



## Offenes Simulationsmodell für netzgekoppelte PV-Batteriesysteme

**Tjarko Tjaden**, Johannes Weniger, Volker Quaschnig

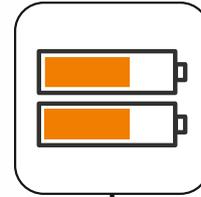
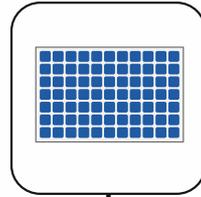
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin

Christian Messner (AIT), Michael Knoop und Matthias Littwin (ISFH)  
Hauke Loges (elenia), Kai-Philipp Kairies und David Haberschusz (ISEA)

32. Symposium Photovoltaische Solarenergie,  
Kloster Banz, Bad Staffelstein, 08.-10. März 2017

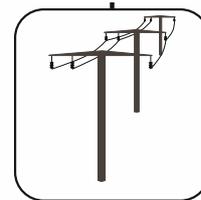
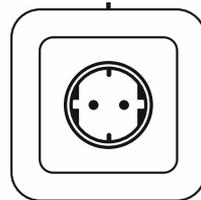
# Systemkomponenten und Energiewandlungspfade

PV-Generator



Batterie-  
speicher

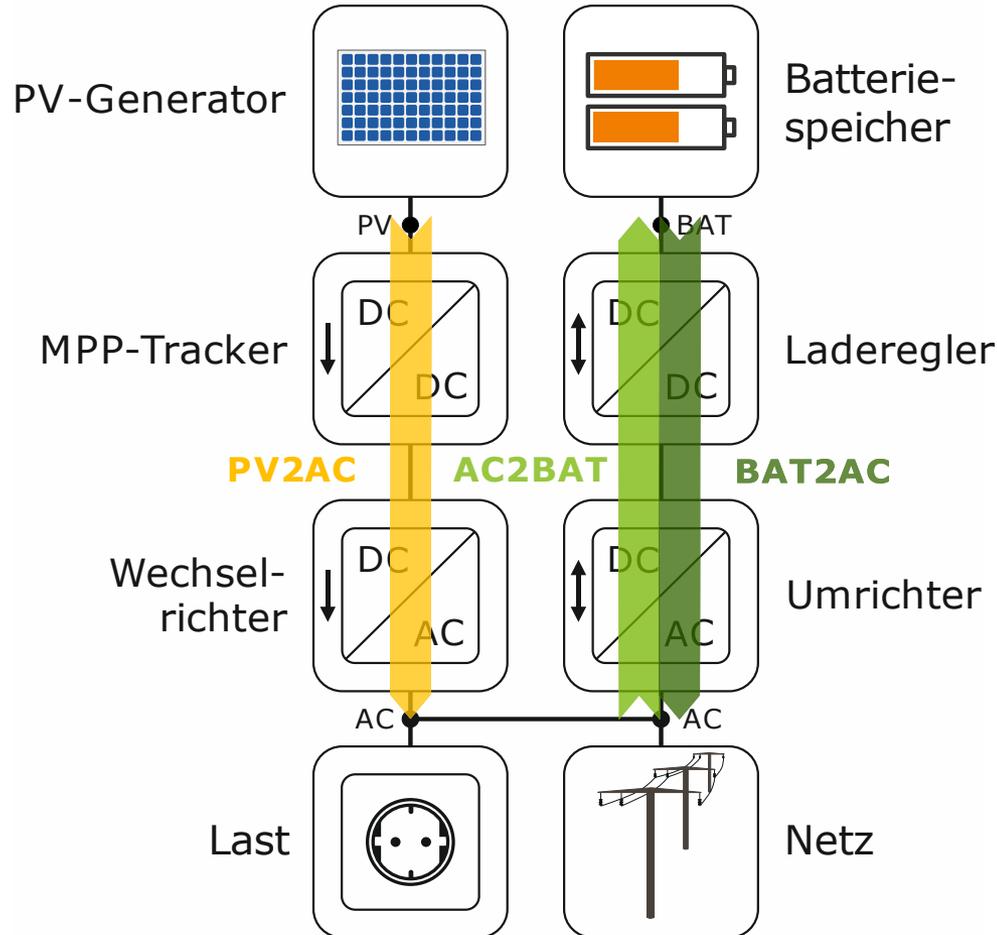
Last



Netz

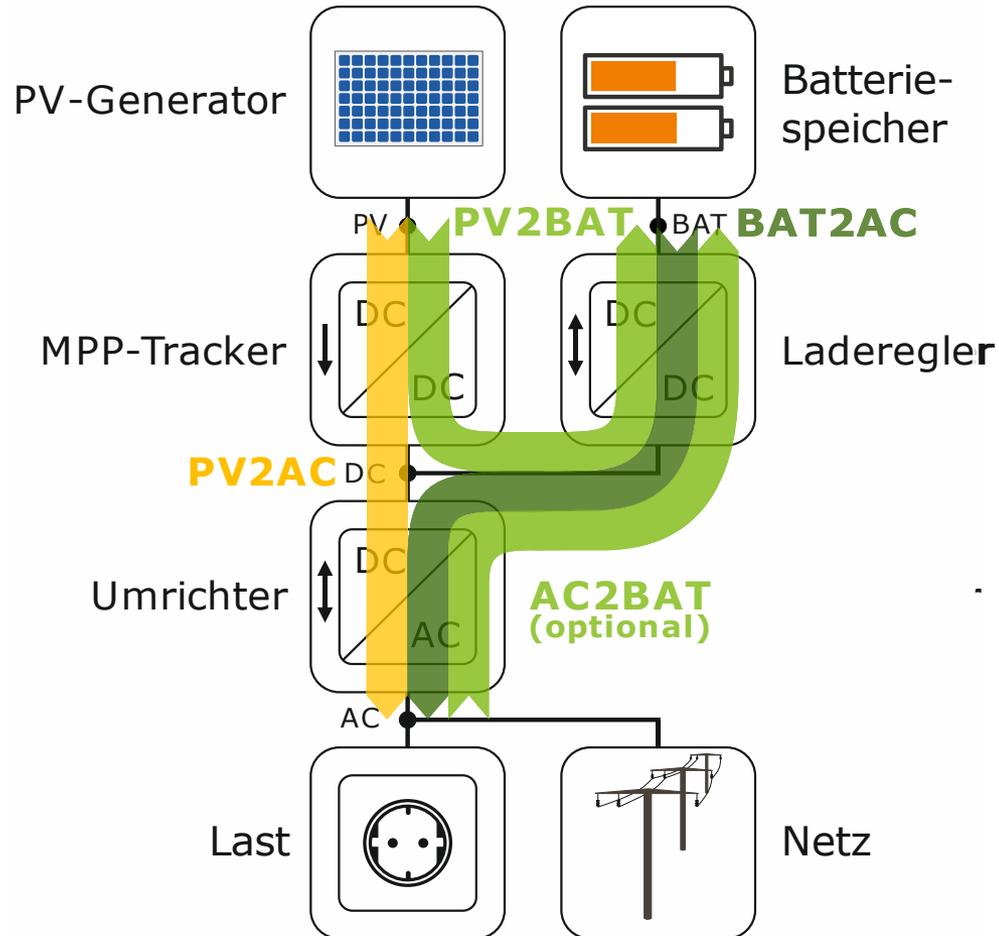
# Systemkomponenten und Energiewandlungspfade

