



STROMSPEICHER Inspektion

Präsentation zur Studie
Stromspeicher-Inspektion 2023



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Autor:innen der HTW Berlin (Schwerpunkt 1 bis 4)
Johannes Weniger, Nico Orth, Lucas Meissner, Cheyenne Schlüter, Jonas Meyne
Forschungsgruppe Solarspeichersysteme
Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin



Karlsruher Institut für Technologie

Co-Autor:innen des KIT (Schwerpunkt 4)
Robert Schreier, Bernhard Schwarz, Nina Munzke
Elektrotechnisches Institut (ETI)
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Version
Version 1.0 (Februar 2023)

Webseite
solar.htw-berlin.de/inspektion



Batteriewirkungsgrad



97,8 %

VARTA

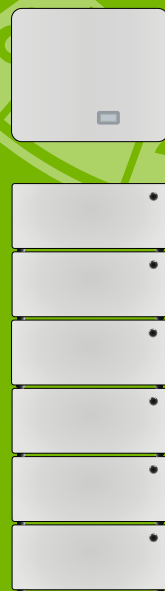
Wechselrichterwirkungsgrad



97,8 %

RCT POWER

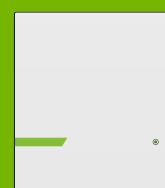
Einschwingzeit



0,2 s

KACO & ENERGY DEPOT

Stand-by-Verbrauch



2 W

VARTA

System Performance Index (5 kW)



92,6 %

RCT POWER

System Performance Index (10 kW)



96,4 %

RCT POWER

STROM
SPEICHER
Inspektion
2023

Stromspeicher-Inspektion 2023: Herausragende Batteriesysteme

Stromspeicher-Inspektion 2023

EFFIZIENZTESTSIEGER

10-kW-Klasse

1. RCT Power Power Storage DC 10.0 und Power Battery 11.5
2. KACO blueplanet 10.0 TL3 und Energy Depot DOMUS 2.5
3. KACO blueplanet 10.0 TL3 und BYD Battery-Box Premium HVS 10.2
4. FRONIUS Symo GEN24 10.0 Plus und BYD Battery-Box Premium HVS 10.2
5. KOSTAL PLENTICORE plus 10 und BYD Battery-Box Premium HVS 12.8

5-kW-Klasse

1. RCT Power Power Storage DC 6.0 und Power Battery 7.6
2. FRONIUS Primo GEN24 6.0 Plus und BYD Battery-Box Premium HVS 7.7
3. KOSTAL PLENTICORE plus 5.5 und BYD Battery-Box Premium HVS 7.7
4. VIESSMANN Vitocharge VX3 Typ 4.6A8
5. VARTA pulse neo 6



