



Technische  
Universität  
Braunschweig



Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

## Messtechnische Fragen beim Einsatz von Speichern und solarbetriebenen Wärmepumpen“

Technische Aspekte im EEG: Messung & Technik

20. Fachgespräch der Clearingstelle EEG

Berlin, 17. März 2015

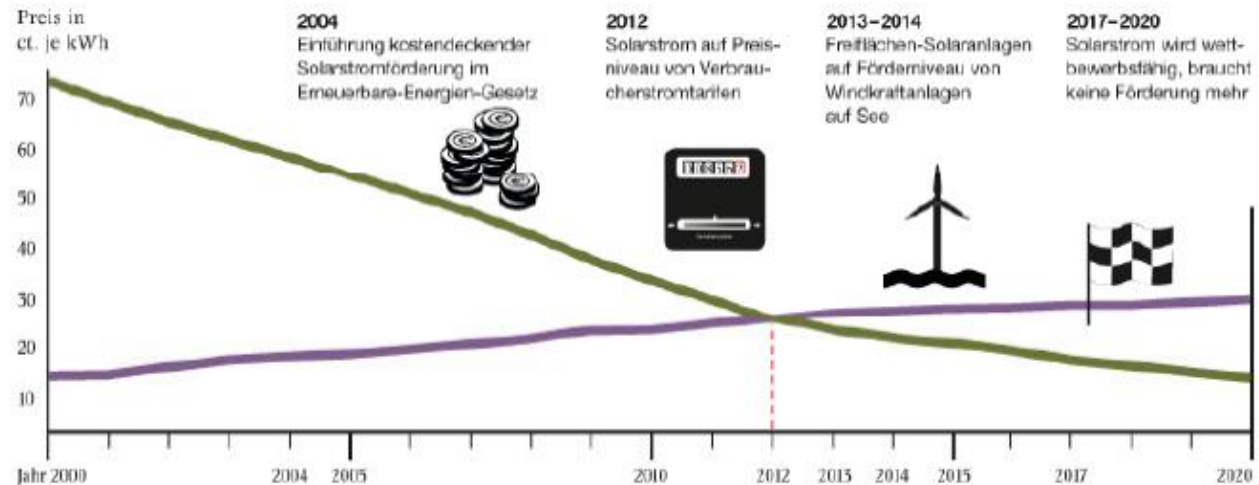
# Inhalt

1. Einführung
2. Messtechnische Fragen beim Einsatz von Speichern
3. Messtechnische Fragen beim Einsatz von solarbetriebenen Wärmepumpen
4. Zusammenfassung



# Nach Netzparität 2012 Eigenversorgung wesentliches Treiber der Photovoltaik auf Hausdächern

1. Die Einspeisevergütungen (z.Z. 12,50 ct/kWh) sind unterhalb des Haushaltstrompreises
2. Die Einspeisevergütungen sinken schneller als die Preise für PV-Anlagen



- Solarstromerzeugungskosten (wie sie sich aufgrund fallender Preise für Solaranlagen-systeme entwickelt haben und voraussichtlich weiter entwickeln)
- Verbraucherstrompreis (wie er sich aufgrund steigender Kosten für fossile Kraftwerke entwickelt hat und voraussichtlich weiter entwickelt)

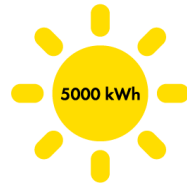
Quellen: Bundesumweltministerium (Leitstudie 2010), BSW-Solar (PV-Roadmap)

**Fazit:** Solarstrom erreicht 2012 Haushaltsstromniveau und 2013 das Vergütungsniveau von Offshore-Windstrom.

# Optimierungs-Kriterien für PV-Lösungen zur Eigenversorgung am Netz

**Kosten der PV-  
Erzeugung**

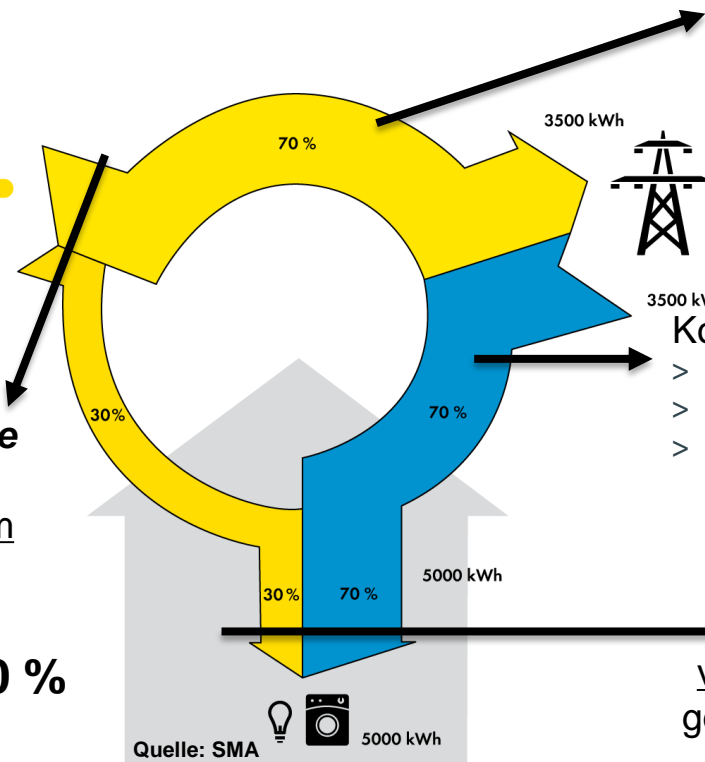
- > kleiner 12 ct/kWh
- > Tendenz fallend



**Eigenverbrauchsquote**

$$= \frac{\text{verbrauchter Solarstrom}}{\text{gesamter Solarstrom}}$$

$$= \frac{1500 \text{ kWh}}{5000 \text{ kWh}} = \mathbf{30\%}$$



**Erlös durch  
Stromeinspeisung**

- > abhängig vom Einspeisetarif
- > ca. 12,5 ct/kWh in 03/15
- > Tendenz fallend

**Kosten durch Strombezug**

- > abhängig vom Strombezugstarif
- > ca. 28 ct/kWh in 11/13\*
- > Tendenz steigend

\*Quelle: BDEW  
Strompreisanalyse

**Autarkiequote**

$$= \frac{\text{verbrauchter Solarstrom}}{\text{gesamter Stromverbrauch}}$$

$$= \frac{1500 \text{ kWh}}{5000 \text{ kWh}} = \mathbf{30\%}$$

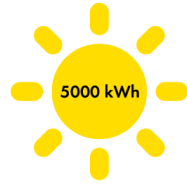
- ▶▶ **Eigenverbrauchsquote = Unabhängigkeit vom Einspeisetarif**
- ▶▶ **Autarkiequote = Unabhängigkeit vom Strombezugstarif**

Quelle: SMA

# Optimierungs-Kriterien für PV-Lösungen zur Eigenversorgung am Netz

**Kosten der PV-  
Erzeugung**

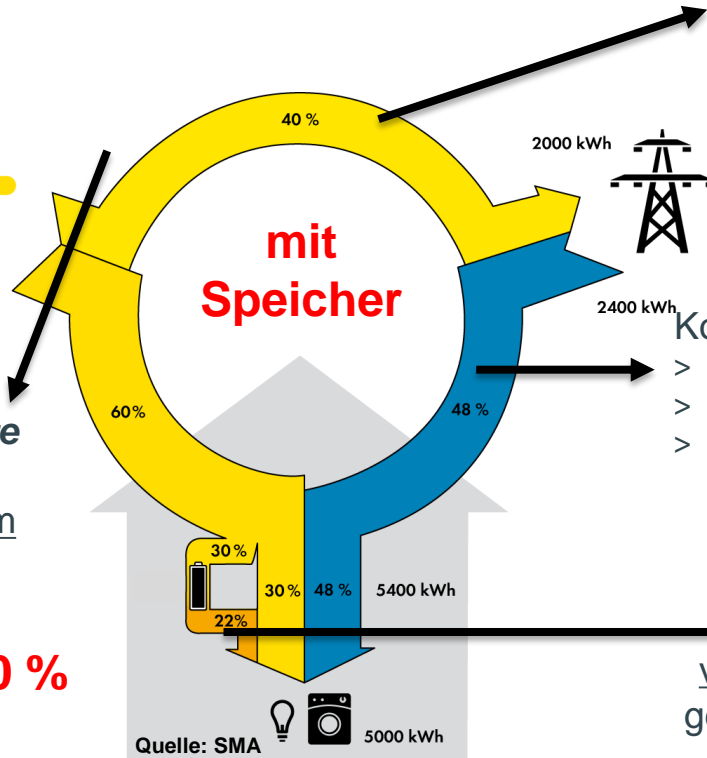
- > kleiner 142ct/kWh
- > Tendenz fallend



