

Untersuchung eines Energiekonzepts mit PV-Anlage, Wärmepumpe und Batteriespeicher für den Bauhof und das Verwaltungsgebäude der Verbandsgemeinde Monsheim

**Dipl. Ing. (FH) Alexander Keil M.Sc.
Transferstelle Bingen
16.11.2023**



Quellen: AÖR EP Monsheim, Viessmann, Tesvolt

- 95-kWp-PV-Anlage auf dem Dach der neuen Bauhofhalle
- Gemeinsame Stromversorgung von Bauhof und Verwaltungsgebäude inkl. Bürocontainer
- Die bestehende Heizungsanlage des Verwaltungsgebäudes (Mini-BHKW + Gaskessel) soll zukünftig durch eine Wärmepumpenlösung ersetzt werden.
→ Frage: Wie wirkt sich dies auf den Stromverbrauch aus und in welchem Maße kann die PV-Anlage den Wärmepumpen-Strombedarf unterstützen?
- 80 kWh- Batteriespeicher für ca. 108.000 €
→ Frage: In welchem Maße kann der Batteriespeicher den Eigenverbrauch erhöhen und kann er wirtschaftlich betrieben werden?

Vorgehensweise der Untersuchung



1. AP 1: Ist-Situation PV-Stromerzeugung und Energieverbrauch
2. AP 2: Wärmepumpe als zusätzlicher Verbraucher
3. AP 3: Einbindung eines Batteriespeichers

Luftbild vom Standort VG Monsheim



Beschreibung PV-Anlage



- Aufdach-PV-Anlage, 95,7 kWp
- Ost/West-Ausrichtung
- 290 PV-Module

Herangehensweise der Untersuchung für AP 1



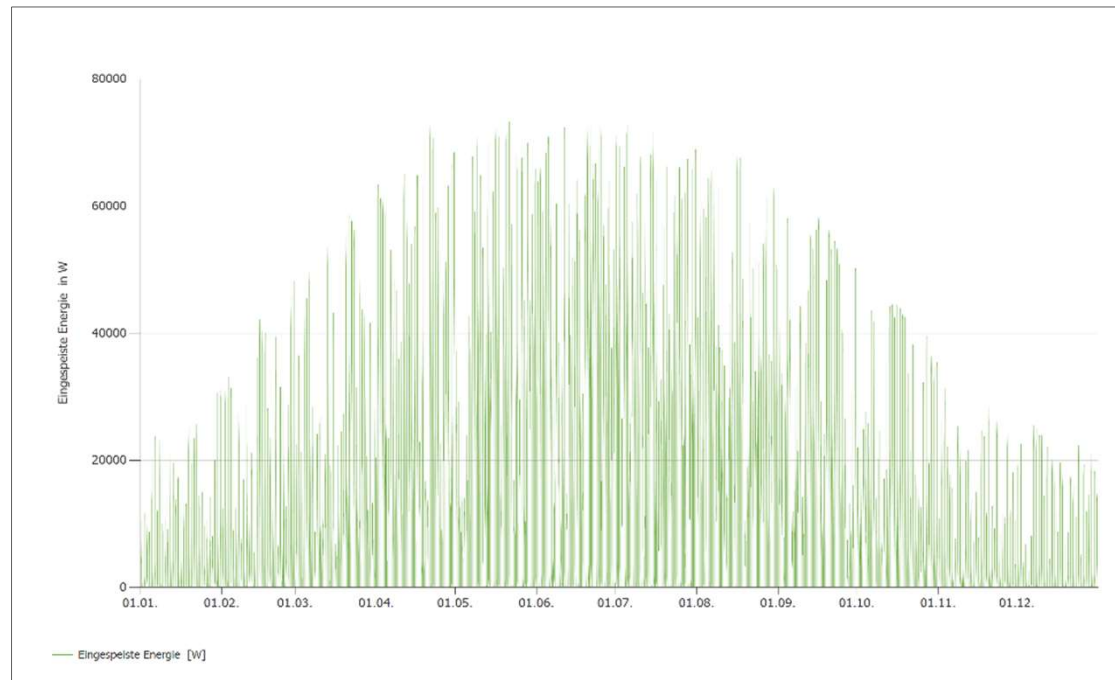
- Nachbildung der PV-Anlage in der Planungssoftware PV*Sol
- Software-Simulation für die PV-Anlage (ohne Verbraucher)
 - **Zwischenergebnis 1: Ertragspotential bzw. Energieerzeugung der PV-Anlage**
- Datenauswertung Stromverbrauch:
 - Bildung von 15-Min-Lastgängen, die in PV*Sol importiert werden
 - Der eigenerzeugte BHKW-Strom wurde in der Untersuchung herausgerechnet
- Wo keine historischen Jahresverbräuche / Lastgänge vorhanden:
 - Abschätzung Jahresverbrauch (Vorgabe durch AÖR Energieprojekte Monsheim)
 - Nutzung geeigneter VDEW-Standardlastprofile
 - Daraus Bildung von 15-Min-Lastgängen, die in PV*Sol importiert werden
- Software-Simulation für die PV-Anlage (mit den aktuellen Stromverbrauchern)
 - **Zwischenergebnis 2: Energieerzeugung der PV-Anlage und Eigenverbrauch durch vorhandene Verbraucher**

