

Die Brennstoffzelle im netzdienlichen Wärmepumpen-Hybridsystem



Session IV: Smarte Quartiere

Kristian Peter, Franz Reichenbach, ISC Konstanz e.V.

AI4GRIDS SYMPOSIUM an der HTWG Konstanz – 26.09.2023

Inhalt

- Einleitung
- Der Notwendigkeit saisonaler Speicher
- Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung
- Der Teststand
- Ausblick

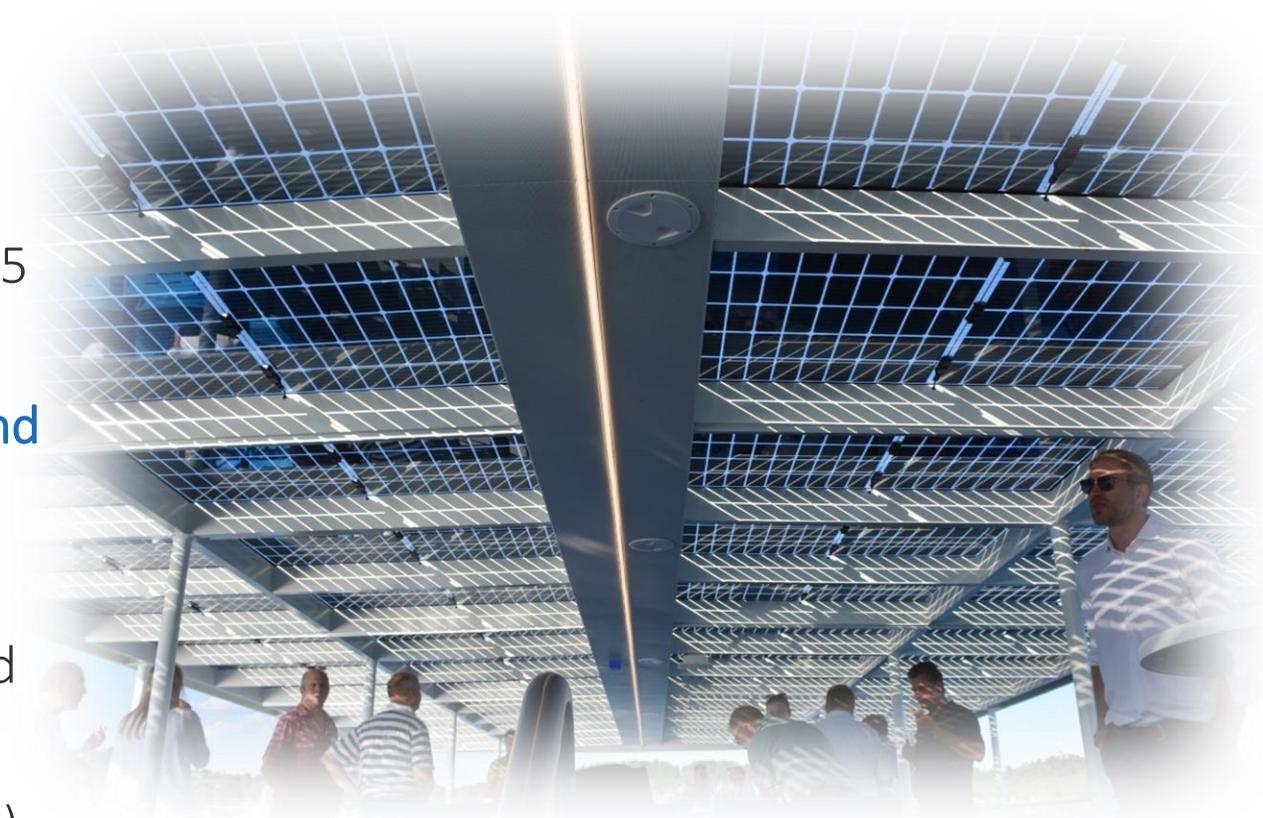
Inhalt

- **Einleitung**
- Der Notwendigkeit saisonaler Speicher
- Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung
- Der Teststand
- Ausblick

ISC Konstanz

International Solar Energy Research Center Konstanz

- Gemeinnützige Forschungseinrichtung, seit 2005
- Team aus 66 Mitarbeitern
- **F&E im Bereich c-Si Solarzellen, Solarmodulen und Energiesystemen**
- Zusammenarbeit mit Forschungsgruppen und Industrie-Partnern in öffentlich geförderten und bilateralen Projekten
- **Technologie-Transfer:** TOPCon und n-IBC (ZEBRA)

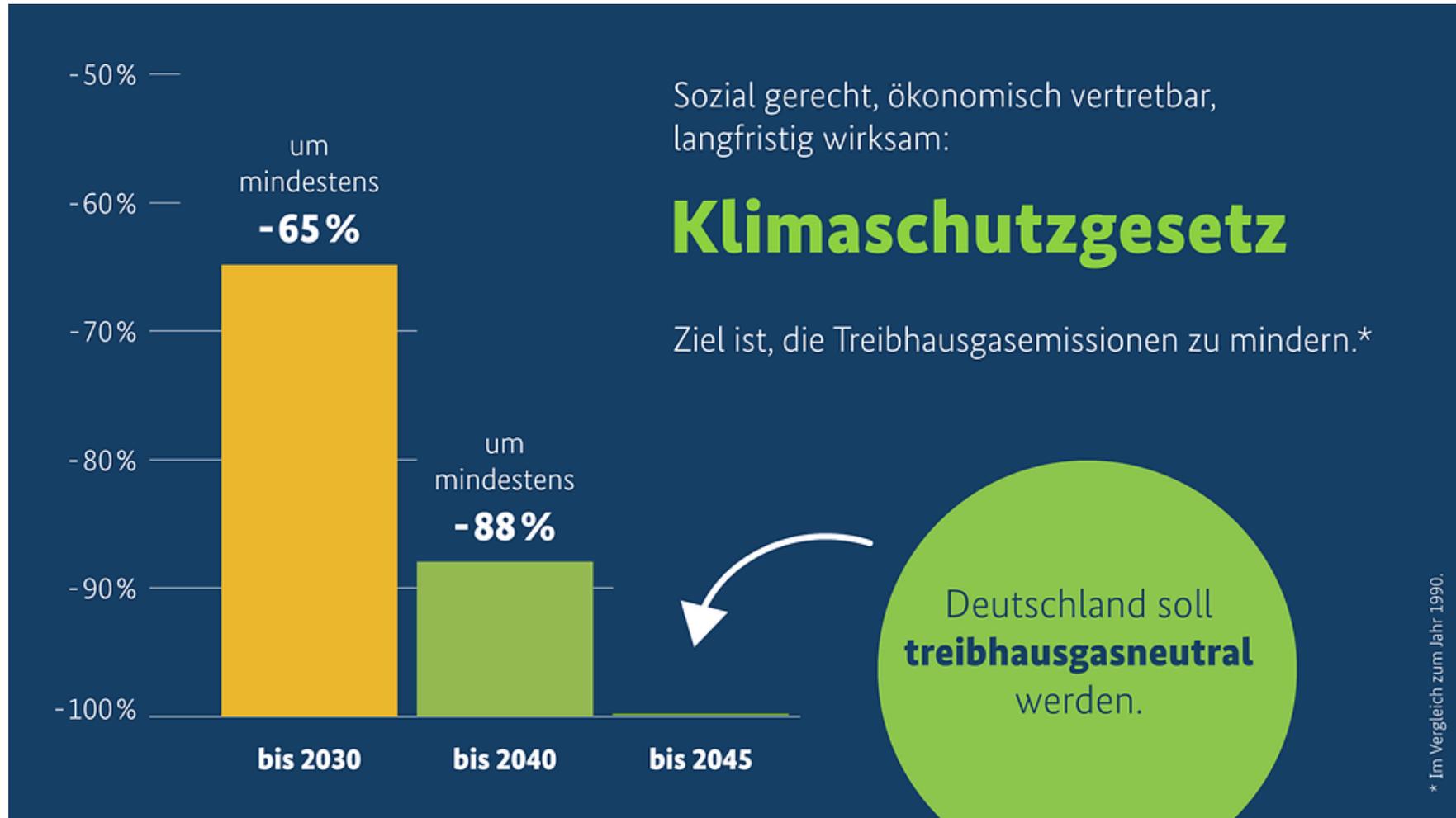


Eine Wärmepumpe macht noch keine Klimawende



Foto: Kristoferb at English Wikipedia, [CC BY-SA 3.0](#) via [Wikimedia Commons](#)

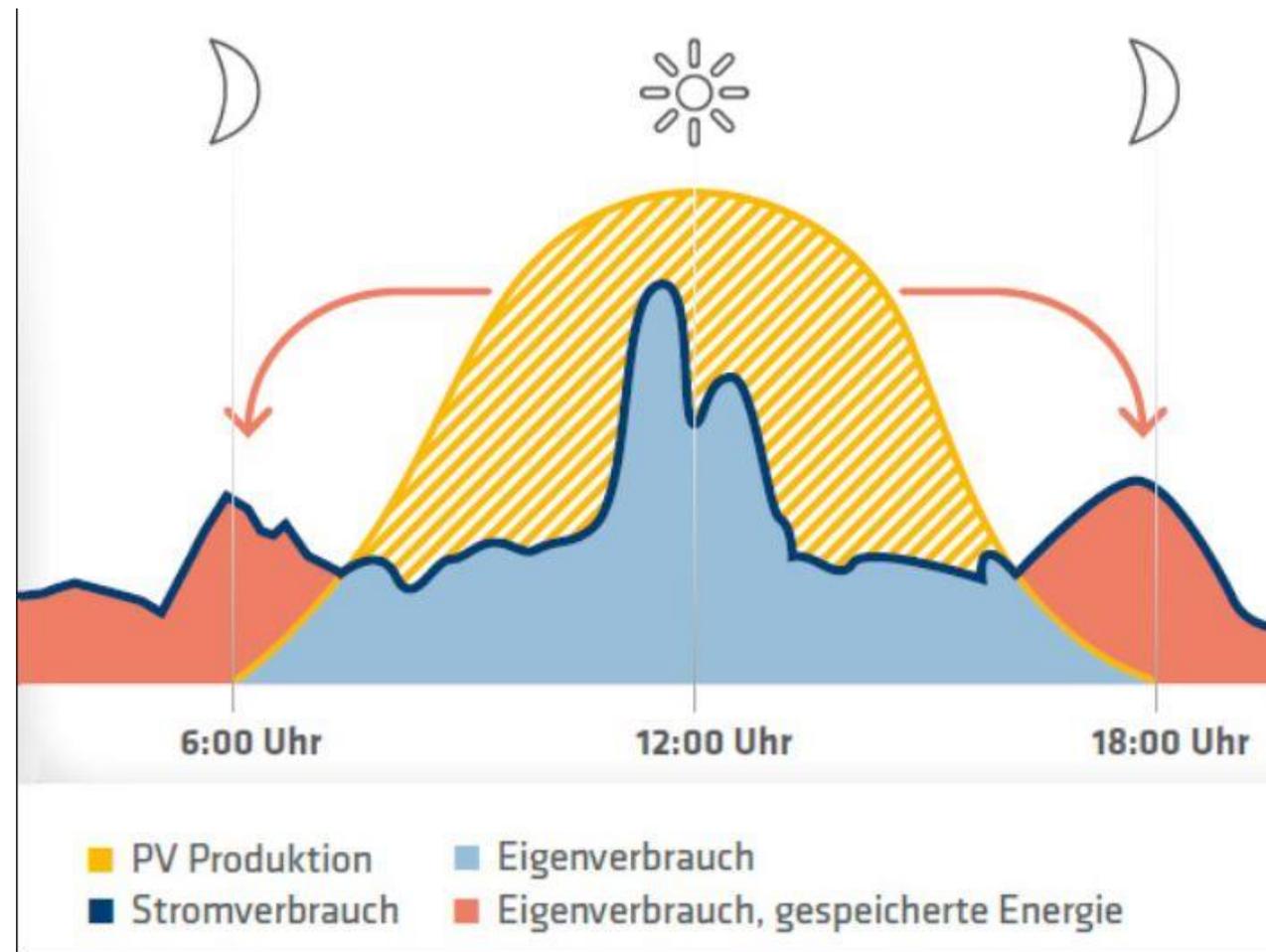
Bundesregierung: Neufassung Klimaschutzgesetz