## AC-gekoppelte Systeme



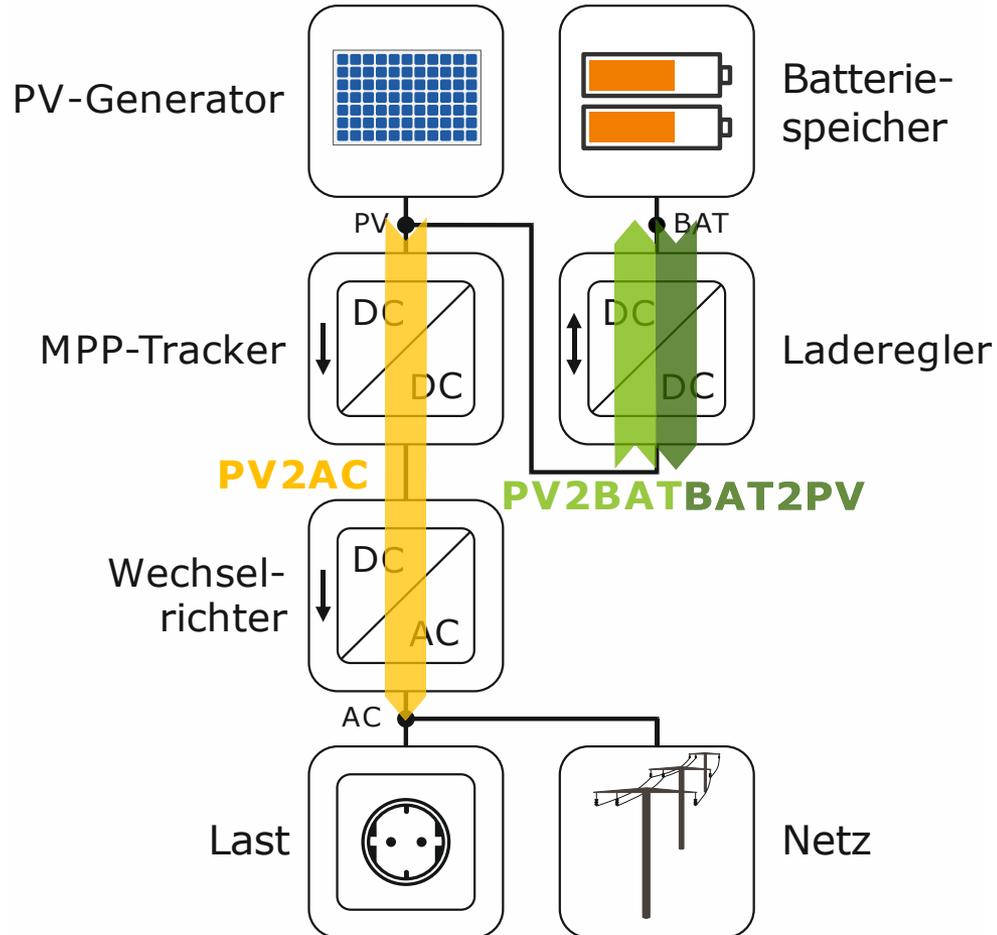
# Systemkomponenten und Energiewandlungspfade

## DC-gekoppelte Systeme



# Systemkomponenten und Energiewandlungspfade

## PV-Generatorkgekoppelte Systeme



# Verlustmechanismen in PV-Batteriesystemen

## Verlustmechanismen in Photovoltaik-Batteriesystemen

### Dimensionierungsverluste



### Umwandlungsverluste



### Regelungsverluste



### Energiemanagementverluste



### Bereitschaftsverluste



- Eigenschaften, die Abweichungen gegenüber dem **idealen, verlustfreien Systemverhalten** hervorrufen.
- Systemverluste führen in der Regel zum **Anstieg des Netzbezugs** oder zur **Reduktion der Netzeinspeisung**.
- Klassifizierung der Verlustmechanismen in **fünf Kategorien**.

# Status Quo: Wirkungsgradangaben der Hersteller

Systemwirkungsgrad 97% Round-Cycle



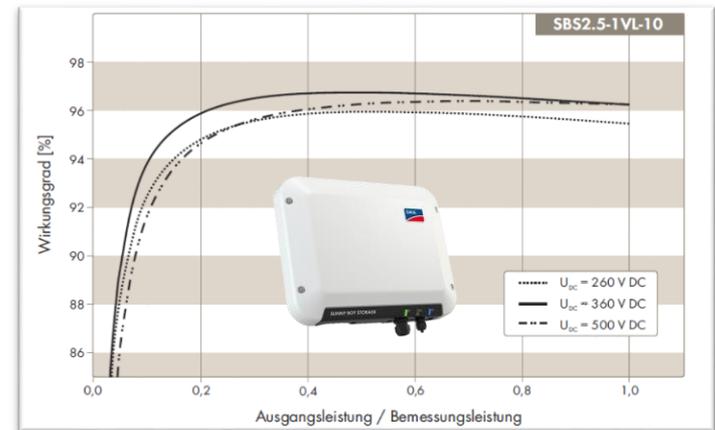
Maximaler Wirkungsgrad Wechselrichter	96 %
Maximaler Wirkungsgrad Batterie	98 %



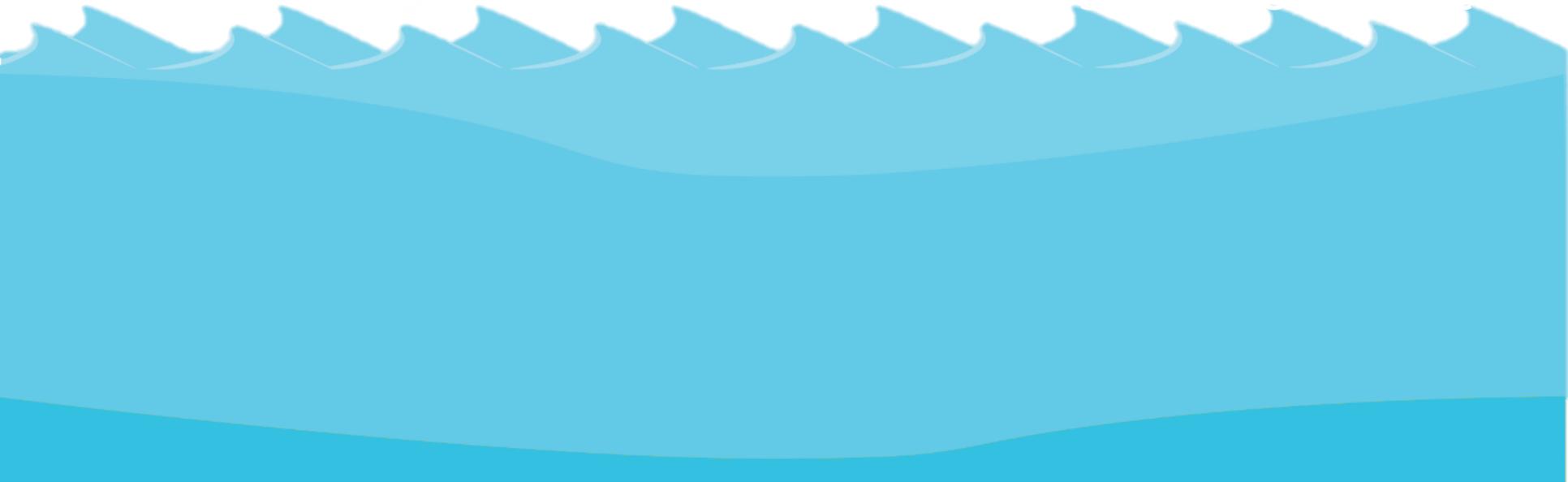
WIRKUNGSGRAD	
Wechselrichter / Laderegler	96 %
Gesamtsystem (maximal)	86 %



