

# Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Speichern im Privathaushalt

Kathrin Graulich

Informationsveranstaltung der Umweltliste Breisach

Breisach, 26.6.2018



# Öko-Institut: Unser Profil

Das Öko-Institut e.V. ist eines der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungsinstitute für eine nachhaltige Zukunft.

Organisiert als gemeinnütziger Verein – keine staatliche Grundförderung!

- Ø gegründet 1977
- Ø ca. 160 MitarbeiterInnen  
Standorte in Freiburg / Darmstadt / Berlin;
- Ø Jährlich knapp 400 nationale, europäische bzw. internationale Projekte
- Ø Wir erstellen wissenschaftliche Studien, entwickeln methodische Grundlagen, und beraten Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft.
- Ø Auftraggeber: Europäische Union, Ministerien auf Bundes- und Landesebene, Unternehmen, Stiftungen, Verbände, NGOs, Internationale Organisationen



# Öko-Institut: Unsere Forschungsthemen im Überblick



Energie und Klima



Nachhaltiger Konsum



Nachhaltiger Verkehr



Nachhaltige Ressourcenwirtschaft



Chemikalien-Management und  
Technologiebewertung



Immissions- und Strahlenschutz



Nukleartechnik und Anlagensicherheit



Nachhaltige Unternehmen



Recht, Politik und Governance

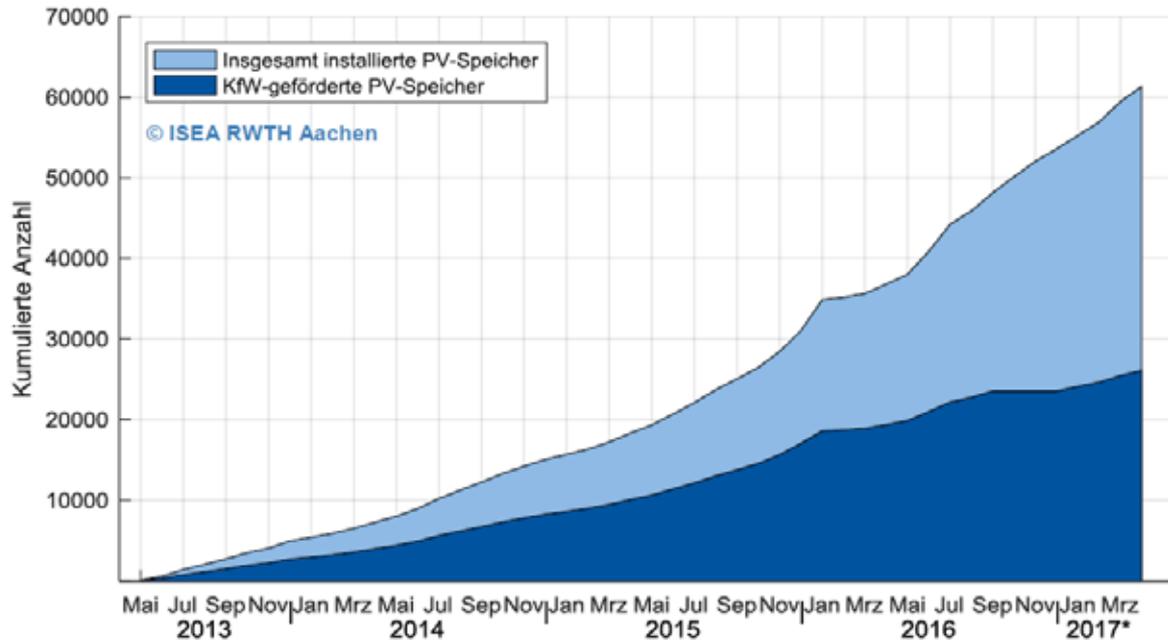
# Ihr Gegenüber: **Kathrin Graulich**



- Am Öko-Institut seit **1999**
- **Stellvertretende Leiterin** des Bereichs Produkte & Stoffströme
- Arbeitsschwerpunkte:
  - ∅ Gesellschaftliche Transformationen
  - ∅ Nachhaltiger Konsum
  - ∅ Ökologisches Produktdesign
  - ∅ EU-Ökodesign-Richtlinie
  - ∅ ...