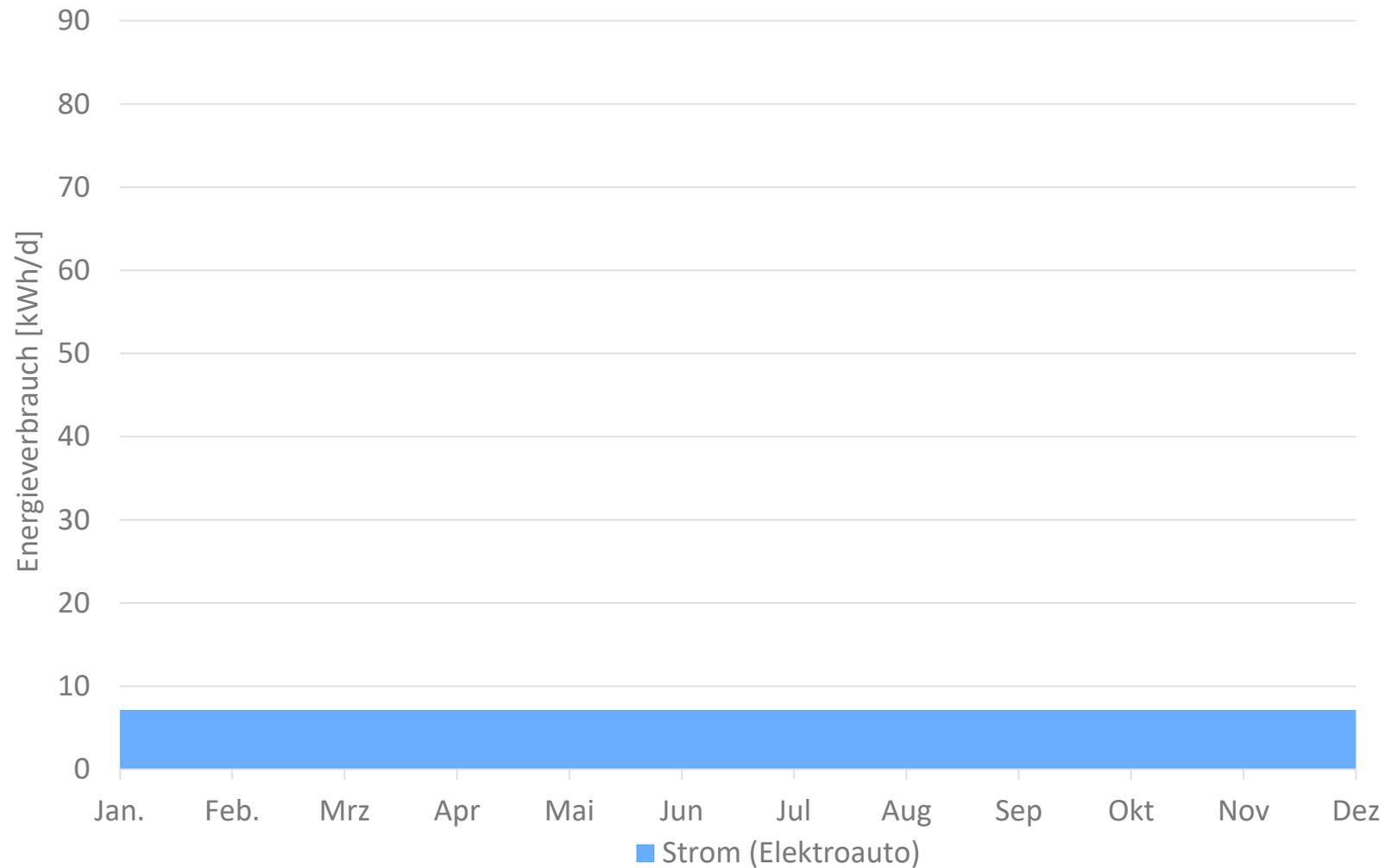
Inhalt

- Einleitung
- **Der Notwendigkeit saisonaler Speicher**
- Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung
- Der Teststand
- Ausblick

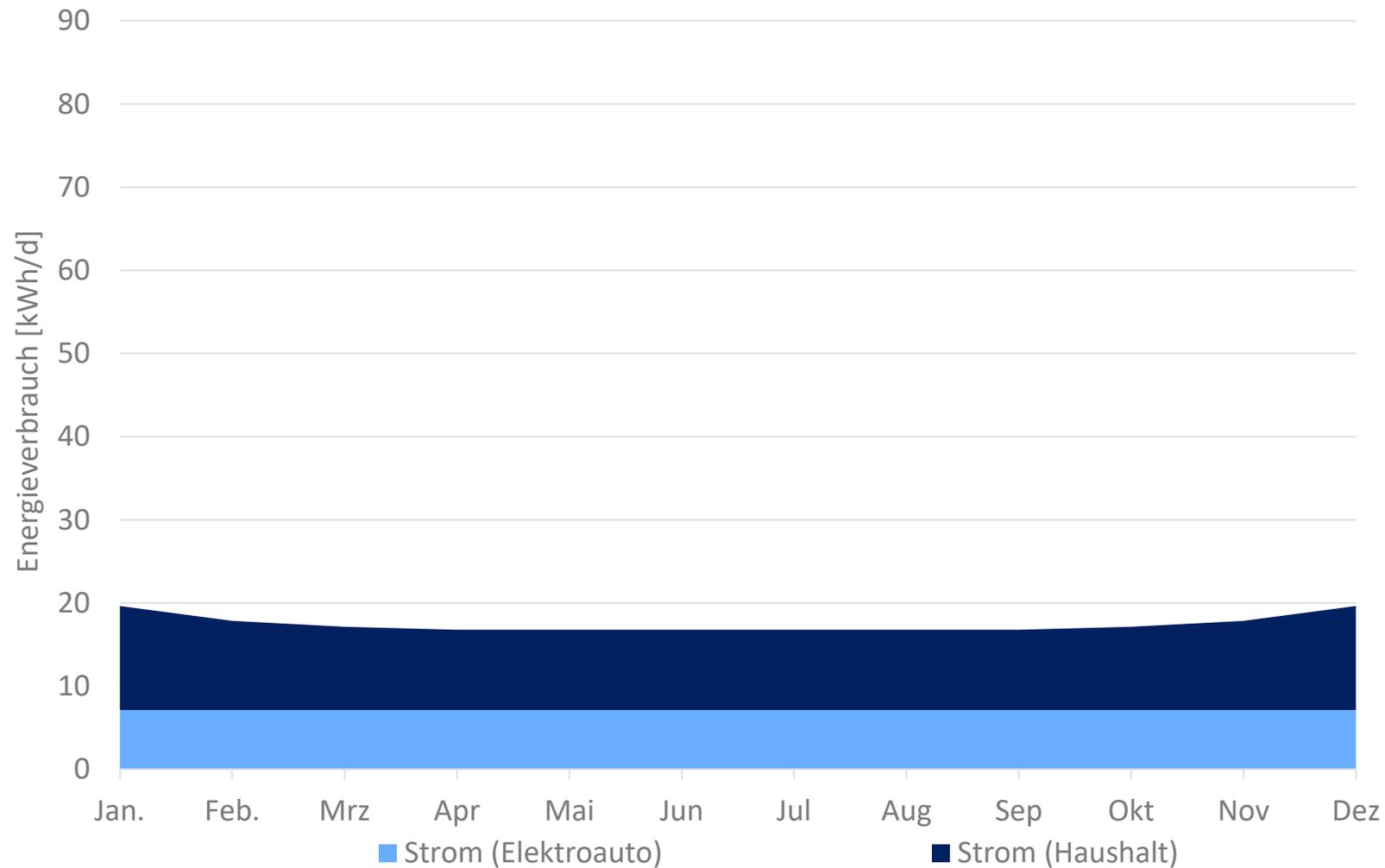
Kurzzeitspeicher: Photovoltaik mit Batteriespeicher



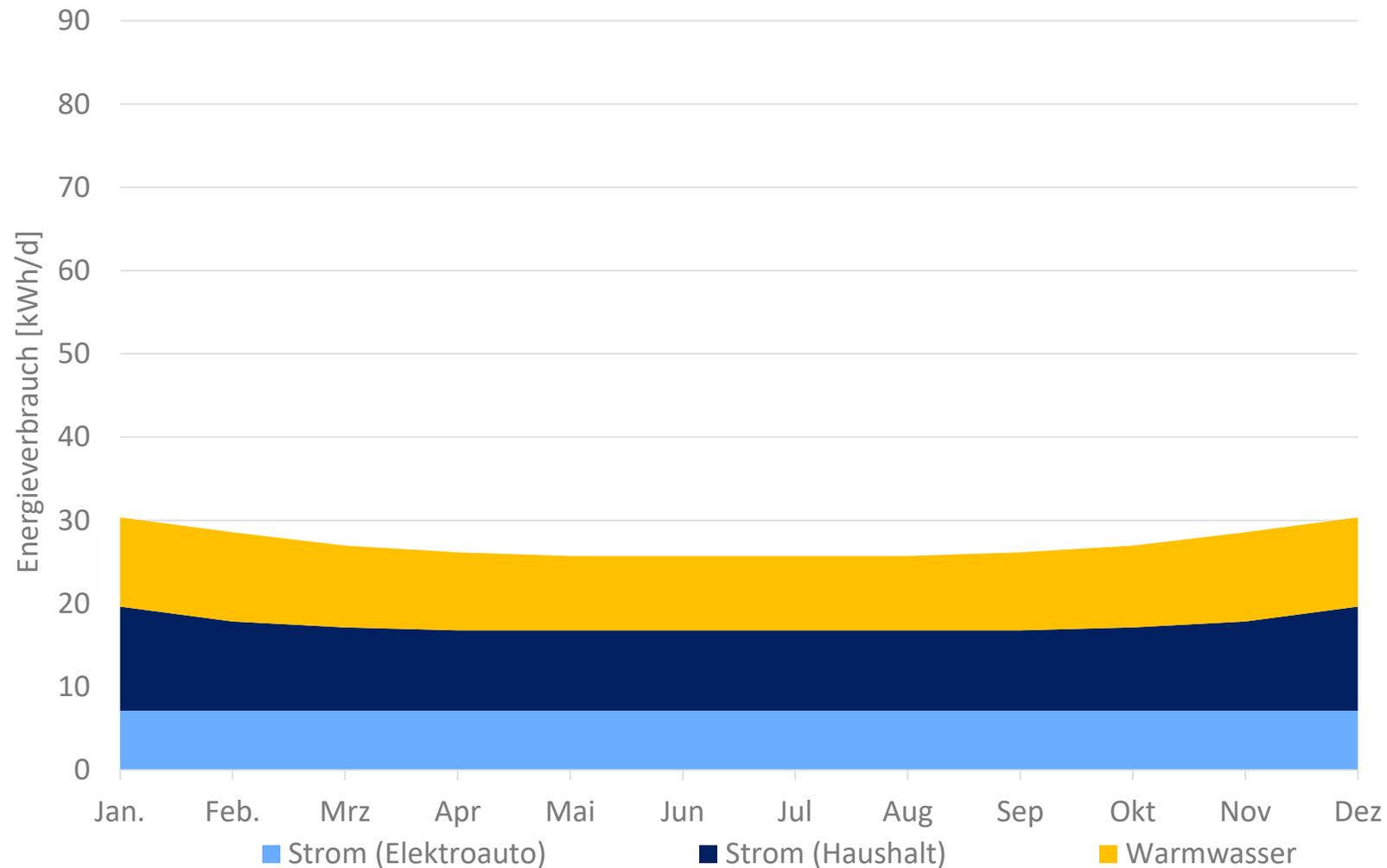
Saisonaler Speicher – die große Herausforderung