max. Gesamtwirkungsgrad (round-trip - laden/entladen)	92 %
---	------

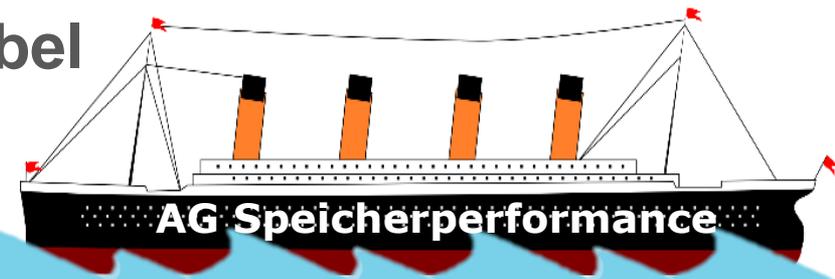


# Ausschau nach dem Effizienzlabel



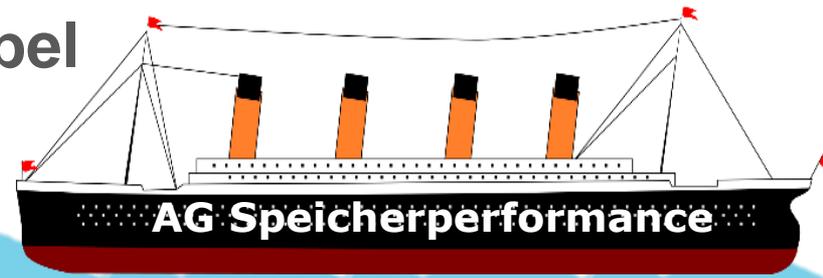
# Ausschau nach dem Effizienzlabel

Label



Hersteller, Institute, Hochschulen  
seit 2015 in einem Boot

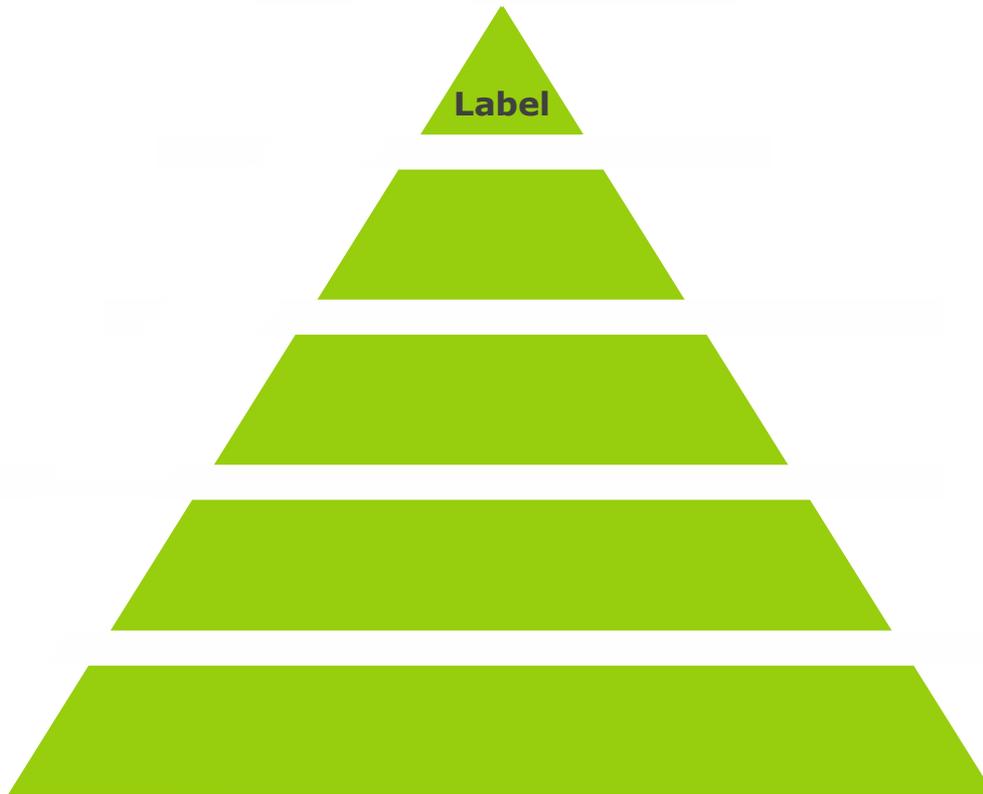
# Ausschau nach dem Effizienzlabel



Label

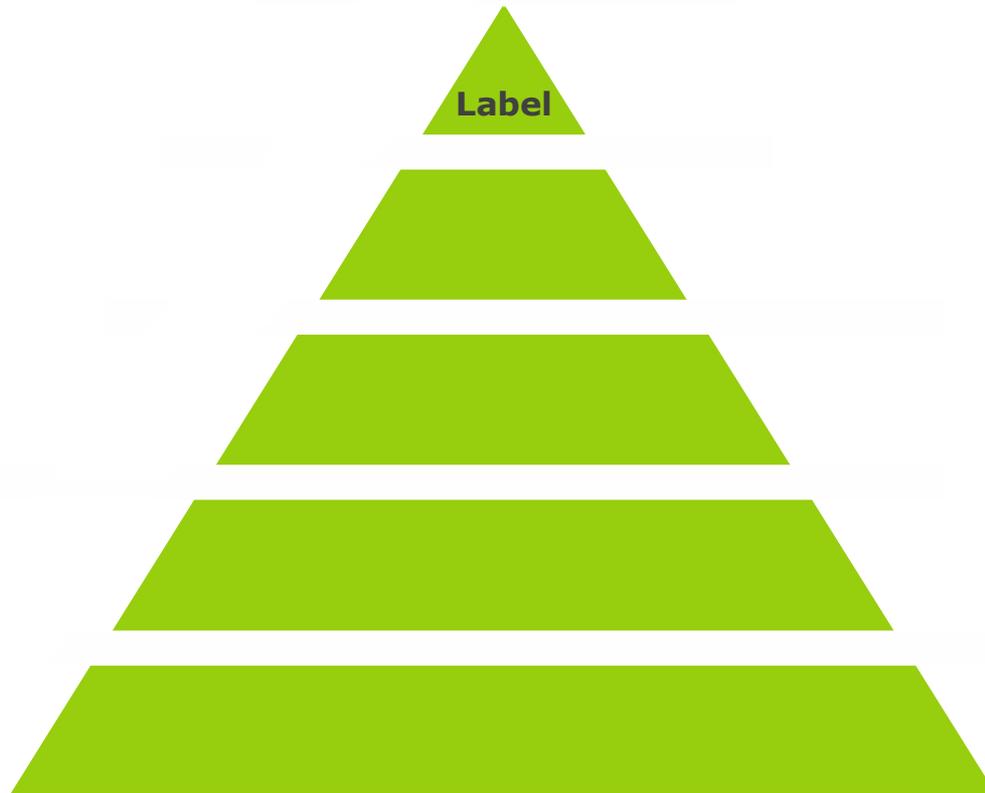
Hersteller, Institute, Hochschulen  
seit 2015 in einem Boot

# Maßnahmen zur Steigerung der Vergleichbarkeit

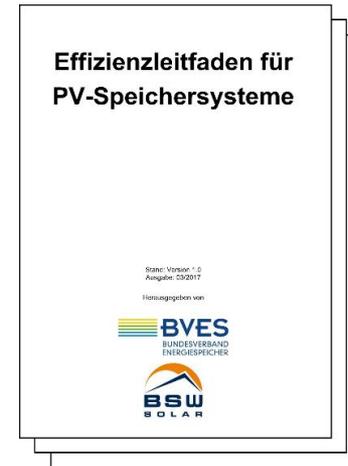


- **Fehlende Messstandards**
- **Eingeschränkte Vergleichbarkeit der Produkte**
- **Mangelnde Transparenz der Effizienzangaben**
- **Großes Effizienz-Optimierungspotenzial**

# Maßnahmen zur Steigerung der Vergleichbarkeit



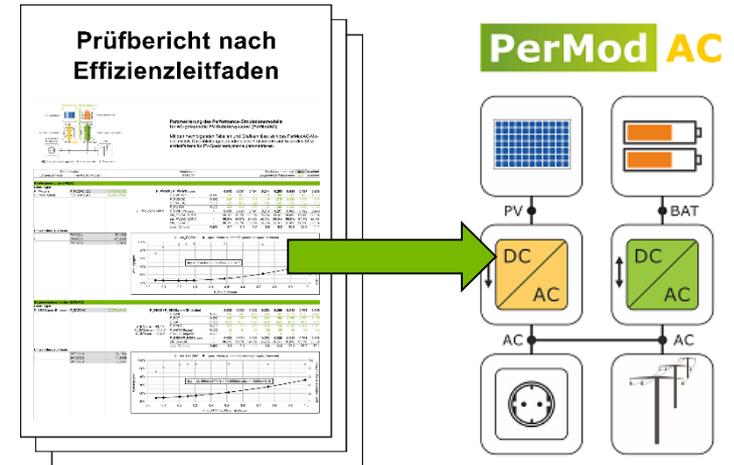
- **Fehlende Messstandards**
- **Eingeschränkte Vergleichbarkeit der Produkte**
- **Mangelnde Transparenz der Effizienzangaben**
- **Großes Effizienz-Optimierungspotenzial**



- Prüfleitfaden für **alle Topologien**
  - AC-gekoppelt
  - DC-gekoppelt
  - PV-Generatorkgekoppelt
- Ermittlung von **Effizienzparametern**
  - Wirkungsgrade
  - Bereitschaftsverluste
  - Regelungseffizienz
- **Veröffentlichung** am 14.03.2017 auf der Energy Storage durch den **BVES** und **BSW**



