassertank 200l Strom) **10 kWh** Wärmeenergie (Wärmepumpe: ca. 3 kWh





Ansteuerungsmöglichkeiten der Wallbox mit den Zielen

- möglichst **viel PV-Strom ins E-Auto** zu laden und
- möglichst **wenig Strom aus dem Netz** beziehen zu müssen
- den **Eigenverbrauch des PV-Stroms zu erhöhen**
- die **Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage zu erhöhen**

Vielleicht auch interessant bei gemeinsamer Nutzung einer Wallbox und/oder Vielfahrer:

Dynamisches Lastmanagement in Abhängigkeit vom Hausanschluss, PV-Überschuss und Strombedarf der Verbraucher im Haus mit den Zielen

- Maximierung der Ladeleistung (Mehr km pro Zeit laden)
- Laden mehrerer Autos gleichzeitig möglich
- ohne den Hausanschluss zu überlasten



Laden an der Steckdose mit dem Ladeziegel (meist im Lieferumfang E-Auto):

- Dauerleistung von 1,4 bis zu 2 kW an der Schukosteckdose sicher möglich*
- Mit **Ladeleistung** von **2 kW** dauert es bei einem **Verbrauch** von **14 kWh / 100 km** etwa **sieben Stunden**, bis **100 km** geladen sind

Vorteile:

- **Anschaffungskosten 0,-€**
- keinerlei technischer Aufwand



Nachteile:

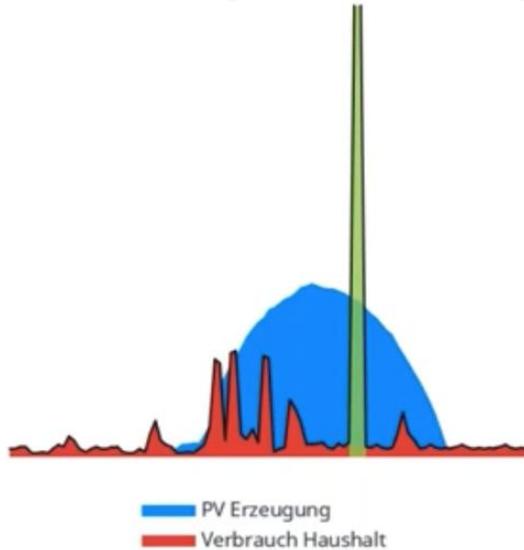
- Ladeleistung begrenzt
- Ansteuerung für PV-Überschuss nicht ohne weitere technische Einrichtungen gegeben

* Mit Legrand-Steckdose und eigenem Stromkreis bis 2,7 kW



Ansteuerungsmöglichkeiten mit PV

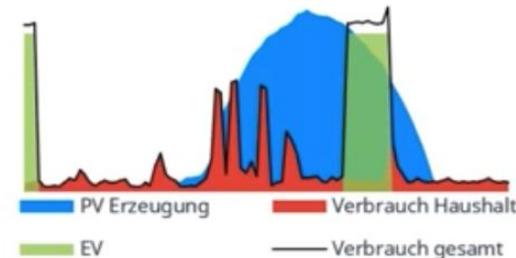
Beispiel mit 5 kWp PV – Ladung 11kWh ab 16:00 Uhr - sonniger Tag