Zwischenergebnis 1: Energieerzeugung PV-Anlage



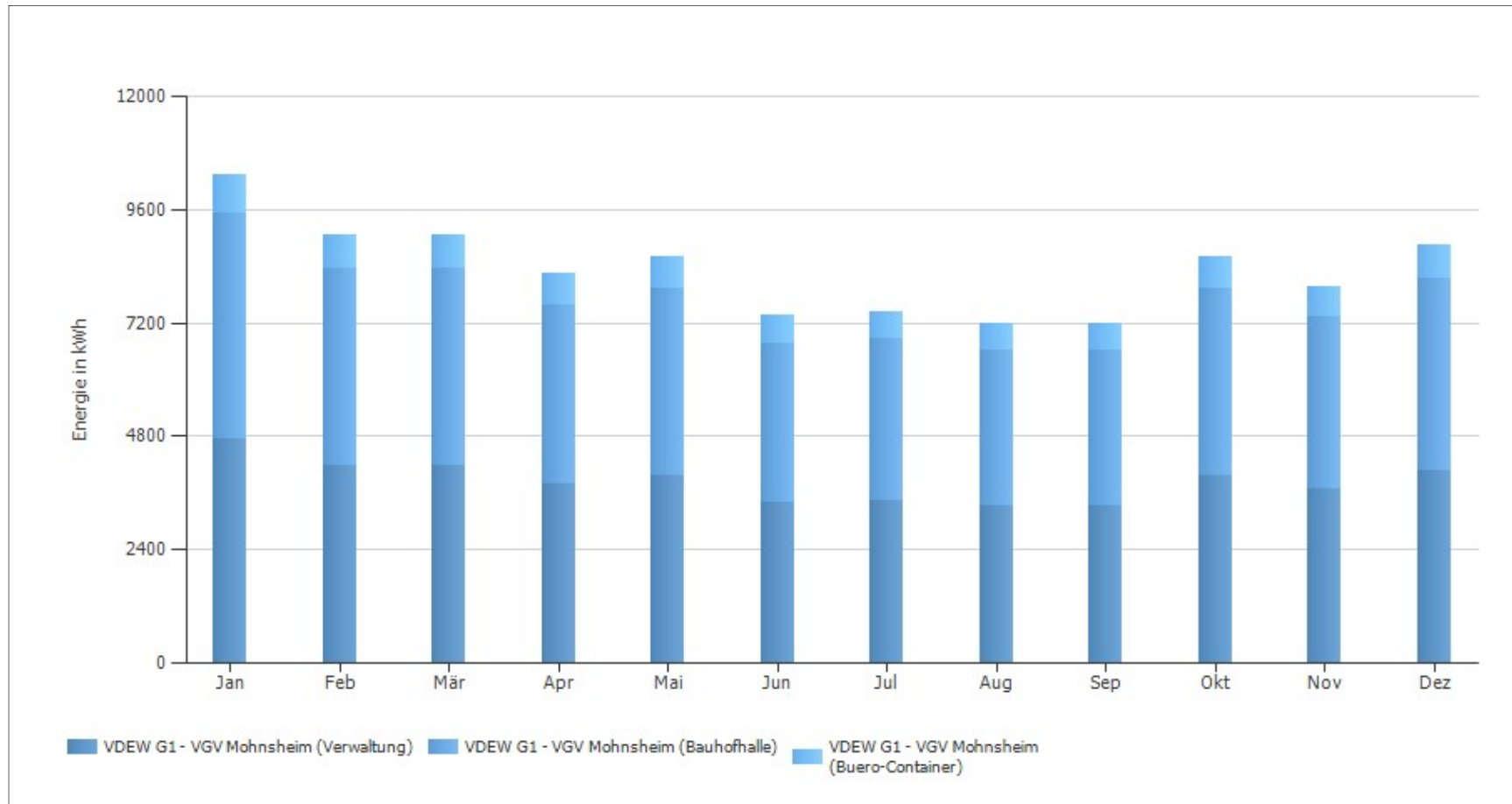
PV-Generatorleistung	95,70 kWp
Spez. Jahresertrag	922,83 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	85,42 %
Ertragsminderung durch Abschattung	6,3 %
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	88.337 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	88.337 kWh/Jahr

Zeit	Eingespeiste Energie in kWh
Jahr	88.891,0
Jan	2.179,5
Feb	3.599,3
Mär	6.031,3
Apr	10.404,0
Mai	12.125,0
Jun	13.360,0
Jul	13.351,0
Aug	10.541,0
Sep	7.833,7
Okt	5.270,7
Nov	2.227,4
Dez	1.968,9



- Neue Bauhofhalle mit Büros, Sozial- und Sanitärraum:
→ 46.000 kWh (Schätzung durch AÖR, da keine historischen Werte vorhanden)
- Verwaltungsgebäude
→ 46.000 kWh (Auswertung historische Verbrauchs- und Erzeugungsdaten durch TSB)
- Bürocontainer
→ 7.860 kWh (Schätzung durch AÖR, da keine historischen Werte vorhanden)
- → Verwendung Standardlastprofil G1 auf Jahresverbräuche
- → Bildung von 15-Min-Lastgängen für Simulationen

Stromverbrauchsprofil am Standort

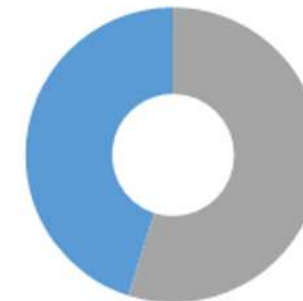


Zwischenergebnis 2: Eigenbedarfsdeckung durch PV-Energie (aktuelle Stromverbraucher)