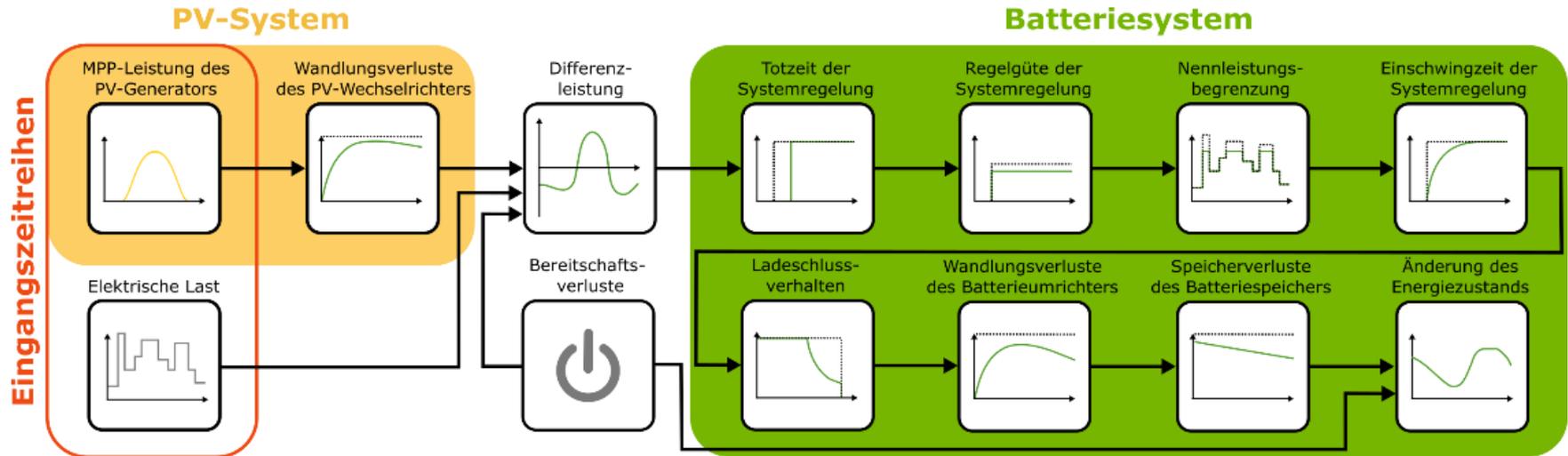
# Maßnahmen zur Steigerung der Vergleichbarkeit



- **Prüfberichte** als **Grundlage** für Simulationsprogramme
- **Ziel des Simulationstests**
  - **Vergleich** der Systemperformance verschiedener Produkte unter **identischen Bedingungen**
  - Werkzeug zur Produkt- und **Systementwicklung**

# Vorstellung des Simulationsmodells **PerMod AC**

- **Performance-Simulationsmodell** für **AC**-gekoppelte PV-Batteriesysteme (**PerModAC**).



- **Matlab-Programmcode** inkl. Eingangsdatensatz zur Simulation der Energieflüsse in einsekündiger Auflösung.
- Parametrierung des Modells auf Basis von Labormessungen nach dem **Effizienzleitfaden**.
- **Modellansatz:** „So einfach wie möglich, so komplex wie nötig.“
- **Frei verfügbar:** <https://pvspeicher.htw-berlin.de/permod>

# Validierung durch Labormessungen

- **Test** von vier AC-gekoppelten Systemen durch Forschungsinstitute nach dem Effizienzleitfaden und Bereitstellung der Prüfberichte.

Christian Messner



Kai-Philipp Kairies  
David Haberschusz



Michael Knoop  
Matthias Littwin

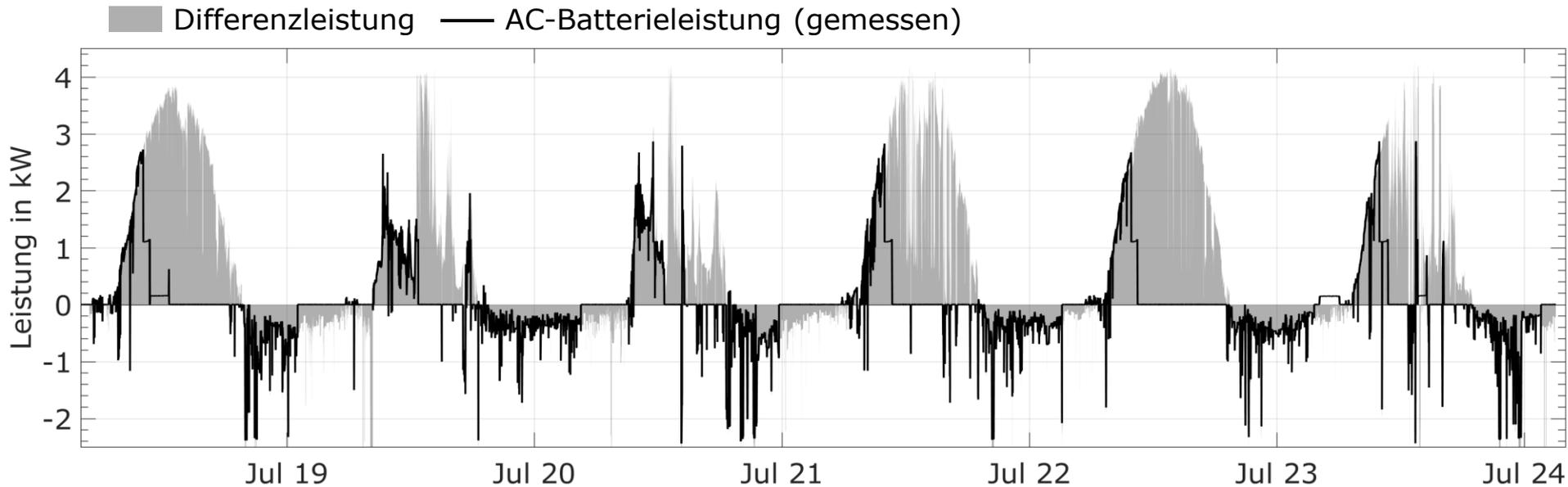


Hauke Loges



# Validierung durch Labormessungen

- **Test** von vier AC-gekoppelten Systemen durch Forschungsinstitute nach dem Effizienzleitfaden und Bereitstellung der Prüfberichte.
- **Messung** über eine Woche im realen Betrieb durch Vorgabe einer PV-Generatorleistung und einer Last mit einer zeitlichen Auflösung von 1 s.



Christian Messner

Kai-Philipp Kairies  
David Haberschus

Michael Knoop  
Matthias Littwin

Hauke Loges

# Validierung durch Labormessungen

- **Test** von vier AC-gekoppelten Systemen durch Forschungsinstitute nach dem Effizienzleitfaden und Bereitstellung der Prüfberichte.
- **Messung** über eine Woche im realen Betrieb durch Vorgabe einer PV-Generatorleistung und einer Last mit einer zeitlichen Auflösung von 1 s.
- **Simulation** des Systems mit den gleichen Eingangsdaten und anschließender Vergleich der Mess- und Simulationsergebnisse.

■ Differenzleistung — AC-Batterieleistung (gemessen) — AC-Batterieleistung (simuliert)