Ohne intelligente Ansteuerung

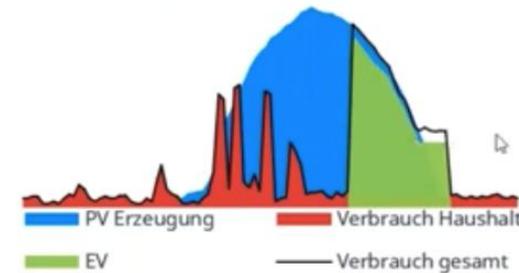
Autarkie ~ 30 %

Nachtlad



Ansteuerung mit Fronius Wechselrichter I/O

Autarkie ~ 60%



Dynamische Regelung Wattpilot

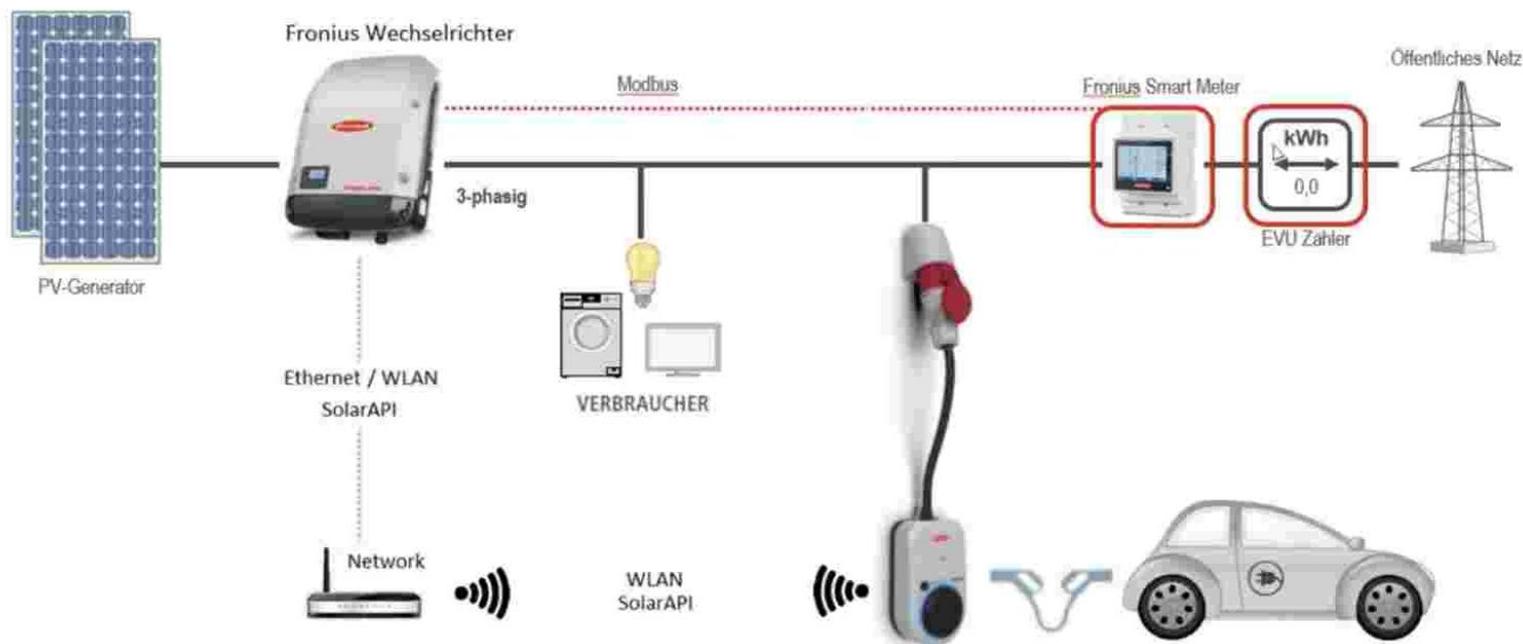
Autarkie ~ 90%

<https://youtu.be/OO6i00nYZOo>

Grün: Geladene Energiemenge ins Elektro Auto



Dynamische Ansteuerung – Fronius Wattpilot



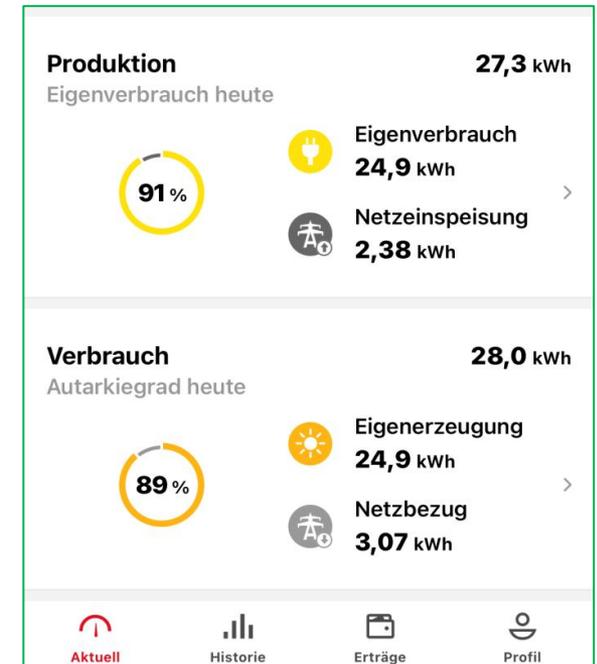
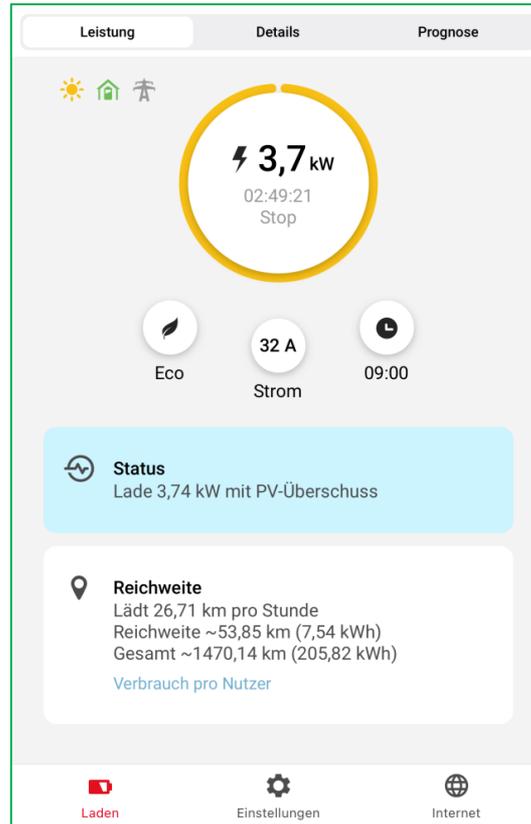
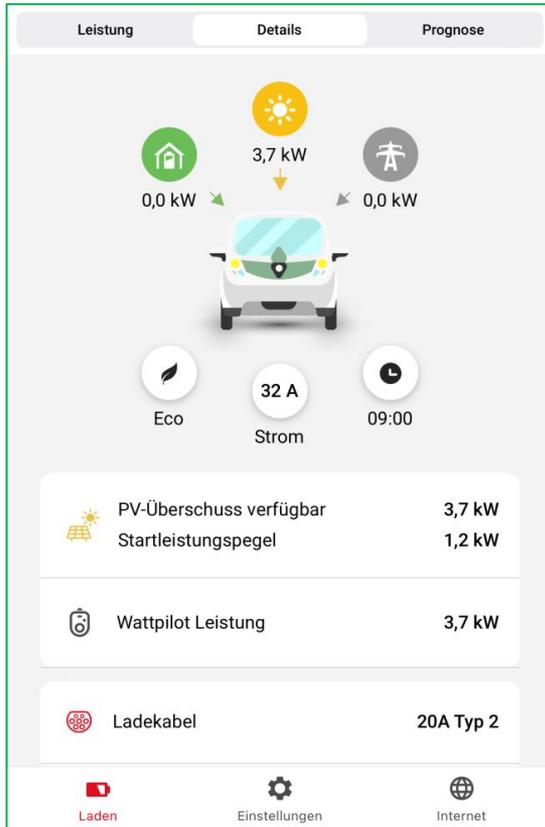
<https://youtu.be/OO6i00nYZOo>

Der Wechselrichter erhält vom Smartmeter Information über PV-Überschuss und reagiert mit Befehl an die Wallbox zur Anpassung der Ladeleistung. Strom, der nicht im Haushalt gebraucht wird, landet in der Autobatterie.

Ist kein Überschuss vorhanden, lädt die Wallbox nicht und wartet. Der Ladevorgang wird gestoppt, wenn der im Auto eingestellte maximale Batterieladezustand erreicht ist oder manuell (Handy-APP oder Ausstecken).



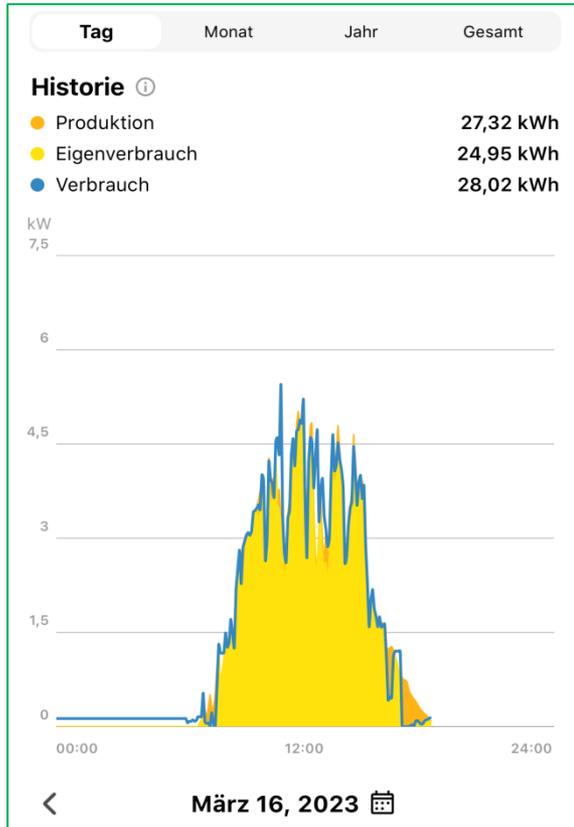
Dynamisches PV-Überschussladen (Handy-App Fronius Wattpilot)



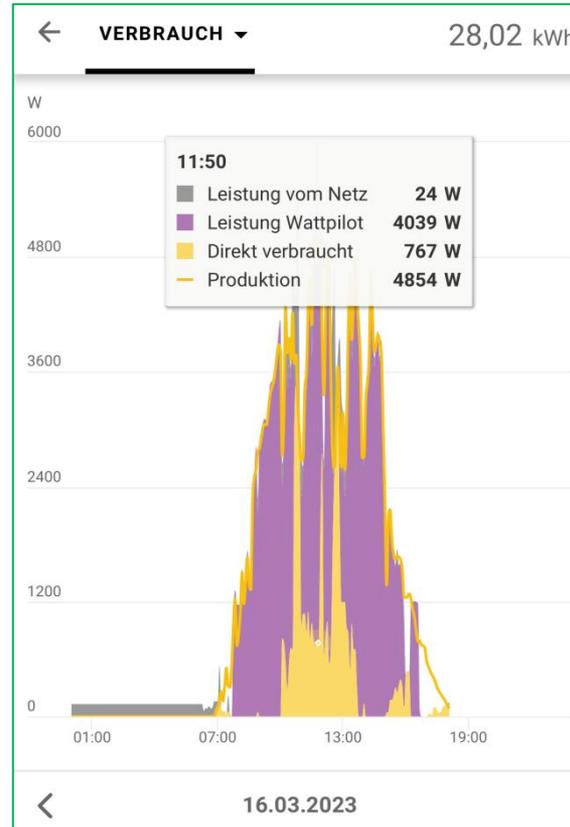
Vom Tagesertrag 27,3 kWh konnten 91% = 24,9 kWh verbraucht werden. Der Verbrauch wurde zu 89 % durch die PV abgedeckt. Ermöglicht wurde dies durch die Kommunikation zwischen Wechselrichter, Smartmeter und Wallbox/Auto.