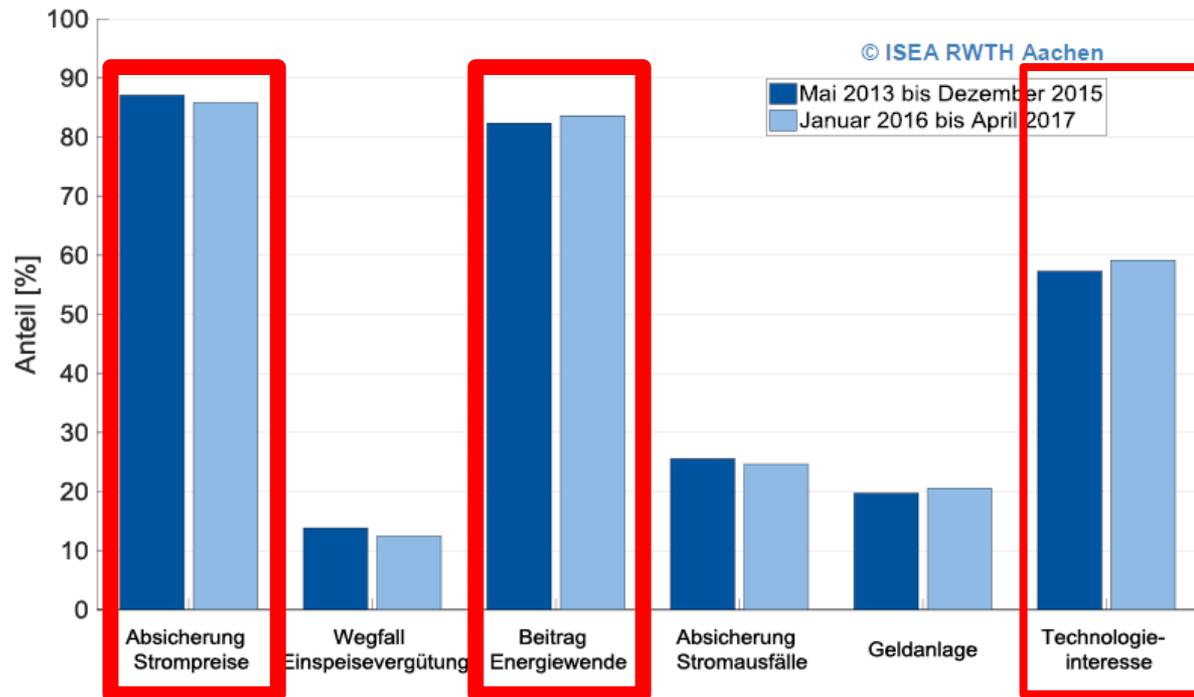
# PV-Speicher: Trends und Gründe

# Stromspeicher – der neue Hype?



- Über 61.000 PV-Batteriespeicher mit 400 MWh nutzbarer Speicherkapazität bei insgesamt ca. 1,6 Millionen PV-Anlagen
- Nachrüstung bestehender PV-Anlagen, aber bereits ca. 50 % der PV-Neuinstallationen zusammen mit Batteriespeicher

# Stromspeicher – Gründe für den Boom



- Plus:
  - Sinkende Kosten bei Lithium-Ionen-Speichern
  - Vielzahl an Förderprogrammen (prominent: KfW)

# Energiewende Deutschland: Regierungsziele 2050

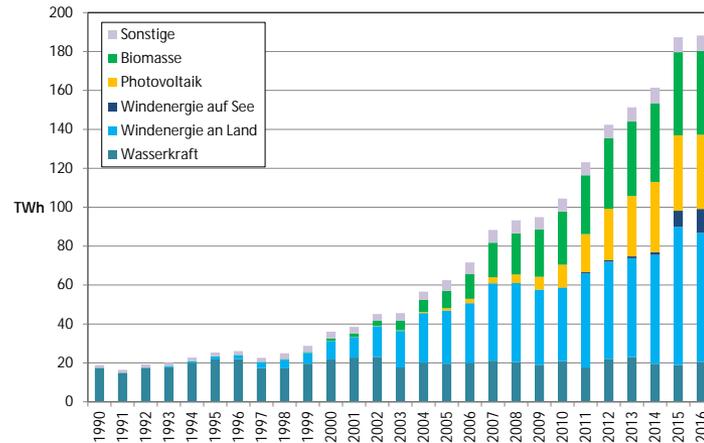


- Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 80 Prozent

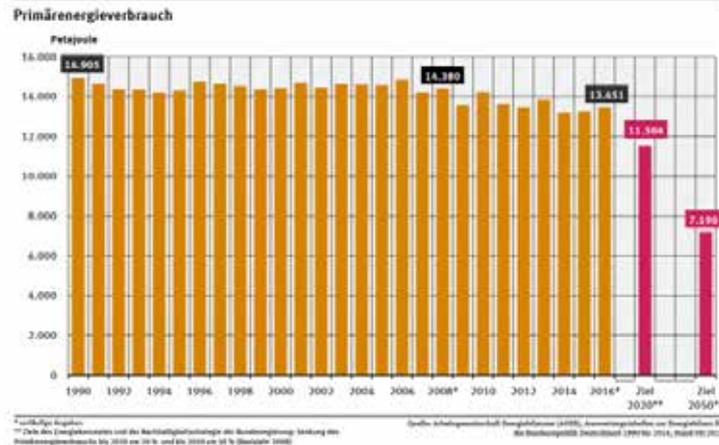


- Senkung des Stromverbrauchs um 25 Prozent im Vergleich zum Jahr 2008

# Status Quo Energiewende / Regierungsziele 2050

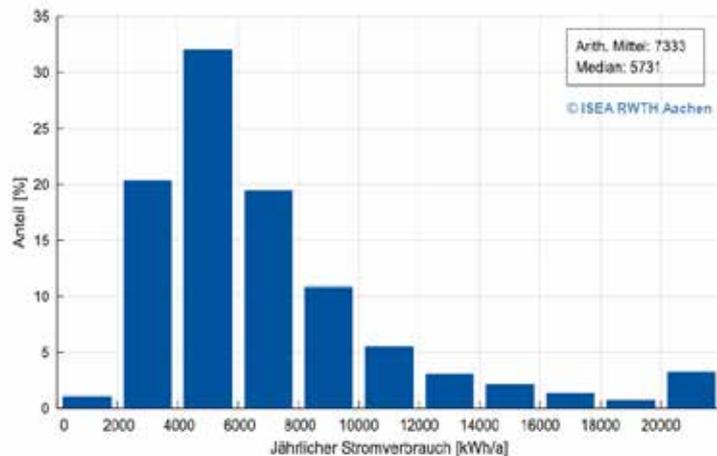
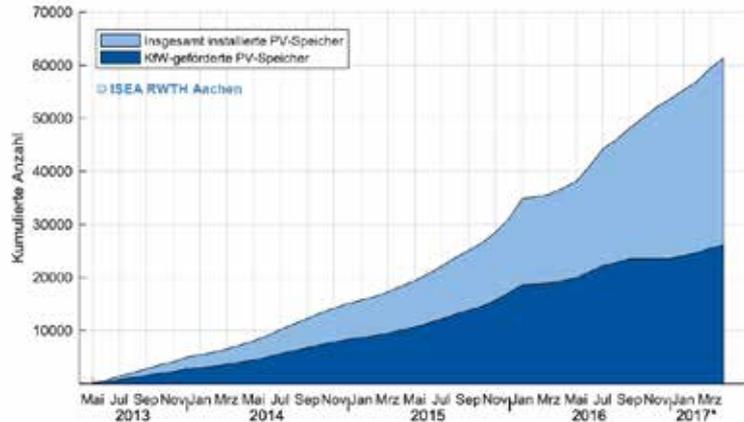