htw

© solar.htw-berlin.de

Batteriewirkungsgrade unterschiedlicher Technologien

htw

© solar.htw-berlin.de



Lithium-Ionen-Batterie



96 %

Natrium-Ionen-Batterie

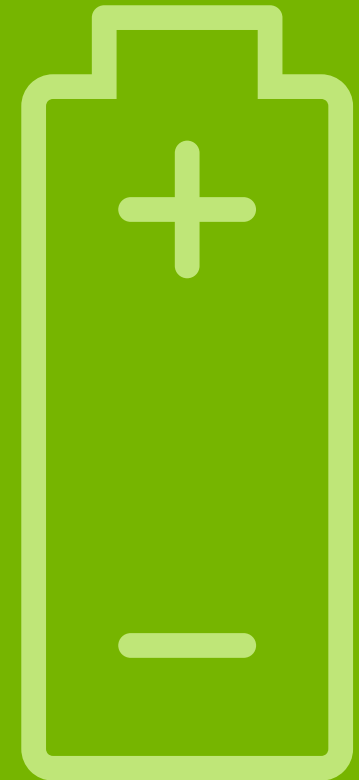


79 %

Natrium-Nickelchlorid-Batterie

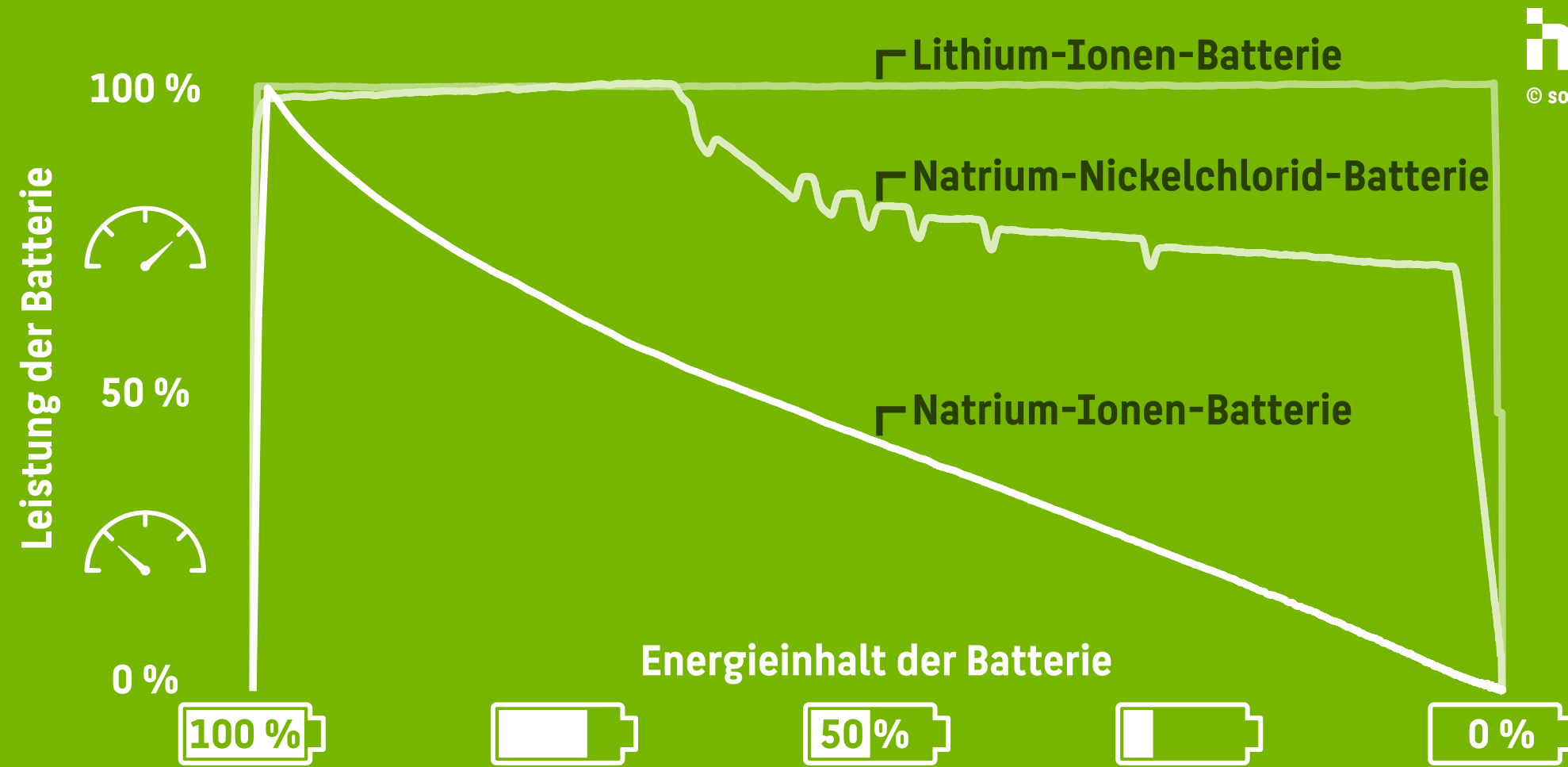


71 %



Daten: batterietechnikum.kit.edu

Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Batterietechnologien



htw

© solar.htw-berlin.de

Daten: batterietechnikum.kit.edu

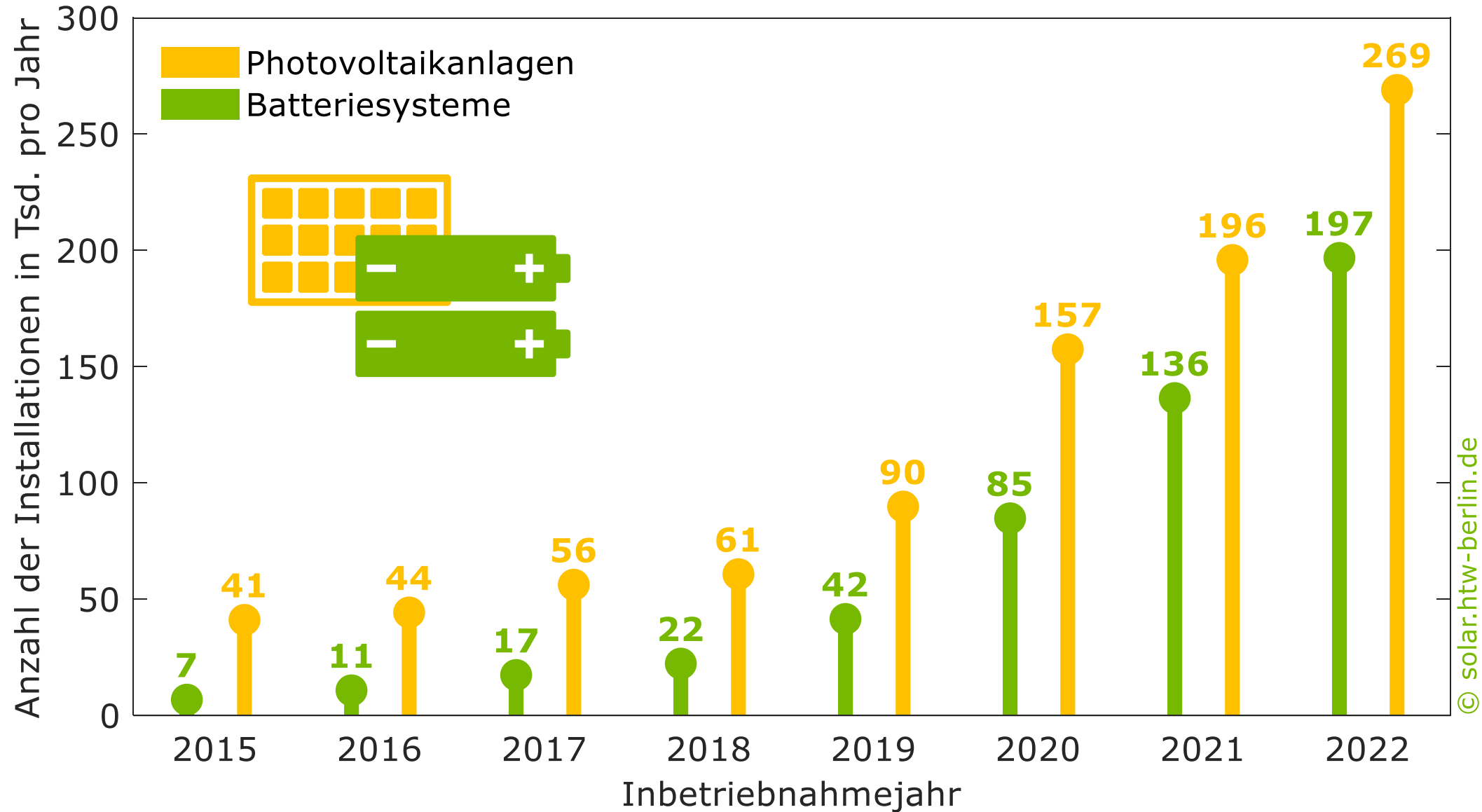
Schwerpunkte der Stromspeicher-Inspektion 2023

1	Analyse des Markts für Photovoltaik-Speichersysteme in Deutschland	
2	Vergleich der Systemeigenschaften auf Basis der bereitgestellten Prüfberichte gemäß Effizienzleitfaden	
3	Simulationsbasierte Bewertung der Speichersysteme mit dem System Performance Index (SPI)	
4	Analyse von Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batteriesystemen	

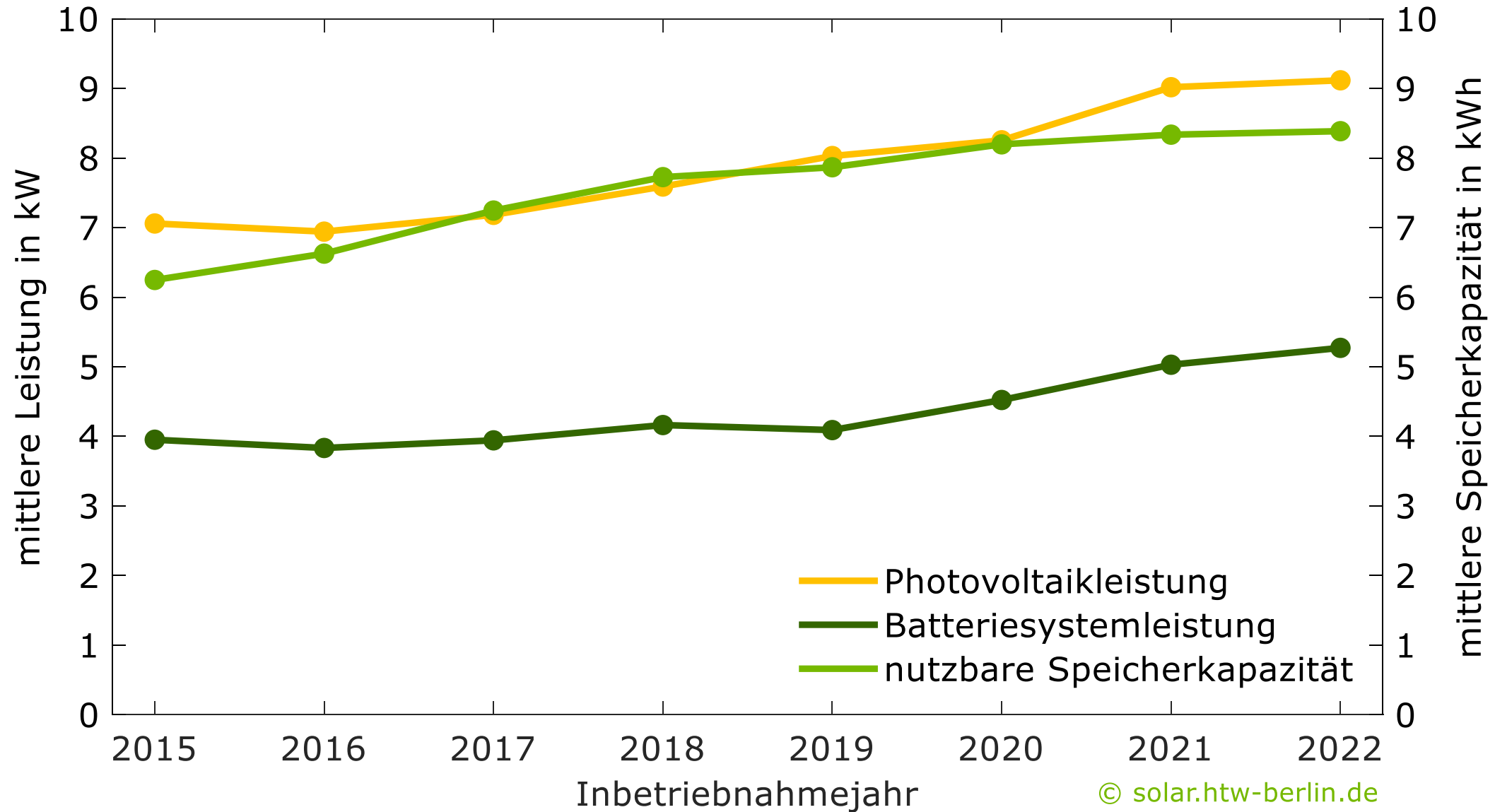
Schwerpunkte der Stromspeicher-Inspektion 2023