**Eigenverbrauchsquote**

$$= \frac{\text{verbrauchter Solarstrom}}{\text{gesamter Solarstrom}}$$

$$= \frac{3000 \text{ kWh}}{5000 \text{ kWh}} = \mathbf{60\%}$$



**Erlös durch  
Stromeinspeisung**

- > abhängig vom Einspeisetarif
- > ca. 12,50 ct/kWh in 03/15
- > Tendenz fallend

**Kosten durch Strombezug**

- > abhängig vom Strombezugstarif
- > ca. 28 ct/kWh in 01/13\*
- > Tendenz steigend

\*Quelle: BDEW  
Strompreisanalyse

**Autarkiequote**

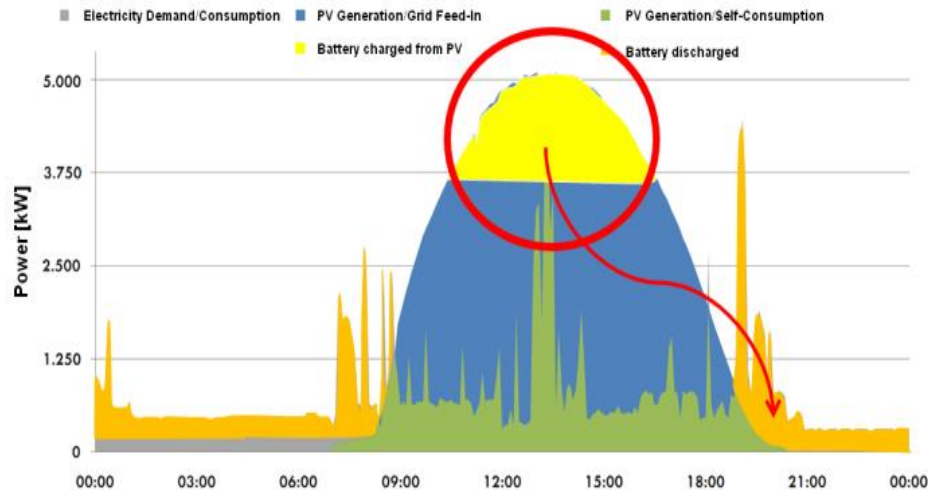
$$= \frac{\text{verbrauchter Solarstrom}}{\text{gesamter Stromverbrauch}}$$

$$= \frac{2600 \text{ kWh}}{5000 \text{ kWh}} = \mathbf{52\%}$$

Quelle: SMA

- ▶▶ **Eigenverbrauchsquote = Unabhängigkeit vom Einspeisetarif**
- ▶▶ **Autarkiequote = Unabhängigkeit vom Strombezugstarif**

# Netzdienliche Reduktion der Einspeisungsspitze auf 60 % nach KfW-Marktanreizprogramm (Start 1.5.2013)



Verschiebung der Lastspitze in den Abend [Quelle: SMA]

ca. **5600 Speicher** wurden von KfW in 2014 gefördert (Schätzung: jede zweite Installation)

- > KfW-MAP-geförderte System begrenzen PV-Einspeisung auf **60 % der Anlagenleistung**
- > Realisierung über Kombination aus **lokalem Lastmanagement, Speicherung und Überschuss-Abregelung**
- > Erzeugungsprognose **vermeidet Einbußen** bei der Optimierung des Eigenverbrauchs
- > Über Feldtest nachgewiesen: **Kleine Speicher mit intelligentem Management** ausreichend

# Inhalt

1. Einführung
- 2. Messtechnische Fragen beim Einsatz von Speichern**
3. Messtechnische Fragen beim Einsatz von solarbetriebenen Wärmepumpen
4. Zusammenfassung



# Technischer Hinweis des FNN "Anschluss und Betrieb von Speichern am Niederspannungsnetz" (6/2014)



## Inhalt

Einleitung .....	7
1 Anwendungsbereich .....	8
2 Normative Verweisungen .....	9
3 Begriffe .....	10
4 Technische Anforderungen.....	12
4.1 Technische Anforderungen .....	12
4.2 Ergänzende Betrachtungen für Speicher .....	12
4.3 Anschlusskriterien .....	13
4.4 Symmetrie und Überwachung der Einspeiseleistung .....	14
4.5 Auswirkungen auf Netzbelastung .....	15
4.6 Blindleistung .....	16
4.7 Wirkleistungsbegrenzung .....	16
4.8 Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz .....	16
4.9 Ausführung des Speichersystems / NA-Schutz .....	16
4.10 Technisch-bilanzielle Anforderung .....	17
4.11 Nachweis der Erfüllung der technischen Anforderungen .....	17
5 Anschluss- und Betriebskonzepte .....	18
5.1 Allgemeines .....	18
5.2 Speicher ohne EZA und Verbrauchsanlage mit direktem Anschluss an das Netz .....	18
5.3 Erzeugungsanlage mit Speicher ohne Verbrauchseinrichtung .....	18
5.4 Speichersystem im Erzeugungspfad .....	19
5.4.1 Speichersystem im Erzeugungspfad (Speicher ohne Leistungsbezug aus dem öffentlichen Netz) .....	19
5.4.2 Speichersystem im Erzeugungspfad (Speicher ohne Lieferung in das öffentliche Netz) für PV-Anlagen kleiner 10 kW <sub>p</sub> .....	20
5.5 Speichersystem im Verbrauchspfad .....	22
5.6 Betriebsmodus mit Inselnetzbetrieb (im Niederspannungsnetz) .....	23
5.7 Speichersystem im Verbrauchspfad ohne EZA .....	24
5.8 Komplexeres Anschlussbeispiel („Kaskadenschaltung“) .....	24



# Technischer Hinweis des FNN “Anschluss und Betrieb von Speichern am Niederspannungsnetz“ (6/2014)

- Unterscheidung zwischen Betriebsmodi „**Energiebezug**“ (geltend TAB 2007 für Bezugsanlagen) und „**Energielieferung**“ (geltend VDE-AR-N 4105 und TAB NS des VNB für Erzeugungsanlagen)
- Elektrische Energie darf **nicht vom Netz bezogen** und anschließend wieder als **gesetzlich vergütete Energie**, z.B. nach EEG oder KWK-G, eingespeist werden. Der Nachweis (z.B. Herstellerbescheinigung) ist vom Anlagenbetreiber zu erbringen.
- Ist eine **gesetzliche Vergütung der gespeicherten Energie** vorgesehen, muss diese **getrennt** nach Primärenergieträgern und unterschiedlichen Einspeisevergütungen **gespeichert** werden.

## Exkurs EEG 2014 § 19 Förderanspruch für Strom

- (4) Der Anspruch nach Absatz 1 besteht auch dann, wenn **der Strom vor der Einspeisung in das Netz zwischengespeichert** worden ist. In diesem Fall bezieht sich der Anspruch auf die **Strommenge**, die aus dem **Zwischenspeicher in das Netz eingespeist** wird. Die Förderhöhe bestimmt sich nach der Höhe der finanziellen Förderung, die der Netzbetreiber nach Absatz 1 bei einer Einspeisung des Stroms in das Netz ohne Zwischenspeicherung an den Anlagenbetreiber zahlen müsste. Der Anspruch nach Absatz 1 besteht auch bei einem gemischten Einsatz von erneuerbaren Energien und Speichergasen.