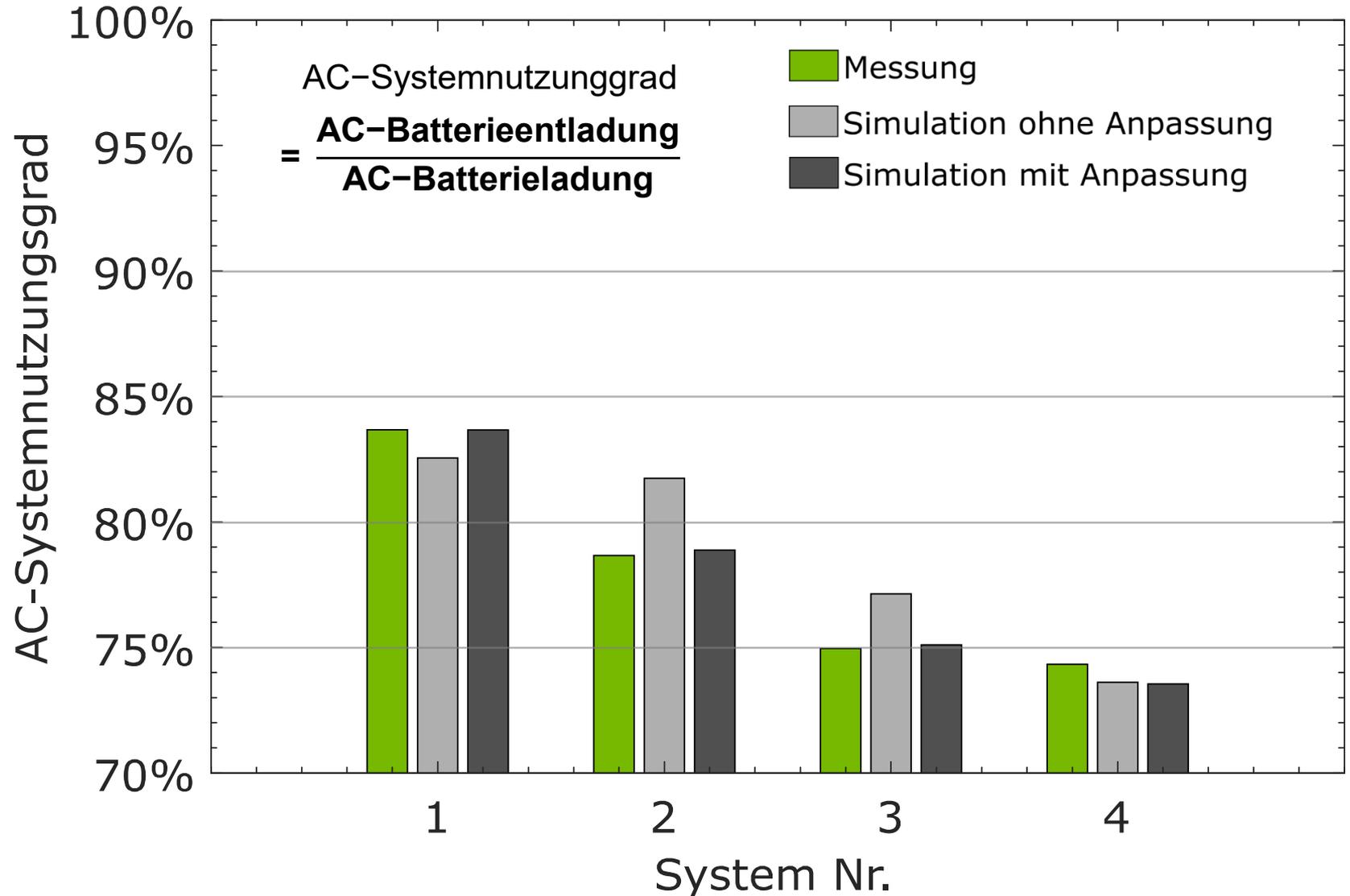
Christian Messner

Kai-Philipp Kairies  
David Haberschus

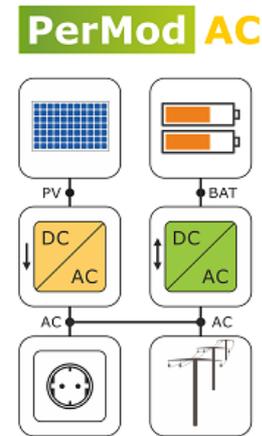
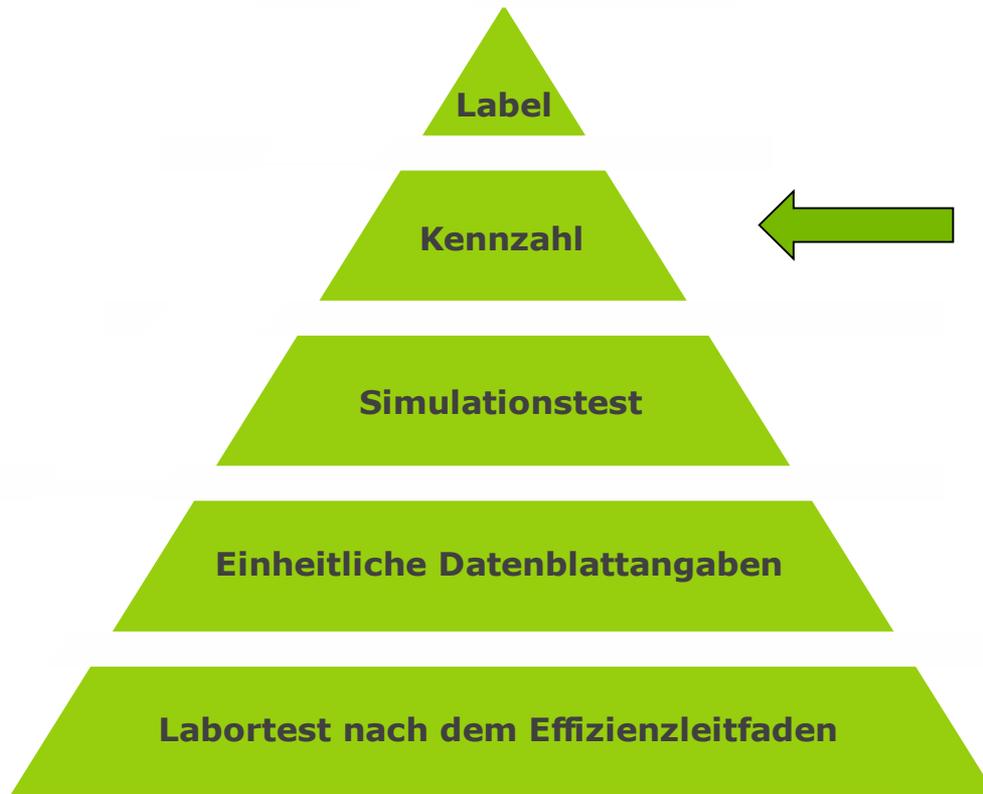
Michael Knoop  
Matthias Littwin

Hauke Loges

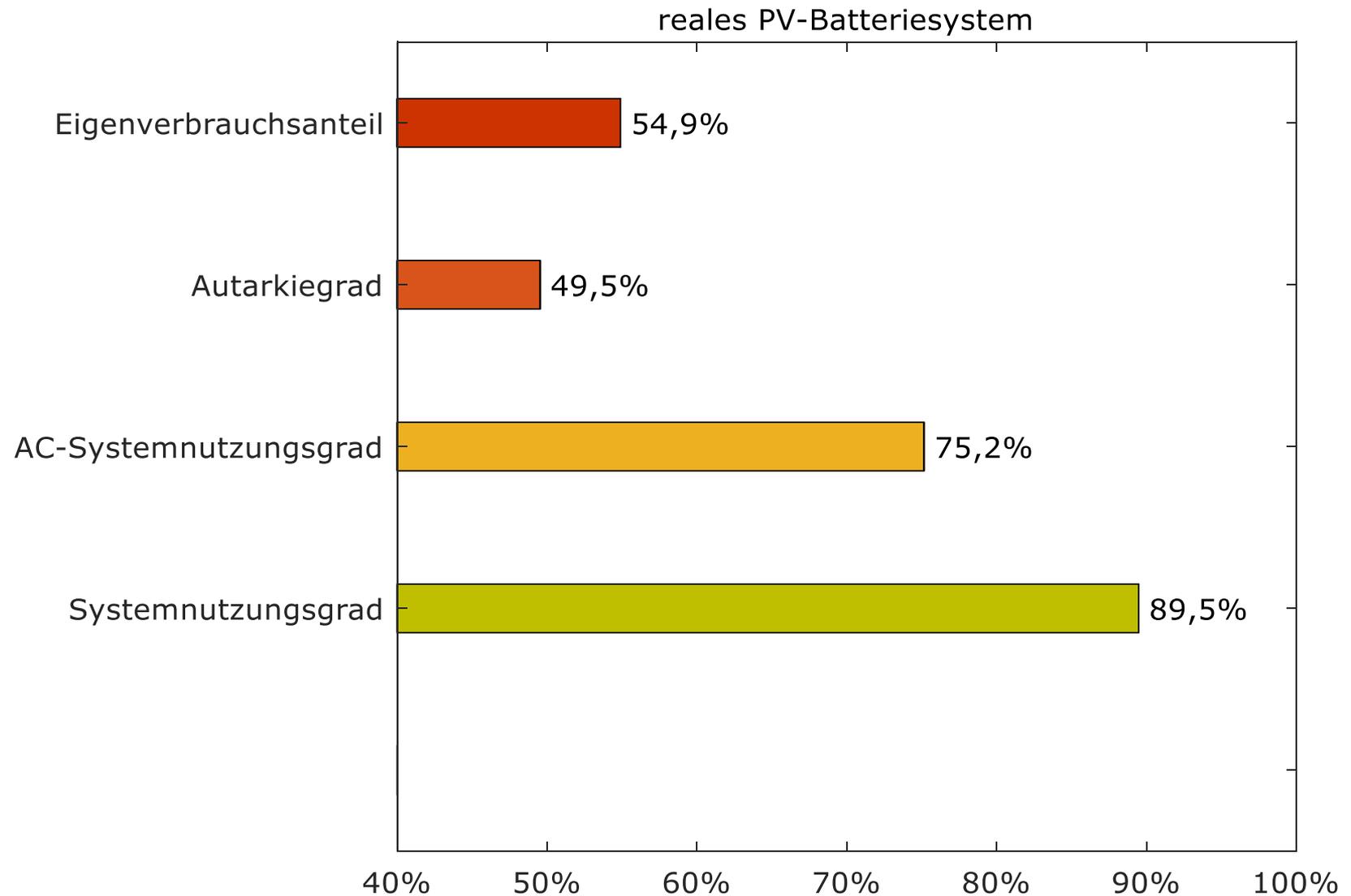
# Validierung anhand des AC-Systemnutzungsgrad