PV-Generatorleistung	95,70	kWp
Spez. Jahresertrag	922,83	kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)	85,42	%
Ertragsminderung durch Abschattung	6,3	%
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	88.337	kWh/Jahr
Eigenverbrauch	48.527	kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0	kWh/Jahr
Netzeinspeisung	39.810	kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	54,9	%
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	41.508	kg/Jahr

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



■ Eigenverbrauch
■ Abregelung am Einspeisepunkt
■ Netzeinspeisung

Verbraucher	99.860	kWh/Jahr
Standby-Verbrauch (Wechselrichter)	22	kWh/Jahr
Gesamtverbrauch	99.882	kWh/Jahr
gedeckt durch PV	48.527	kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	51.356	kWh/Jahr
Solarer Deckungsanteil	48,6	%

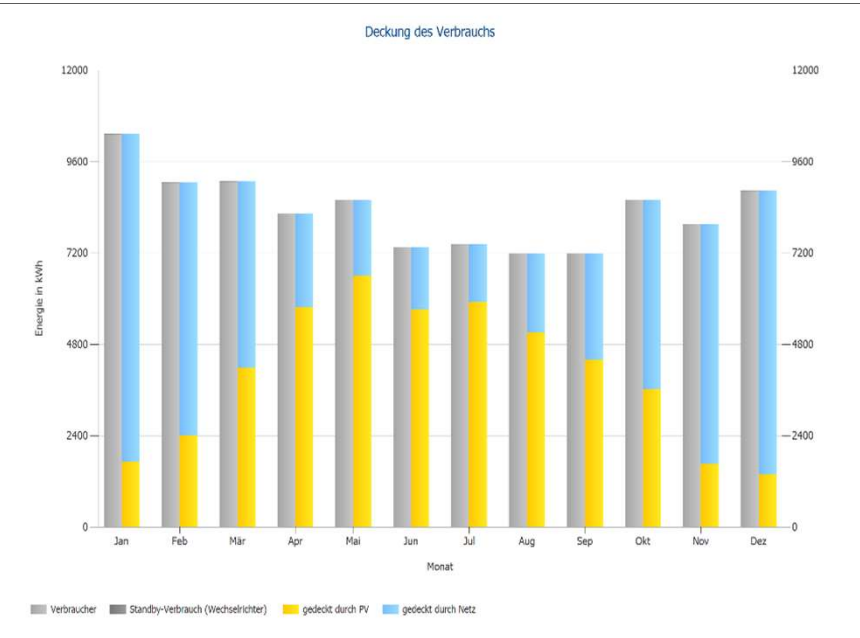
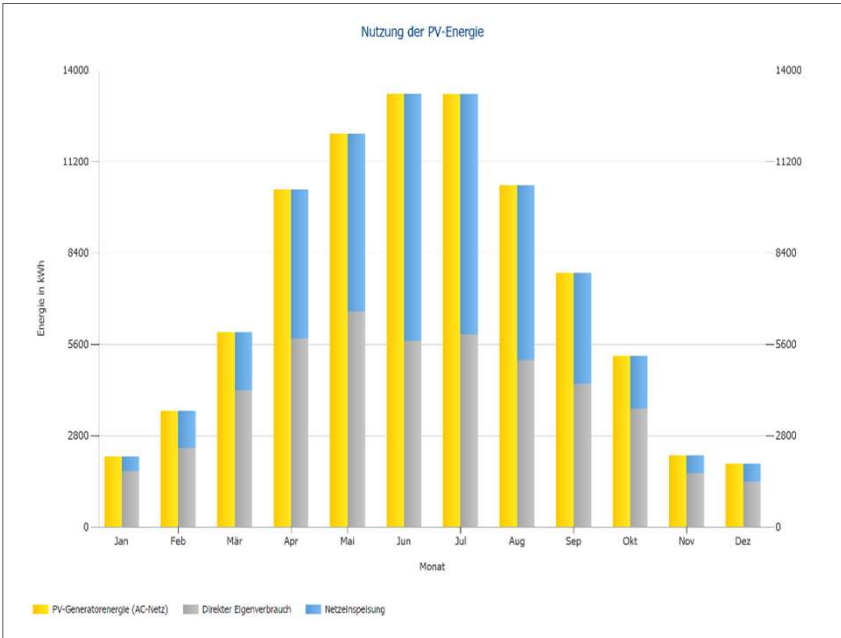
Gesamtverbrauch