# FNN-Hinweis: Technisch-bilanzielle Anforderung

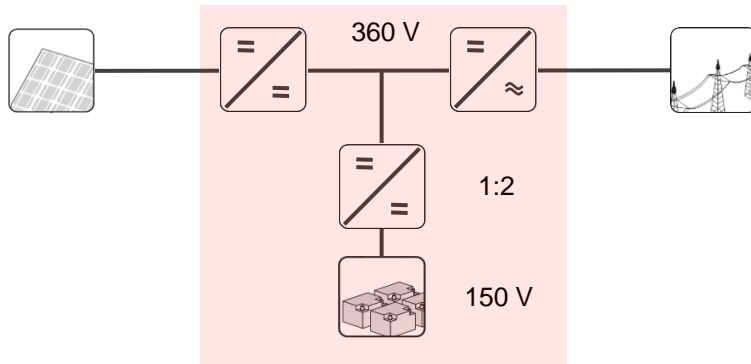
Um den Vergütungsanspruch nach § 19 EEG 2014 einzuhalten, sind beim Betrieb einer Erzeugungsanlage und eines Speichers am gleichen Netzanschlusspunkt nachfolgende Bedingungen zu beachten:

- Wenn das **Speichersystem in das öffentliche Netz einspeisen** soll, dann darf **kein Bezug aus dem Netz zur Ladung des Speichers** erfolgen.
- Falls eine **Speicherladung aus dem öffentlichen Netz** erfolgen soll, muss technisch sichergestellt werden, dass der aus dem Netz geladene Strom **nicht mehr ins öffentliche Netz eingespeist** wird.

**Anmerkung:** Aus Sicht von Speicher bzw. Speichersystem wäre es **technologisch wichtig**, dass eine **Speichererhaltungsladung auch aus dem Netz gestattet** ist, ohne den gesetzlichen Vergütungsanspruch zu verlieren. Durch den Einsatz geeigneter und entsprechend geprüfter Mess- und Zählsysteme können die technisch bilanziellen Anforderungen unter Umständen zukünftig auch einheitenübergreifend z.B. in Form von virtuellen Kraftwerken eingehalten werden.

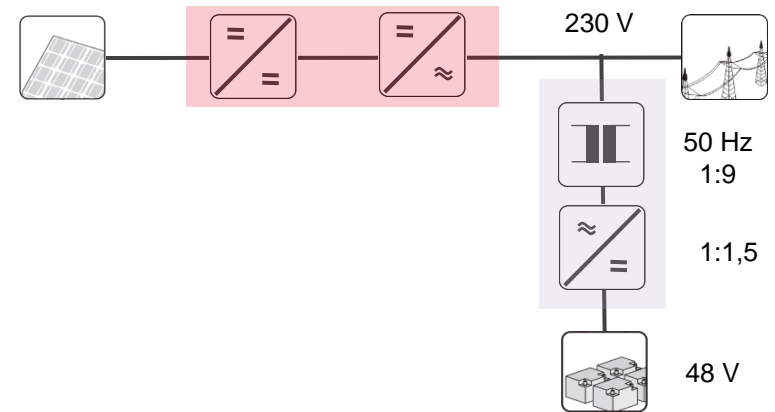
# Unterscheidung DC- und AC-gekoppelte Speicher

## DC-integrierter Speicher im Solarwechselrichter



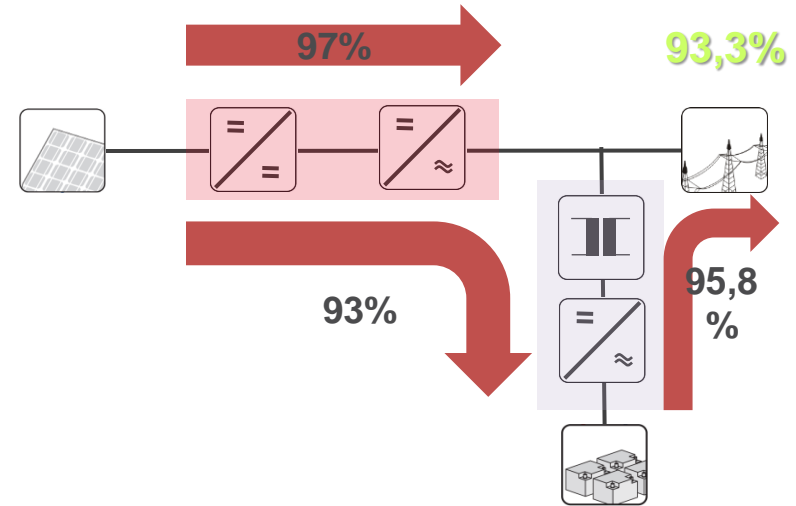
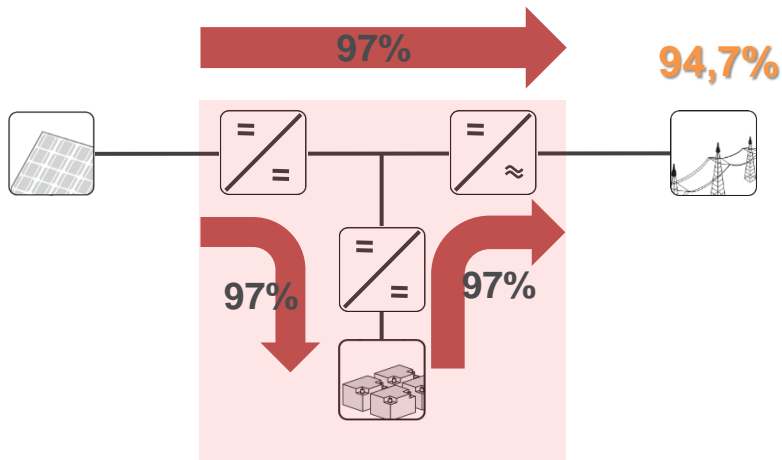
Quelle: SMA Solar Technology

## Getrennte Solarwechselrichter und Batteriewechselrichter



Quelle: SMA

# ... und mögliche Wirkungsgrade und Vorteile



- **optimierte Konfiguration für bestimmte Anwendung**
- **kostengünstiger**

- **Nachrüstung bestehender PV-Anlagen möglich**
- **größere Flexibilität – Leistung Solarwechselrichter/ Batterie-wechselrichter sowie Batterie-energieinhalt getrennt konfigurierbar**

**Oben angegebene Wirkungsgrade sind sehr gute Bestwerte. Es gibt AC- und DC-gekoppelte Systeme mit sehr viel schlechteren Wirkungsgraden (bis zu 1000 kWh Verluste im Jahr!)**

\* Quelle: Datenblätter oder PV-Magazine

# Theoretischer Fall ohne Geschäftsmodell zur Zeit: Erzeugungsanlage ohne Verbrauchseinrichtung

## Technisch-bilanzielle Anforderung

Es darf nur ein Bezug aus dem Netz für die Eigenversorgung der EZA erfolgen. Der Speicher darf somit nicht geladen werden, wenn die Wirkleistung in Richtung EZA/Speicher fließt (Energieflussrichtungssensor - EnFluRi- 1)