# Maßnahmen zur Steigerung der Vergleichbarkeit

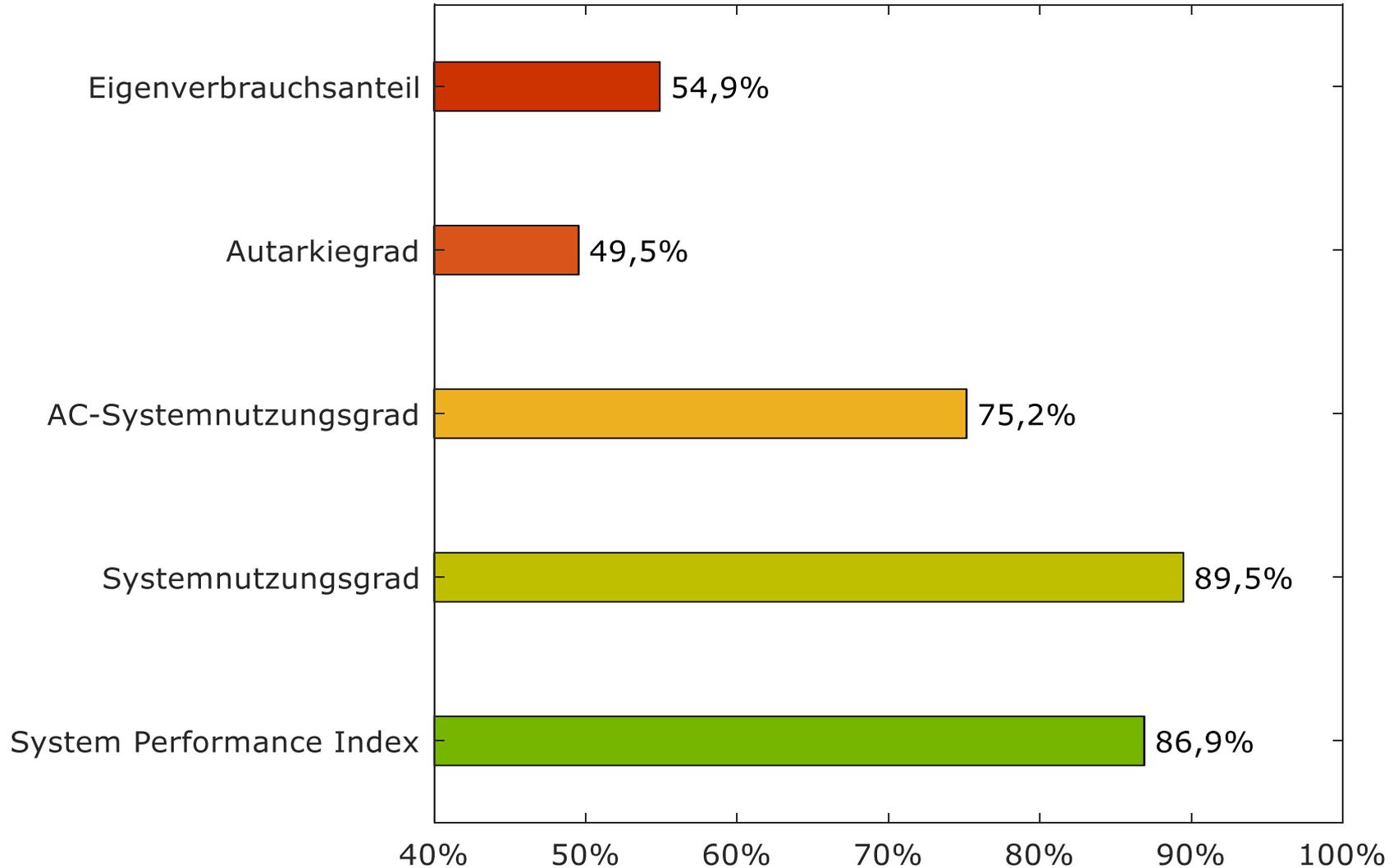


# Kennzahlen aus der Jahressimulation für System 3

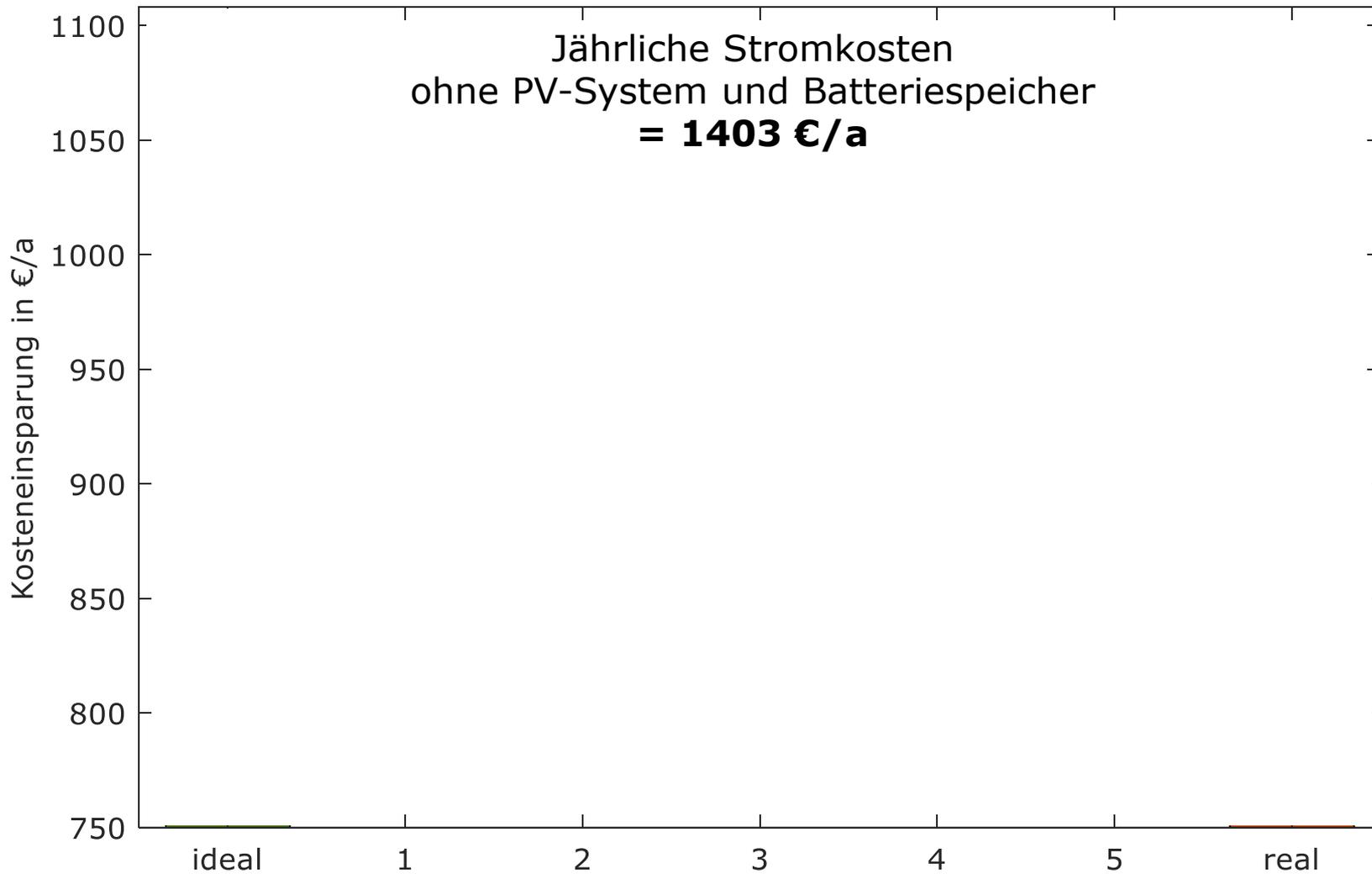