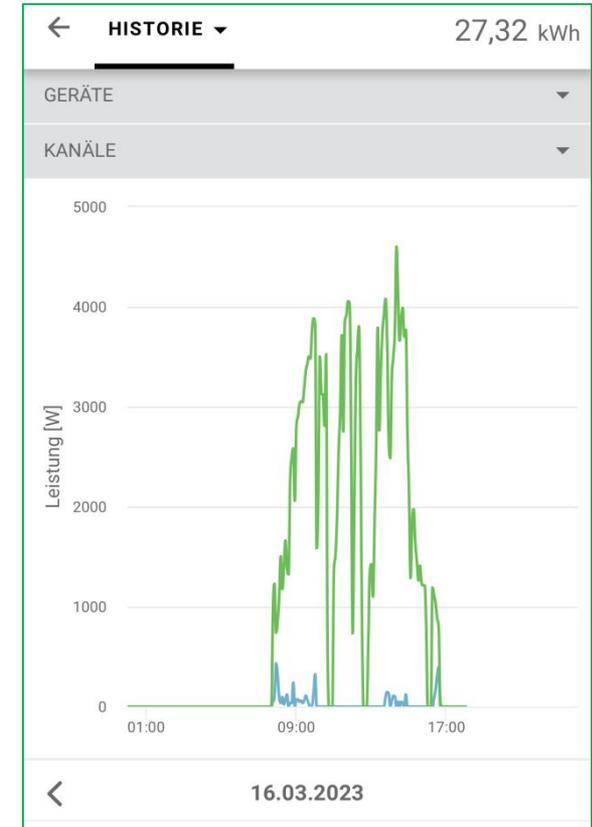
Dynamisches PV-Überschussladen: Die Ladeleistung passt sich der Erzeugungskurve an



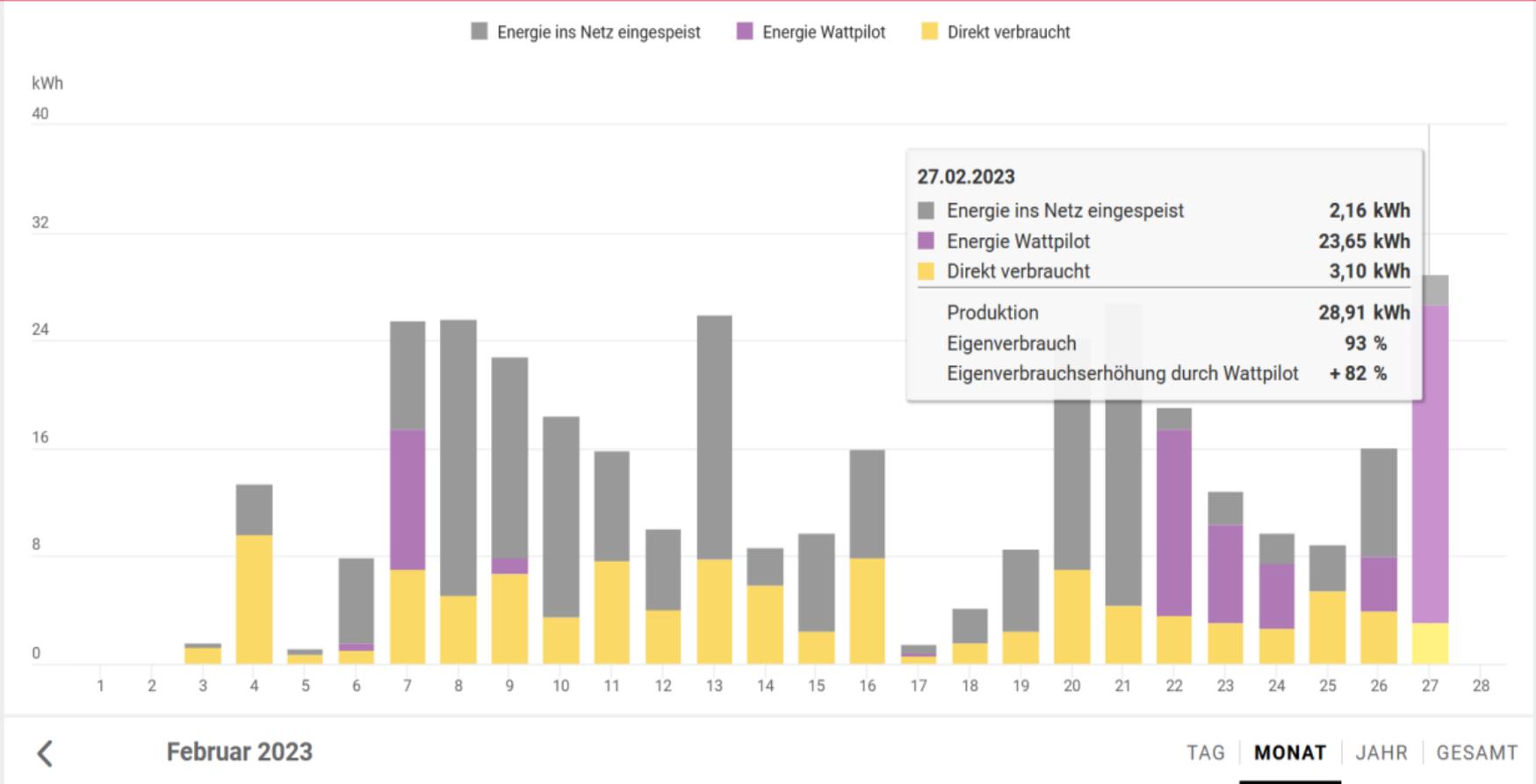
Handy-App
 Eigenverbr. (gelb)
 Einspeisung (orange)



Ausgewählte Daten im Solarweb
 Leistung Wallbox (Violett)
 Hausverbrauch (gelb)