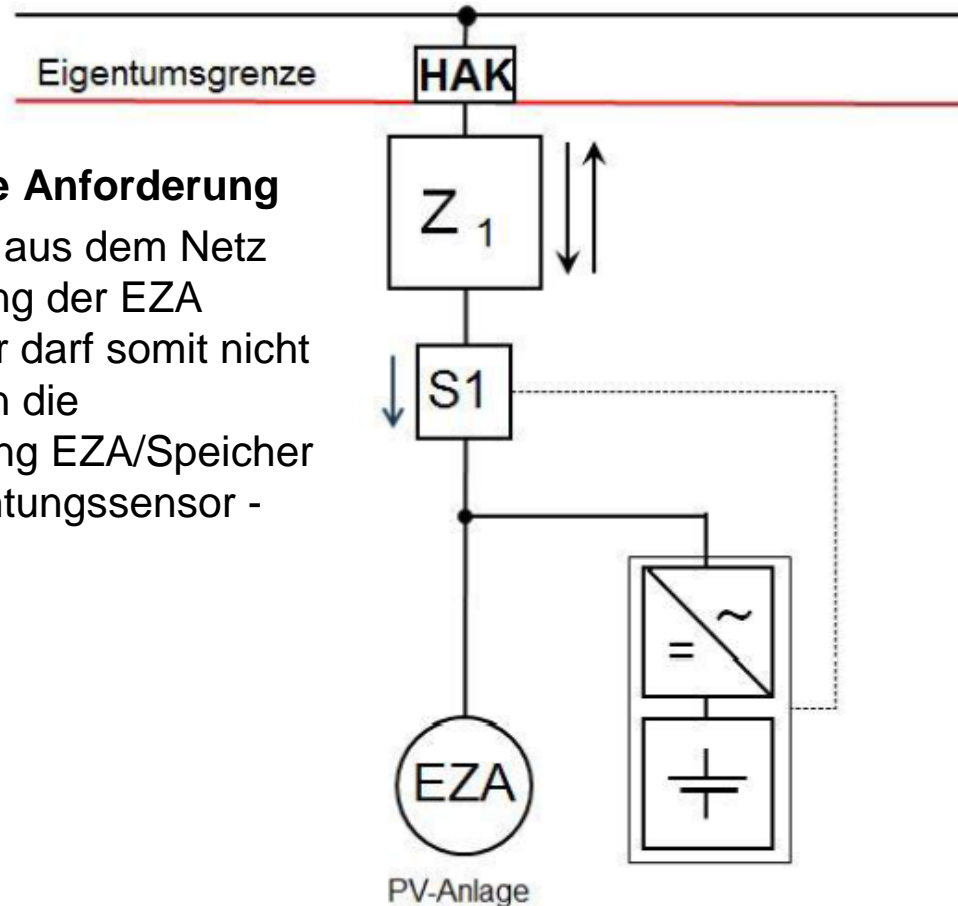


Abbildung 1-Erzeugungsanlage mit Speicher ohne Verbrauchseinrichtung

# Standardtopologie für PV-Speichersysteme (DC- oder AC-gekoppelt)

## Technisch-bilanzielle Anforderung

Es darf nur ein Bezug aus dem Netz für die Eigenversorgung der EZA erfolgen. Der Speicher darf somit nicht geladen werden, wenn die Wirkleistung in Richtung EZA/Speicher/Verbraucher fließt (Energieflussrichtungssensor - EnFluRi- 1)

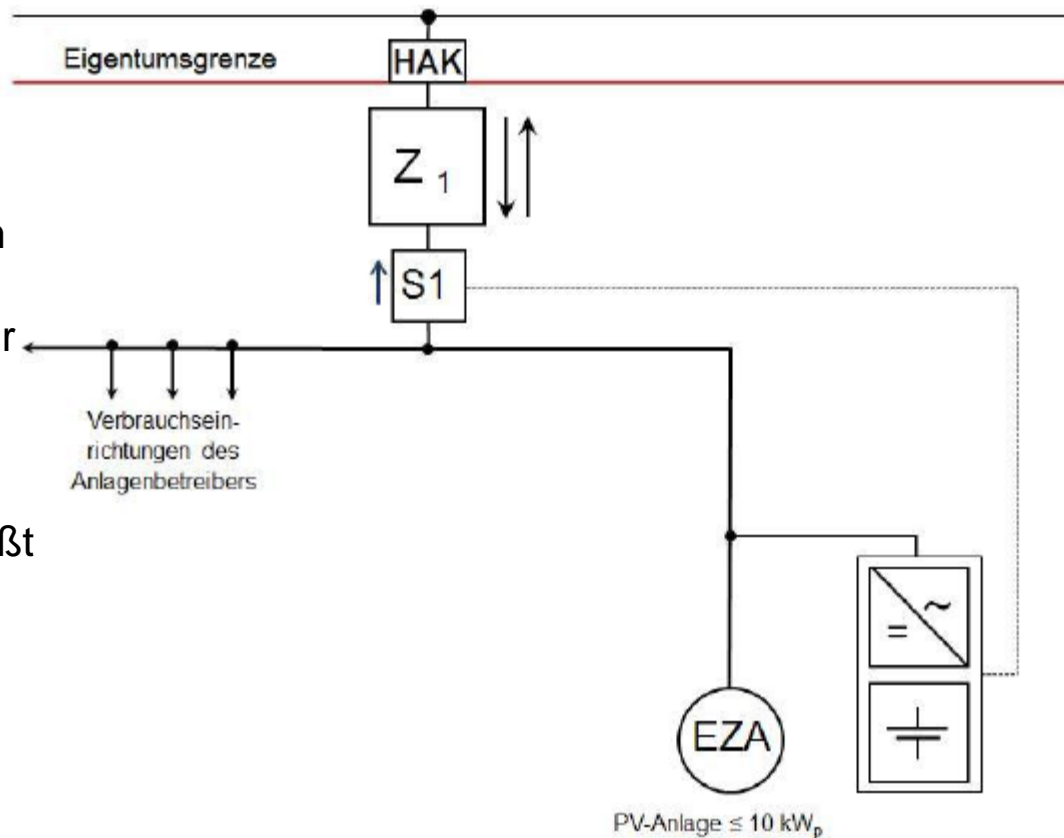
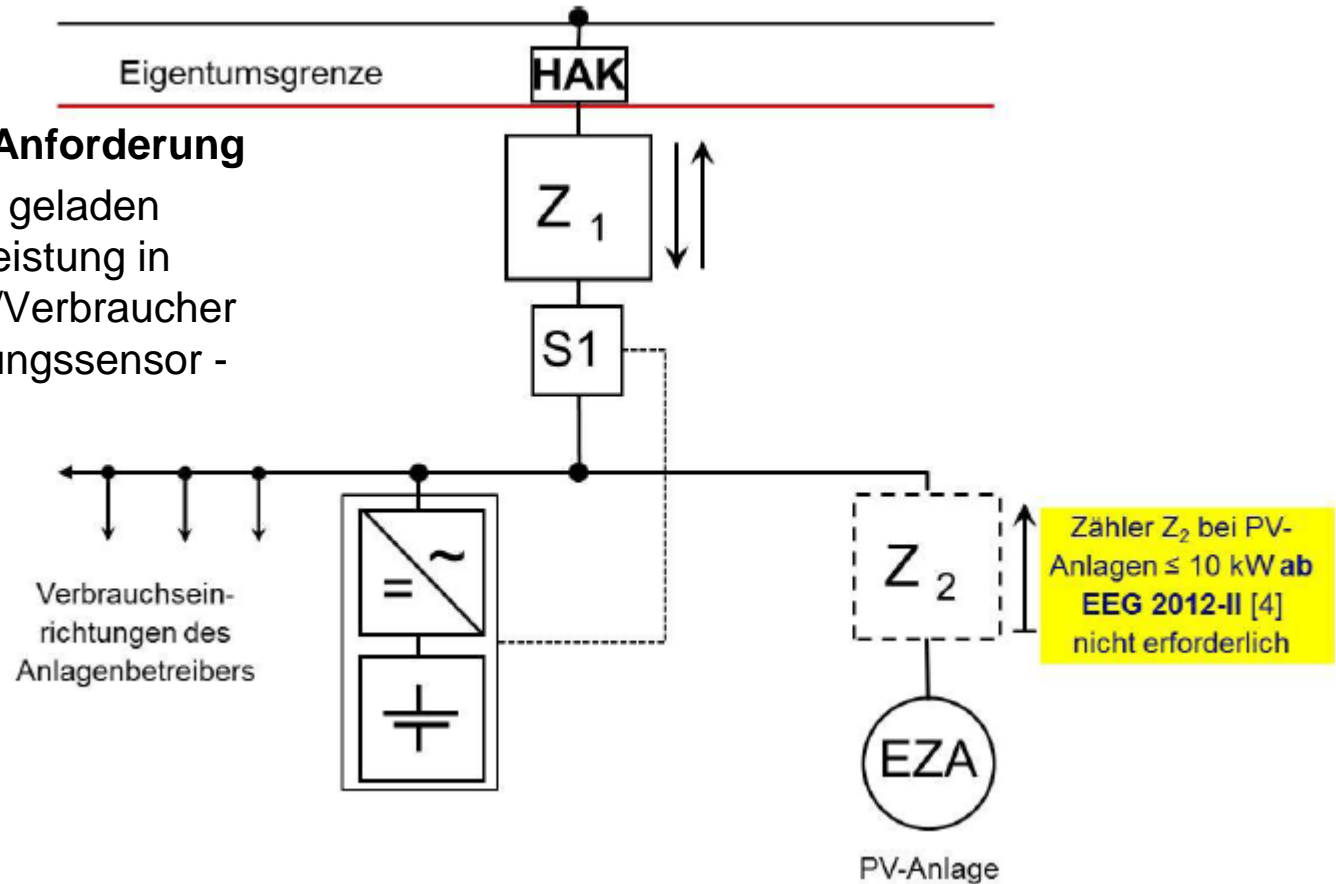