- Ausbau Erneuerbarer Energien zunehmend:
  - Ende 2017 ca. 36 Prozent am Bruttostromverbrauch;
  - 1,6 Millionen installierte PV-Anlagen



- Primärenergieverbrauch weitgehend stagnierend

# Entwicklungen bei Photovoltaik-Batteriespeichern



- Trend:  
Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenstromverbrauchs bei PV-Anlagen
- Tendenz:  
PV-Speicher werden häufiger von **Haushalten mit hohem Stromverbrauch** gekauft

Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik  
bzw. PV-Speichern in Kombination mit  
Stromsparmaßnahmen:

**„Stromspar-Speicherrechner“**

## Vorhandene Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Speicher

- Zahlreiche Speicherrechner im Netz vorhanden mit jeweils unterschiedlichen Zielsetzungen (Wirtschaftlichkeit, Eigenverbrauch & Autarkiegrad, Dimensionierung Batterie)
- Grundlage aller Berechnungen:  
aktueller Jahresstromverbrauch der Haushalte; allerdings:  
große Bandbreite bei den hinterlegten Durchschnittswerten
- Kein Tool erläutert die vorgeschlagene Speichergröße; z.T.  
unlogische bzw. überdimensionierte Größenempfehlungen
- Keines der Tools bezieht die Möglichkeit des Stromsparens  
und die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit mit ein

# Der „Stromspar-Speicherrechner“ des Öko-Instituts



## BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

© 2018 Öko-Institut e.V.

### Eingabemaske



#### Wichtige Bedienungshinweise

**Eingabefelder:** In den blau umrandeten Feldern werden vom Nutzer Eingaben erwartet

**Ausgabefelder:** Hier werden Ergebnisse oder Zwischenergebnisse dargestellt.

**Überschreibungsfelder** können vom Nutzer überschrieben werden. Wird kein Wert eingegeben, verwendet das Program einen vordefinierten Wert.

#### Verbrauchswerte und Berechnung der Stromeffizienzklasse

Jahresstromverbrauch (kWh/a)

Haushaltsgröße (Personen im Haushalt)

Gebäudetyp

- Wohnung im Mehrfamilienhaus  
 1-2 Familienhaus/Reihenhaus/Doppelhaushälfte

Elektrisch Warmwasser

- Ja  
 Nein

Die derzeitige Stromeffizienzklasse Ihres Haushaltes ist:

**Klasse A**

==>

**Klasse A**

Klasse B

Klasse C

Klasse D

Klasse E

Klasse F

Klasse G

Die Skale der Stromeffizienzklassen geht von **A (sehr gut)** bis **G (sehr schlecht)**. Die Einstufung berechnet sich aus Ihrem Jahresstromverbrauch, der Haushaltsgröße, dem Gebäudetyp und ob sie Ihr Warmwasser elektrisch aufbereiten.