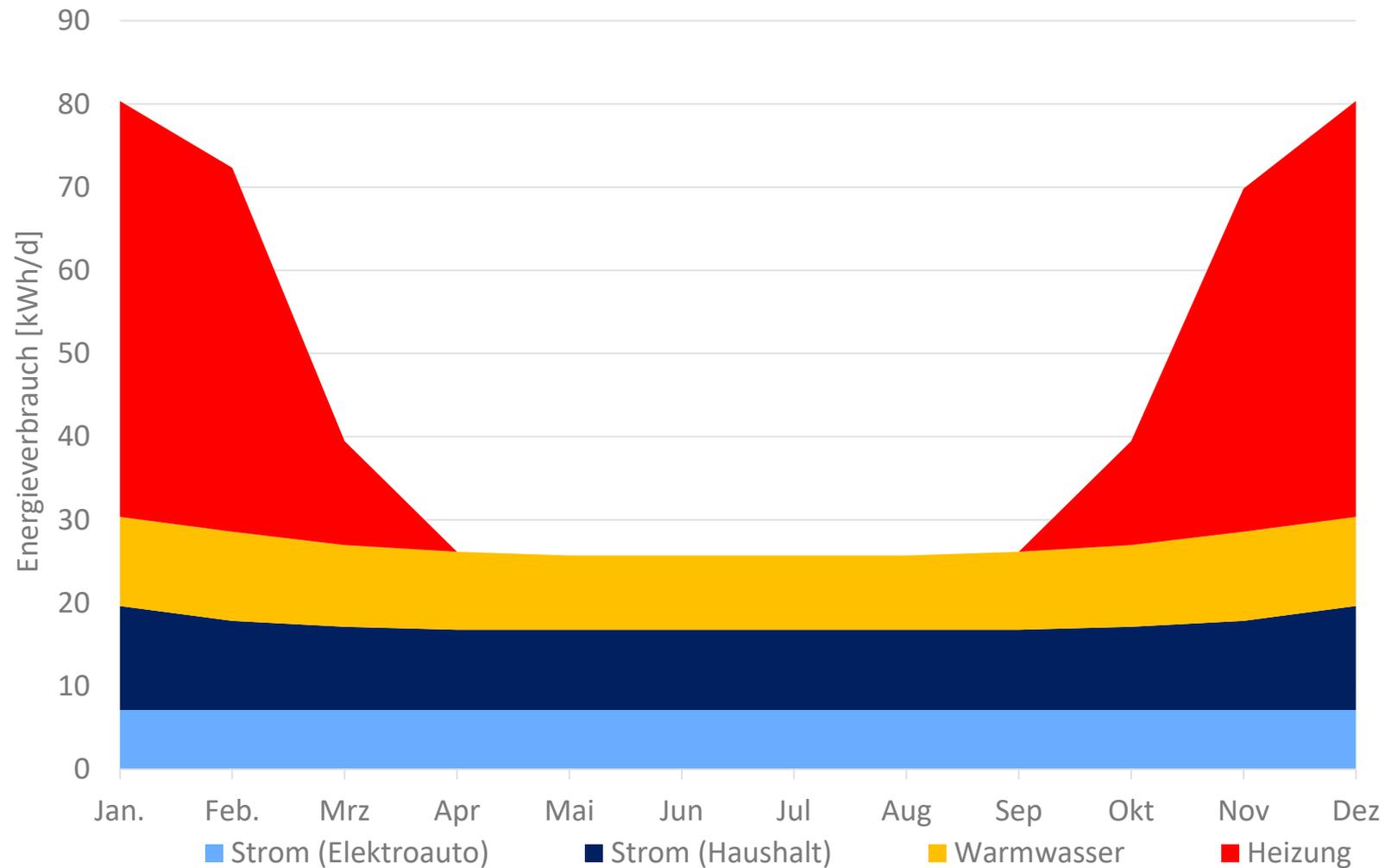
Saisonaler Speicher – die große Herausforderung



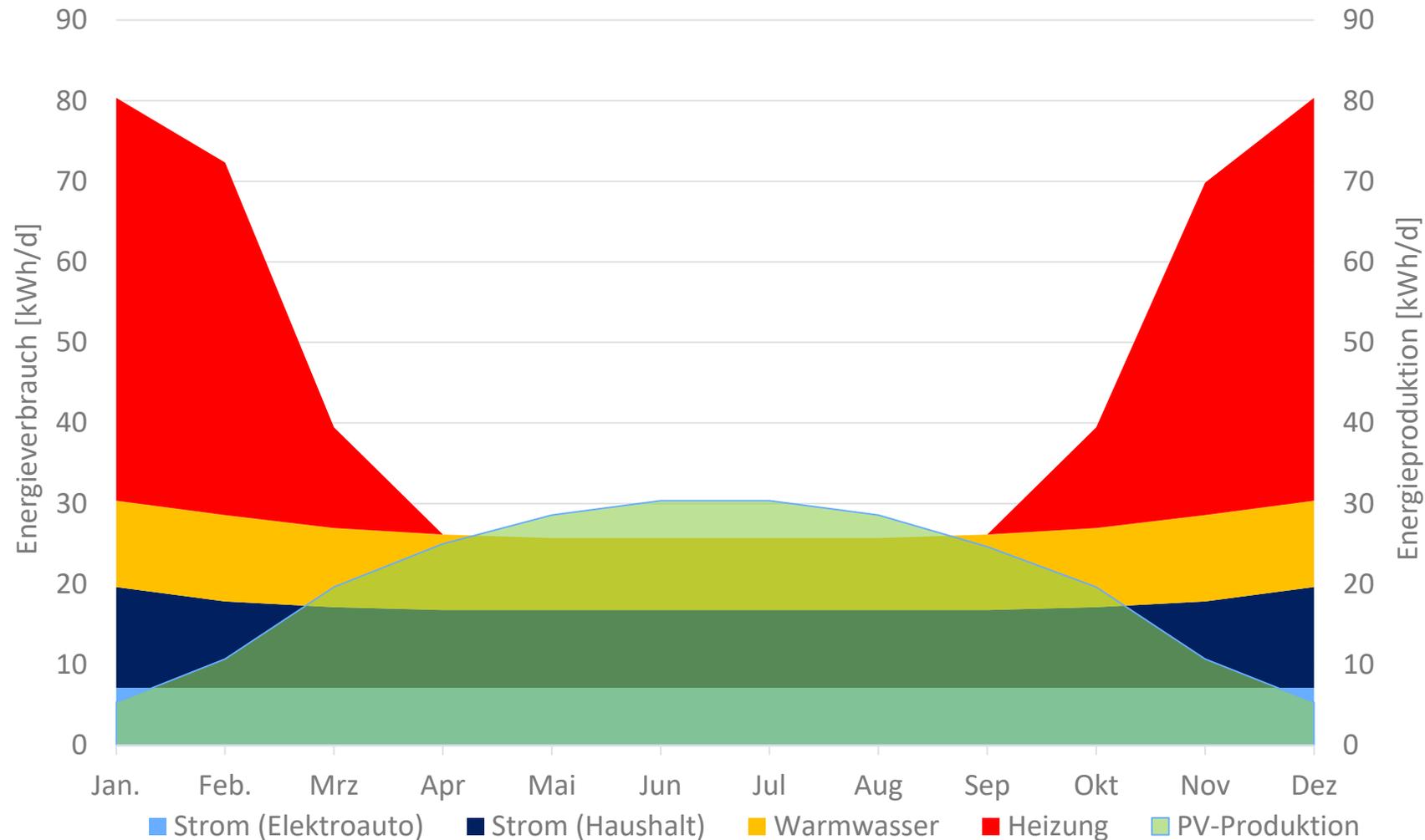
Saisonaler Speicher – die große Herausforderung



Saisonaler Speicher – die große Herausforderung



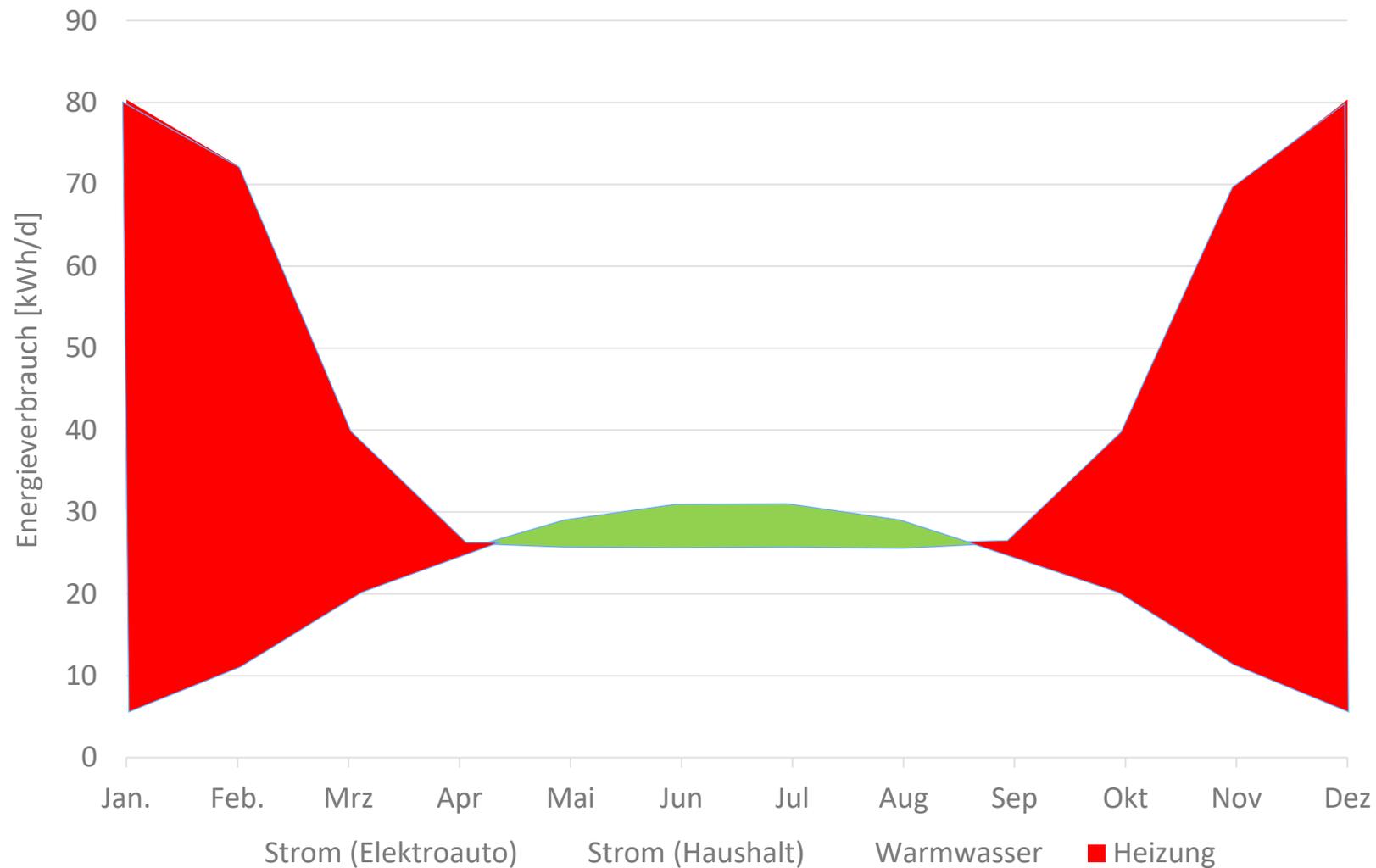
Saisonaler Speicher – die große Herausforderung



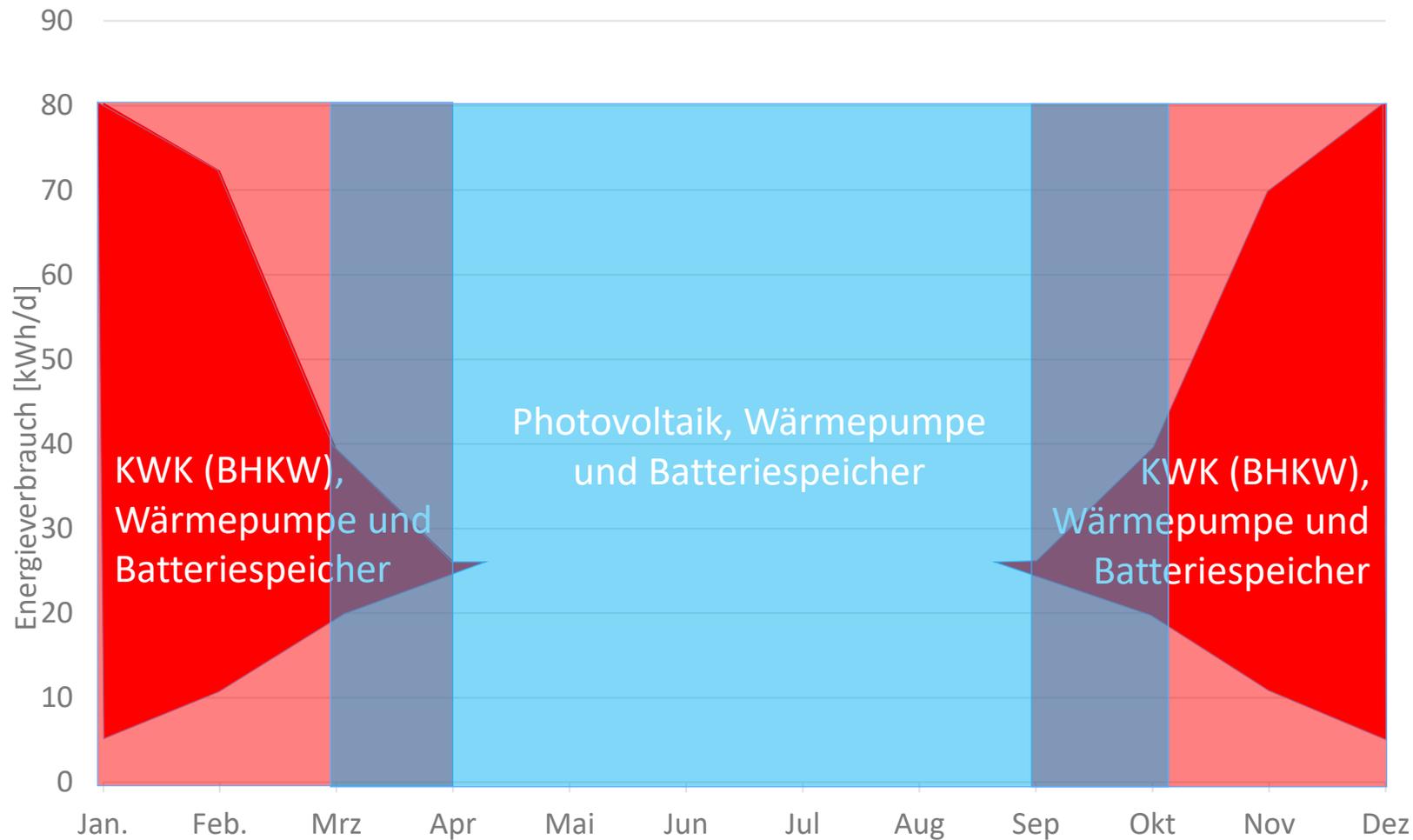
Einfamilienhaus mit 150m² WF

- Stromverbrauch:
 - Haushalt: 3.500 kWh/a
 - E-Fahrzeug: 2.400 kWh/a (12.000km/a @ 20kWh/100km)
- Wärmeverbrauch:
 - Warmwasser: 3.500kWh/a
 - Heizung: 6.500 kWh/a (150m² - ~43kWh/m²)
- Stromerzeugung:
 - 7kWp- PV Anlagen: ca. 7.000kWh/a