■ gedeckt durch PV
■ gedeckt durch Netz

PV-Anlage mit Verbrauchern

Nutzung PV-Energie/Deckung Verbrauch



Vorgehensweise der Untersuchung



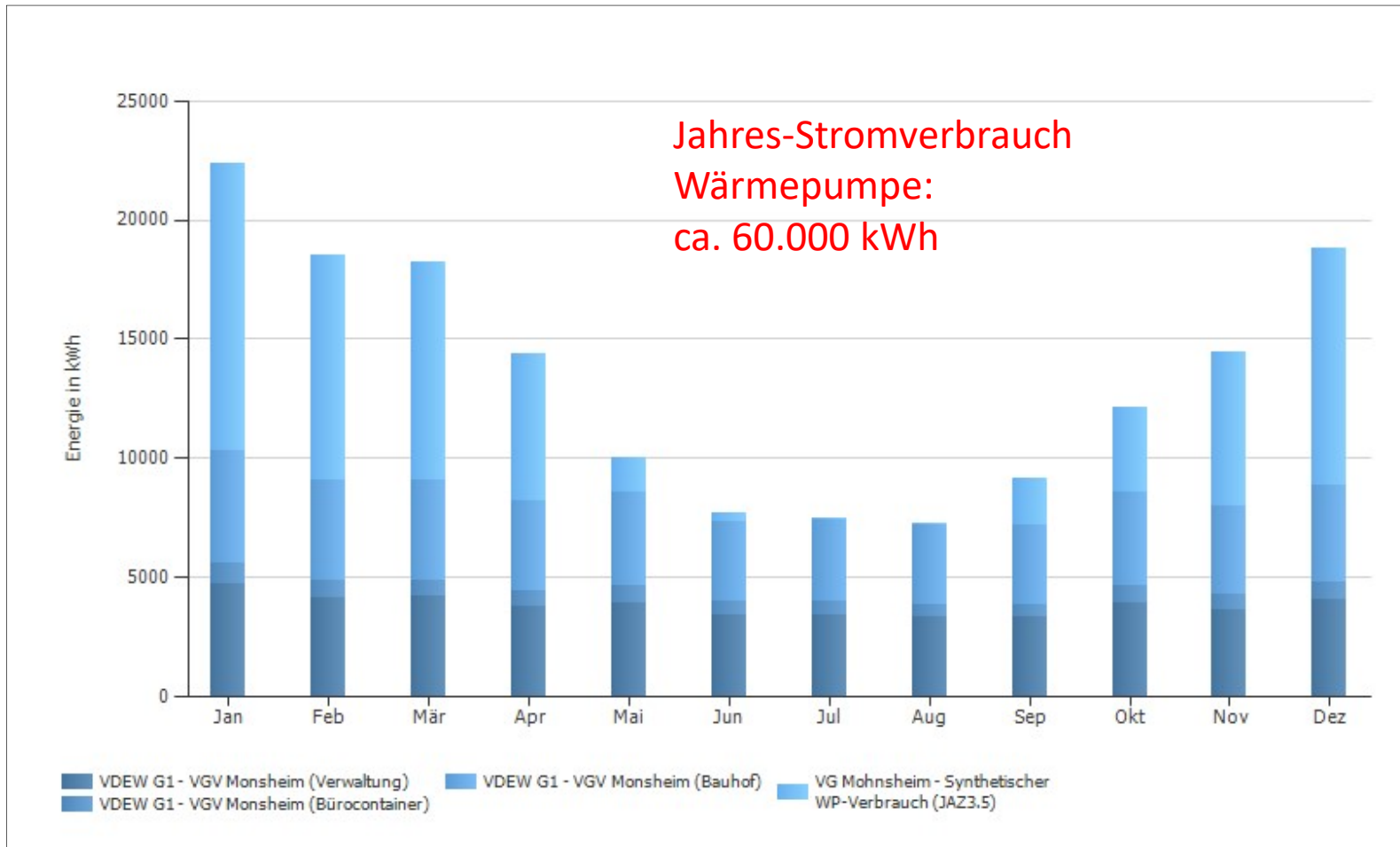
1. AP 1: Ist-Situation PV-Stromerzeugung und Energieverbrauch
2. **AP 2: Wärmepumpe als zusätzlicher Verbraucher**
3. AP 3: Einbindung eines Batteriespeichers

Herangehensweise der Untersuchung für AP 2 (mit Wärmepumpe)



- Auswertung der Wärmeverbrauchsdaten der Heizung des Verwaltungsgebäudes
 - (von EDG zur Verfügung gestellt)
- Erstellung eines Wärmepumpen-Strombedarf-Lastgangs
 - Stark vereinfachte Näherung über $COP = 3,5$
 - Berechnung 15-Min-Werte für Strombedarf
 - Import Lastgang in PV*Sol
- Software-Simulation für die PV-Anlage mit den aktuellen Stromverbrauchern und einer zusätzlichen Wärmepumpe
 - **Zwischenergebnis 3: Energieerzeugung PV-Anlage und Eigenverbrauch durch aktuelle Verbraucher und Wärmepumpe**

Stromverbrauchsprofil am Standort mit zusätzlicher Wärmepumpe



Zwischenergebnis 3: Eigenbedarfsdeckung durch PV-Energie (aktuelle Stromverbraucher + Wärmepumpe)



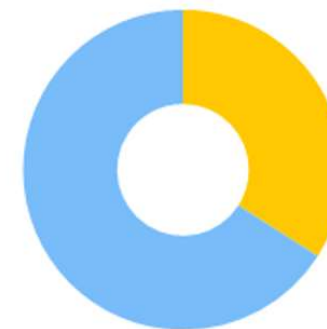
PV-Generatorleistung		95,70 kWp	
Spez. Jahresertrag		922,83 kWh/kWp	
Anlagennutzungsgrad (PR)		85,42 %	
Ertragsminderung durch Abschattung		6,3 %	
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	88.337	88.337 kWh/Jahr	
Eigenverbrauch	48.527	54.677 kWh/Jahr	
Abregelung am Einspeisepunkt	0	0 kWh/Jahr	
Netzeinspeisung	39.810	33.659 kWh/Jahr	
Eigenverbrauchsanteil	54,9	61,9 %	
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	41.508	41.508 kg/Jahr	
Verbraucher	99.860	160.563 kWh/Jahr	
Standby-Verbrauch (Wechselrichter)	22	22 kWh/Jahr	
Gesamtverbrauch	99.882	160.585 kWh/Jahr	
gedeckt durch PV	48.527	54.677 kWh/Jahr	
gedeckt durch Netz	51.356	105.908 kWh/Jahr	
Solarer Deckungsanteil	48,6	34,0 %	