1	Analyse des Markts für Photovoltaik-Speichersysteme in Deutschland	
2	Vergleich der Systemeigenschaften auf Basis der bereitgestellten Prüfberichte gemäß Effizienzleitfaden	
3	Simulationsbasierte Bewertung der Speichersysteme mit dem System Performance Index (SPI)	
4	Analyse von Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batteriesystemen	

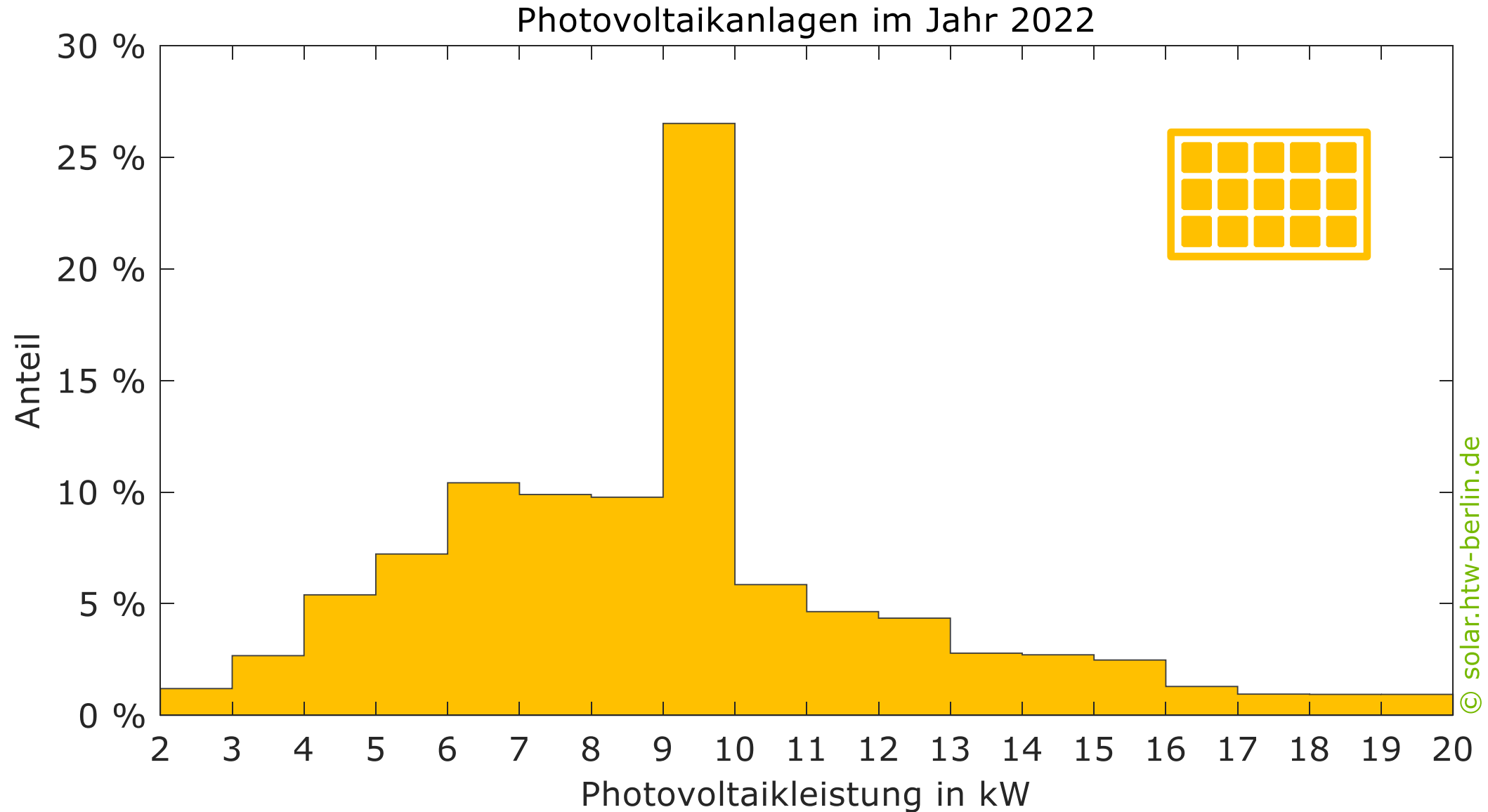
Entwicklung des Markts für PV-Speichersysteme in Deutschland



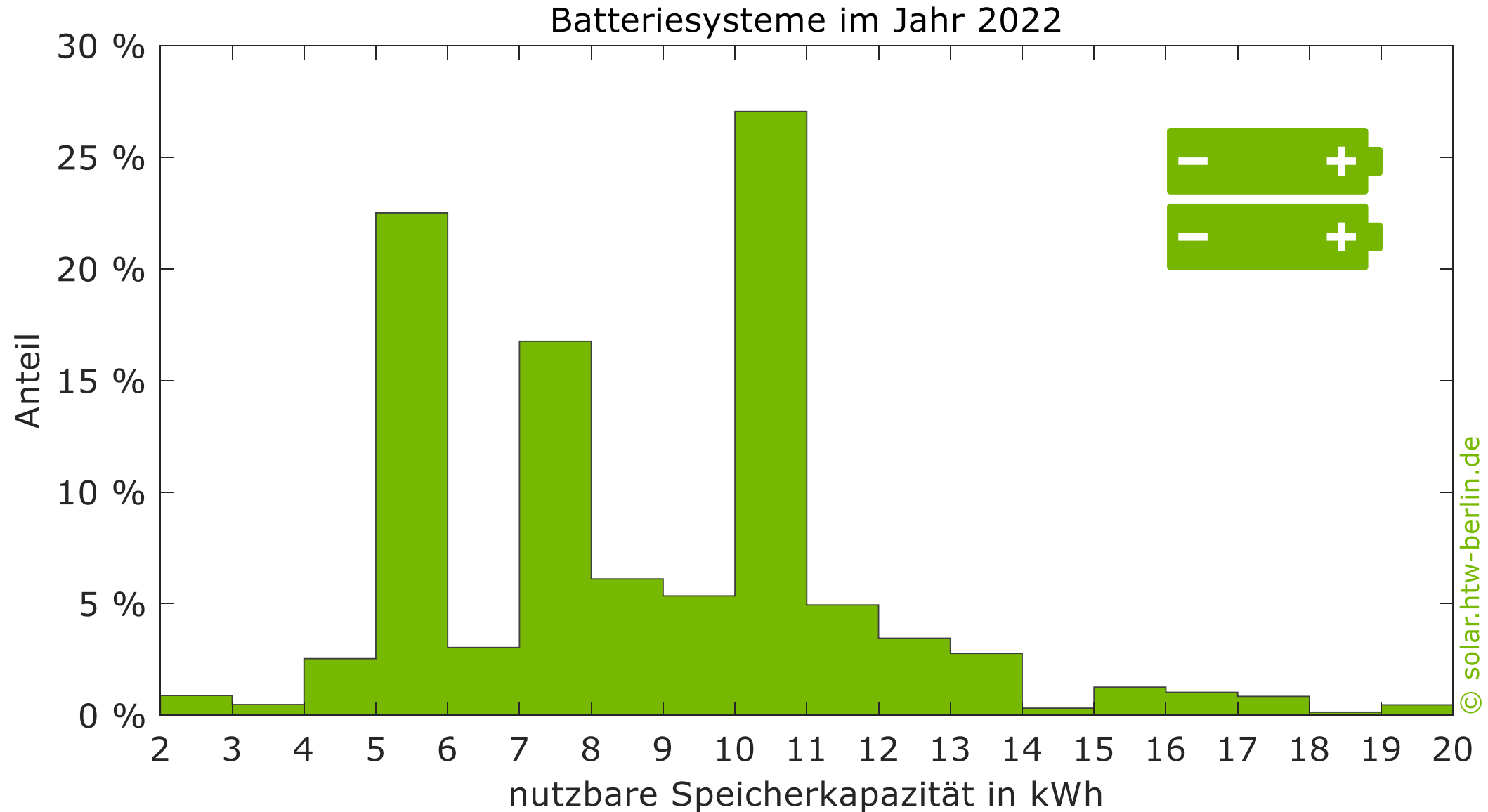
Entwicklung der mittleren Größe der PV-Speichersysteme