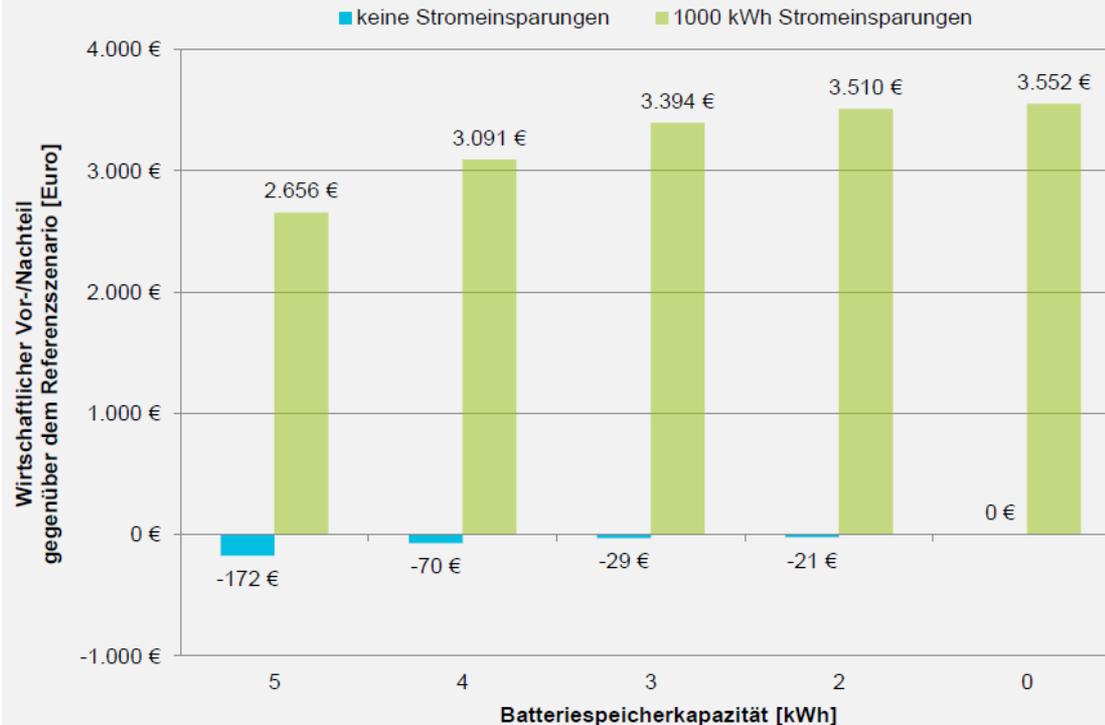
zu den Stromeffizienzklassen

# Zentrales Element: Stromspiegel 2017 mit Haushaltseffizienzklassen

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering			Sehr hoch			
			A	B	C	D	E	F	G
Ein- oder Zweifamilienhaus	ohne Strom		bis 1.300	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	über 4.000
			bis 2.100	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.200	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
			bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.200	über 5.200
			bis 2.900	bis 3.500	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.900	über 5.900
	mit Strom		bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.600	bis 5.000	über 5.000
			bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.800	über 5.800
			bis 3.000	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.700	bis 7.300	über 7.300
			bis 3.500	bis 4.000	bis 4.800	bis 5.500	bis 6.300	bis 8.000	über 8.000
Wohnung im Mehrfamilienhaus	ohne Strom		bis 800	bis 1.000	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.200	über 2.200
			bis 1.300	bis 1.600	bis 2.000	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.100	über 3.100
			bis 1.700	bis 2.000	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.900	über 3.900
			bis 1.900	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.500	über 4.500
	mit Strom		bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.000	bis 2.400	bis 3.000	über 3.000
			bis 2.000	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
			bis 2.600	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.100	bis 4.700	bis 5.600	über 5.600
			bis 2.800	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.600	bis 5.400	bis 6.500	über 6.500
			bis 3.500	bis 4.400	bis 5.000	bis 6.000	bis 7.000	bis 9.000	über 9.000

# PV-Bestandsanlage mit auslaufender EEG-Vergütung: Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher

## PV-Bestandsanlage mit auslaufender EEG-Vergütung: Wirtschaftlichkeit Batteriespeicher mit und ohne Stromeinsparungen



Quelle: Öko-Institut e.V. (2018)

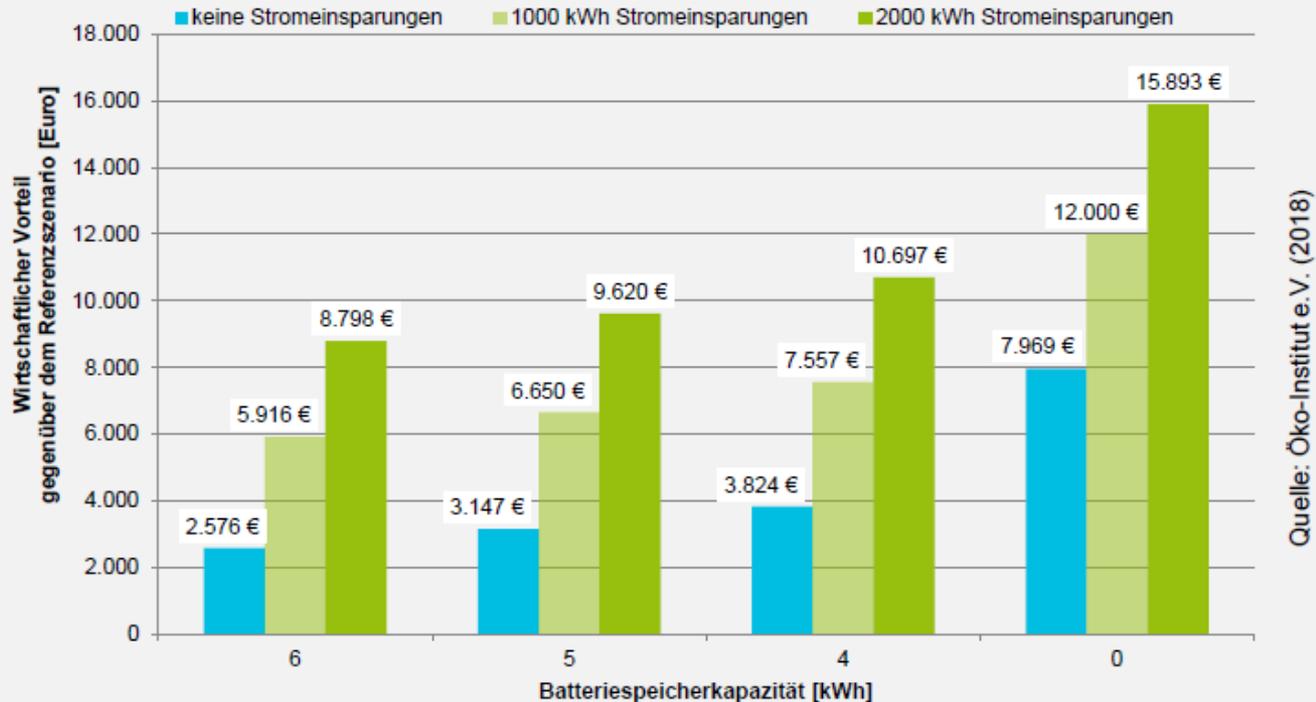
**Annahmen:** 5 kWp PV-Anlage; solare Einstrahlung 965 kWh/kWp; EEG-Förderung 50,62 ct/kWh bis 2020, 3 ct/kWh ab 2021; Installation Batteriespeicher ab 2021; Zwei-Personen-Haushalt mit 4000 kWh Jahresstromverbrauch; Arbeitspreis Strombezug 29 ct/kWh; Strompreise bis 2025 steigend, danach leicht sinkend; einmalige Investitionskosten für Stromeinsparungen 771 Euro; jährliche Inflationsrate 1%; Berechnungszeitraum 20 Jahre; Referenzszenario: PV-Bestandsanlage ohne Batteriespeicher und ohne Stromeinsparungen

## PV-Bestandsanlage mit auslaufender EEG-Vergütung

- Die alleinige Installation eines Batteriespeichers bei einer PV-Bestandsanlage ist unter der Annahme leicht sinkender Strompreise ab 2025 knapp nicht wirtschaftlich. Erst unter der Annahme einer jährlichen Strompreissteigerung von mindestens 0,9 Prozent wird der Break-Even-Point für einen 5 kWh Batteriespeicher erreicht.
- Der wirtschaftliche Nachteil wird mit sinkender Speichergröße kleiner
- Realisiert der Haushalt neben der Speicheranschaffung zusätzlich Investitionen für Stromsparmaßnahmen, so ergibt sich unabhängig von der Batteriegröße in jedem Fall ein wirtschaftlicher Vorteil.
- Der finanzielle Vorteil fällt am höchsten aus, wenn anstelle des Batteriespeichers ausschließlich in Stromsparmaßnahmen investiert würde.