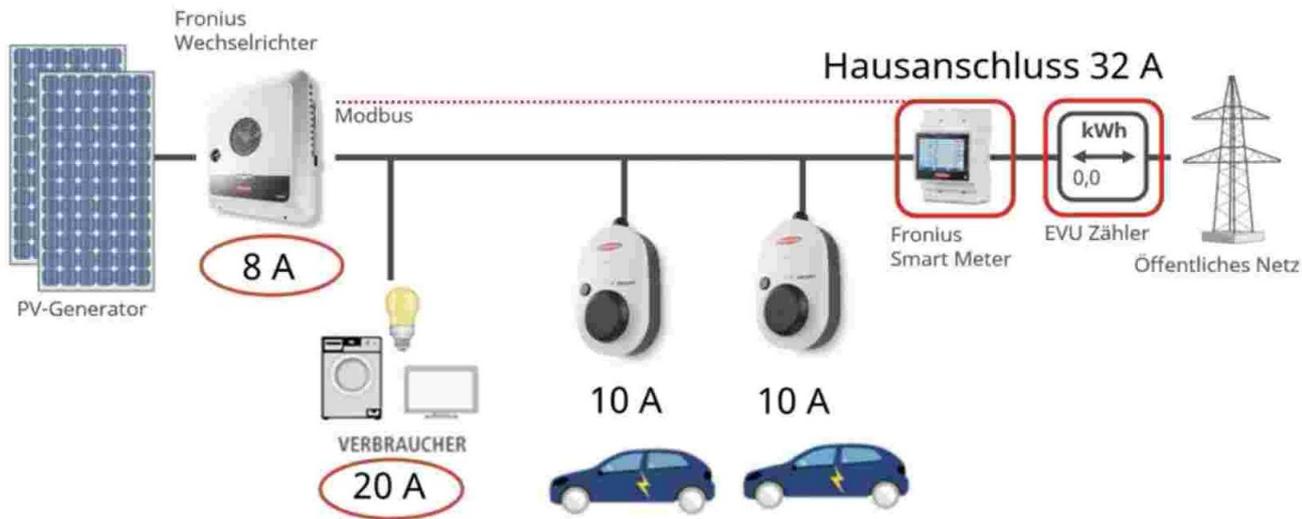


Wallbox PV-Strom (grün)
 Wallbox Netzbezug (blau)
 17





Dynamisches Load Balancing



<https://youtu.be/OO6i00nYZOo>

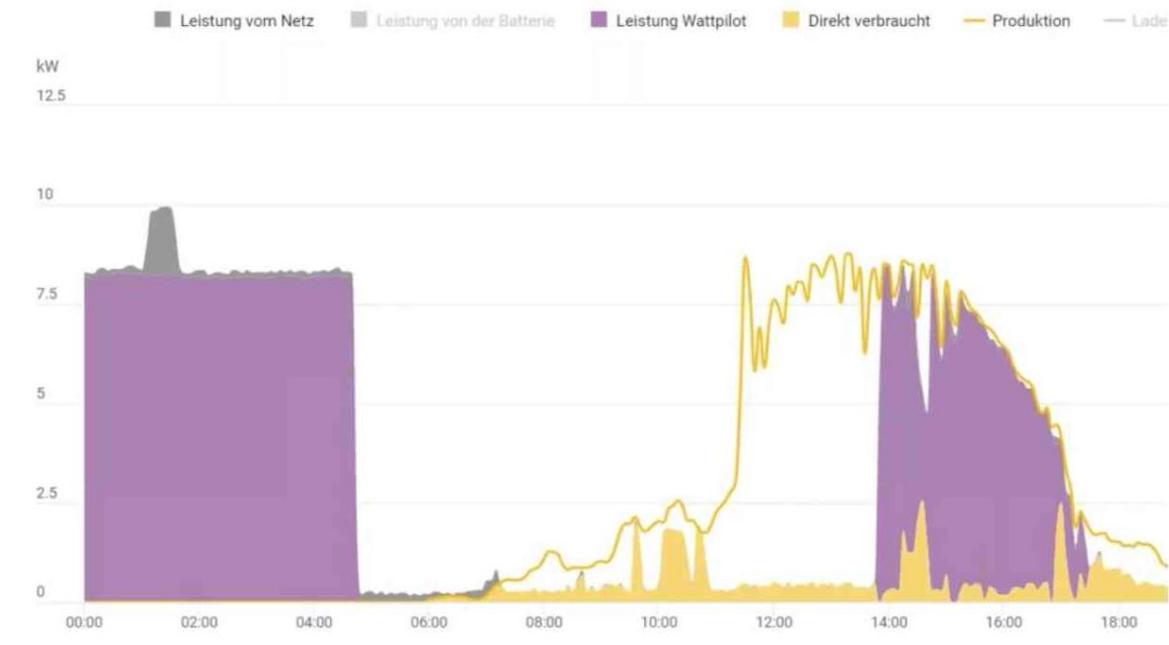
Dynamisches Lastmanagement ermöglicht die **maximale Ausnutzung des Hausanschlusses 32A**, ohne diesen zu überlasten: Die Wallboxen erhalten die maximal mögliche Stromstärke in Abhängigkeit von der Stromerzeugung und dem sonstigen Strombedarf im Haus.

Beispiel: Verbraucher + Wallboxen = 40 A, Belastung Hausanschluss = 32 A.

Dynamik: Sinkt die Last der Verbraucher oder erhöht sich die Produktionsleistung, so wird die Ladeleistung der Wallboxen erhöht.



Next Trip Mode



<https://youtu.be/OO6i00nYZOo>

Soll das Auto zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte Reichweite geladen haben, kann dies in der APP festgelegt werden, z.B. **100 km bis 6 Uhr morgens**. Falls die eingestellte Reichweite nicht durch PV-Überschuss erreicht wird, so lädt das Auto automatisch Netzstrom nachts nach.



Begrenzende Faktoren für die Ladeleistung:

- Zuleitung (Anschluss) bzw. Hausanschluss - Absicherung.
- Wallbox oder mobiles Ladekabel
- Typ 2 Ladekabel (20 A oder 32 A)
- Onboarding-Ladegerät im Fahrzeug
- 1-/2/3-phasig, 6 bis 32 A)

Ausschlaggebend für die maximale Ladeleistung ist immer das schwächste Glied in der Kette

Technische Grundwissen:

https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/technisches-grundwissen



Technische Grundwissen: https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/technisches-grundwissen
https://www.mobilityhouse.com/de_de/ratgeber/laden-sie-ihrelektroauto-mit-eigenem-pv-strom-und-fahren-sie-100-emissionsfrei

Wie wird die Ladeleistung berechnet?

Ladeleistung (Einphasenwechselstrom):

Ladeleistung (3,7 kW) = Phasen (1) * Spannung (230 V) * Stromstärke (16 A)

Ladeleistung (Drehstrom, Dreiphasenwechselstrom), Sternschaltung:

Ladeleistung (22 kW) = Phasen (3) * Spannung (230 V) * Stromstärke (32 A)

Alternativ: Ladeleistung (Drehstrom, Dreiphasenwechselstrom), Dreieckschaltung:

Ladeleistung (22 kW) = Wurzel (3) * Spannung (400 V) * Stromstärke (32 A)

Wie wird die Ladedauer berechnet?

Ladezeit = Batteriekapazität / Ladeleistung

Beispiel: 7 h = 75 kWh / 11 kW

Tipp: Für das Laden zuhause genügt eine Wallbox mit 11 kW

Auto lädt damit bis zu fünfmal so schnell wie an der Steckdose.

Hinweis: Fahrzeug braucht an der Wallbox mindestens 6A (1,4 kW) pro Phase, um das Laden zu starten.

PV-Überschussladen funktioniert wegen Abstufbarkeit der Ladeleistung besser, wenn die **Wallbox 1phasig** betrieben werden kann. **Details** siehe **Link oben**



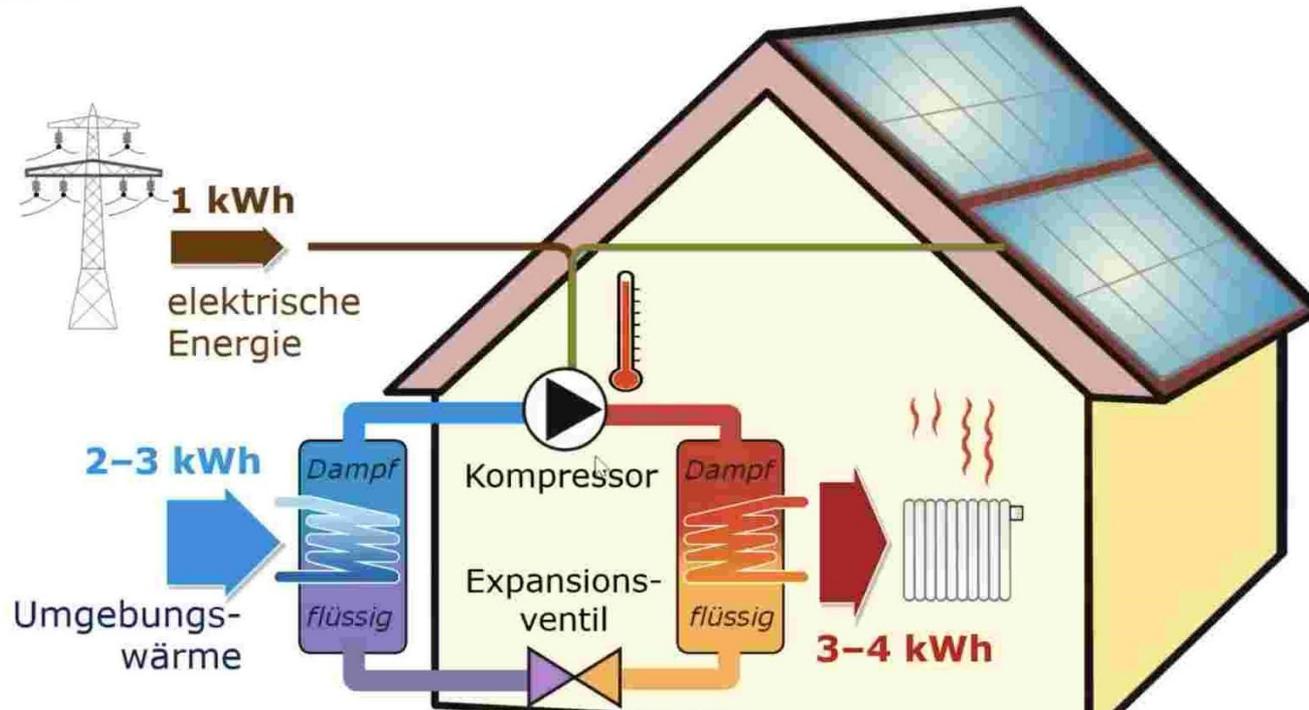
Mehr Eigenverbrauch durch

1. **Wärmepumpe** – hocheffizient, klimafreundlich, Kopplung mit PV möglich
2. **(Multi-)Split-Klimaanlage** = Luft-Luft-Wärmepumpe – hocheffizient, klimafreundlich, für ca. 5000,-€ bereits 65% Erneuerbare Gebäudewärme möglich (Erfüllung GEG)
3. **Brauchwasserwärmepumpe** – hocheffizient (1:3), Heizung bleibt im Sommer aus! Kopplung mit PV möglich
4. **Heizstab mit PV-Überschuss** – Unterstützung der fossilen Heizung
5. **Infrarotpanels:** Örtlich und zeitlich begrenzter Einsatz kann sinnvoll sein