Abbildung 4-Speichersystem im Erzeugungspfad, EZA (PV) kleiner 10 kW<sub>p</sub>

# Standardtopologie für PV-Speichersysteme (AC-gekoppelt)

## Technisch-bilanzielle Anforderung

Der Speicher darf somit geladen werden, wenn die Wirkleistung in Richtung EZA/Speicher/Verbraucher fließt (Energieflussrichtungssensor - EnFluRi- 1)



# Insgesamt neun Topologien unterschiedlicher Komplexität und Praxisrelevanz werden im FNN-Hinweis angegeben

## Technisch-bilanzielle Anforderung

Speicher ohne Lieferung in das öffentliche Netz. Eine Speicherladung aus dem öffentlichen Netz ist möglich. Es muss verhindert werden, dass der Speicher bei Entladung ins Netz zurückspeist. Der Speicher darf somit nicht entladen werden, wenn Wirkleistung ins Netz fließt

(Energieflussrichtungssensors - EnFluRi- 1)

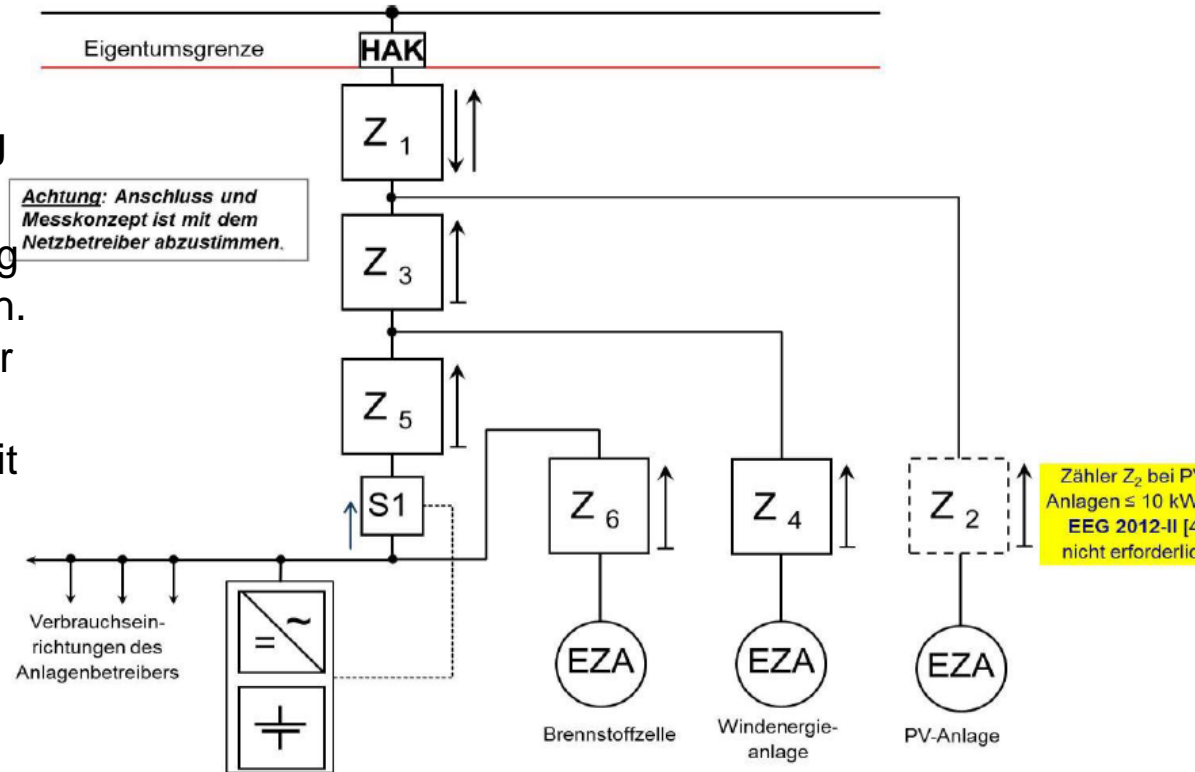


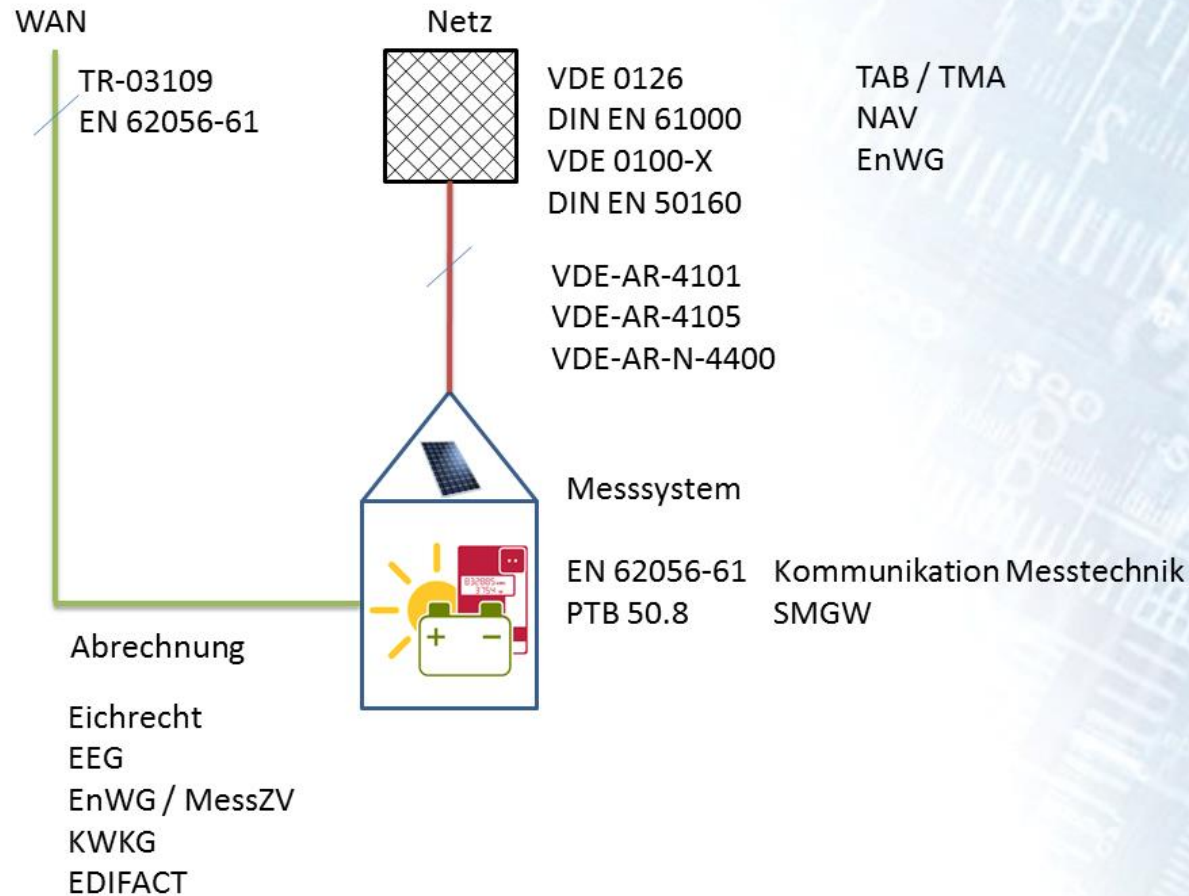
Abbildung 9 -Komplexes Anschlussbeispiel mit mehreren EZA und einem Speichersystem in der Kundenanlage