# Neuinstallation PV-Anlage mit Speicher: Auswirkungen Speichergröße und Stromeinsparungen

## Neuinstallation PV-Anlage mit Speicher: Auswirkungen von Speichergröße und Stromeinsparungen



**Annahmen:** Neuinstallation 6 kWp PV-Anlage in 01/2018; solare Einstrahlung 965 kWh/kWp; EEG-Förderung 12,2 ct/kWh bis 2038; Zwei-Personen-Haushalt mit 4000 kWh Jahresstromverbrauch; Arbeitspreis Strombezug 29 ct/kWh; Strompreise bis 2025 steigend, danach leicht sinkend; einmalige Investitionskosten für Stromeinsparungen 771 Euro (1000 kWh) bzw. 1.542 Euro (2000 kWh); jährliche Inflationsrate 1%; Berechnungszeitraum 20 Jahre; Referenzszenario: Strombezug ausschließlich aus dem Netz

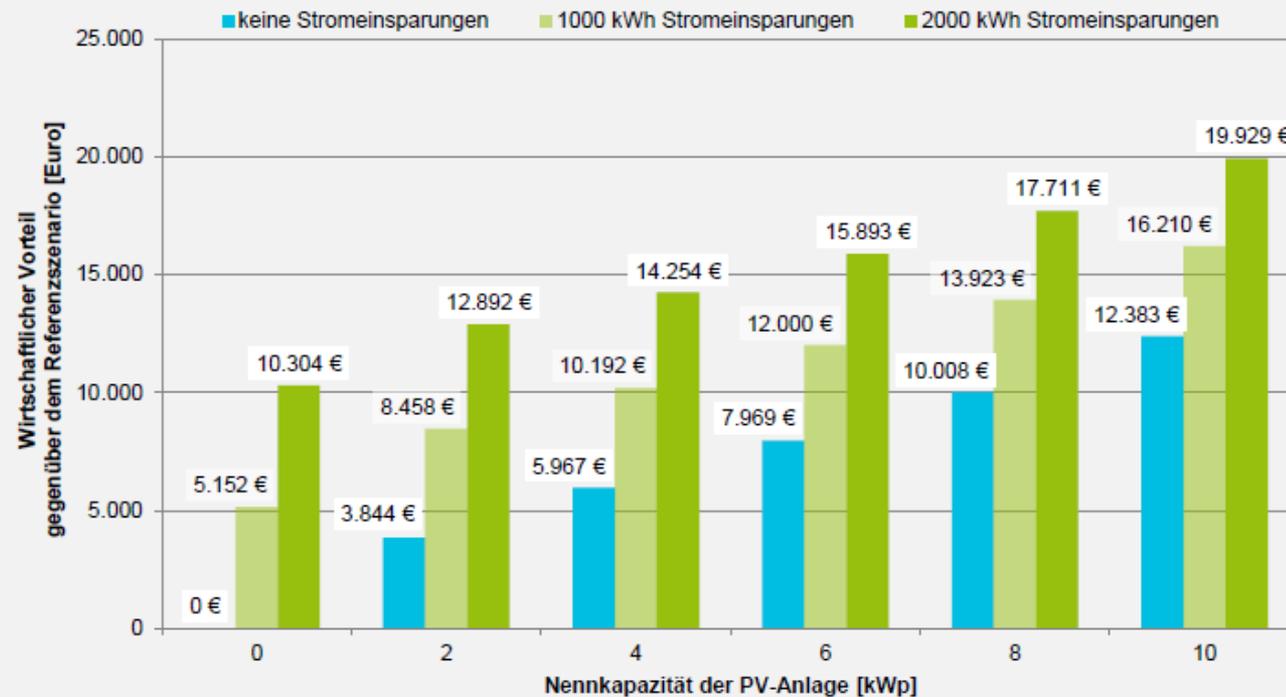
## Neuinstallation PV-Anlage mit Speicher

- Wird parallel zur Neuinstallation einer PV-Anlage die Anschaffung eines Batteriespeichers geplant um einen höheren Autarkiegrad zu erreichen, so kann dies auch durch Reduzierung des Stromverbrauchs realisiert werden.
- Die Kombination eines vergleichsweise kleineren Batteriespeichers zusammen mit Stromsparmaßnahmen ist sowohl aus Autarkie- als auch aus finanzieller Sicht eine optimale Lösung

# Neuinstallation PV-Anlage ohne Speicher

## Dimensionierung mit und ohne Stromsparmaßnahmen

### Neuinstallation PV-Anlage ohne Speicher: Dimensionierung mit und ohne Stromeinsparungen



Quelle: Öko-Institut e.V. (2018)

**Annahmen:** Neuinstallation PV-Anlage in 01/2018; solare Einstrahlung 965 kWh/kWp; EEG-Förderung 12,2 ct/kWh bis 2038; Zwei-Personen-Haushalt mit 4000 kWh Jahresstromverbrauch; Arbeitspreis Strombezug 29 ct/kWh; Strompreise bis 2025 steigend, danach leicht sinkend; einmalige Investitionskosten für Stromeinsparungen 771 Euro (1000 kWh) bzw. 1.542 Euro (2000 kWh); jährliche Inflationsrate 1%; Berechnungszeitraum 20 Jahre; Referenzszenario: Strombezug ausschließlich aus dem Netz

## Neuinstallation PV-Anlage ohne Speicher

- Bei Neuinstallation einer PV-Anlage ist die Investition in eine möglichst große Anlage, kombiniert mit Investitionen in möglichst hohe Stromeinsparungen am wirtschaftlichsten.
- Diese Kombination ist nicht nur finanziell höchst attraktiv, sondern leistet auch im Sinne der Energiewende den größten Beitrag zu den Zielen der Bundesregierung (Ausbau der erneuerbaren Energien und Reduzierung des Stromverbrauchs).
- **Empfehlung:**  
Vorhandene Dachflächen sollten bestmöglich ausgenutzt werden, denn auch große PV-Anlagen, die bilanziell deutlich mehr Strom erzeugen als verbraucht wird, rechnen sich wirtschaftlich.