Power to Heat Variante 1

So funktioniert eine Wärmepumpe



https://youtu.be/x_GkYUS_TJ8

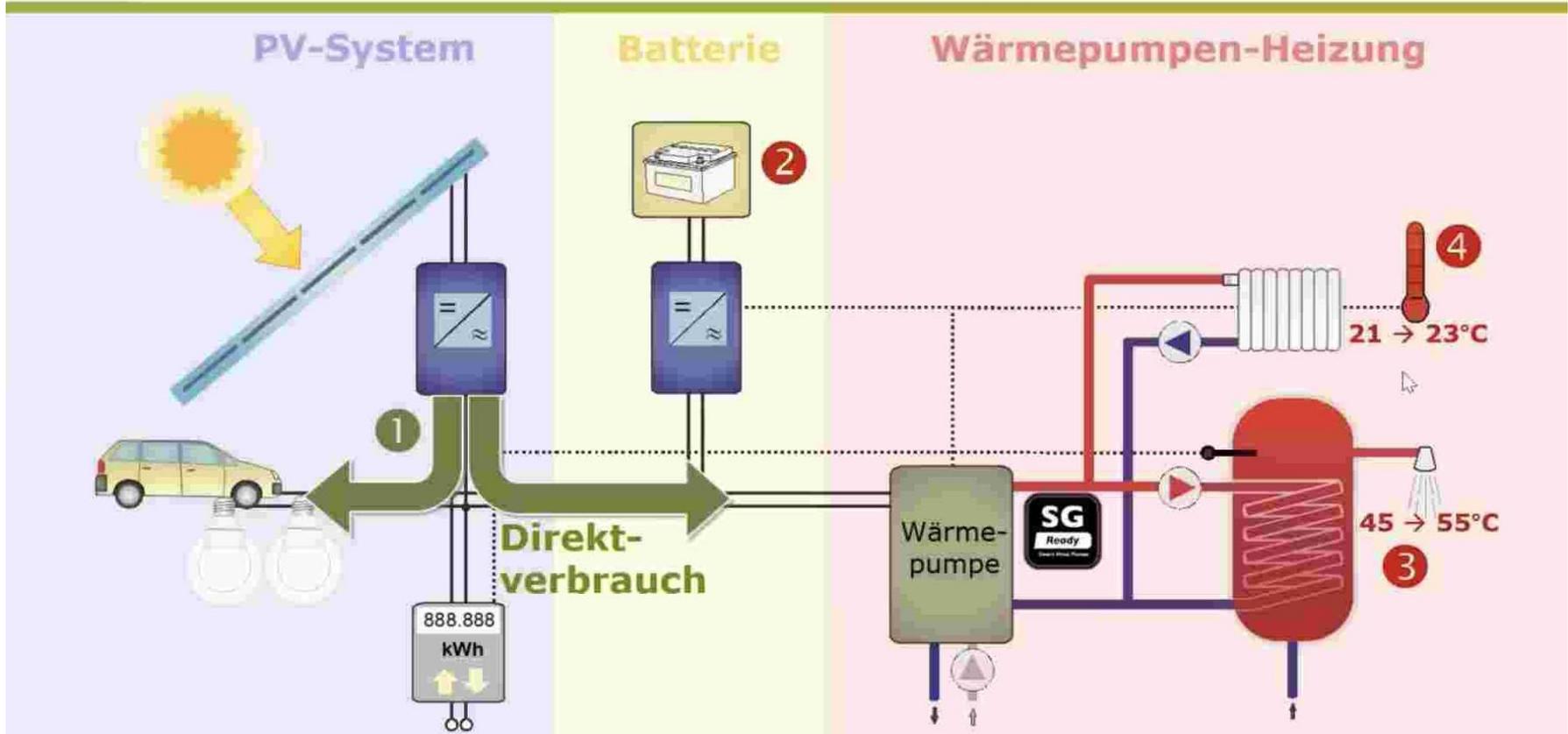
https://youtu.be/x_GkYUS_TJ8

Mit Hilfe 1kWh Energie elektrisch und 2-3 kWh Wärme aus der Umwelt gewinnt man 3-4 kWh Wärme für Brauchwasser (Brauchwasserwärmepumpe) oder für den gesamten Wärmebedarf (Wärmepumpe)
Folie von Prof. Volker Quaschnig



Power to Heat Variante 1 Energie Speichern durch Temperatur-Anhebung

Photovoltaik ist idealer Partner der Wärmepumpe



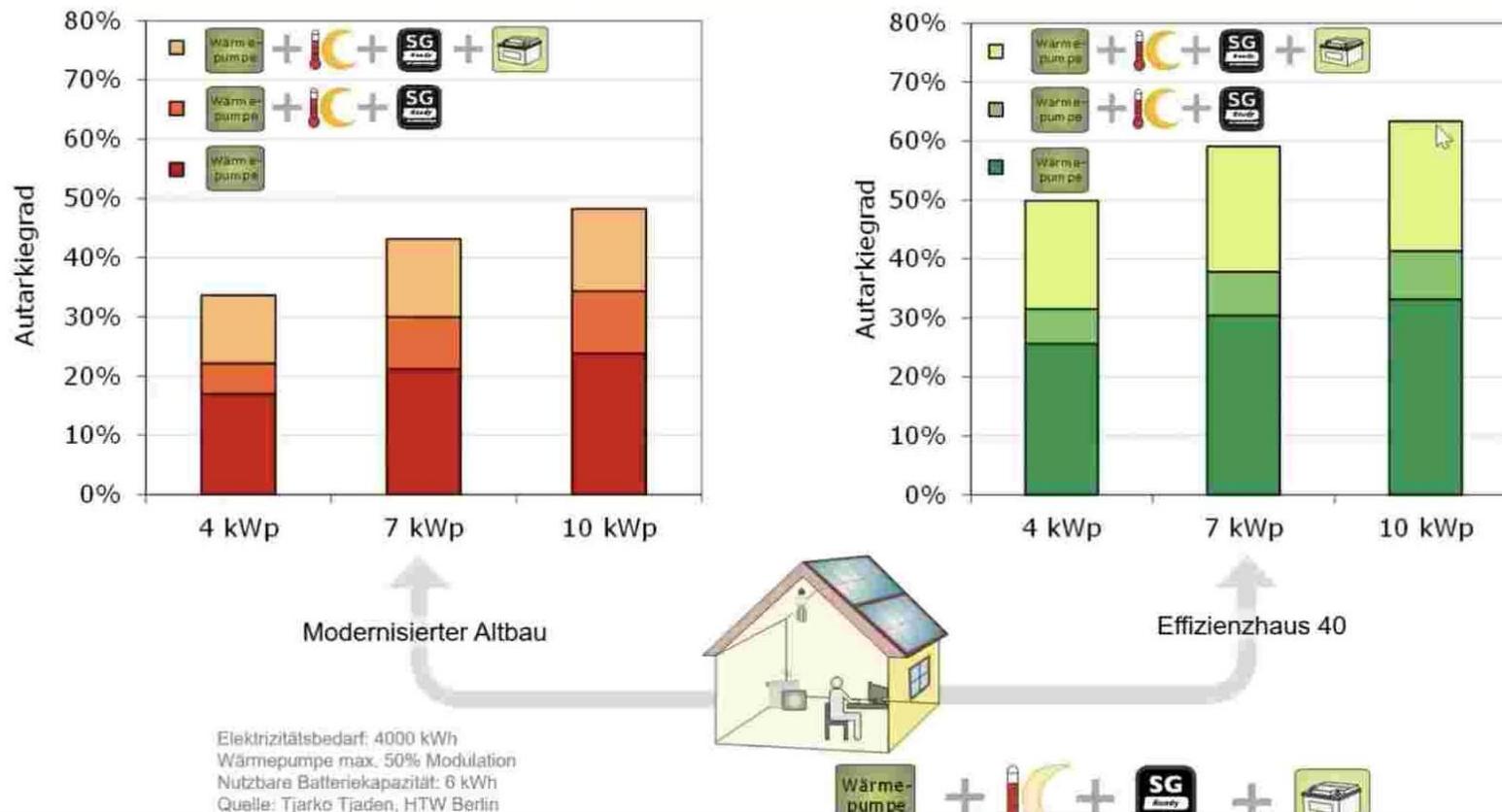
https://youtu.be/x_GkYUS_TJ8

Durch **intelligente Steuerung** der Wärmepumpe (SG-Ready) kann mit **PV-Überschuss** die **Temperatur** im Brauchwasser und in den Wohnräumen **anhoben** werden und **Energie gespeichert werden**

Wärmespeicher in der Größenordnung **10 kWh** aus **ca. 3 kWh PV-Überschuss** bei **Temperaturerhöhung** um **2°C!**
Dämmung wichtig!