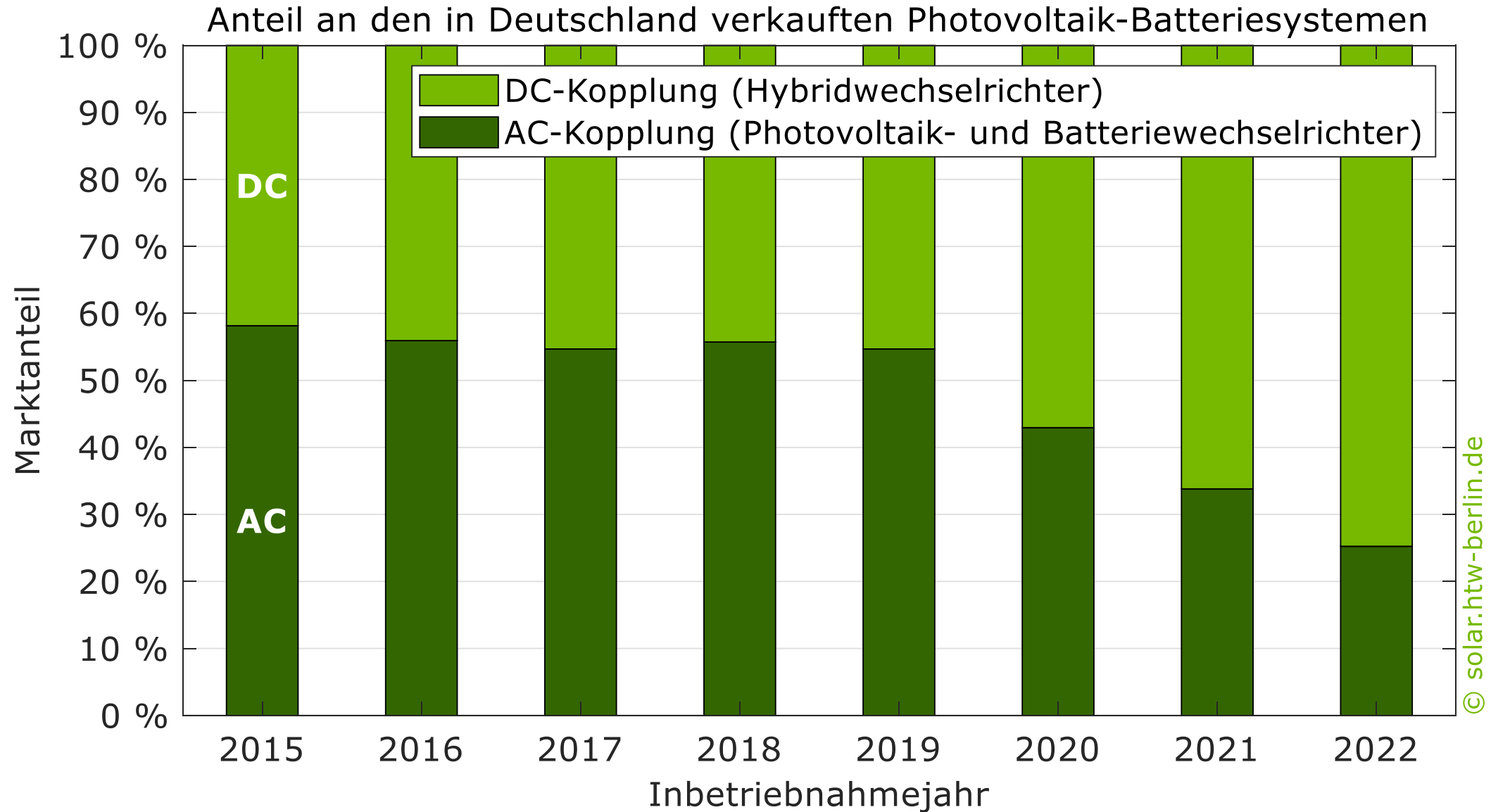
Nennleistung der neu installierten PV-Anlagen bis 20 kW



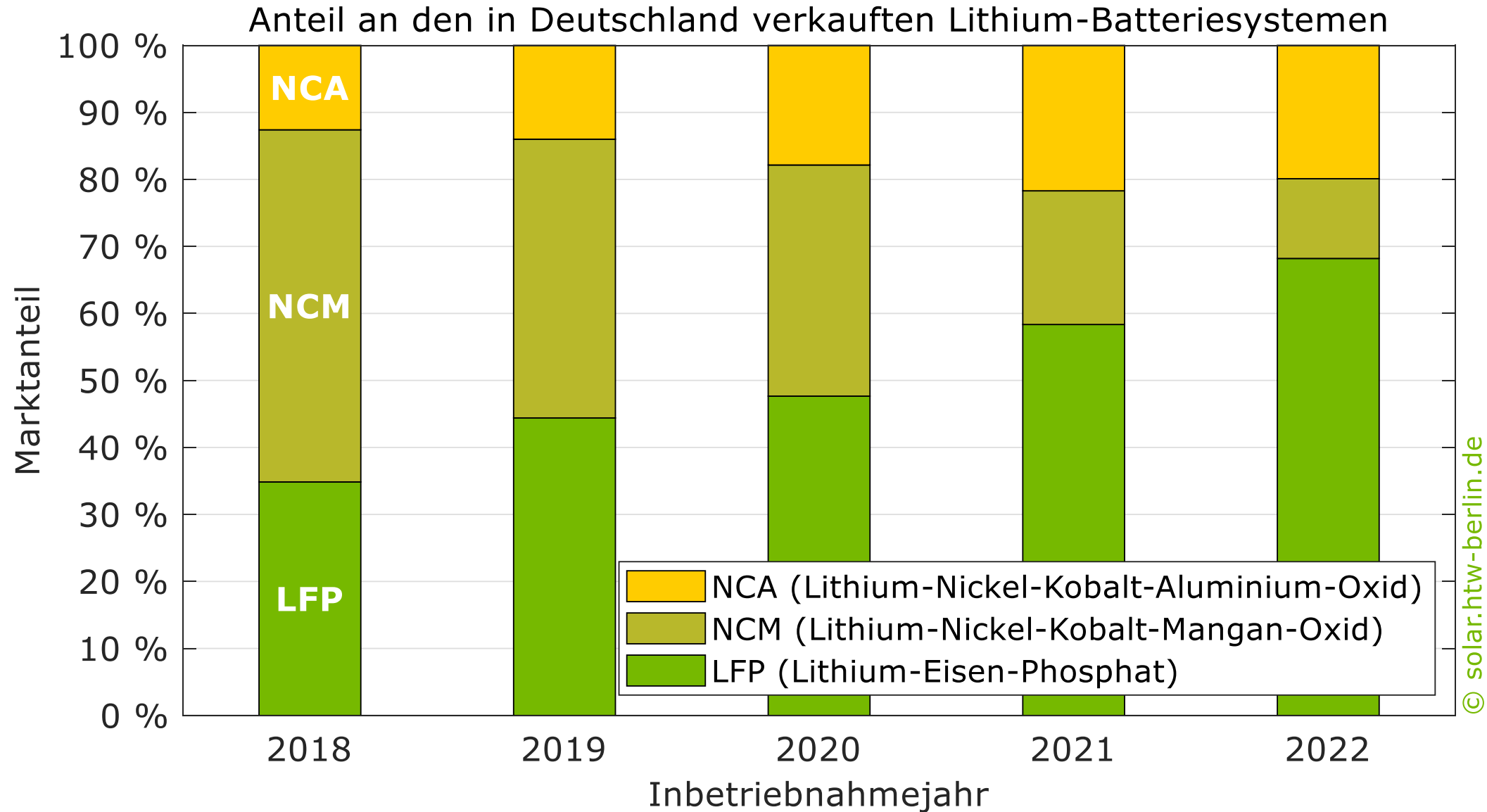
Nutzbare Speicherkapazität der Batteriesysteme bis 20 kWh