# Kriterien bei der Auswahl von Speichertechnologien

# Technischer Vergleich von Speichertechnologien

	Blei-Säure-Batterien	Aqueous Hybrid Ion (Salzwasser)	Lithium-Ionen (LFP und LNMC)
Kalendarische Lebensdauer	10-20 Jahre (überwiegend 10 Jahre)	15 Jahre	>10 bis >20 Jahre (überwiegend 20 Jahre)
Zykluslebensdauer	2.500-4.200 Vollzyklen (80% Restkapazität)	3.000 Vollzyklen (70% Restkap.)	4.000-15.000 Vollzyklen (80% Restkapazität); LFP höher als LNMC
Entladetiefe (Depth of Discharge, DoD)	50-100% (überwiegend 60%)	100%	70-100% (überwiegend 90%)
Wirkungsgrad Batterie	80-85%	80-90%	90-95%
Volumetrische Energiedichte	60-75 Wh/l	12-24 Wh/l	490-580 Wh/l (LNMC) 160-260 Wh/l (LFP)
Sicherheit	Bei starker Überladung / Überentladung können bleihaltige Partikel freigesetzt werden.	Elektrolyt weder brennbar noch explosiv.	Gefahr des „thermal run-away“; LFP zersetzt sich im Gegensatz zu LNMC nicht unter zusätzlicher Sauerstoffentwicklung
Wartungsaufwand	hoch (Ausnahme: VRLA, valve-regulated lead-acid battery)	sehr gering	gering bis sehr gering

# Vor- und Nachteile der Speichertechnologien

<b>Salz- wasser- Batterien</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Vorteile:</b><ul style="list-style-type: none"><li>– <u>Gefahrstoffe</u>: Die in den Batteriezellen enthaltenen Substanzen sind überwiegend nicht als Gefahrstoffe für Umwelt oder Gesundheit klassifiziert bzw. besitzen im Vergleich zu anderen Batterietechnologien vergleichsweise niedrige Wirkfaktoren.</li><li>– <u>Sicherheit</u>: Der wässrige Elektrolyt ist weder brennbar noch explosiv. Die Batterie ist laut Hersteller wartungsfrei.</li><li>– <u>Entladetiefe</u>: bis zu 100 Prozent.</li><li>– <u>Lebensdauer und Wirkungsgrad</u>: Höher als beim Durchschnitt der Blei-Säure-Batterien.</li></ul></li><li>• <b>Nachteile:</b><ul style="list-style-type: none"><li>– <u>Lebensdauer und Wirkungsgrad</u>: Niedriger als beim Durchschnitt der Lithium-Batterien.</li><li>– <u>Volumetrische Energiedichte</u>: Sehr niedrig (d.h. steigender Raumbedarf oder geringere Speicherkapazität).</li></ul></li></ul>
--	---

# Vor- und Nachteile der Speichertechnologien

## Lithium-Eisen-phosphat-Batterien (LFP)

- **Vorteile:**
  - Gefahrstoffe: Das positive Aktivmaterial LFP ist nicht als Gefahrstoff für Umwelt und Gesundheit klassifiziert.
  - Sicherheit: Innerhalb der Lithium-Batterien besitzen LFP-Batterien eine geringere Energiedichte; bei hohen Temperaturen zersetzt sich LFP nicht wie LNMC unter zusätzlicher Sauerstoffentwicklung.
  - Lebensdauer und Wirkungsgrad: Sehr hoch; Anzahl Vollzyklen bei LFP-Batterien etwas höher als bei LNMC-Batterien.
- **Nachteile:**
  - Gefahrstoffe: Leitsalz und Lösemittel des Elektrolyten sind, wie bei LNMC-Batterien, als Gefahrstoffe für Umwelt und Gesundheit klassifiziert, allerdings mit niedrigeren Wirkfaktoren im Vergleich zu den Substanzen der Blei-Säure-Batterie.
  - Sicherheit: Gefahr des „thermal runaway“.

# Vor- und Nachteile der Speichertechnologien

## Lithium-Mangan-Kobalt-Oxid-Batterien (LNMC)

- **Nachteile:**
  - Gefahrstoffe: Das positive Aktivmaterial LNMC ist als Gefahrstoff für Umwelt und Gesundheit mit relativ hohen Wirkfaktoren klassifiziert. Auch Leitsalz und Lösemittel des Elektrolyten sind, wie bei LFP-Batterien, als Gefahrstoffe für Umwelt und Gesundheit klassifiziert, allerdings mit niedrigeren Wirkfaktoren im Vergleich zu den Substanzen der Blei-Säure-Batterie.
  - Sicherheit: Gefahr des „thermal runaway“. Innerhalb der Lithium-Batterien besitzen LNMC-Batterien eine höhere Energiedichte; bei hohen Temperaturen wird im Laufe der Reaktion Sauerstoff freigesetzt, so dass diese Batterien schwerer zu löschen sind.
  - Rohstoffe: Kobalt ist als „kritischer Rohstoff“ eingestuft mit dem Risiko von Versorgungsengpässen für die EU. Die Primärgewinnung im Kongo erfolgt unter unzureichenden Arbeitsbedingungen.
- **Vorteile:**
  - Lebensdauer und Wirkungsgrad: Sehr hoch
  - Recycling: Innerhalb der Lithium-Batterien sind LNMC-Batterien interessanter für Recyclingbetriebe; Kobalt und Nickel sind aktuell aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv und werden zurückgewonnen.