Autarkiegrad bei PV-Wärmepumpensystemen



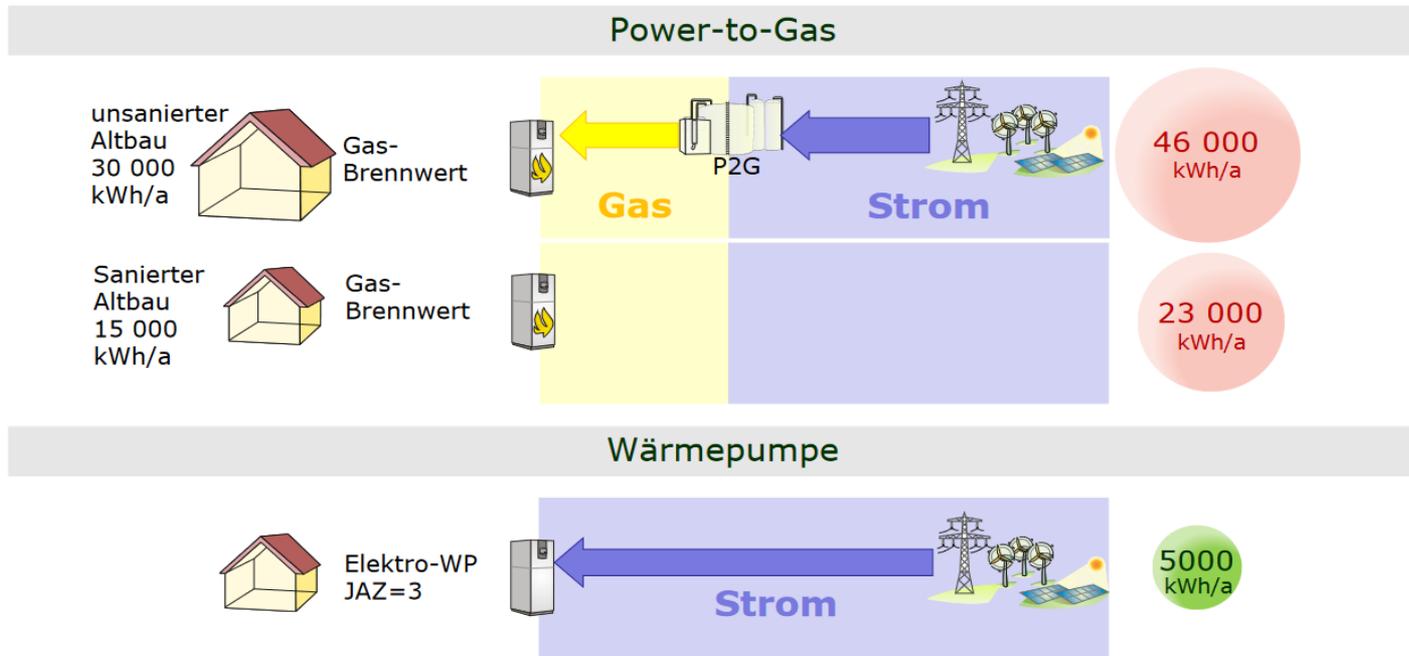
https://youtu.be/x_GkYUS_TJ8

Durch intelligentes Heizen mit Wärmepumpe mit PV-Überschuss und Batteriespeicher werden Autarkien von knapp 50 % (sanierter Altbau) bis über 60% (Effizienzhaus 40) bei **Strom + Wärme** erreicht!

Folie von Prof. Volker Quaschnig



ntw. Effizienz elektrisch basierter Heizungssysteme



„Neuinstallation Gastherme H2-ready? Die kann doch auch Klimaschutz, oder?“

Oben: Gastherme mit grünem Wasserstoff: Unsanierter und sanierter **Altbau** im Vergleich
Unten: Wärmepumpe sanierter Altbau

Ergebnis: Wasserstoffheizung benötigt etwa **5 bis 9 mal** so viel **Ökostrom** wie die Wärmepumpe im sanierten Altbau. **H2-Heizung ist wohl kaum eine wirtschaftlich darstellbare Lösung!**

→ 5 bis 9 mal so viel Photovoltaik und Windenergieanlagen notwendig! 27

https://youtu.be/x_GkYUS_TJ8

Folie von Prof. Volker Quaschnig



Multi-Split-Klimaanlage (Luft – Luft – Wärmepumpe)

Fotos 1 Außengerät mit 3 Innengeräten

Räume Heizen und **Kühlen** sehr effizient! 1 kWh Strom macht ca. 4 kWh Wärme

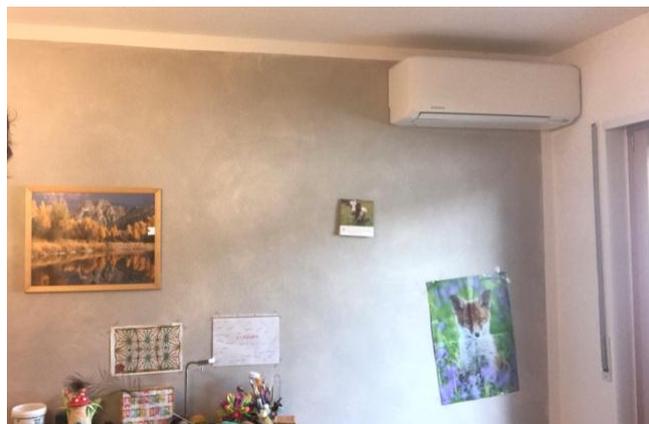
Oft **kostengünstige Alternative** zur zentralen Wärmepumpe

Option zur Ablösung von **Nachtspeicheröfen** oder **Gasetagenheizungen**



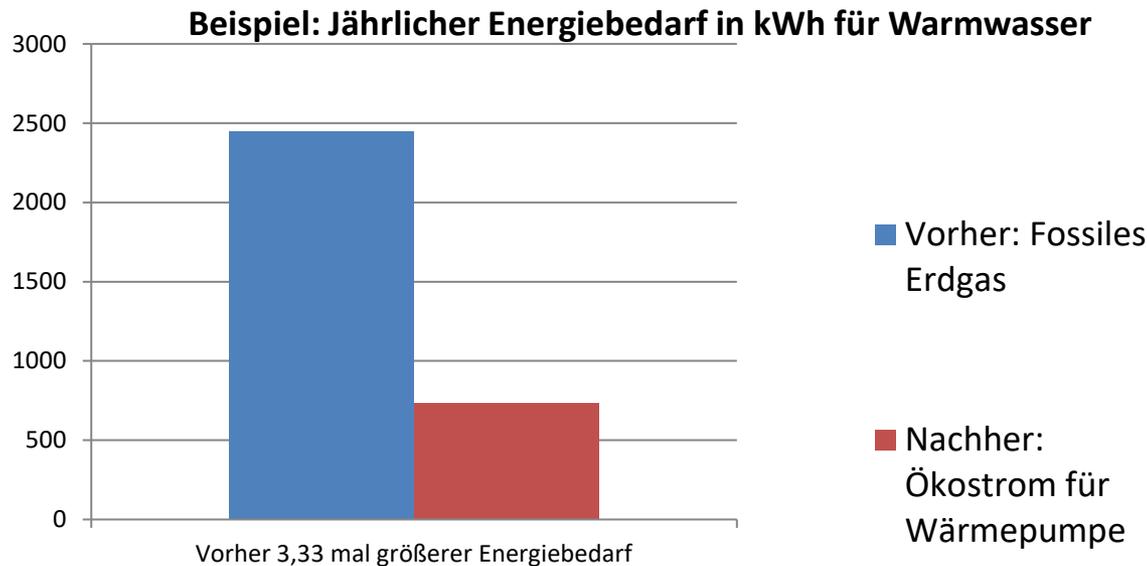
Ohne Abbildung Single-Split-Klimaanlage Nordseite