# Kennzahlen aus der Jahressimulation für System 3

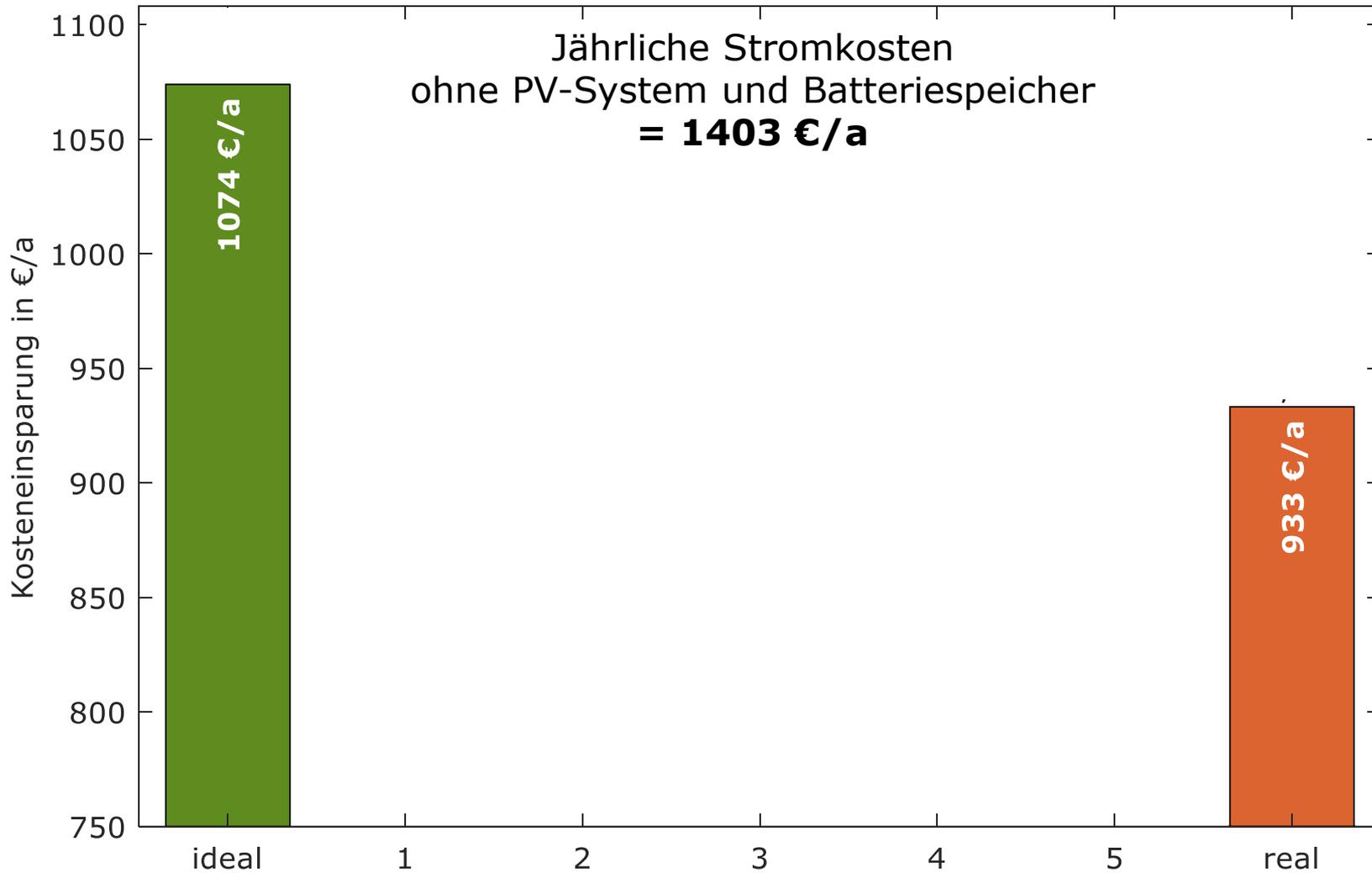
reales PV-Batteriesystem



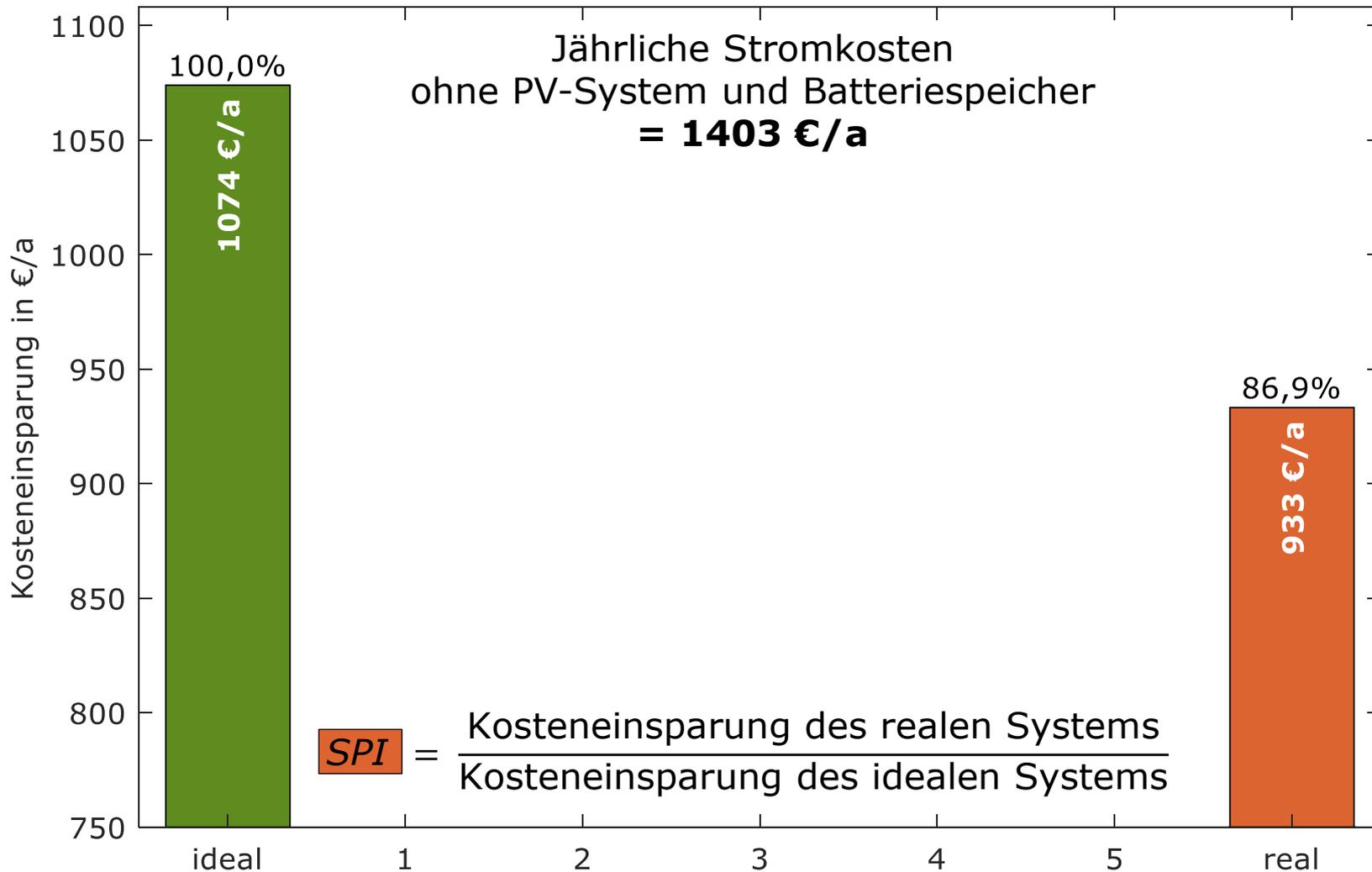
# Einführung des System Performance Index (SPI)