Überschuss im Sommer – Unterdeckung im Winter



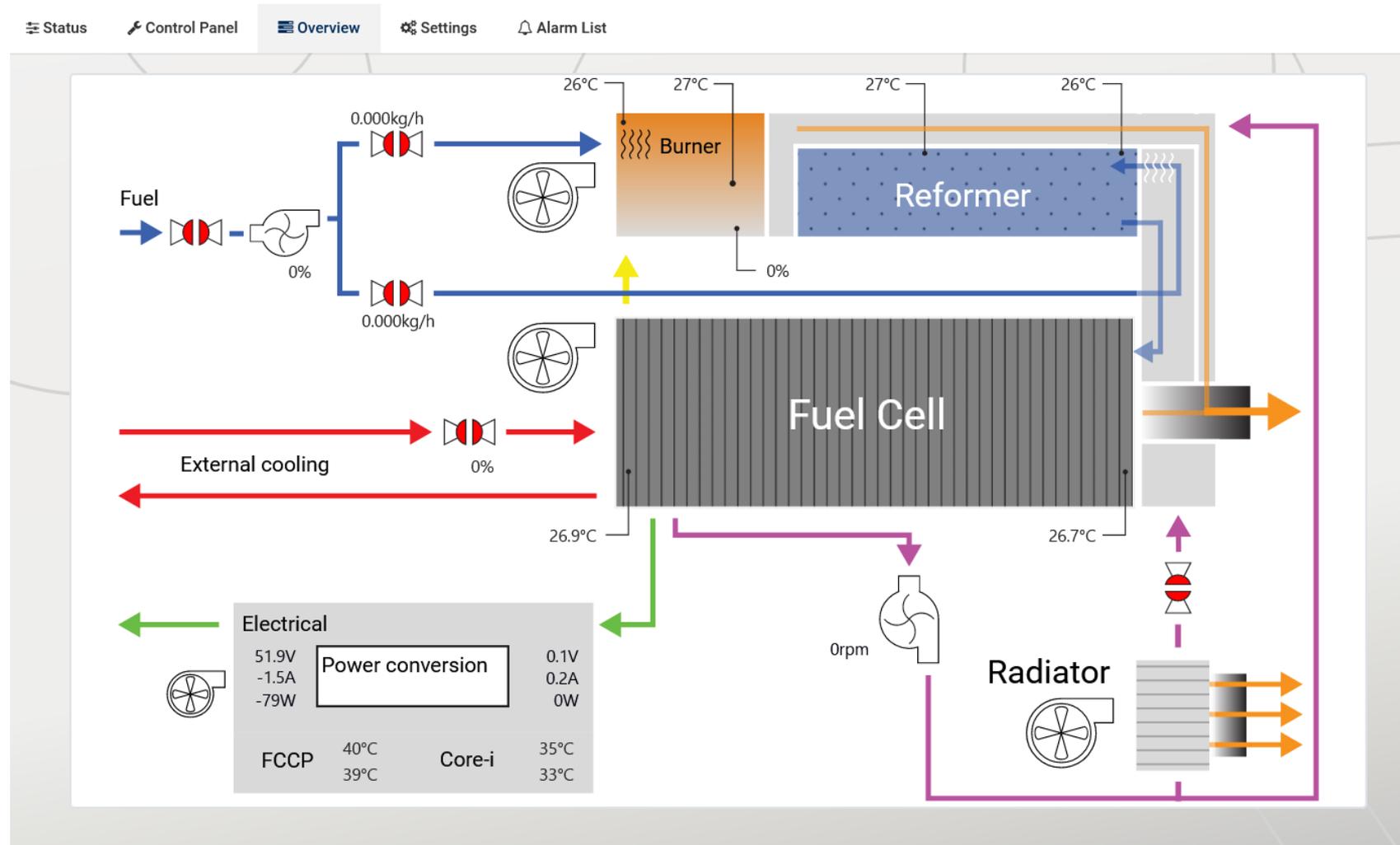
Kombination von zwei thermodynamischen Kreisprozessen



Inhalt

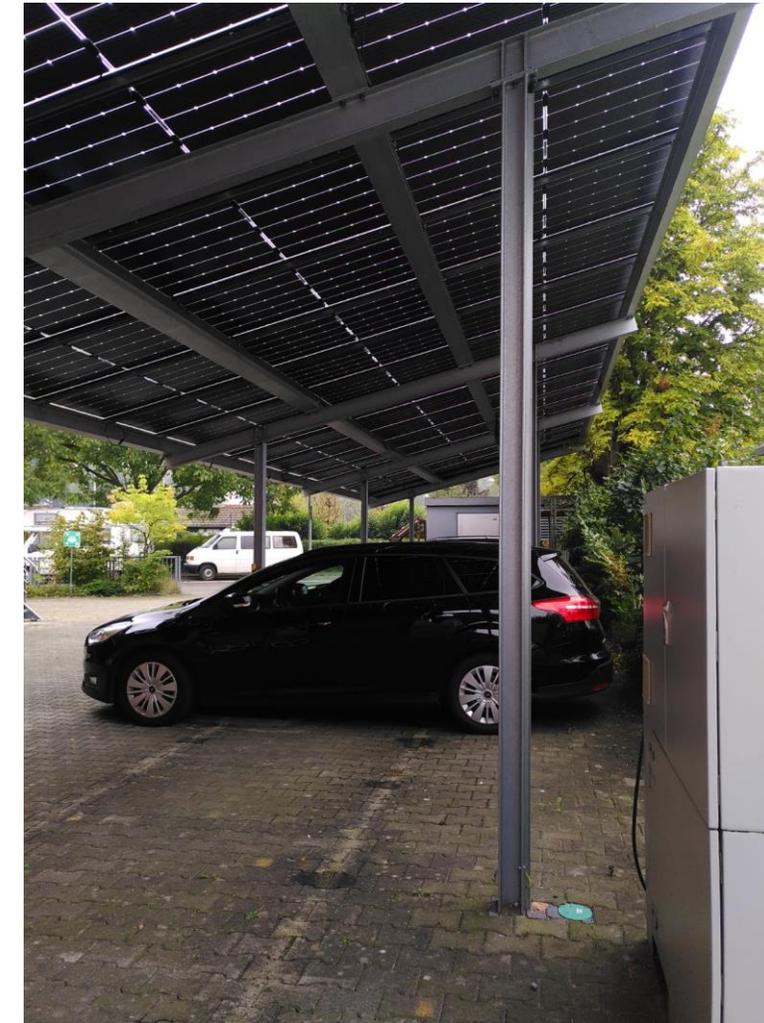
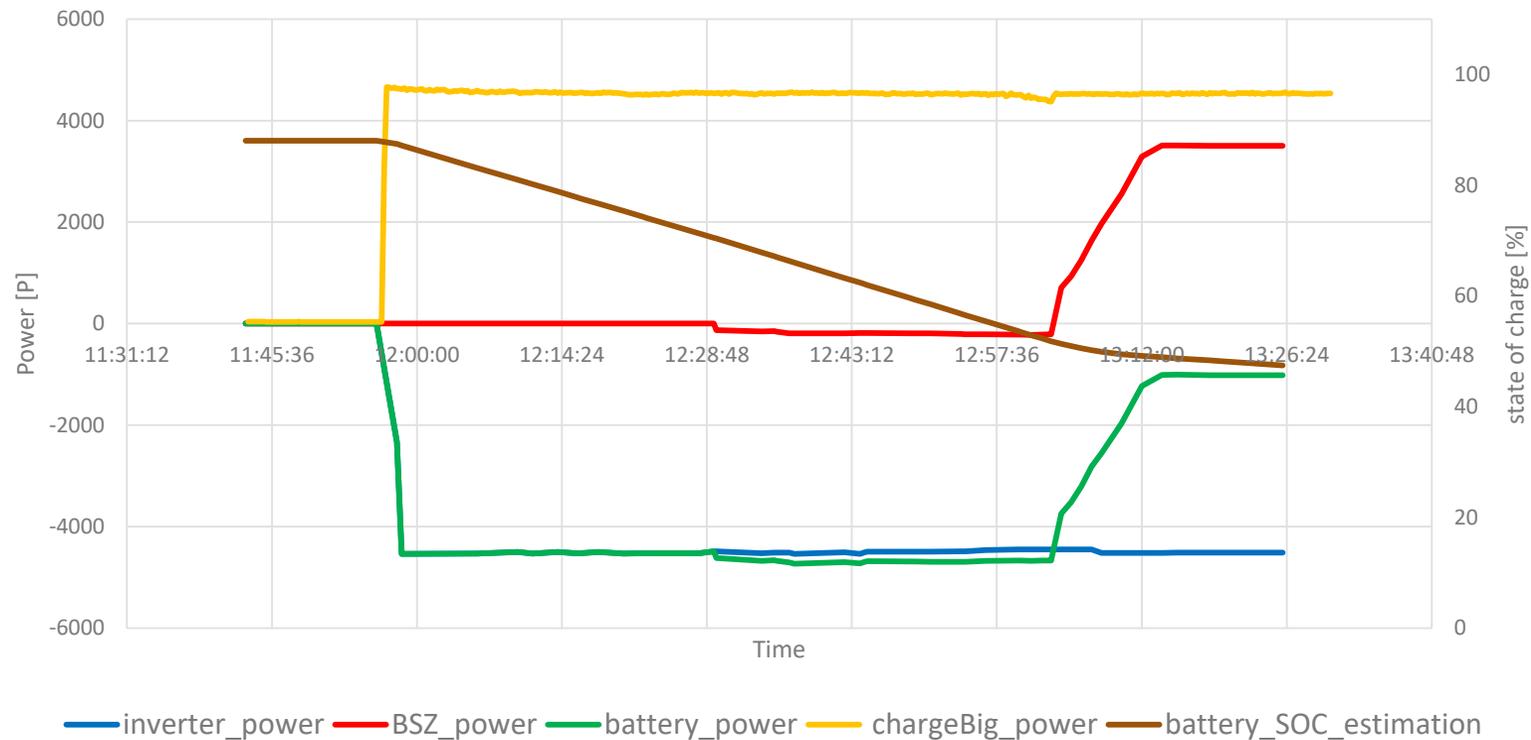
- Einleitung
- Der Notwendigkeit saisonaler Speicher
- **Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung**
- Der Teststand
- Ausblick

Brennstoffzellen und Reformereinheit



Brennstoffzellen und Reformereinheit

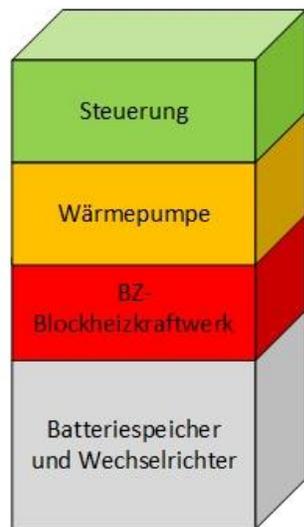
E-Ladestationen mit PV, Wechselrichter, Batteriespeicher und Brennstoffzelle