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



■ Eigenverbrauch
■ Abregelung am Einspeisepunkt
■ Netzeinspeisung

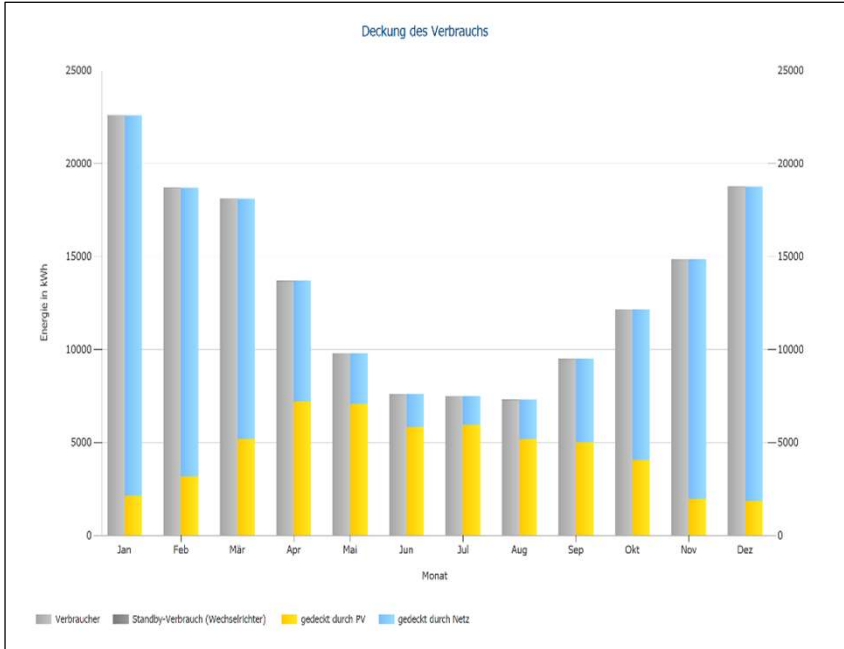
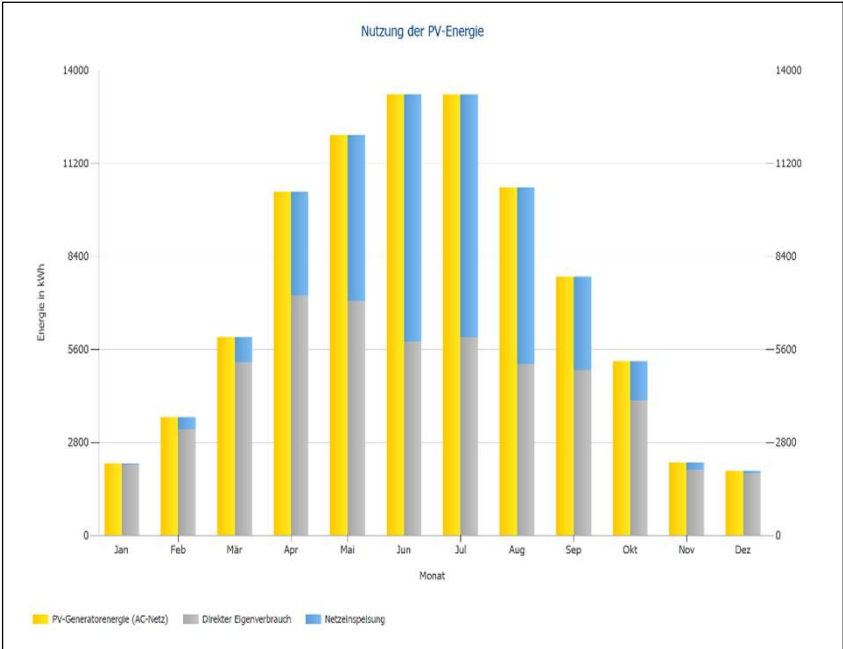
Gesamtverbrauch



■ gedeckt durch PV
■ gedeckt durch Netz

Vergleichswerte
ohne
Wärmepumpe

PV-Anlage mit Verbrauchern und WP Nutzung PV-Energie/Deckung Verbrauch



Offene Frage: Wie viel kann ein Batteriespeicher am Standort zur Erhöhung des Eigenverbrauchs und des elektrischen Autarkiegrads beitragen?

Vorgehensweise der Untersuchung



1. AP 1: Ist-Situation PV-Stromerzeugung und Energieverbrauch
2. AP 2: Wärmepumpe als zusätzlicher Verbraucher
3. **AP 3: Einbindung eines Batteriespeichers**

Herangehensweise der Untersuchung für AP 3 (mit WP + Batteriespeicher)