# Saldierende Messung über drei Phasen nach Ferraris-Messprinzip

Die Leistungsbilanz innerhalb der Kundenanlage wird am Netzanschlusspunkt über einen Zähler nach dem Ferraris-Messprinzip (nach VDE-AR-N 4400) ermittelt. Dieser saldiert die Leistungsflüsse über alle Phasen.

# Geltenden rechtliche und technische Rahmenbedingungen für das Forschungsprojekt „PV-Speicherzähler“



Physikalisch-Technische Bundesanstalt ■ Braunschweig und Berlin

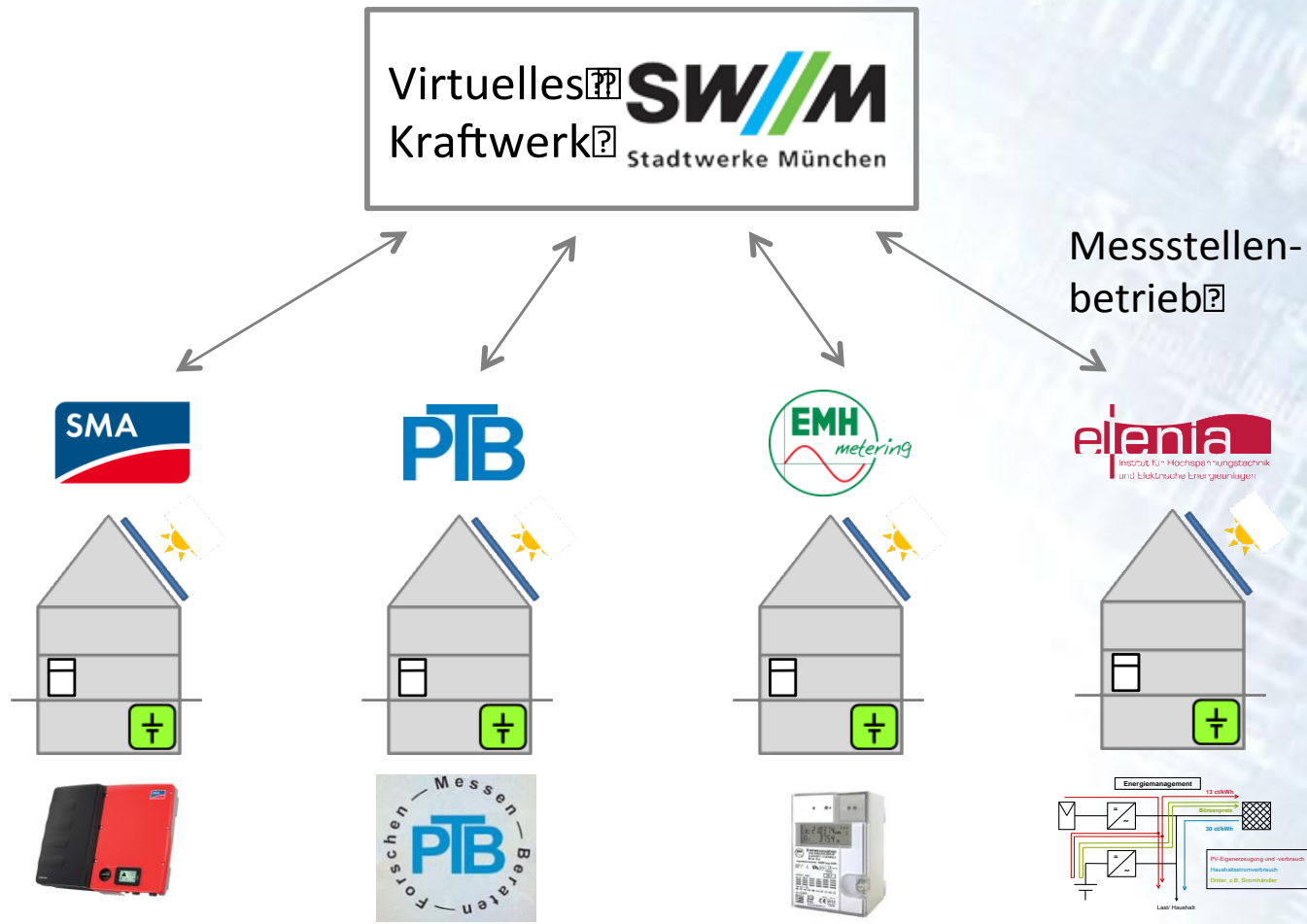
2.3, Florian Schilling / Matthias Schmidt

Überblick zu dem Verbundvorhaben PV-Speicherzähler

Nationales Metrologieinstitut

Seite 19 von 8

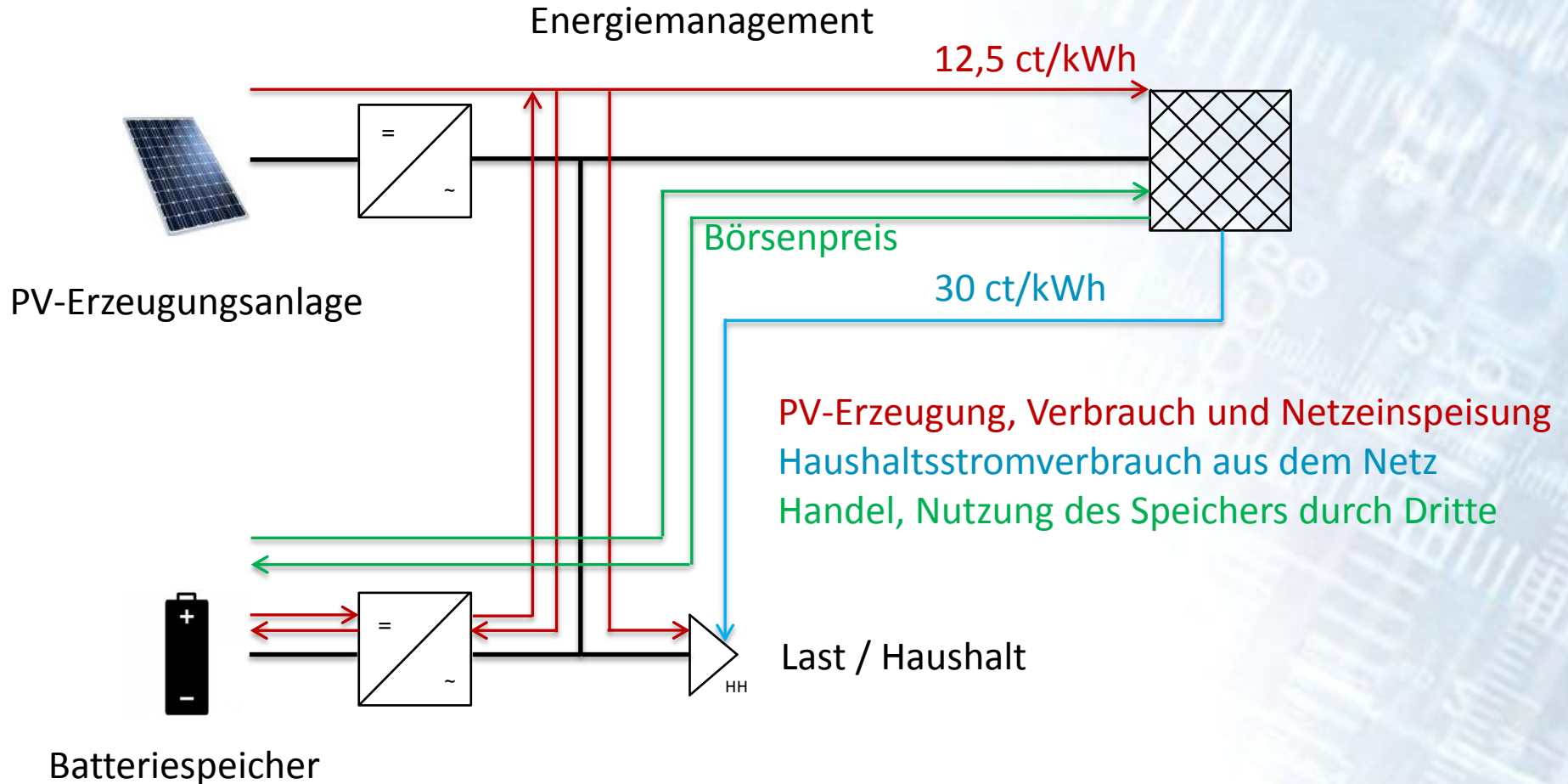
# Idee des Forschungsprojektes „PV-Speicherzähler“: Speicherintegration in die Energiewirtschaft