TH-E Box – THermische und E lektrische Energieerzeugung



Photovoltaikanlage



Blockheizkraftwerk als künstliche Sonne

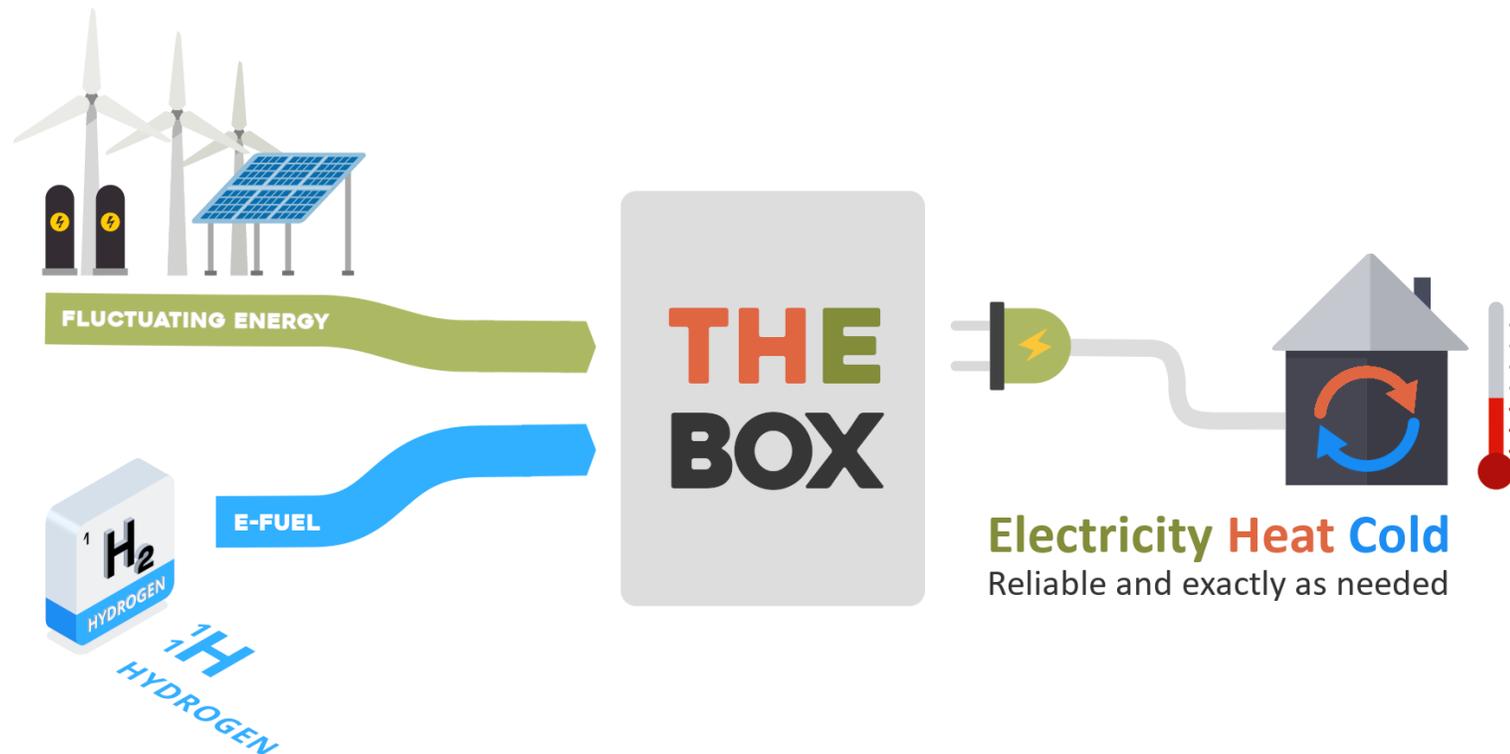


Wärmespeicher

- Regenerative Energie verwenden
- CO₂-frei oder zumindest CO₂-neutral
- Energieeffizient (hoher Wirkungsgrad)
- Netzdienlichkeit (nach Bedarf Energie ins Netz liefern bzw. Energie aus dem Netz abnehmen)
- Strom- und Wärmeversorgung nach Bedarf
- Sektorenkopplung

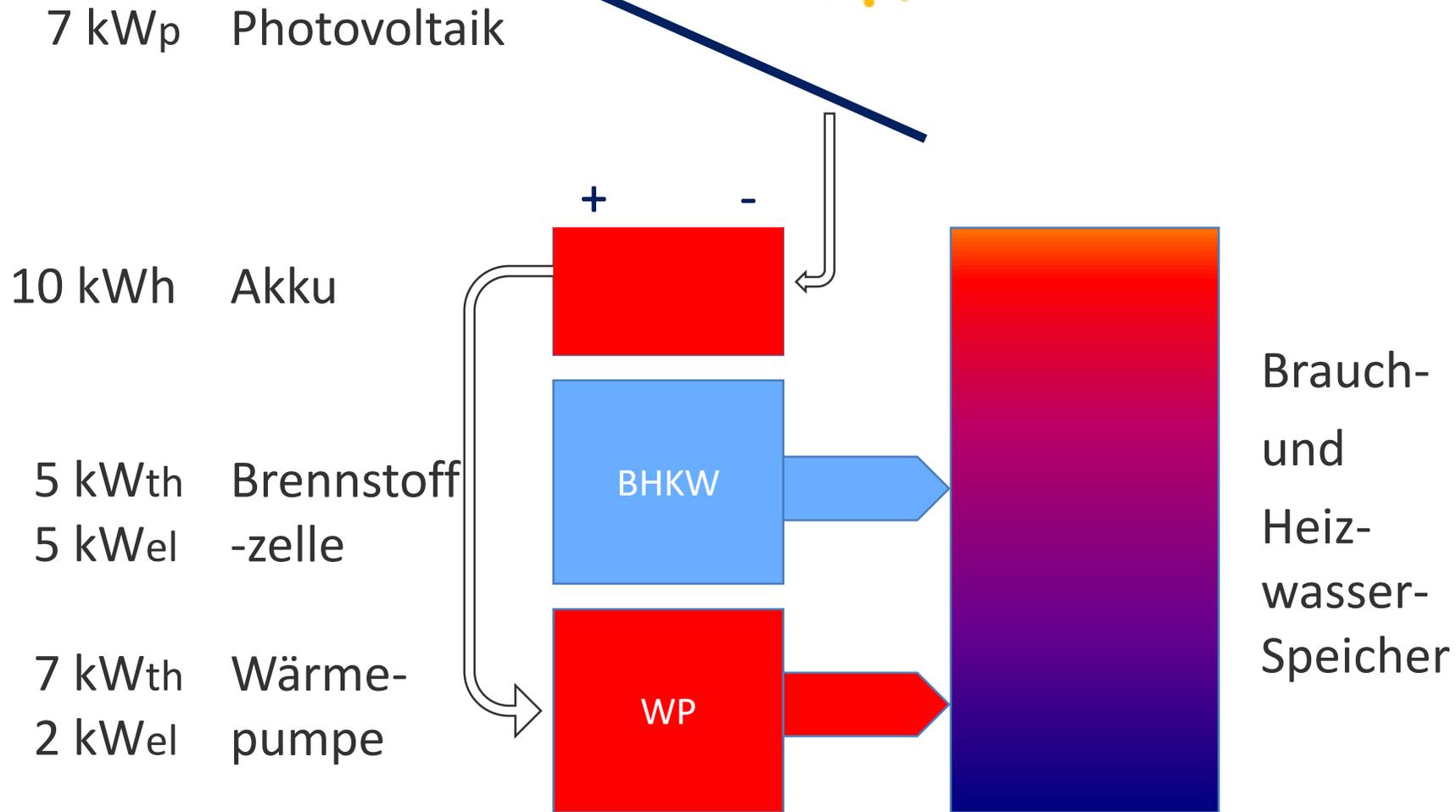
TH-E Box – **TH**ermische und **E**lektrische Energieerzeugung

Kombination aus **Photovoltaik, KWK (Brennstoffzelle), Wärmepumpe, Wärmespeicher**
und Stromspeicher: Optimierte Steuerung sektorengkoppelter Anlagen



images by macrovector/freepik

Tag / Sommer



Nacht / Winter

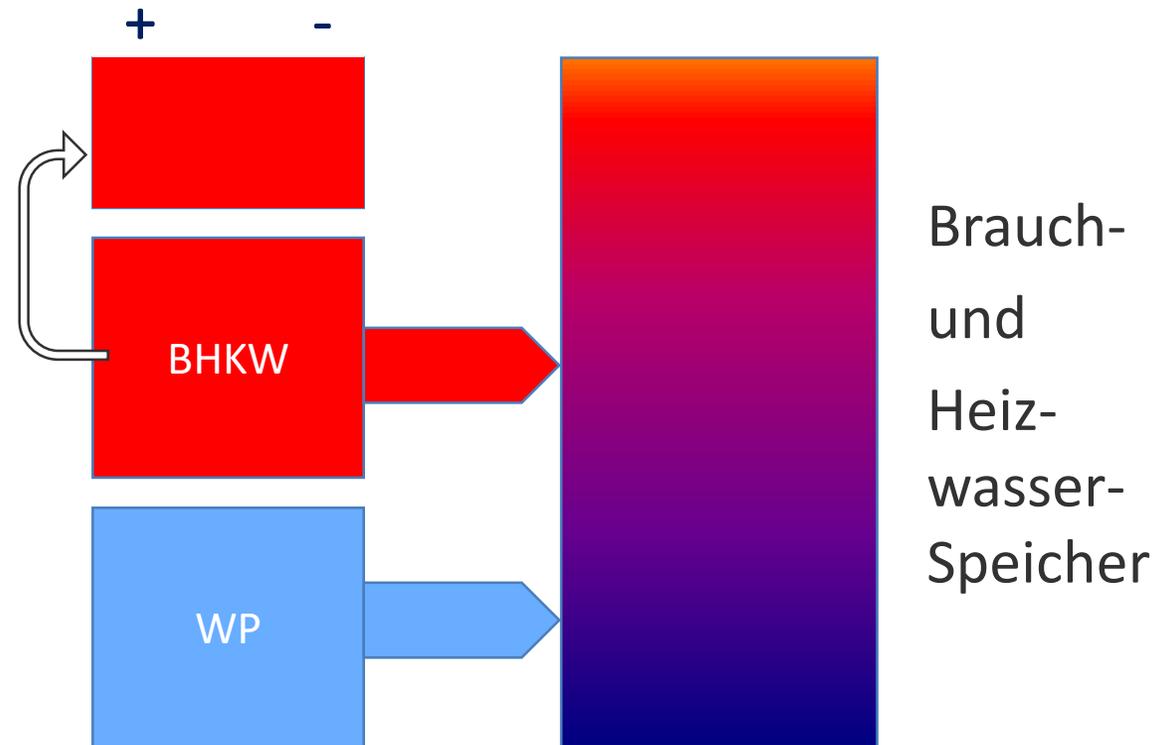


7 kW_p Photovoltaik

10 kWh Akku

5 kW_{th} Brennstoff-
zelle

7 kW_{th} Wärme-
pumpe



Kalt / Winter

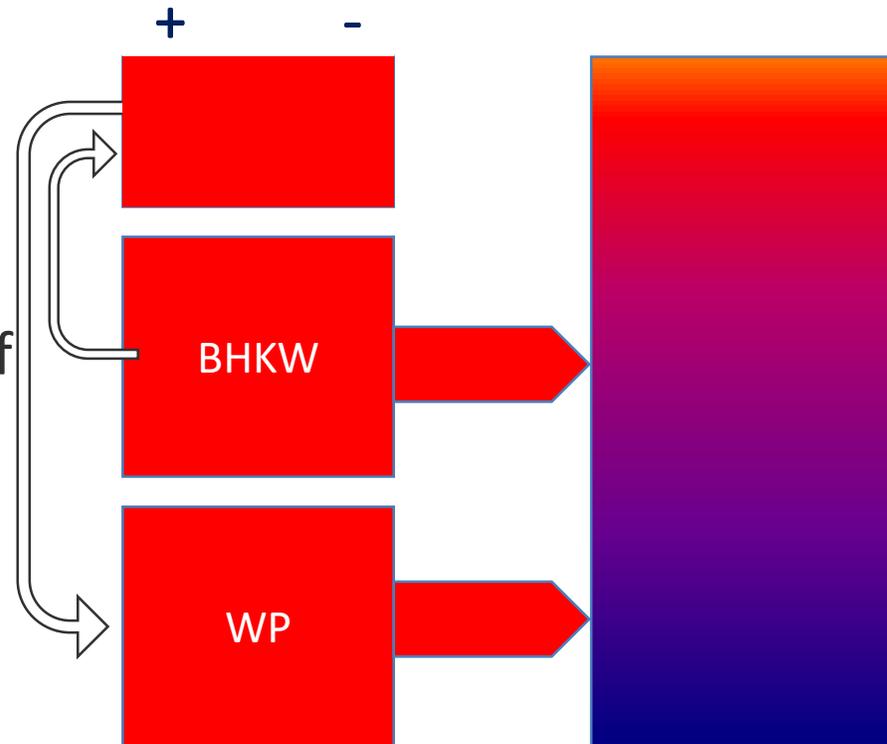


7 kW_p Photovoltaik

10 kWh Akku

5 kW_{th} Brennstoff-
zelle

7 kW_{th} Wärme-
pumpe



Brauch-
und
Heiz-
wasser-
Speicher

TH-E Box – THermische und E lektrische Energieerzeugung

Intelligent geregelte Kombination (sektorgekoppelter) Anlagen zum **netzdienlichen** und **optimalen** Verbrauch lokaler, regenerativer Energien:

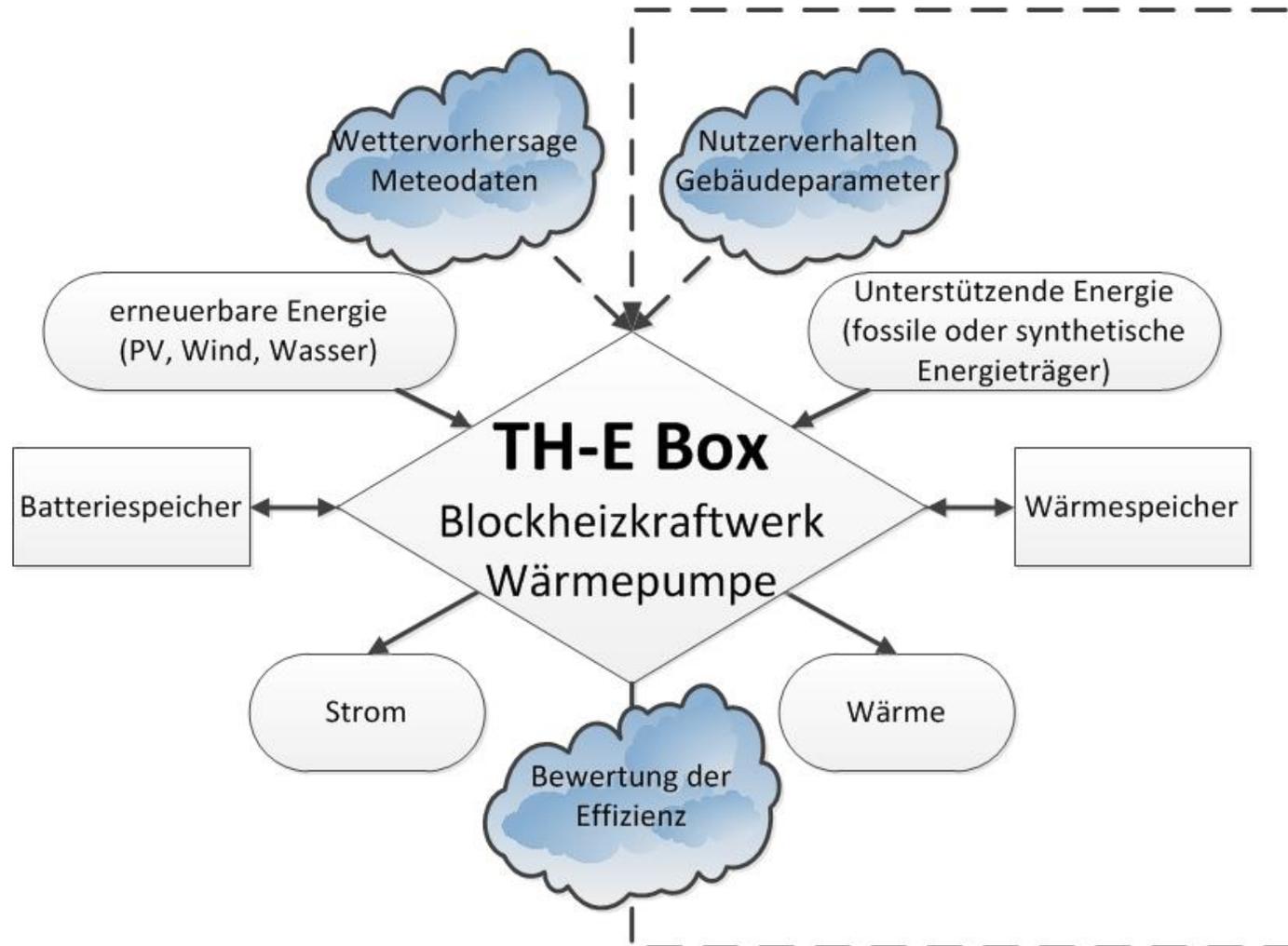
- Thermischer Speicher
- Elektrischer Speicher bzw. Batteriespeicher (Quelle/Senke)
- Brennstoffzelle bzw. allgemein BHKWs (Quelle)
- Wärmepumpe (Senke)

Zu jedem Zeitpunkt kann potentiell Energie **aufgenommen** oder **bereitgestellt** werden und somit netzdienlich agiert werden.

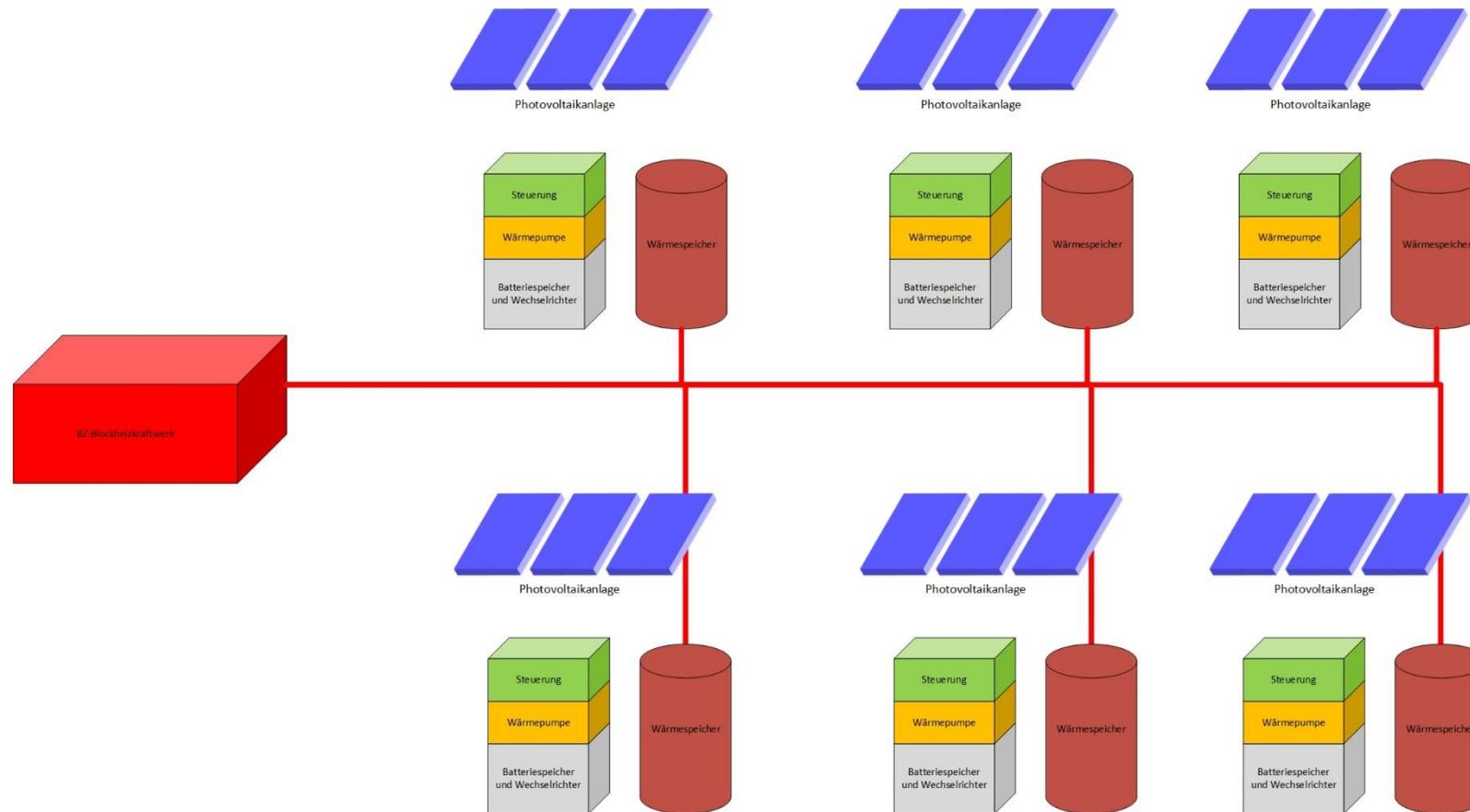
Wie funktioniert die Netzdienlichkeit von TH-E Box

- Netz braucht Energie – Frequenz < 50Hz
 - PV-Anlage liefert Strom ins Netz
 - Volle Batterien können Energie ins Netz liefern
 - BHKW kann gestartet werden und Energie ins Netz liefern
- Netz hat zu viel Energie – Frequenz > 50Hz
 - Batterien werden aus dem Netz geladen
 - Wärmepumpe startet und erzeugt Wärme auf Vorrat
 - Heizstab startet und erzeugt Wärme auf Vorrat
 - Angeschlossene Klimaanlage startet und erzeugt Kälte

Regelung



Quartierslösung mit ausgelagerter KWK und Nahwärmenetz



Smartes Quartier: Dübelhölzle Allesnbach



- Versorgung durch NaturEnergie von Energiedienst
- Lokal erzeugter Strom günstiger als Netzstrom:

iMSys am Liegenschaftsbezugspunkt

- Erzeugung des BHKWs
 - Erzeugung der Dachanlagen der Mehrfamilienhäuser
 - Überschuss der Dachanlagen der Doppelhaushälften
- Bidirektionale Zählpunkte im Keller*



Smartes Quartier: Dübelhölzle Allesnbach



- Versorgung durch NaturEnergie
- Lokal erzeugter Strom günstiger als Netzstrom:

iMSys am Liegenschaftsbezugspunkt

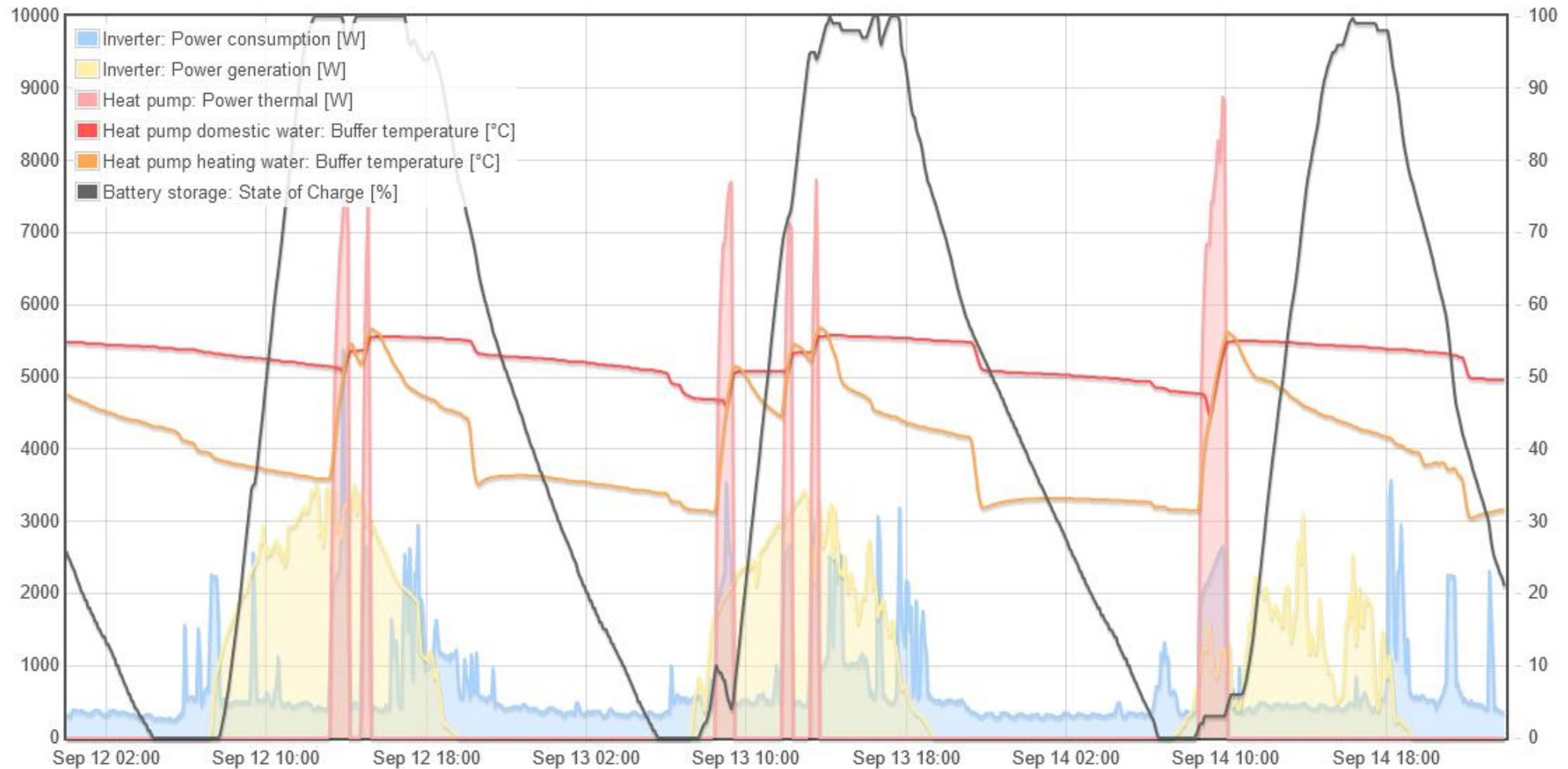
- *Erzeugung des BHKWs*
- *Erzeugung der Dachanlagen der Mehrfamilienhäuser*
- *Überschuss der Dachanlagen der Doppelhaushälften*