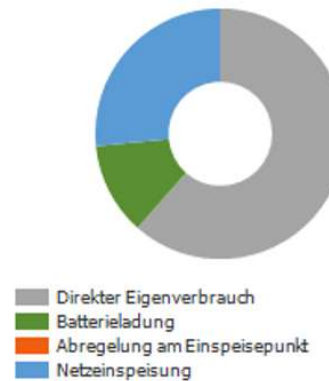
- Auswahl von Batteriespeichersystemen, die in der PV*Sol-Datenbank verfügbar sind.
 - Prio 1: TS-I HV 80 E mit 80 kWh und 80 kW (wurde der AöR EP Monsheim angeboten)
 - Weitere untersuchte Speichergrößen:
 - 32 kWh / 30 kW
 - 56 kWh / 50 kW
 - 64 kWh / 60 kW
 - 160 kWh / 160 kW
- Durchführung einzelner Software-Simulationen mit verschiedenen Batteriespeichern
 - Vergleich der Ergebnisse untereinander → maßgebend: Reduzierung von Netzstrombezug !
 - **Zwischenergebnis 4: Erhöhung des Eigenverbrauchs / Reduzierung Netzstrombezug**
- Vergleich von Kosten / Nutzen der verschiedenen Batteriespeicher-Varianten
 - **Zwischenergebnis 5: Amortisationszeiten verschiedener Batteriespeicher**

Simulationsergebnisse Batteriespeicher 80 kWh / 80 kW (wie angeboten)



PV-Generatorleistung		95,70 kWp
Spez. Jahresertrag		922,83 kWh/kWp
Anlagennutzungsgrad (PR)		85,42 %
Ertragsminderung durch Abschattung		6,3 %
PV-Generatorenergie (AC-Netz)	88.337 kWh	88.337 kWh/Jahr
Direkter Eigenverbrauch	54.677 kWh	54.341 kWh/Jahr
Batterieladung	0 kWh	10.519 kWh/Jahr
Abregelung am Einspeisepunkt	0 kWh	0 kWh/Jahr
Netzeinspeisung	33.659 kWh	23.477 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	61,9 %	73,4 %
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	41.508 kg/Jahr	40.887 kg/Jahr
Verbraucher	160.563 kWh	160.537 kWh/Jahr
Standby-Verbrauch (Wechselrichter)	22 kWh	22 kWh/Jahr
Gesamtverbrauch	160.585 kWh	160.559 kWh/Jahr
gedeckt durch PV	54.677 kWh	54.341 kWh/Jahr
gedeckt durch Batterie netto	0 kWh	9.280 kWh/Jahr
gedeckt durch Netz	105.908 kWh	96.939 kWh/Jahr
Solarer Deckungsanteil	34,0 %	39,6 %

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



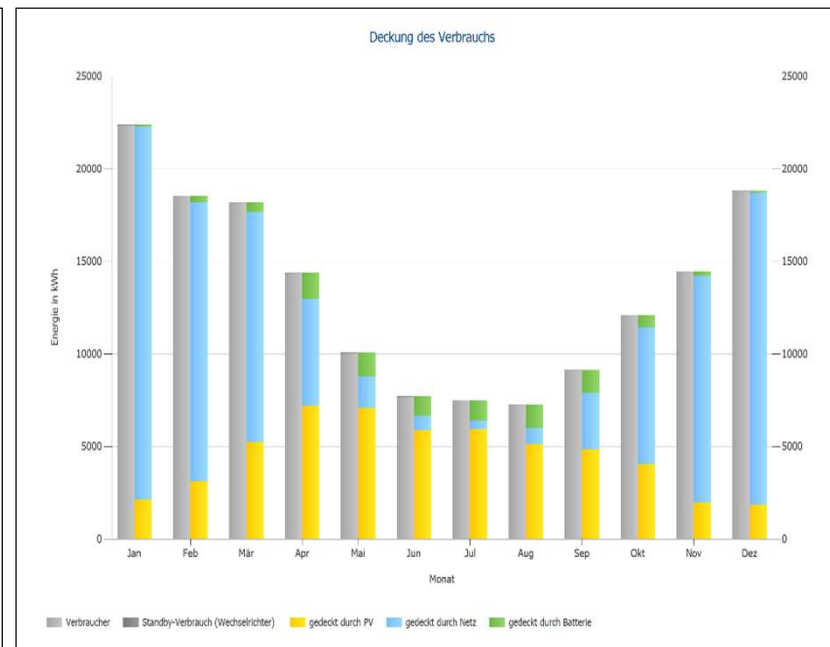
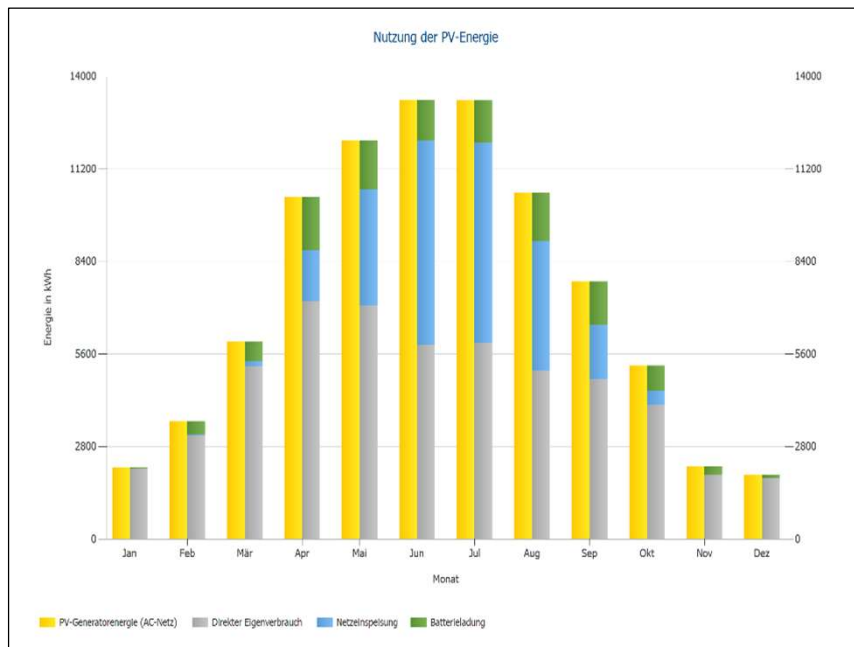
Gesamtverbrauch