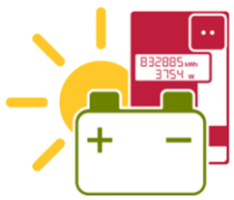




Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Konzept: Simultane Nutzung des Speichers zur Eigenversorgung und durch Dritte



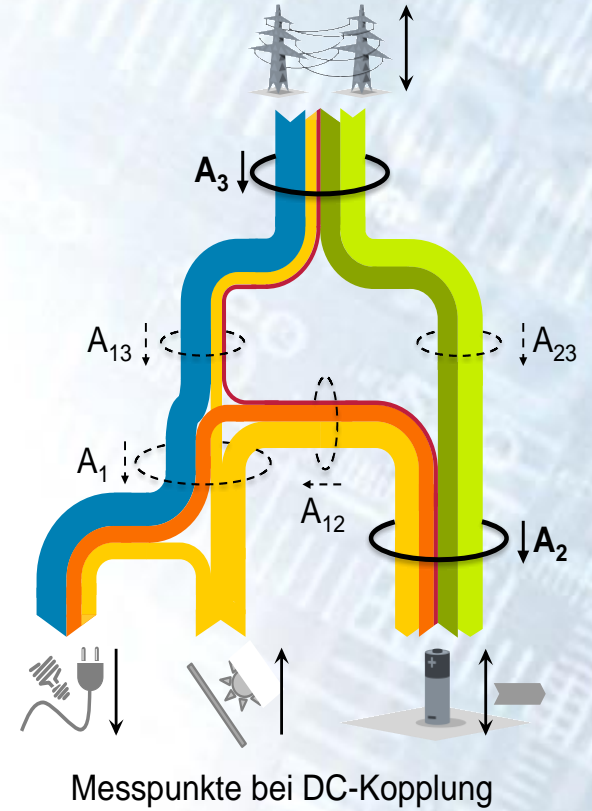
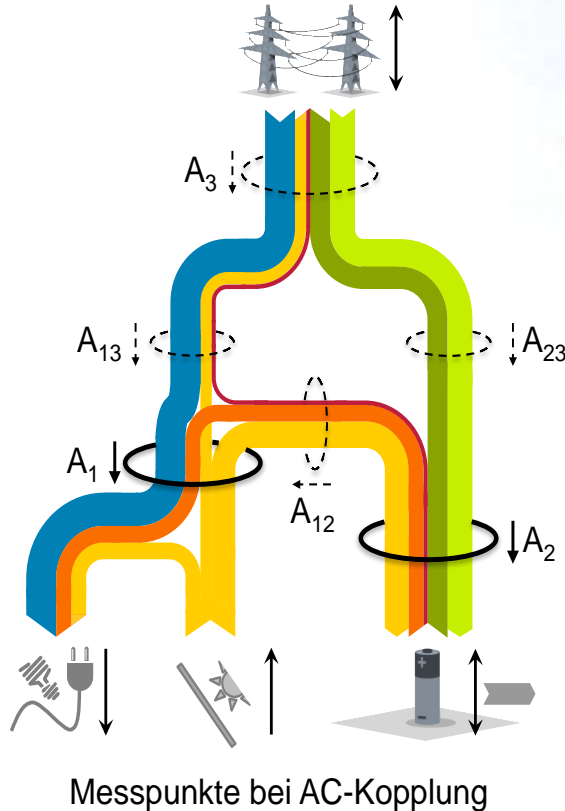
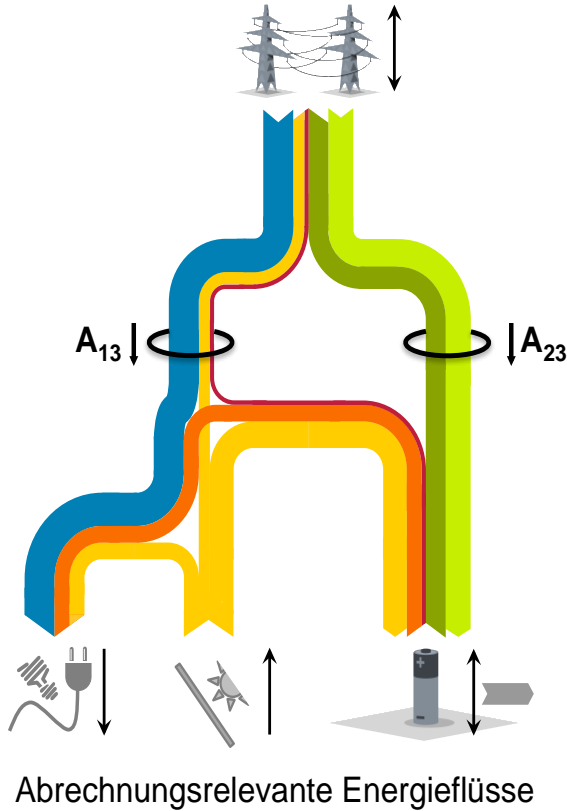


Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Konzept



Grafiken: Funck/Soyock, elenia

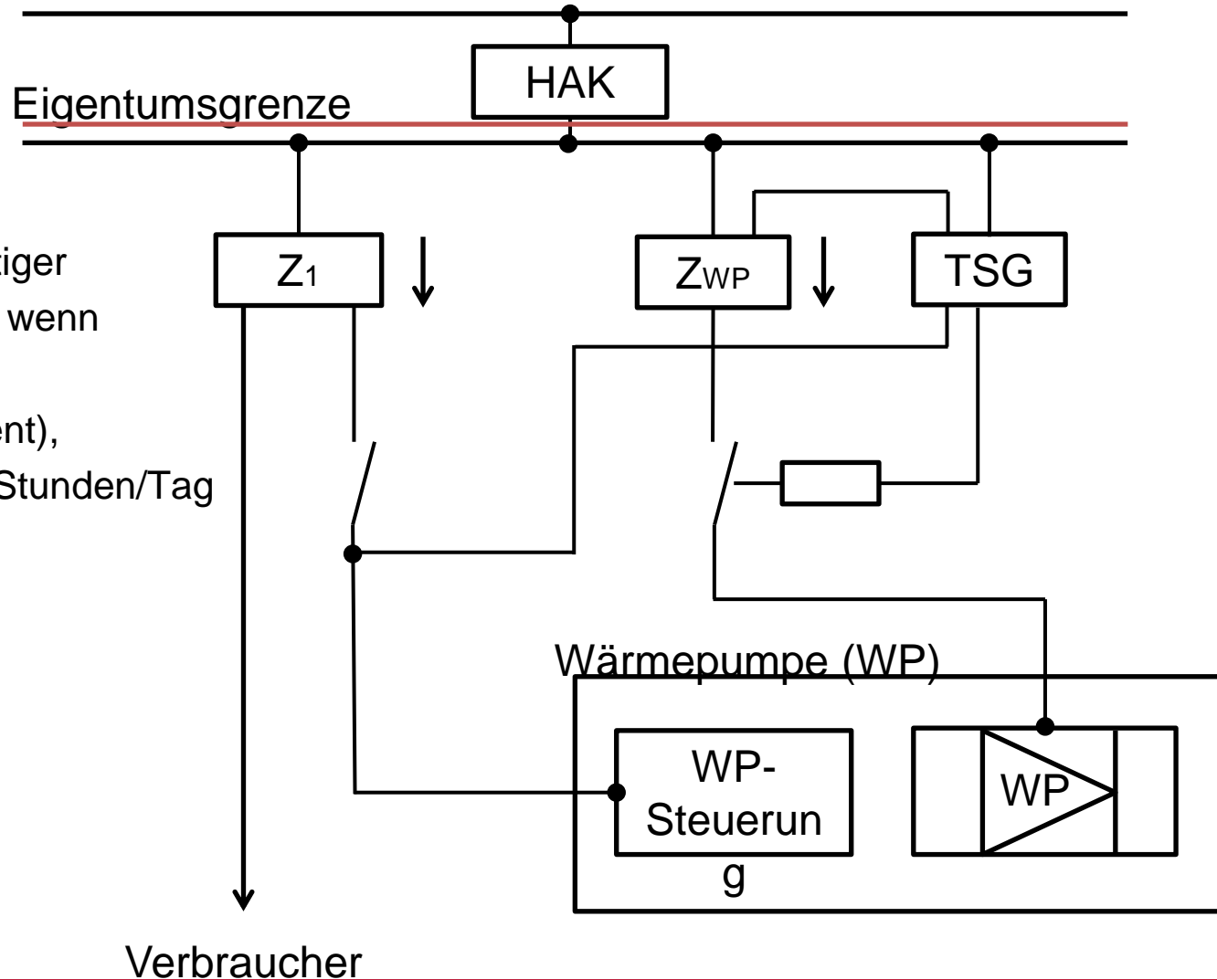
# Inhalt

1. Einführung
2. Messtechnische Fragen beim Einsatz von Speichern
3. **Messtechnische Fragen beim Einsatz von solarbetriebenen Wärmepumpen**
4. Zusammenfassung



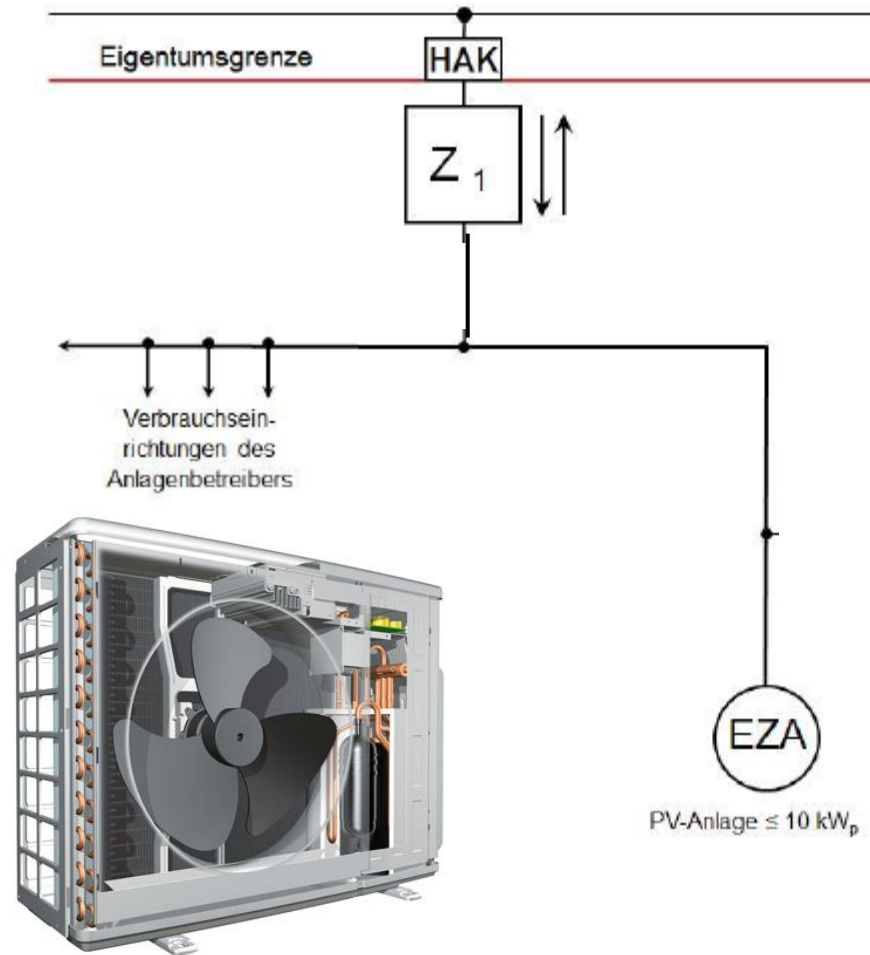
# Traditionell werden Wärmepumpen mit eigenem Zähler und Tarifsteuergerät für den Heizstrom angeschlossen

Heizstrom ist etwas günstiger (10 -20 %), insbesondere wenn er schaltbar ist (demand-side-management), z.B. Sperrzeiten bis zu 4 Stunden/Tag



# Bei Umstellung auf Eigenversorgung in der Regel Entfall des Heizstromzählers

Anschluss der Wärmepumpe wie alle Verbraucher über Zweirichtungszähler



Außeneinheit einer Split Wärmepumpe | Viessmann Vitocal 200-S |  
Abbildung: Viessmann Werke



# Inhalt

1. Einführung
2. Messtechnische Fragen beim Einsatz von Speichern
3. Messtechnische Fragen beim Einsatz von solarbetriebenen Wärmepumpen
4. Zusammenfassung



# Zusammenfassung

- Das **KfW-Speicher-Marktanreizprogramm** hat die Anwendung von dezentralen PV-Speichern und die zugehörige **Richtliniensetzung** (nicht nur zur Messtechnik) in Deutschland wesentlich **vorangetrieben**
- Der **FNN** hat sehr weitgehend **Zählertopologien** für viele Praxisfälle in seinem Technischen Hinweis beschrieben
- **Saldierende Messung** über die drei Phasen ist Standard
- Dieser Hinweis stellt den aktuellen Stand der Technik dar. Zukünftige Entwicklungen wie eine stärkere frequenzabhängige Leistungsaufnahme bzw. –abgabe und vor allem eine weitgehende **energiewirtschaftliche Integration** des Speichers bei simultaner Eigenversorgung wird zu neuen Anforderungen an die Messtechnik führen. Zur Zeit sind einige Konzepte in der wissenschaftlichen Forschung.
- Für (teilweise) **solarbetriebenen Wärmepumpen** können bei Umstellung auf Eigenversorgung in der Regel die vorhandenen Zählerschaltungen nicht mehr weiterverwendet werden.



Technische  
Universität  
Braunschweig



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Quelle:SMA

**Ich freue mich auf Ihre Fragen und Kommentare**

Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Institutsleiter elenia

Fachgebiet Komponenten nachhaltiger Energiesysteme

0531/391-7740

[bernd.engel@tu-braunschweig.de](mailto:bernd.engel@tu-braunschweig.de)