Systemtopologien der PV-Speichersysteme in Deutschland

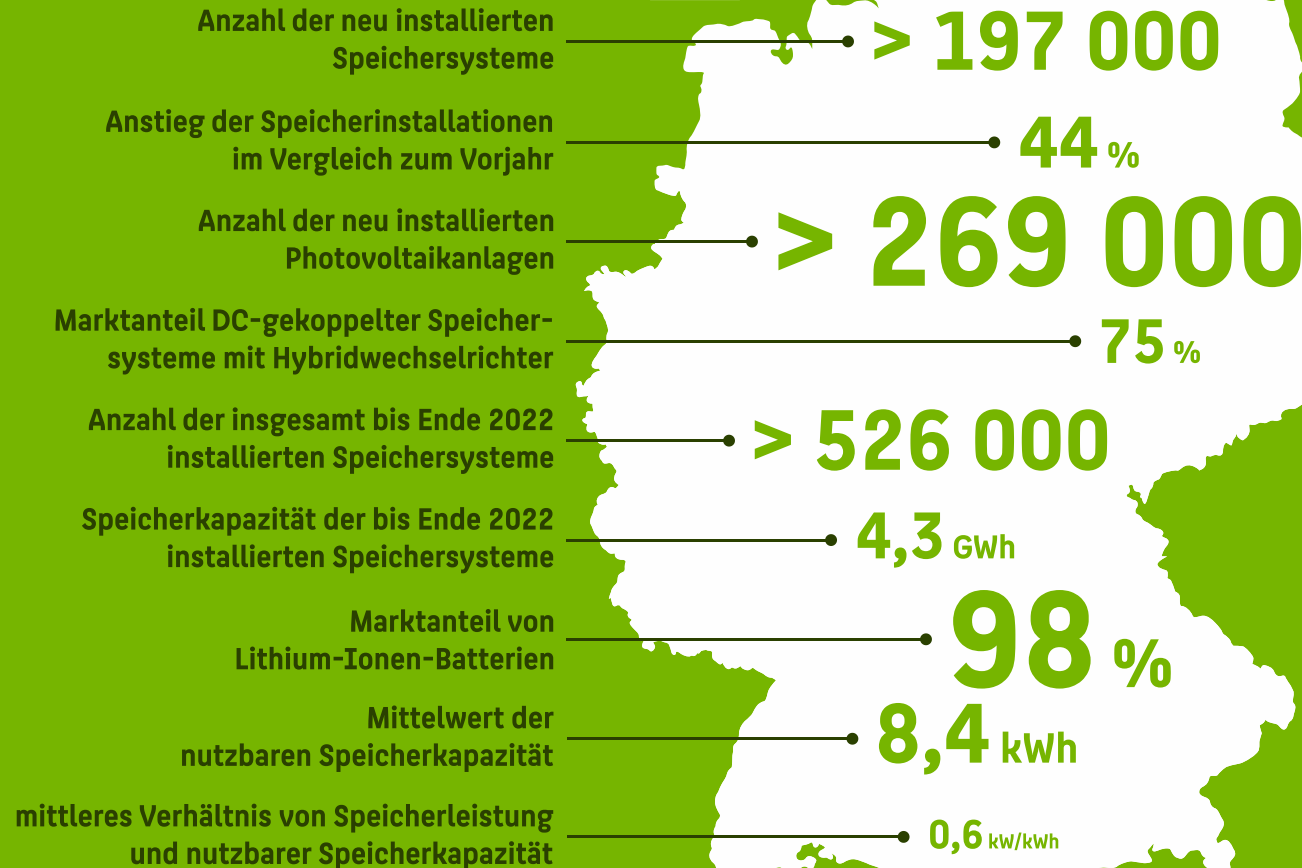


Marktanteile der Kathodenmaterialien an den Heimspeichern



Zahlen und Fakten zum PV-Speichermarkt in Deutschland

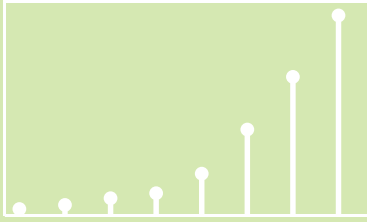
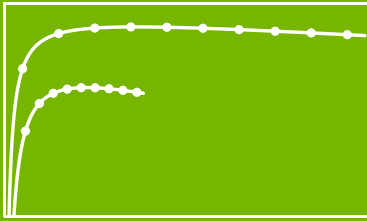
Photovoltaik-Batteriesysteme in Deutschland im Jahr **2022**



Daten: Marktstammdatenregister (Photovoltaikanlagen zwischen 2 kW und 20 kW, Speichersysteme kleiner als 20 kWh und 20 kW)

htw
© solar.htw-berlin.de

Schwerpunkte der Stromspeicher-Inspektion 2023

1	Analyse des Markts für Photovoltaik-Speichersysteme in Deutschland	
2	Vergleich der Systemeigenschaften auf Basis der bereitgestellten Prüfberichte gemäß Effizienzleitfaden	
3	Simulationsbasierte Bewertung der Speichersysteme mit dem System Performance Index (SPI)	
4	Analyse von Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batteriesystemen	