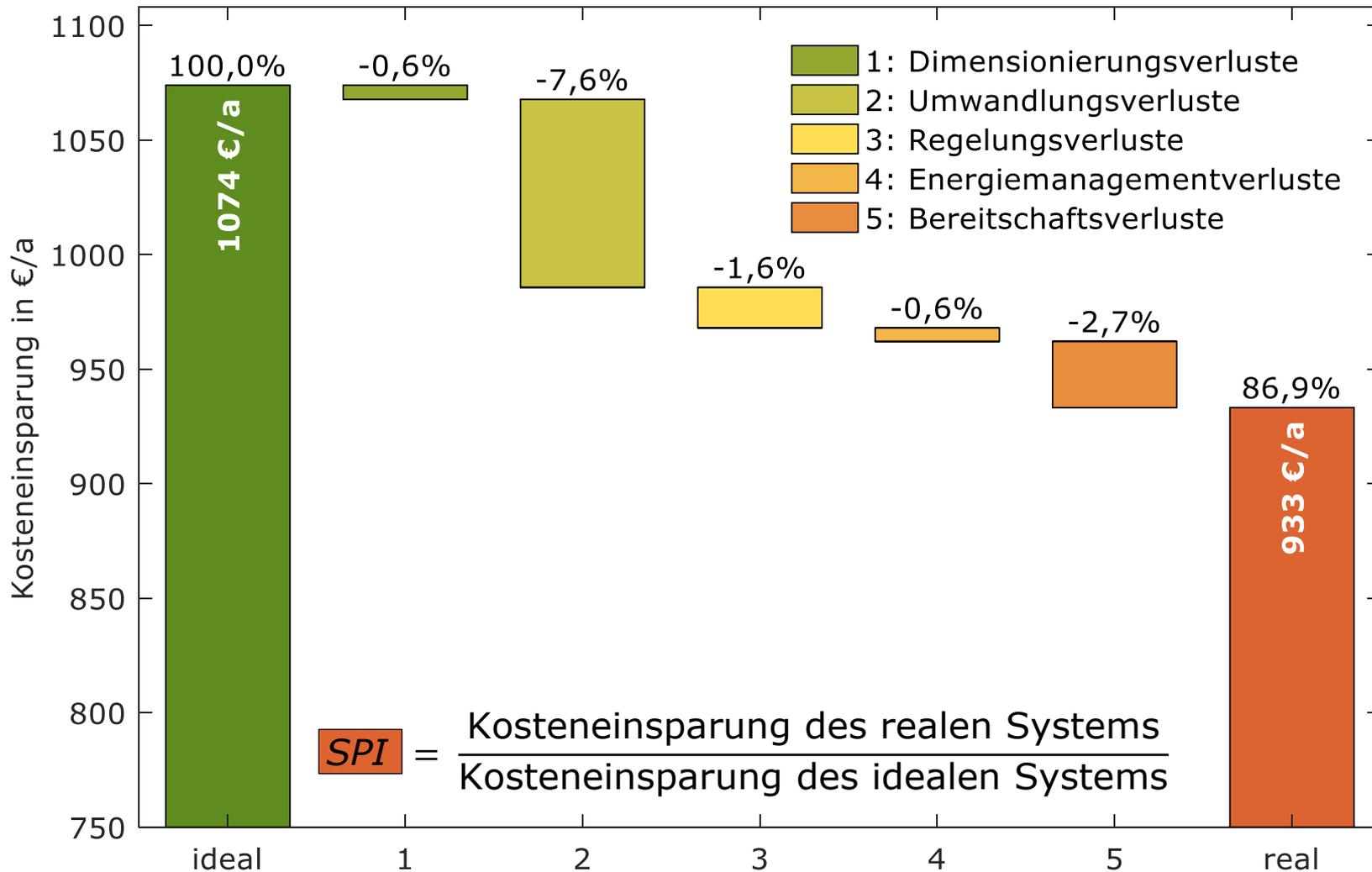
# Einführung des System Performance Index (SPI)



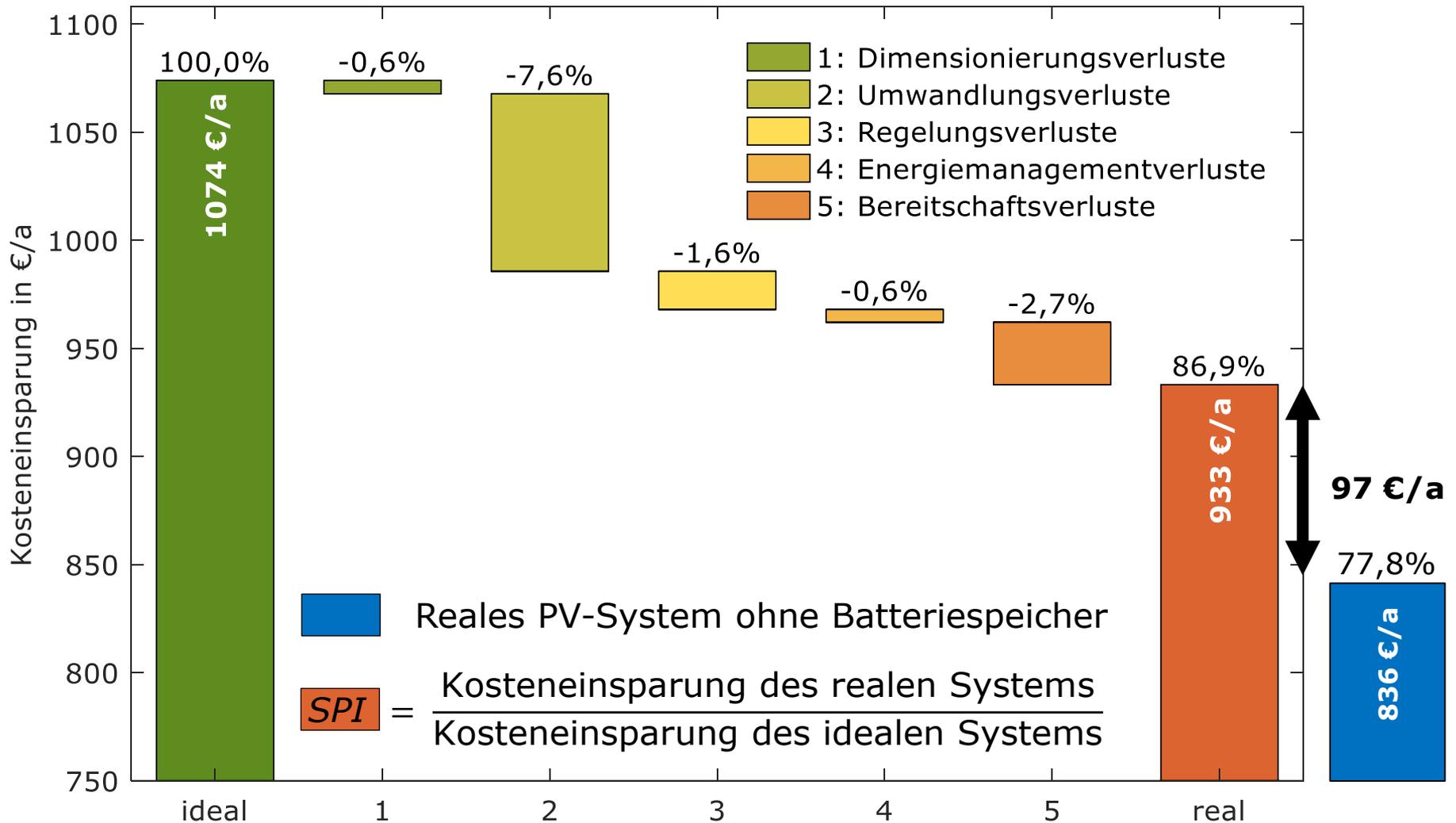
# Einführung des System Performance Index (SPI)



# Einführung des System Performance Index (SPI)



# Einführung des System Performance Index (SPI)



# Schlussfolgerungen

- Der **Effizienzleitfaden für PV-Batteriespeicher** stellt eine bedeutende **Grundlage** für die Bestimmung von Effizienzparametern für **Datenblattangaben** und **Simulationsmodelle** dar.
- Der Anspruch eines umfassenden, **anwendungsbezogenen Vergleichs** von PV-Batteriesystemen bei gleichzeitig **geringem** zeitlichen und finanziellen **Aufwand** kann am besten durch **Simulationen** erfüllt werden.
- Das **PerModAC-Modell** ermöglicht eine genaue Abbildung der Realität und kann zusammen mit der Community als **Open Source Modell** weiterentwickelt werden.
- Wichtigste **Weiterentwicklung** ist die Anpassung und Validierung des Modells für **PV-Generator-** und **DC-gekoppelte Systeme**.
- Mit dem vorgestellten **System Performance Index (SPI)** können mittelfristig Speichersysteme **aller Topologien** anwendungsbezogen **technisch** sowie **ökonomisch** miteinander verglichen werden.
- Damit ist der **SPI** eine geeignete **Grundlage** für Marktübersichten und ein einheitliches sowie verständliches **Effizienzlabel**.

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Ein großer Dank an die Verbände



und den Fördermittelgeber / Projektträger

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