# Vor- und Nachteile der Speichertechnologien

<p><b>Bleibatterien</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nachteile:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <u>Gefahrstoffe</u>: Die in den Batteriezellen enthaltenen Substanzen sind als Gefahrstoffe für Umwelt oder Gesundheit klassifiziert und besitzen im Vergleich zu den anderen Batterietechnologien die höchsten Wirkfaktoren.</li> <li>– <u>Rohstoffe</u>: Die Primärgewinnung von Blei in außereuropäischen Ländern zählt zu den am stärksten umwelt- und gesundheitsgefährdenden Prozessen der Welt.</li> <li>– <u>Lebensdauer, Wirkungsgrad und Entladetiefe</u>: Im Vergleich zu den anderen Batterietechnologien am niedrigsten.</li> <li>– <u>Volumetrische Energiedichte</u>: Niedrig (d.h. steigender Raumbedarf oder geringere Speicherkapazität).</li> <li>– <u>Wartungsaufwand</u>: Hoch (Ausnahme: VRLA-Typ, d.h. „valve regulated lead-acid battery“)</li> </ul> </li> <li>• <b>Vorteile:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <u>Recycling</u>: Etablierte Recycling-Infrastruktur in Industrieländern wie Deutschland, mit hohen Recyclingeffizienzen.</li> </ul> </li> </ul>
-----------------------------	--

# Kriterien bei der Auswahl von Speichertechnologien

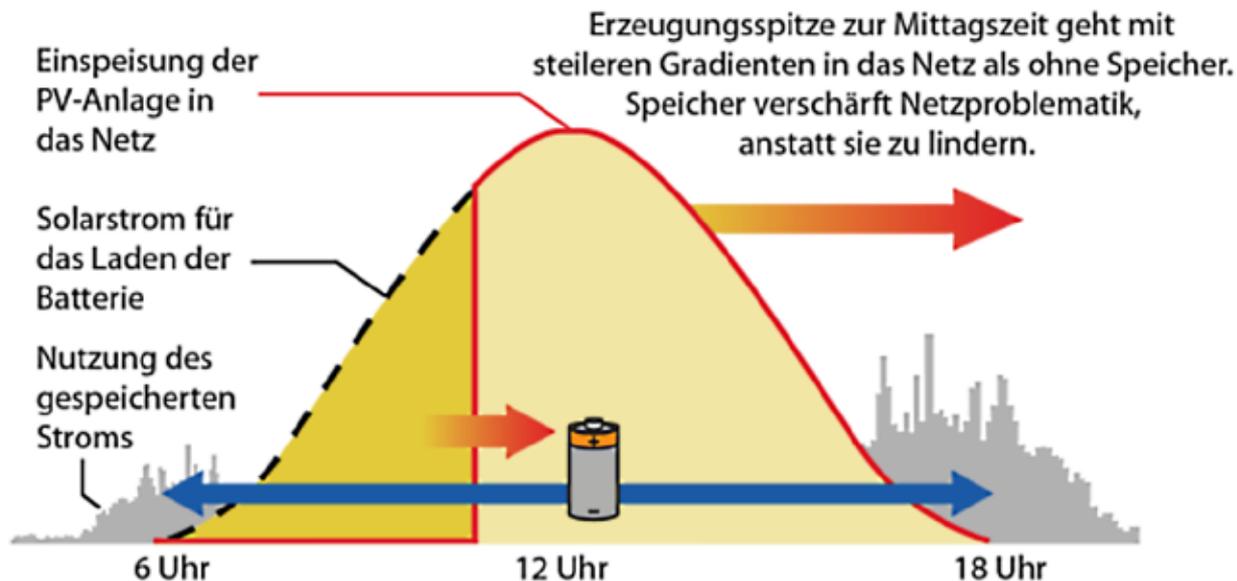
- Auswahl der Speichertechnologie:
  - Die Analyse zeigt, dass bezüglich der Kriterien Gefahrstoffe, Sicherheit und Lebensdauer sowie eingesetzte Rohstoffe und Recycling keine der Batterietechnologien uneingeschränkt empfehlenswert ist, bei Salzwasser- und Lithium-Eisenphosphat jedoch die positiven Aspekte überwiegen.
- Auswahl spezifischer Batteriespeicher:
  - Neben Kosten und Speicherkapazität weitere Parameter beachten:
    - Qualität und Langlebigkeit, Wartungsaufwand
    - Reparatur- und Recyclingfreundlichkeit
    - Rücknahme am Ende der Lebensdauer
    - Serviceangebote der Hersteller

# Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichern

# Eigenverbrauchsoptimierte Betriebsweise: Auswirkungen PV-Speicher auf das Energiesystem

- Eine wachsende Zahl an individuellen Batteriespeichern mit dem Ziel der Eigenverbrauchsoptimierung hat Auswirkungen auf den Betrieb von Netz und Markt.