Gesamtkosten 8100,-€





Power to Heat Variante 2: Brauchwasserwärmepumpe



Zahlen aus Anwendungsbeispiel beim Referenten





Power to Heat Variante 2: Brauchwasserwärmepumpe

- **Ganzjährige Trinkwassererwärmung**
 - Gebäudeheizung bleibt außerhalb der Heizperiode abgeschaltet
 - Ca. 4500,-€ inkl. Installation
 - Aus 1 kWh Strom wird ca. 3 kWh Wärme
 - Bei Bedarf eingebauter Heizstab zur Verdopplung der Heizleistung
-
- **Hohe Autarkie mit PV-Strom:** Einstellbares **Betriebszeitfenster** (z.B. 10 bis 15 Uhr) und **geringe elektrische Leistung** ca. 450 W
 - **SG-Ready:** PV-Überschuss mehrstufig nutzbar durch Befehl vom Wechselrichter (Stufe 1: Temperaturerhöhung im WP-Betrieb, Stufe 2: Zuschaltung des Heizstabs)
-
- **Erhöhung des Eigenverbrauchs:** z.B. statt **8,2 Cent pro kWh Einspeisevergütung 3 kWh Wärme machen (2,7 Cent pro kWh Wärme)**
 - **Tipp:** Zuluft und Abluft nach draußen führen. Im Umluftbetrieb kühlt es den Kellerraum. Außerdem dann mindestens 20 m³ Raumvolumen, sonst Kurschluss des Luftstroms.

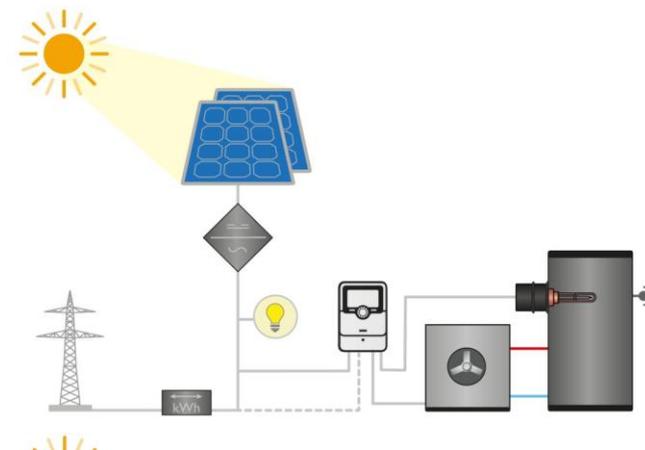




Power to Heat Variante 3: Heizstab

<https://youtu.be/5P3y9xL3ePg>

Mit einem **PV-Überschuss**-gesteuerten **Heizstab** lässt sich das Heizungswasser/Trinkwasser erwärmen



Vorteile:

- **Erhöhung des Eigenverbrauchs des PV-Stroms**
- **Relativ niedrige Anschaffungskosten**
- **Reduktion des Gas-/Ölverbrauchs und somit der CO2-Emissionen**

Nachteile:

- **1 kWh Strom macht 1 kWh Wärme**, also nur etwas besser als die fossile Heizung, viel ineffizienter als eine (Brauchwasser-)Wärmepumpe, die einen Hebel von 1:3 ermöglicht.
- **Ohne PV-Überschuss unwirtschaftlich** (pro kWh ca. 35 Cent Netzstrom versus 10 Cent Gas/Öl)
- **Kostensparnis gering**, solange ersetzter Energieträger kaum teurer als Einspeisevergütung ist: Pro kWh PV-Überschuss 10 Cent kWh Gas - 8,2 Cent Einspeisevergütung = 1,8 Cent. Jahresersparnis im 53,-€ bei 3000 kWh Power to Heat



Power to Heat Variante 4: Infrarot-Panels

Geringe Effizienz: Aus 1 kWh Strom wird nur 1kWh Wärme.

Örtlich und **zeitlich begrenzter Einsatz** kann **sinnvoll** sein, z.B. wenn ein Raum nur wenig beheizt ist und man sich im **Abstrahlungsfeld** des IR-Panels befindet (z.B. Arbeitszimmer).

Oder für einen **kleinen Raum**, der nur **für kurze Zeit** benötigt wird und während der übrigen Zeit nur geringfügig mit der herkömmlichen Heizung beheizt wird, z.B. **(kleines) Badezimmer (Lüftung!)**.

Für Gebäudeheizung nur sinnvoll im Neubau mit äußerst geringem Heizbedarf und PV-Anlage.

Befindet man sich im **Strahlungsfeld**, empfindet man schon **bei niedriger Raumlufttemperatur angenehme Wärme** (Analog Wärmestrahlung Lagerfeuer, Kachelofen)



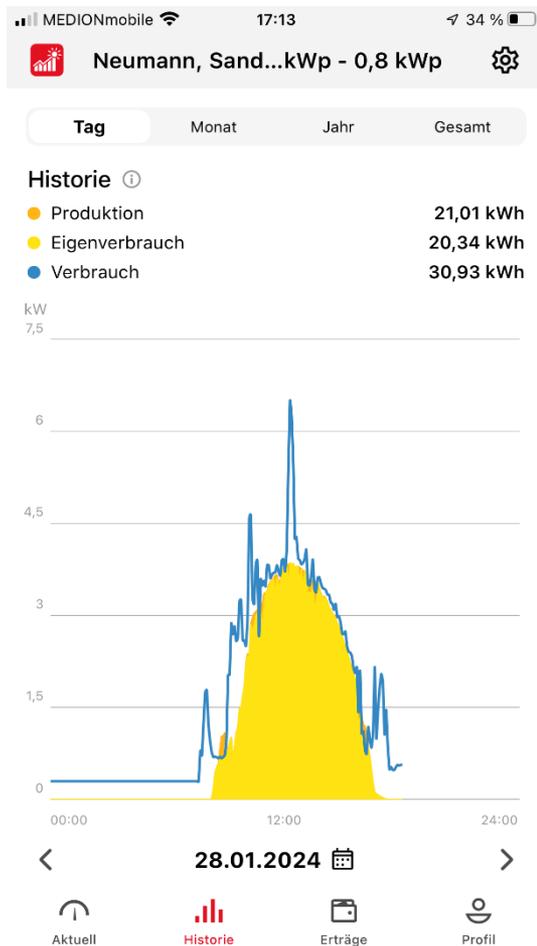
Sonniger Tag im Januar



- Wärmeerzeugung lässt sich so anpassen, dass möglichst viel PV-Strom genutzt werden kann
- Nachts Heizung aus
- Gesamtwärmestrombedarf 9,62 kWh



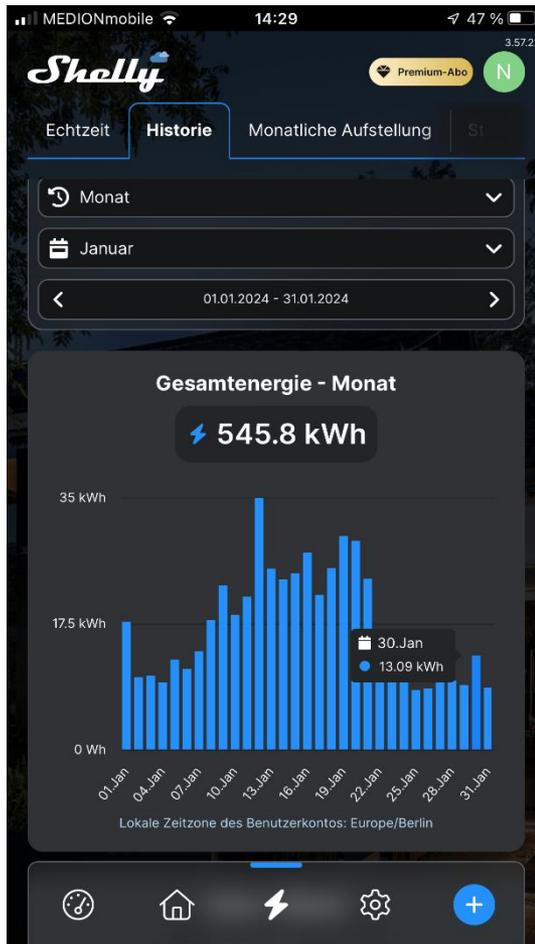
Sonniger Tag im Januar



- Wärmeerzeugung lässt sich so anpassen, dass möglichst viel PV-Strom genutzt werden kann
- Hier half zusätzlich das PV-Überschuss-Laden, die Verbrauchskurve der Produktionskurve anzupassen (70km E-Auto)