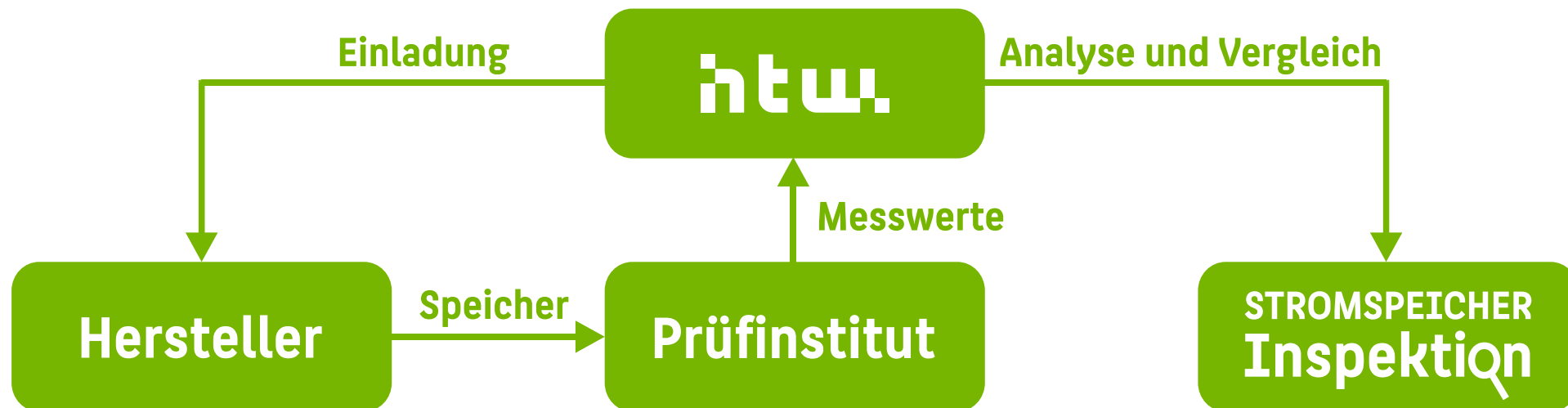
Teilnehmer der Stromspeicher-Inspektion 2023

- Zum sechsten Mal in Folge wurden alle Hersteller von Systemen oder Komponenten zur Speicherung von Solarstrom in Wohngebäuden zur Teilnahme an der **Stromspeicher-Inspektion 2023** eingeladen.
- **11 Hersteller** beteiligten sich an der Stromspeicher-Inspektion 2023 mit Labormesswerten von insgesamt **18 Systemen**.
- Für die **anonyme Teilnahme** entschieden sich 2 Hersteller.



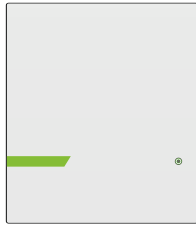
Analyse der Systemeigenschaften gemäß Effizienzleitfaden

- Die Labortests wurden von **unabhängigen Prüfinstituten** gemäß dem „**Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme**“ durchgeführt.
- Jedem analysierten System wurde ein **Systemkürzel** (z. B. A1) zugeordnet.
- Die Batteriespeicher der **AC-gekoppelten Systeme** A1 bis B2 sind mit Batteriewechselrichtern ausgestattet. Die **DC-gekoppelten Systeme** B3 bis I2 haben sogenannte Hybridwechselrichter.
- Details zur Methodik sind in der **Stromspeicher-Inspektion 2018 und 2021** aufgeführt.



Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

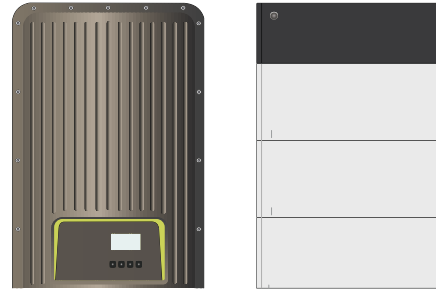
A1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



VARTA pulse neo 6

Batterieanbindung	AC
Speicherkapazität	5,8 kWh
Entladeleistung	2,3 kW
PV-Ausgangsleistung	-
Effizienzklasse	B

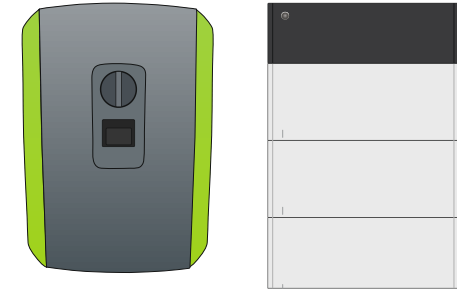
B1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



KOSTAL PIKO MP plus 4.6-2 (AC) und BYD
Battery-Box Premium HVS 7.7

Batterieanbindung	AC
Speicherkapazität	7,4 kWh
Entladeleistung	3,8 kW
PV-Ausgangsleistung	-
Effizienzklasse	C

B2 STROMSPEICHER Inspektion 2023

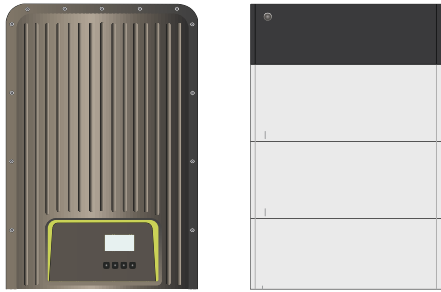


KOSTAL PLENTICORE BI 10/26 und BYD
Battery-Box Premium HVS 12.8

Batterieanbindung	AC
Speicherkapazität	12,1 kWh
Entladeleistung	10,0 kW
PV-Ausgangsleistung	-
Effizienzklasse	B

Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

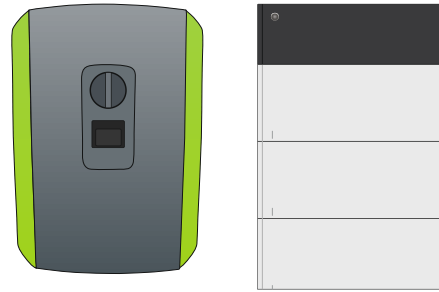
B3 STROMSPEICHER Inspektion 2023



KOSTAL PIKO MP plus 4.6-2 (DC) und BYD
Battery-Box Premium HVS 7.7

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,4 kWh
Entladeleistung	3,8 kW
PV-Ausgangsleistung	4,5 kW
Effizienzklasse	B

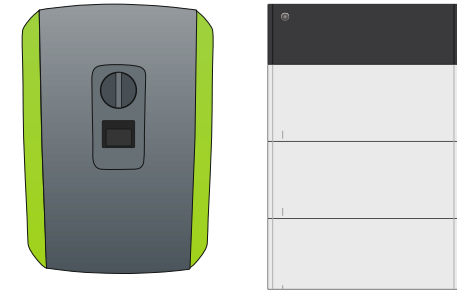
B4 STROMSPEICHER Inspektion 2023



KOSTAL PLENTICORE plus 5.5 und BYD
Battery-Box Premium HVS 7.7

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,1 kWh
Entladeleistung	3,8 kW
PV-Ausgangsleistung	5,5 kW
Effizienzklasse	B

B5 STROMSPEICHER Inspektion 2023

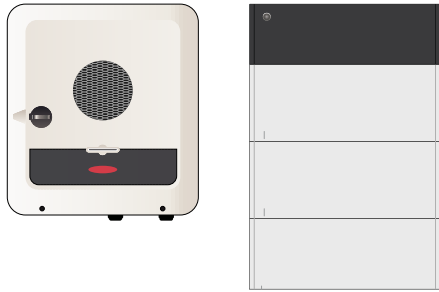


KOSTAL PLENTICORE plus 10 und BYD
Battery-Box Premium HVS 12.8

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	12,3 kWh
Entladeleistung	6,4 kW
PV-Ausgangsleistung	9,9 kW
Effizienzklasse	A

Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

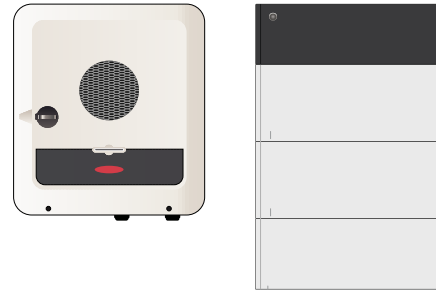
C1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