## 1. Direktes Laden



*Einspeiseprofil eines PV-Speichersystems ins Netz bei Optimierung Eigenverbrauch*

# Eigenverbrauchsoptimierte Betriebsweise: Auswirkungen PV-Speicher auf das Energiesystem

- **Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Speichertechnologien:** Einsatz Vielzahl einzelner Speicher, obwohl systemweit effizientere und kostengünstigere Speicher (auch Lastmanagementpotenziale) zur Verfügung stehen
- **Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Erzeugungstechnologien:** Speicherung von PV-Strom zu Zeitpunkten, an denen an anderer Stelle Defizit an Strom herrscht => konventionelle Kraftwerke müssen diesen Bedarf decken
- **Verminderter Anreiz zum Ausnutzen der Dachflächenpotenziale:** Vor allem wenn großes Dachflächenpotenzial bei niedrigem Stromverbrauch
- **Verminderte Anreize für Effizienz:** Energieeffizienz und Stromsparen erscheinen nicht mehr relevant, wenn der Strom erneuerbar „vom Dach“ kommt
- **Netzentgelte – Verteilungswirkungen:** Reduzieren einzelne Verbraucher aufgrund eines höheren Eigenverbrauchs den Strombezug aus dem Netz, so sinkt der Beitrag zur Finanzierung des Netzes. Andere Konsumenten müssen diesen Fehlbetrag folglich ausgleichen und werden höher belastet.

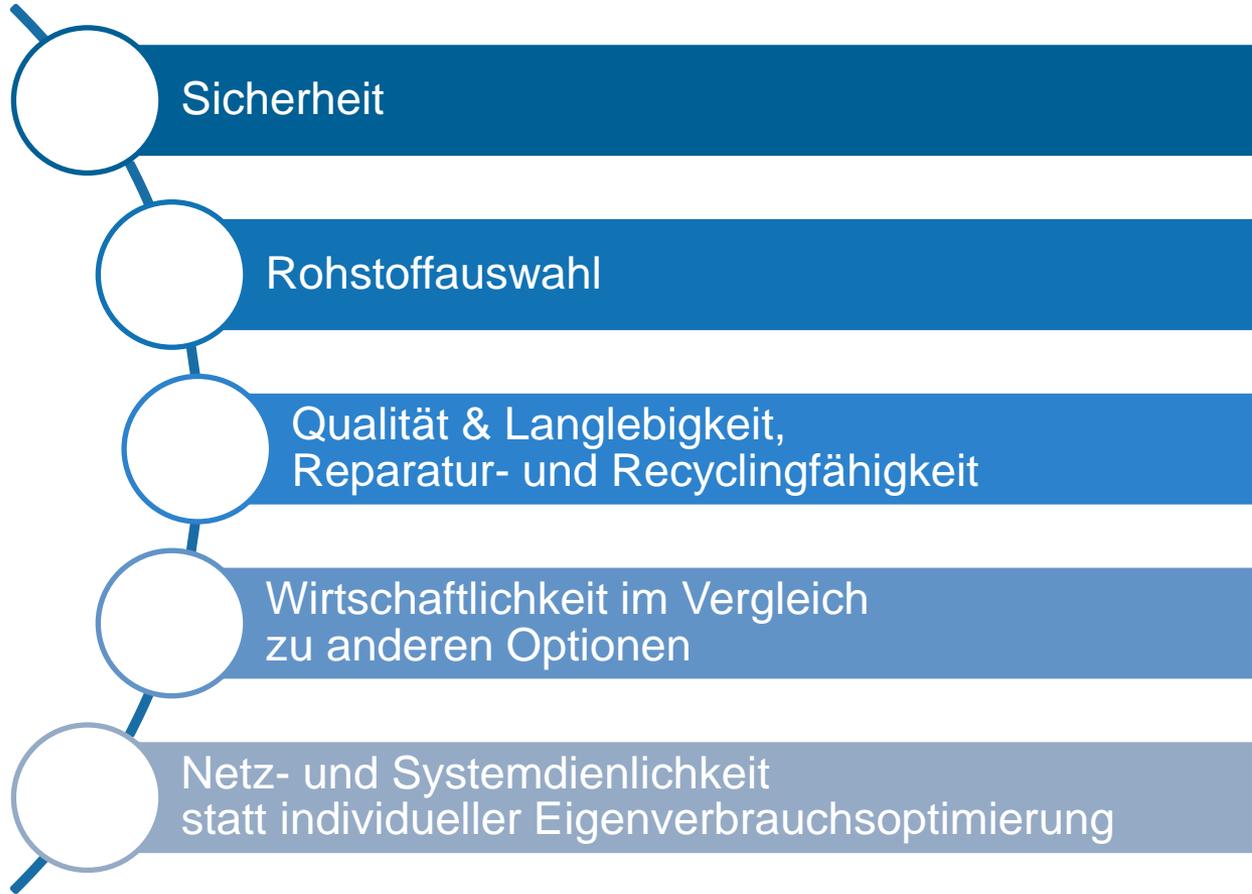
## Fazit: Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichern

- Verschiedene Betriebsweisen von PV-Speichersystemen unterscheiden sich maßgeblich bezüglich Netz- bzw. Systemdienlichkeit
- Zielsetzung:
  - Vermeidung der starren Abregelung von PV-Erzeugung.
  - Bedarfsorientierte Kappung der Einspeisespitze zur Entlastung des Elektrizitätsnetzes, Orientierung am Systembedarf
- Lösung: Prognosebasierte Betriebsweise / dynamisches Einspeisemanagement von Stromspeichern  
Hierzu bedarf es jedoch entsprechender IKT-Schnittstellen und Betriebsführungsmöglichkeiten bei den Speichersystemen.

# Heute schon an übermorgen denken!



## Kriterien bei der Auswahl eines Stromspeichers



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie noch Fragen?



# Ihre Ansprechpartnerin

## **Kathrin Graulich**

Stellvertretende Leiterin  
Bereich Produkte & Stoffströme

## **Öko-Institut e.V.**

Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 17 71  
79017 Freiburg  
www.oeko.de

E-Mail: [k.graulich@oeko.de](mailto:k.graulich@oeko.de)

## **Weiterführende Informationen zu Batteriespeichern**

<https://www.ecotopten.de/strom/tipps-fuer-solar-batteriespeicher>