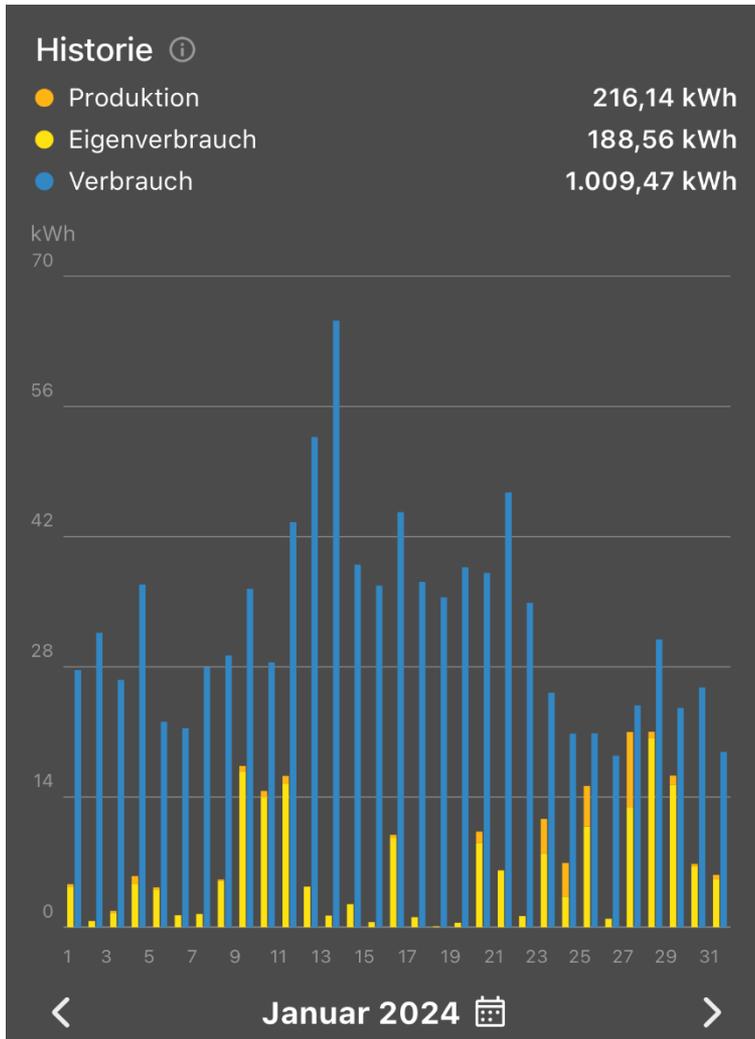
Energiemessung schafft Transparenz



- **Strombedarf** für Heizungssystem Neumann im **Januar**
- Entspricht ca. 55 Liter Heizöl



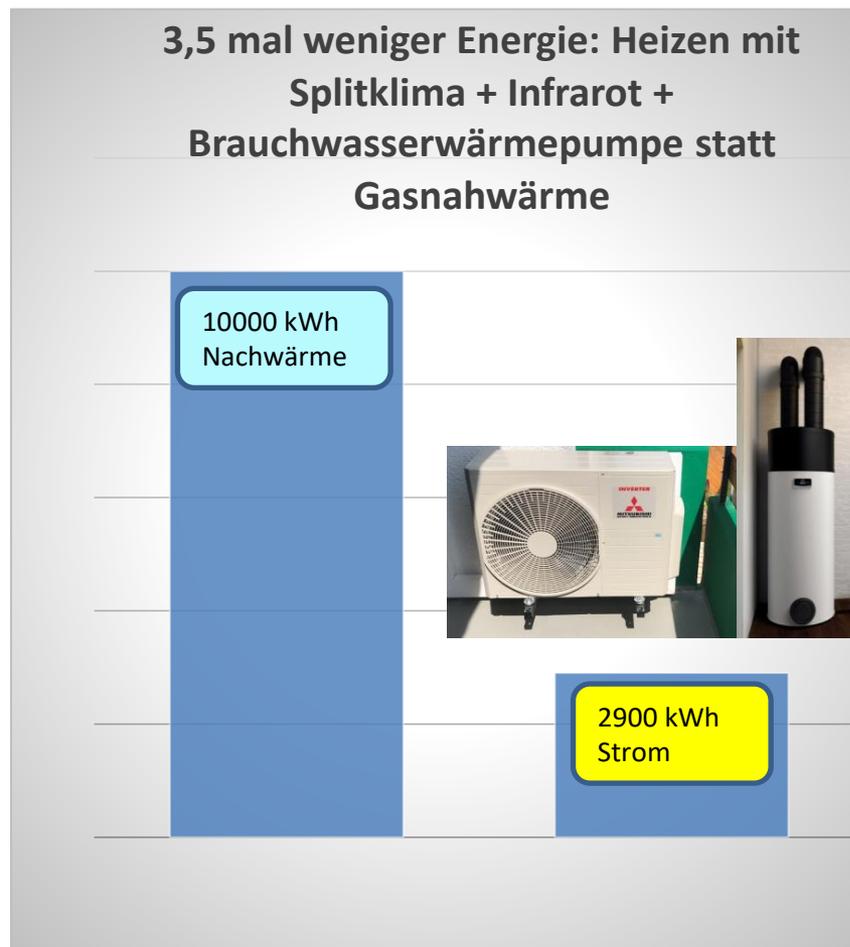
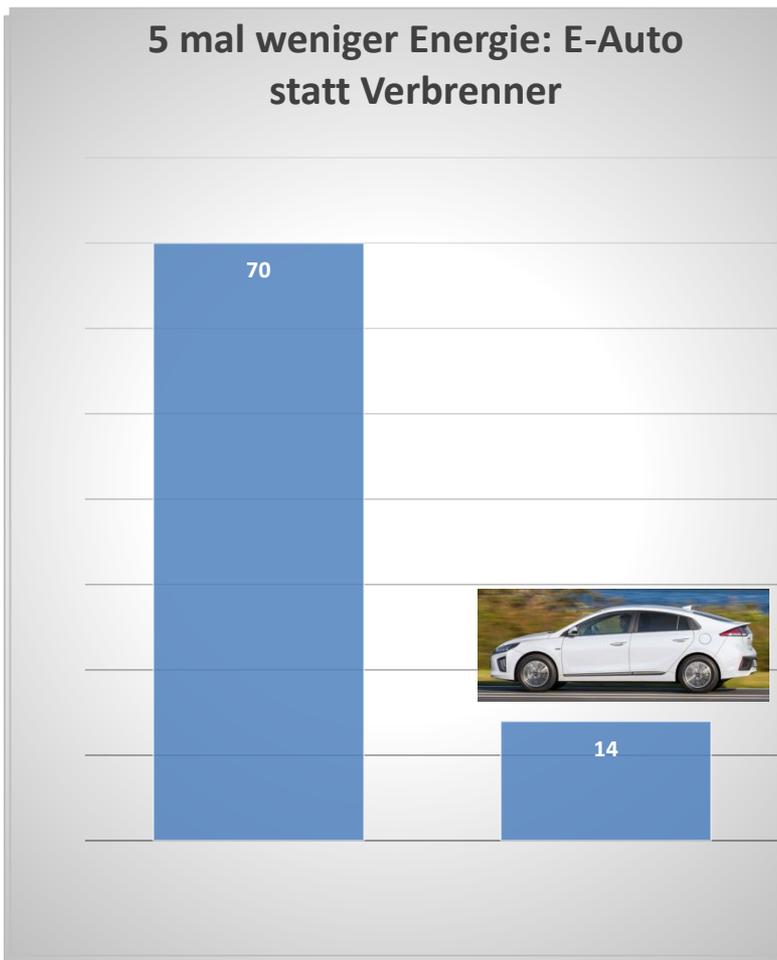
Photovoltaikauswertung Januar



- 19 % Gesamtautarkie
- Komfortstrom +
Heizung + Warmwasser
+ Elektroauto Neumann
+ Elektroauto Nachbar



Referentenbeispiel: Effizienzsteigerung bis Faktor 6 durch Technologiewechsel



Energieverlust Nahwärmesystem 45%
 → 18200 kWh Erdgasbezug vermieden



Lass die Sonne rein!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Referent: Jens Neumann