Fronius Primo GEN24 6.0 Plus und BYD
Battery-Box Premium HVS 7.7

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,4 kWh
Entladeleistung	5,8 kW
PV-Ausgangsleistung	6,1 kW
Effizienzklasse	A

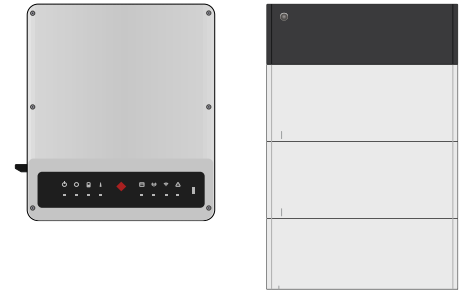
C2 STROMSPEICHER Inspektion 2023



Fronius Symo GEN24 10.0 Plus und BYD
Battery-Box Premium HVS 10.2

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	9,9 kWh
Entladeleistung	8,9 kW
PV-Ausgangsleistung	10,2 kW
Effizienzklasse	A

D1 STROMSPEICHER Inspektion 2023

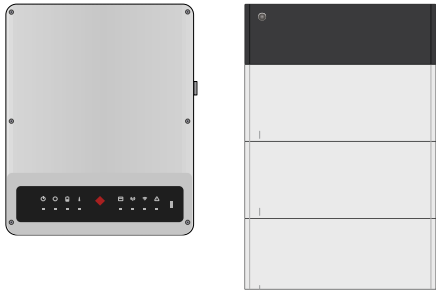


GoodWe GW5000-EH und BYD Battery-Box
Premium HVS 7.7

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,3 kWh
Entladeleistung	4,9 kW
PV-Ausgangsleistung	5,0 kW
Effizienzklasse	B

Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

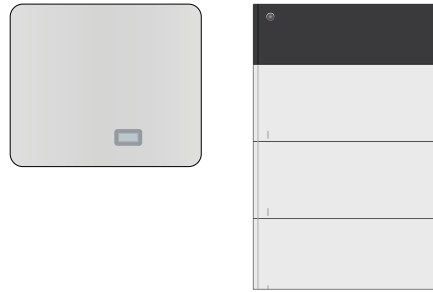
D2 STROMSPEICHER Inspektion 2023



GoodWe GW10K-ET und BYD Battery-Box
Premium HVS 12.8

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	12,2 kWh
Entladeleistung	10,0 kW
PV-Ausgangsleistung	10,0 kW
Effizienzklasse	B

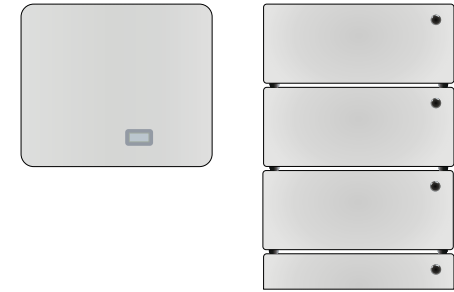
E1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



KACO blueplanet 10.0 TL3 und BYD
Battery-Box Premium HVS 10.2

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	9,7 kWh
Entladeleistung	10,0 kW
PV-Ausgangsleistung	10,1 kW
Effizienzklasse	A

E2 STROMSPEICHER Inspektion 2023

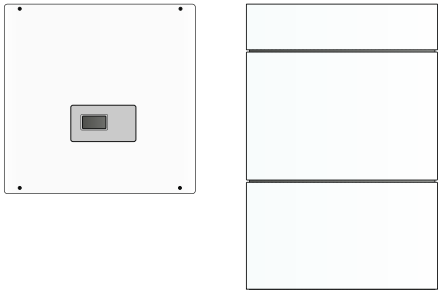


KACO blueplanet 10.0 TL3 und
Energy Depot Domus 2.5

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	15,1 kWh
Entladeleistung	7,5 kW
PV-Ausgangsleistung	10,3 kW
Effizienzklasse	A

Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

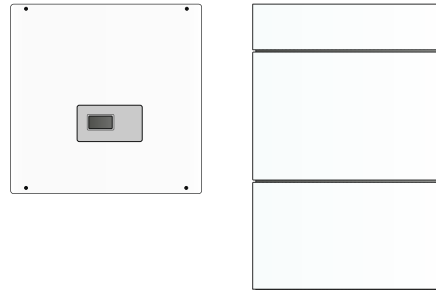
F1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



RCT Power Power Storage DC 6.0 und
Power Battery 7.6

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,0 kWh
Entladeleistung	5,9 kW
PV-Ausgangsleistung	5,9 kW
Effizienzklasse	A

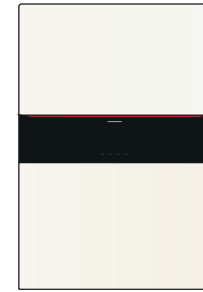
F2 STROMSPEICHER Inspektion 2023



RCT Power Power Storage DC 10.0 und
Power Battery 11.5

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	10,6 kWh
Entladeleistung	9,9 kW
PV-Ausgangsleistung	10,0 kW
Effizienzklasse	A

G1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



VISSMANN Vitocharge VX3 Typ 4.6A8

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	7,9 kWh
Entladeleistung	3,6 kW
PV-Ausgangsleistung	4,5 kW
Effizienzklasse	B

Systeme der Stromspeicher-Inspektion 2023

H1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



DC-gekoppeltes System eines anonym
teilnehmenden Herstellers

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	9,2 kWh
Entladeleistung	5,8 kW
PV-Ausgangsleistung	10,1 kW
Effizienzklasse	F

I1 STROMSPEICHER Inspektion 2023



DC-gekoppeltes System eines anonym
teilnehmenden Herstellers

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	4,4 kWh
Entladeleistung	3,8 kW
PV-Ausgangsleistung	4,5 kW
Effizienzklasse	C

I2 STROMSPEICHER Inspektion 2023



DC-gekoppeltes System eines anonym
teilnehmenden Herstellers

Batterieanbindung	DC
Speicherkapazität	9,3 kWh
Entladeleistung	5,6 kW
PV-Ausgangsleistung	7,8 kW
Effizienzklasse	E

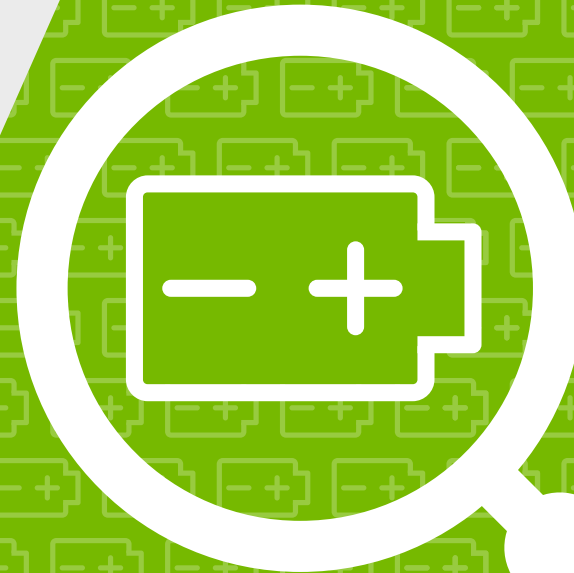
Web-Anwendung zum interaktiven Speichervergleich