Bidirektionale Zählerpunkte im Keller



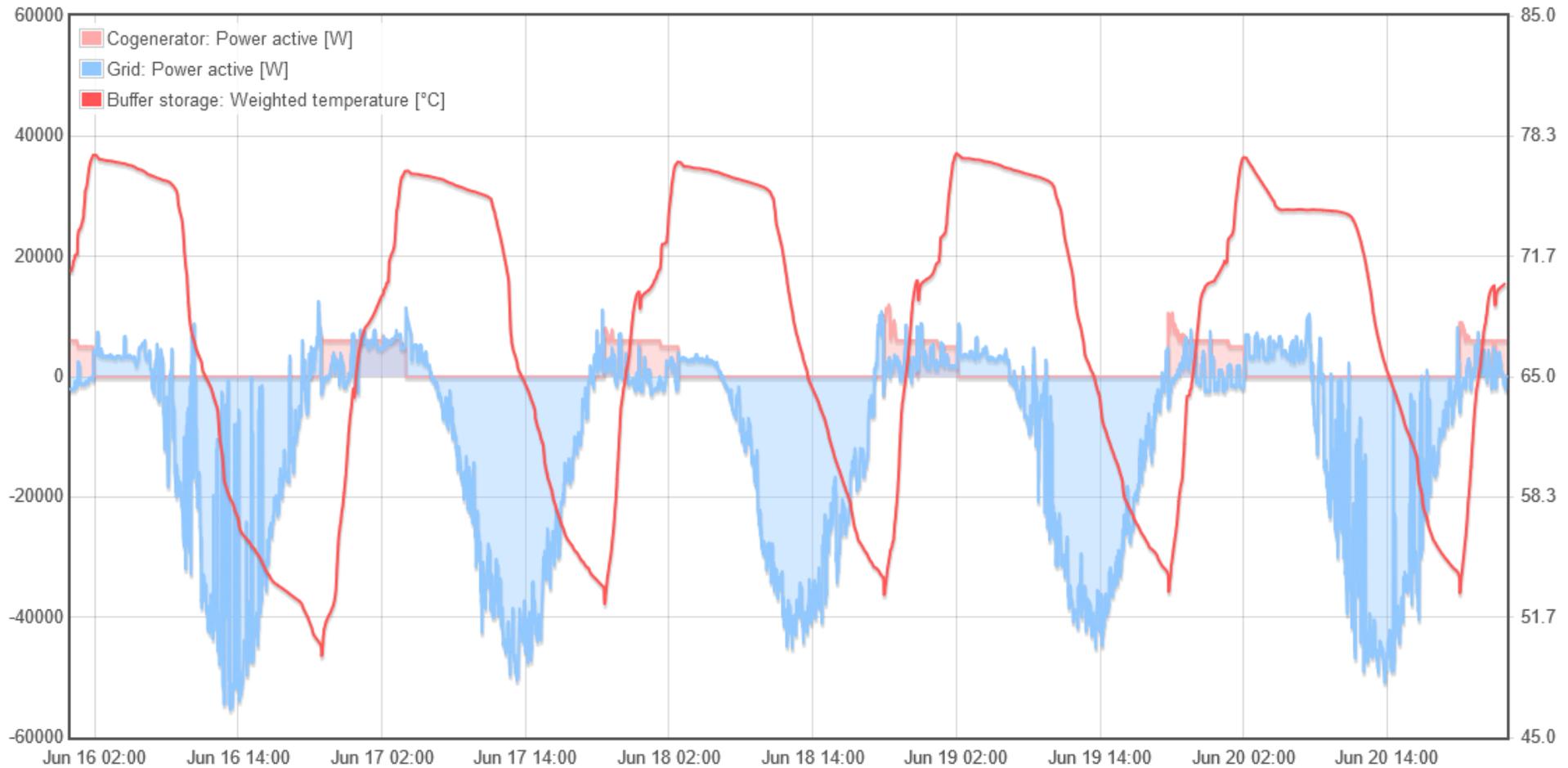
Umsetzung der Schwarmsteuerung

Beispiel: Wärmepumpe



Umsetzung der Schwarmsteuerung

Beispiel: Blockheizkraftwerk



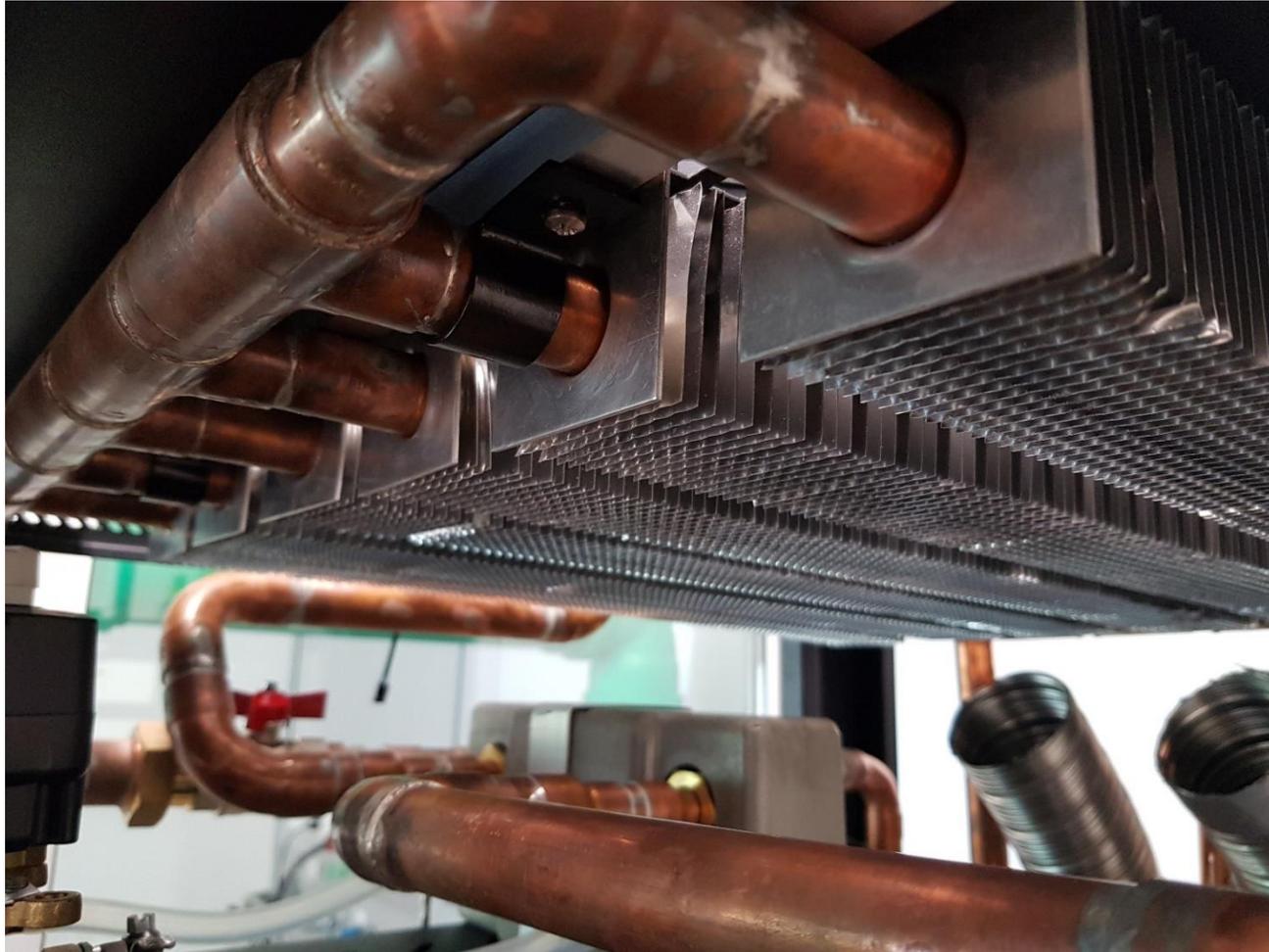
Inhalt

- Einleitung
- Der Notwendigkeit saisonaler Speicher
- Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung
- **Der Teststand**
- Ausblick

Teststand - Laboraufbau

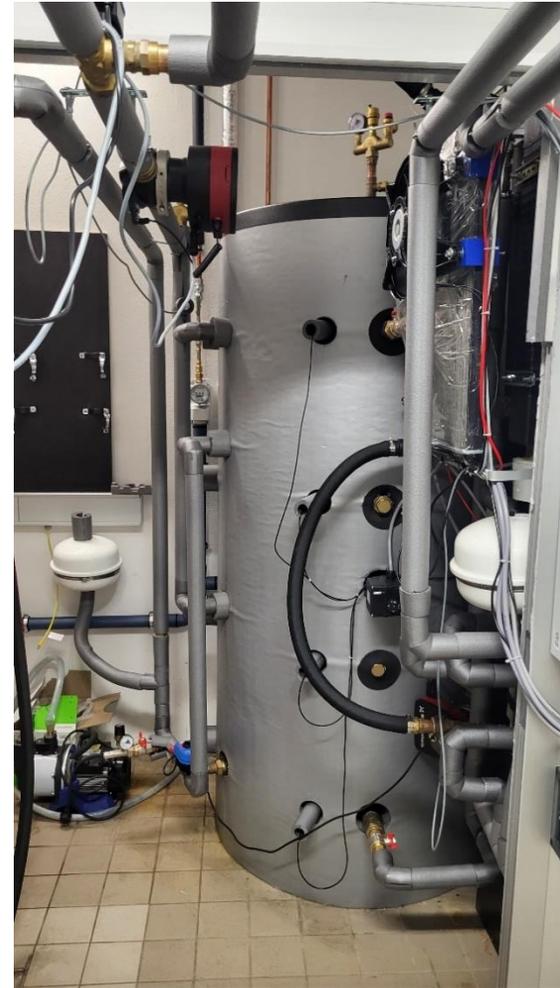


Maximale Wärme- und Energieausbeute



- Abgaswärmetauscher (Rohrbündel)
- Rückführung der sonst nicht nutzbaren Abwärme über die Wärmepumpe
- Kühldecke im Anlagenschrank