Vergleichswerte mit
Wärmepumpe, ohne
Batteriespeicher

PV-Anlage mit Verbrauchern, WP und Batteriespeicher 80 kWh / 80 kW

Nutzung PV-Energie/Deckung Verbrauch



- In Wintermonaten: keine Netzeinspeisung; nur geringe Nutzung Batteriespeicher
- In Sommermonaten: Batteriespeicher kann Beitrag leisten; Trotzdem große Einspeisung von Überschüssen

- In Wintermonaten: kaum Überschüsse; nur sehr geringe Nutzung Batteriespeicher; weiterhin sehr hohe Netzbezüge
- In Sommermonaten: Batteriespeicher kann Beitrag leisten; jedoch entfällt Wärmepumpe als Verbraucher; Entladung nur nachts für reduzierte Normalverbraucher

Vergleich Simulationsergebnisse mit verschiedenen Batteriespeichern



		AP 1	AP 2	AP3				
PV-Generatorleistung	kWp	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7
PV-Generatorenergie (AC-Netz) = Erzeugung	kWh/a	88.337	88.337	88.337	88.337	88.337	88.337	88.337
Batteriespeichersystem		ohne	ohne	TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS-85
Kapazität	kWh	–	–	32	56	64	80	160
Ladeleistung	kW	–	–	30	50	60	80	80
Batterieladung	kWh/a	–	–	6.655	8.761	9.403	10.519	13.150
Gesamtstromverbrauch	kWh/a	99.882	160.559	160.559	160.559	160.559	160.559	160.559
gedeckt durch PV	kWh/a	48.527	54.486	54.402	54.361	54.346	54.341	54.133
gedeckt durch Batterie netto	kWh/a	–	–	6.111	8.124	8.546	9.280	11.778
gedeckt durch Netz	kWh/a	51.356	106.073	100.047	98.074	97.667	96.939	94.648
Reduktion des Netzstrombezugs (ggü. AP2)	kWh/a	–	–	6.026	7.999	8.406	9.134	11.425
	%	–	–	-5,7	-7,5	-7,9	-8,6	-10,8
Eigenverbrauchsanteil	%	54,9	61,7	69,1	71,5	72,2	73,4	76,2
Änderung zu AP1		–	+ 6,7	+ 14,2	+ 16,5	+ 17,2	+ 18,5	+ 21,2
Änderung zu AP2				+ 7,4	+ 9,8	+ 10,5	+ 11,7	+ 14,5
Solarer Deckungsanteil (Autarkiegrad)	%	48,6	33,9	37,7	38,9	39,2	39,6	41,1
Änderung zu AP1		–	- 14,6	- 10,9	- 9,7	- 9,4	- 9,0	- 7,5
Änderung zu AP2				+ 3,8	+ 5,0	+ 5,2	+ 5,7	+ 7,1
Erdgasverbrauch	kWh/a	178.000	0	0	0	0	0	0

AP1: PV-Anlage mit Verbrauchern; AP2: PV-Anlage mit Verbrauchern und Wärmepumpe; AP3: PV-Anlage mit Verbrauchern, Wärmepumpe + Batteriespeicher

Das Mini-BHKW wurde hier nicht mehr berücksichtigt (Gasverbrauch / Stromerzeugung).

Zwischenergebnis 4:



- Erhöhung Eigenstromverbrauch / Reduzierung Netzstrombezug durch Batteriespeicher: ca. 6.000 - 11.500 kWh (je nach Speicherkapazität; gilt für die untersuchte Konstellation).
- Reduzierung des Netzstrombezugs nimmt mit steigender Speicherkapazität nicht linear zu ! (gilt für die untersuchte Konstellation)
→ Die Wirtschaftlichkeit wird mit schlechter!
- Batteriespeicher sind noch mit recht hohen Investitionskosten verbunden.
- Die Lebenserwartung von Batteriespeichern liegt bei ca. 15 Jahren.
→ Amortisation sollte innerhalb dieser Zeit möglich sein !
- Die nutzbare Speicherkapazität nimmt um ca. 2 %/a ab (noch ca. 70 % nach 15 Jahren).
→ Einsparung von Netzstrombezug nimmt ab!
→ Hat auch Auswirkungen auf Wirtschaftlichkeit ! (hier nicht einbezogen)

Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher - 1

Amortisationszeiten



- Aktueller Strompreis VG Monsheim: etwa 0,29 €/kWh
→ Prognose: wird zukünftig steigen
- Spez. Batteriespeicherkosten: etwa 1.350 €/kWh
→ Prognose: werden zukünftig fallen

Batteriespeichersystem	Speicher kapazität in kWh	Reduzierung Netzstrombezug in kWh	Reduzierung Netzstromkosten in €	Strompreis in €/kWh	Investition Batteriespeicher in €	spez. Kosten Batterie in €	stat. Amortisationszeit in a
TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	32	6.000	1.740	0,29	43.200	1.350	25
TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	56	8.000	2.320		75.600		33
2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	64	8.400	2.436		86.400		35
TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	80	9.100	2.639		108.000		41
2x TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS- 85	160	11.400	3.306		216.000		65

Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher - 2

Änderung Strompreis



Batteriespeichersystem	Speicher kapazität in kWh	Reduzierung Netzstrombezug in kWh	Reduzierung Netzstromkosten in €	Strompreis in €/kWh	Investition Batteriespeicher in €	spez. Kosten Batterie in €	stat. Amortisationszeit in a
TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	32	6.000	2.940	0,49	43.200	1.350	15
TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	56	8.000	3.920		75.600		19
2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	64	8.400	4.116		86.400		21
TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	80	9.100	4.459		108.000		24
2x TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS- 85	160	11.400	5.586		216.000		39

Batteriespeichersystem	Speicher kapazität in kWh	Reduzierung Netzstrombezug in kWh	Reduzierung Netzstromkosten in €	Strompreis in €/kWh	Investition Batteriespeicher in €	spez. Kosten Batterie in €	stat. Amortisationszeit in a
TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	32	6.000	3.900	0,65	43.200	1.350	11
TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	56	8.000	5.200		75.600		15
2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	64	8.400	5.460		86.400		16
TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	80	9.100	5.915		108.000		18
2x TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS- 85	160	11.400	7.410		216.000		29

Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher - 3 Änderung Speicherkosten



Batteriespeichersystem	Speicher kapazität in kWh	Reduzierung Netzstrombezug in kWh	Reduzierung Netzstromkosten in €	Strompreis in €/kWh	Investition Batteriespeicher in €	spez. Kosten Batterie in €	stat. Amortisationszeit in a
TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	32	6.000	1.740	0,29	25.600	800	15
TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	56	8.000	2.320		44.800		19
2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	64	8.400	2.436		51.200		21
TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	80	9.100	2.639		64.000		24
2x TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS- 85	160	11.400	3.306		128.000		39

Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher - 4 Änderung Stromkosten + Speicherkosten



Batteriespeichersystem	Speicher kapazität in kWh	Reduzierung Netzstrombezug in kWh	Reduzierung Netzstromkosten in €	Strompreis in €/kWh	Investition Batteriespeicher in €	spez. Kosten Batterie in €	stat. Amortisationszeit in a
TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	32	6.000	2.940	0,49	25.600	800	9
TESVOLT TS HV 50 E (56,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 50	56	8.000	3.920		44.800		11
2 x TESVOLT TS HV 30 E (32,0 kWh) + SMA Sunny Tripower Storage X 30	64	8.400	4.116		51.200		12
TESVOLT TS-I HV 80 E (80,0 kWh) + TV-PCS-85	80	9.100	4.459		64.000		14
2x TESVOLT TS-I HV 80 E (160,0 kWh) + TV-PCS- 85	160	11.400	5.586		128.000		23

Zwischenergebnis 5:



- Unter den aktuell geltenden Rahmenbedingungen (Stromkosten vs. Batteriespeicherkosten) lässt sich keine der untersuchten Batteriespeichervarianten am Standort der Verwaltung der VG-Monsheim wirtschaftlich darstellen.
- Amortisation des angebotenen 80 kWh - Batteriespeichers nach etwa 40 Jahren !
- Amortisation ist aktuell nicht innerhalb der Batteriespeicher-Lebensdauer möglich !
- Empfehlung:
 - Warten auf niedrigere Batteriespeicher-Preise (ggf. auch auf Strompreis reagieren) !
 - Dann Batteriespeicher ergänzen !

- Wärmepumpe - Stromverbrauch und Eigenverbrauch:
 - Durch Wärmepumpe steigt der Gesamtverbrauch jährlich um etwa 60.000 kWh.
 - Eigenverbrauch von PV-Strom durch Wärmepumpe: etwa 7.000 kWh.
- Vergleich Verbrauchskosten Wärmepumpe vs. aktuelle Heizung
 - Zusätzlicher Netzbezugsstrom für Wärmepumpe: etwa 15.400 € (bei 0,29 €/kWh_{el}).
 - Gaskosten Heizung: etwa 17.800 € (bei 0,10 €/kWh_{th}).
 - Stromkosten werden voraussichtlich in den kommenden Jahren erstmal weiter steigen.
 - Gaskosten werden stark steigen (CO₂-Abgaben steigen; Netzentgelte werden steigen).
 - Hinweis: Für eine Heizungslösung mit Wärmepumpe werden ggf. zusätzliche Kosten für Änderungen / Erweiterungen in der Wärmeverteilung anfallen.
 - Wärmepumpe erscheint wirtschaftlich sinnvoll! → Umsetzen / Förderungen mitnehmen!
- Batteriespeicher:
 - Der angebotene 80 kWh-Speicher kann unter den aktuellen Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich betrieben werden. Auch die kleineren Speicher ab 30 kWh nicht.
 - Die Amortisationszeiten sind deutlich zu hoch (auch gegenüber der Batterie-Lebensdauer).
 - Dies wird sich ändern, wenn die Speicherpreise sinken und die Strompreise steigen.
 - Ein Speicher kann bzw. sollte zu einem späteren Zeitpunkt ergänzt werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Kontakt

Dipl. Ing. (FH) M.Sc.
Alexander Keil
(0163) 137 91 86
keil@tsb-energie.de

Transferstelle Bingen
Berlinstraße 107a
55411 Bingen

www.tsb-energie.de

Mit Energie für Effizienz und Umwelt
www.tsb-energie.de