Teststand - Laboraufbau



Teststand



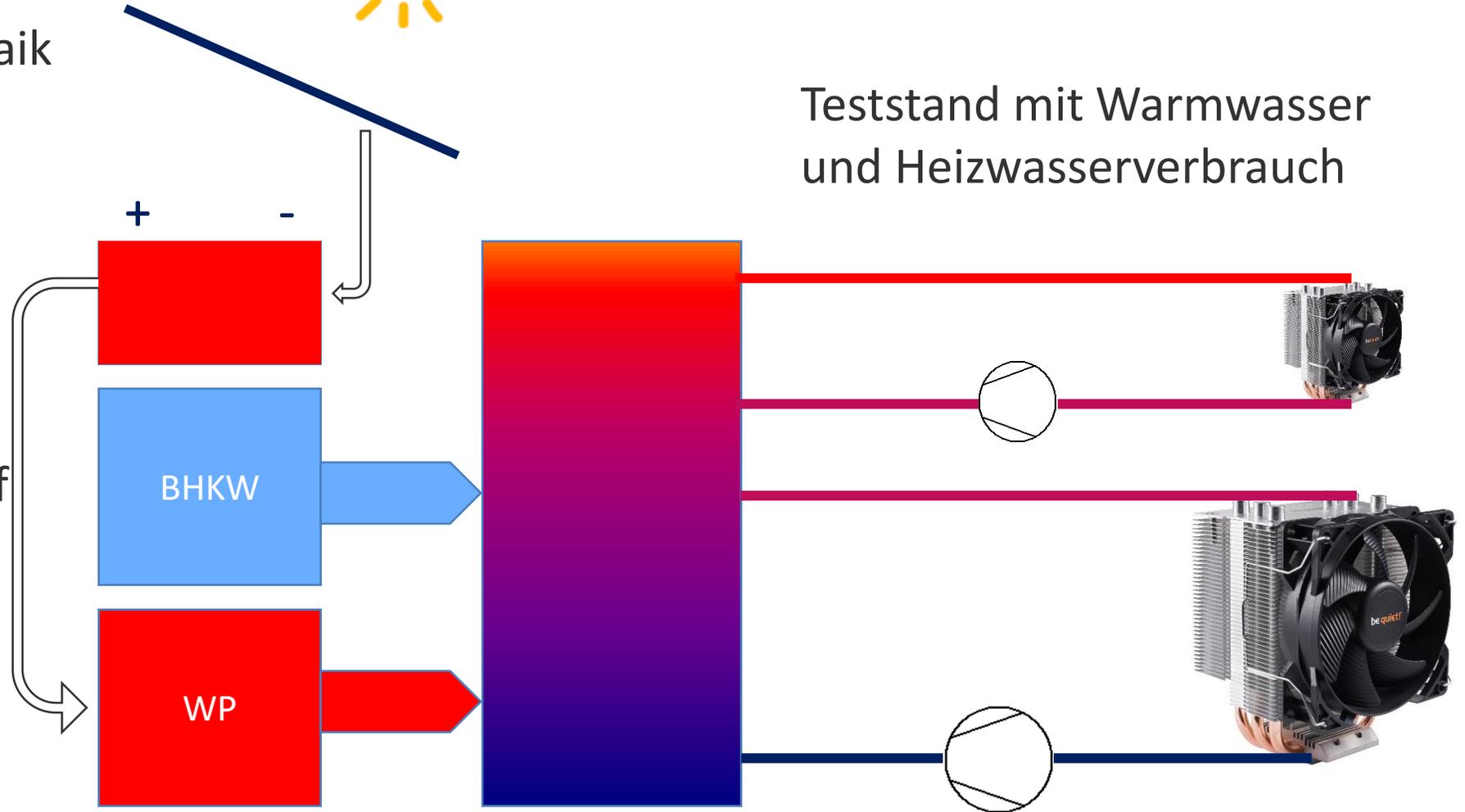
HIL Verbrauch

7 kW_p Photovoltaik

10 kWh Akku

5 kW_{th} Brennstoff-
5 kW_{el} zelle

7 kW_{th} Wärme-
2 kW_{el} pumpe



Teststand mit Warmwasser
und Heizwasserverbrauch

Berechnung Gesamtsystem über ein Jahr

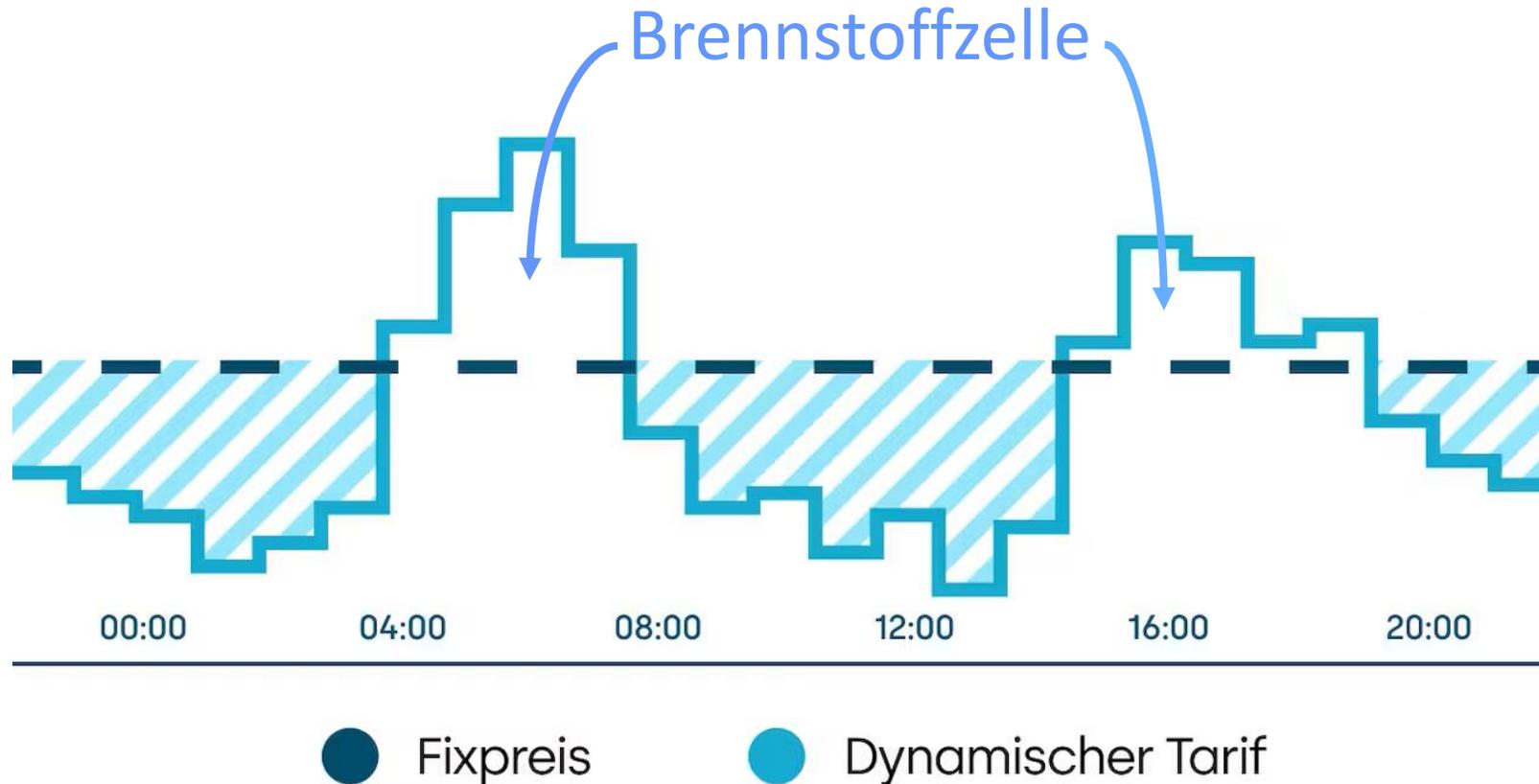
	Größe [kW bzw. kWh]	Betriebs- stunden	Zyklen	Ertrag elektrisch [kWh]	Ertrag thermisch [kWh]	Einspeisung Strom [kWh]	Eigen- verbrauch
PV	10		365	10.023		2.876	71%
Akku	10		467	4.558		0	
Wärmepumpe	3,0	1.464	1.177	- 4.393	15.376		
Brennstoffzelle	4,0	1.157	447	4.608	4.608	4	99,9%
Gesamt Erzeuger				14.631	19.984		

Gebäude mit Jahres-Wärmebedarf: 20.000 kWh ; Strombedarf: 7.000 kWh

Inhalt

- Einleitung
- Der Notwendigkeit saisonaler Speicher
- Die Brennstoffzelle zur thermischen und elektrischen Energieerzeugung
- Der Teststand
- **Ausblick**

Dynamischer Stromtarif als Anreiz



<https://tibber.com/de/stromtarif>

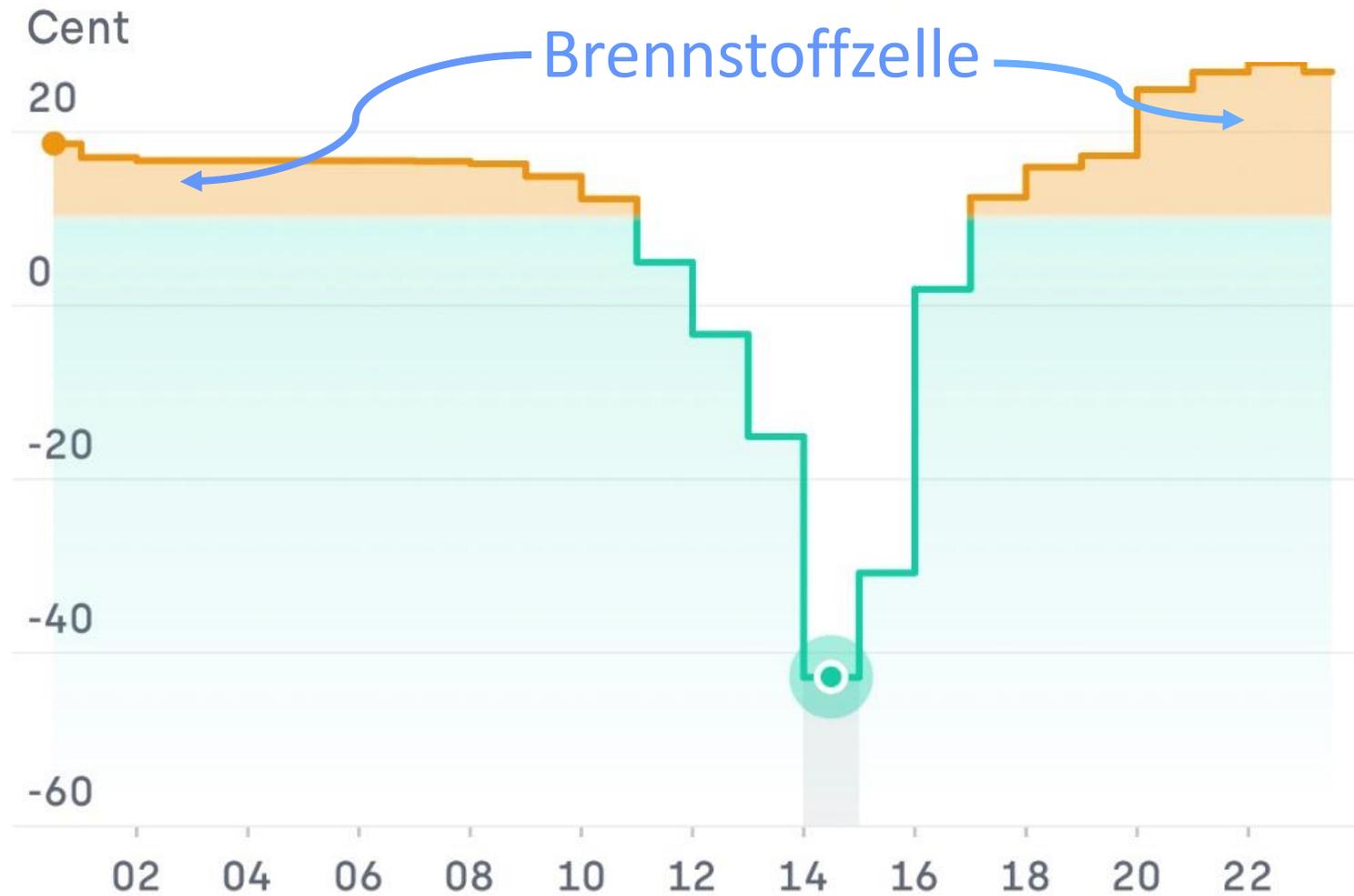
Dynamischer Stromtarif als Anreiz



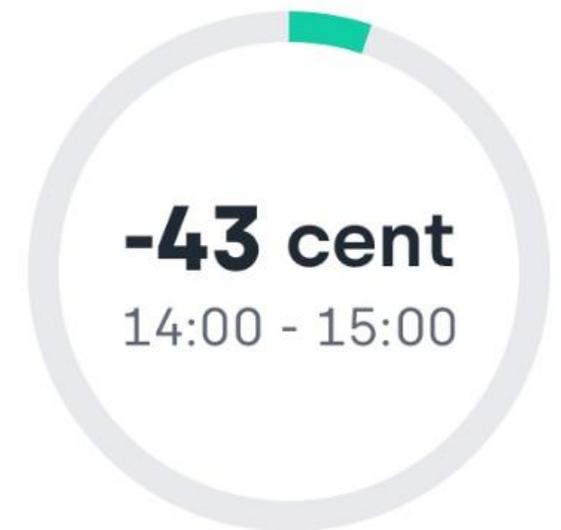
Sonntag, 24.09.2023

<https://tibber.com/de/stromtarif>

Dynamischer Stromtarif als Anreiz



Sonntag, 2.07.2023



<https://tibber.com/de/stromtarif>

Ausblick

Wärmepumpen-Brennstoffzellen-Hybridsystem

- Einbindung von Prognosen
- Berechnungen und Tests mit flexiblen Stromtarifen
- Investorensuche
- Industrialisierung
- Produktionsaufbau Kleinserien
- Merge, IPO, usw.



© ISC Konstanz e.V. AI4GRIDS SYMPOSIUM: Die Brennstoffzelle im netzdienlichen Wärmepumpen-Hybridsystem

Danke
Für die Aufmerksamkeit