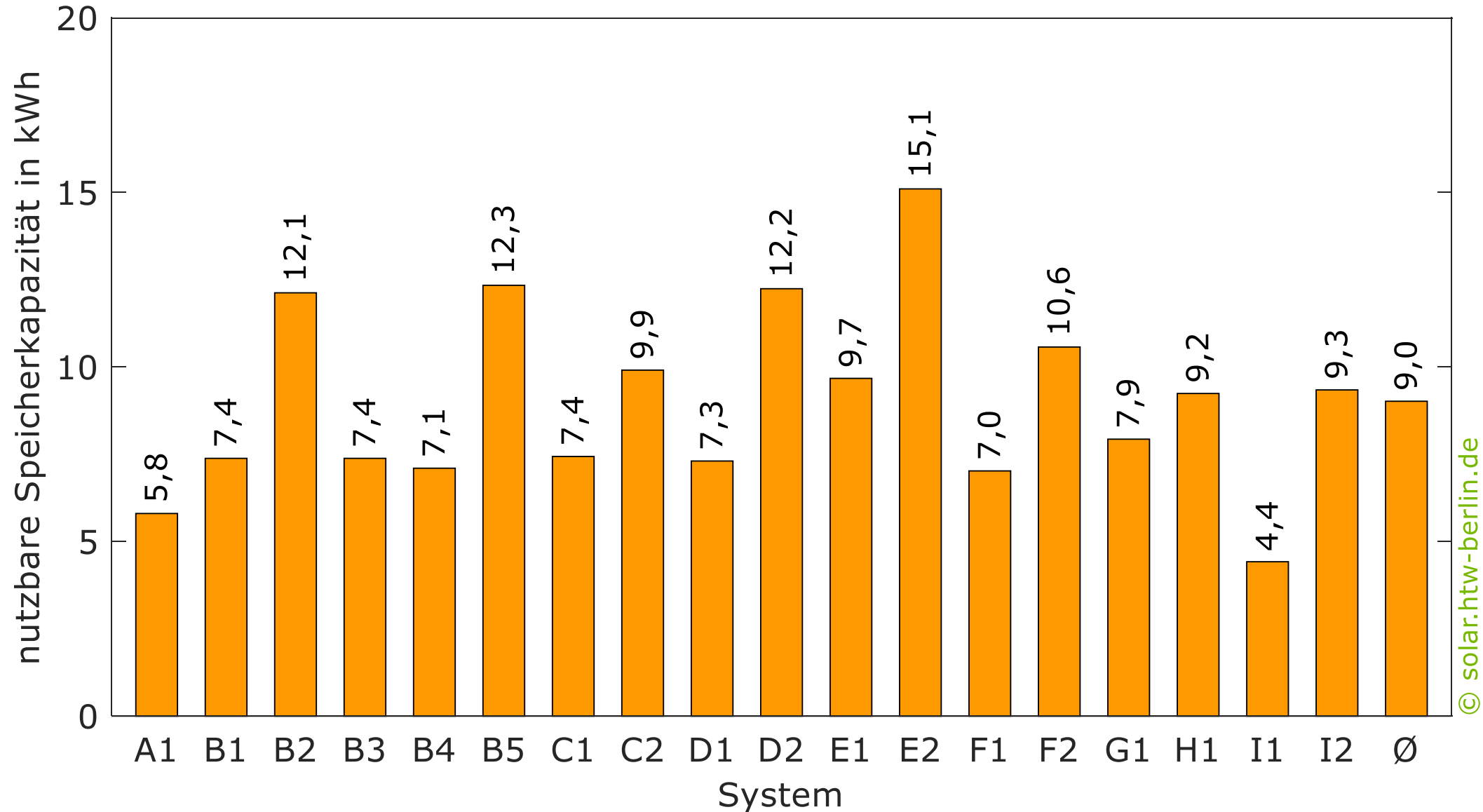
STROMSPEICHER-INSPEKTOR

Der Stromspeicher-Inspektor hilft Ihnen bei der Suche nach einem passenden und effizienten Solarstromspeicher.

Mehr unter: solar.htw-berlin.de/inspektor



Nutzbare Speicherkapazität der untersuchten Batteriespeicher



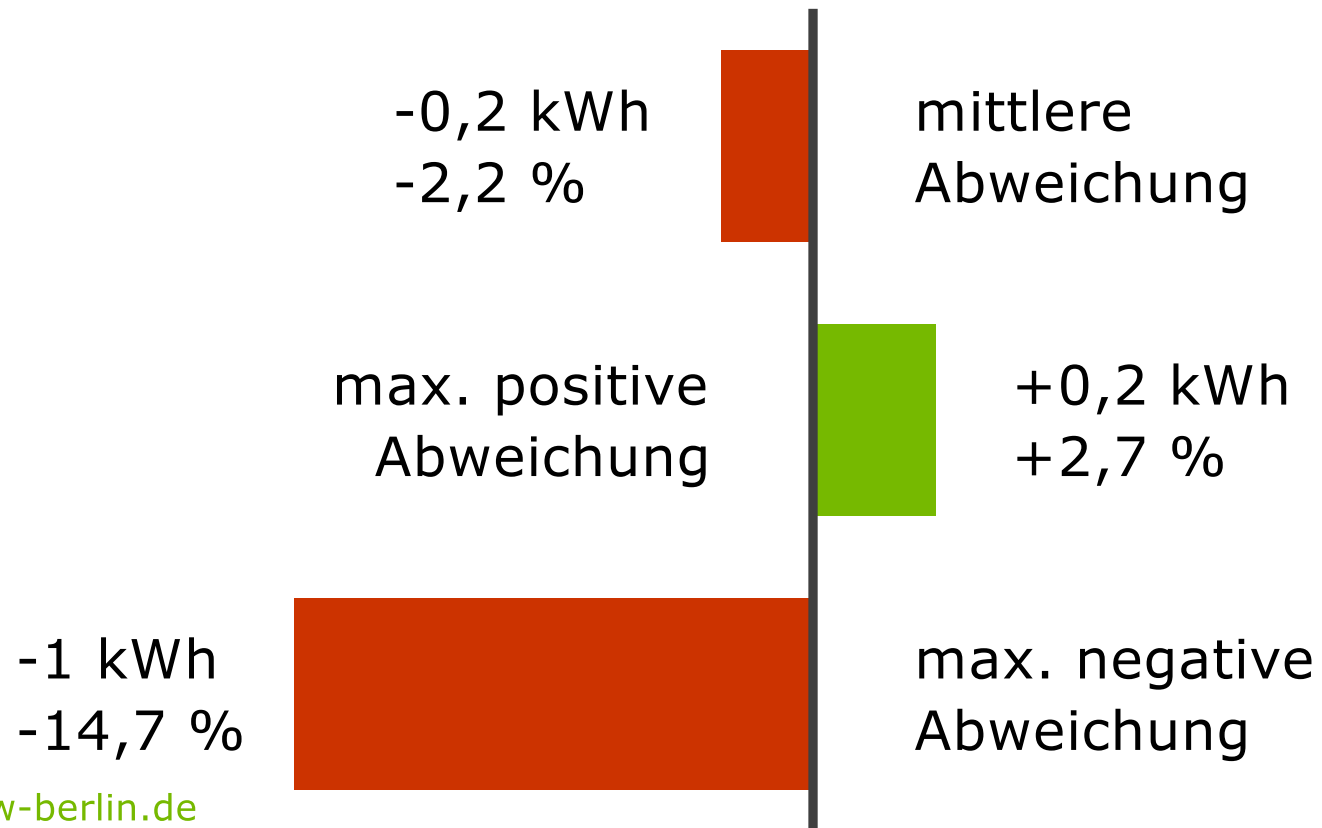
© solar.htw-berlin.de

Vergleich der Datenblattangaben und Labormesswerte

Abweichung der nutzbaren Speicherkapazität

**Messwert kleiner als
Datenblattwert**

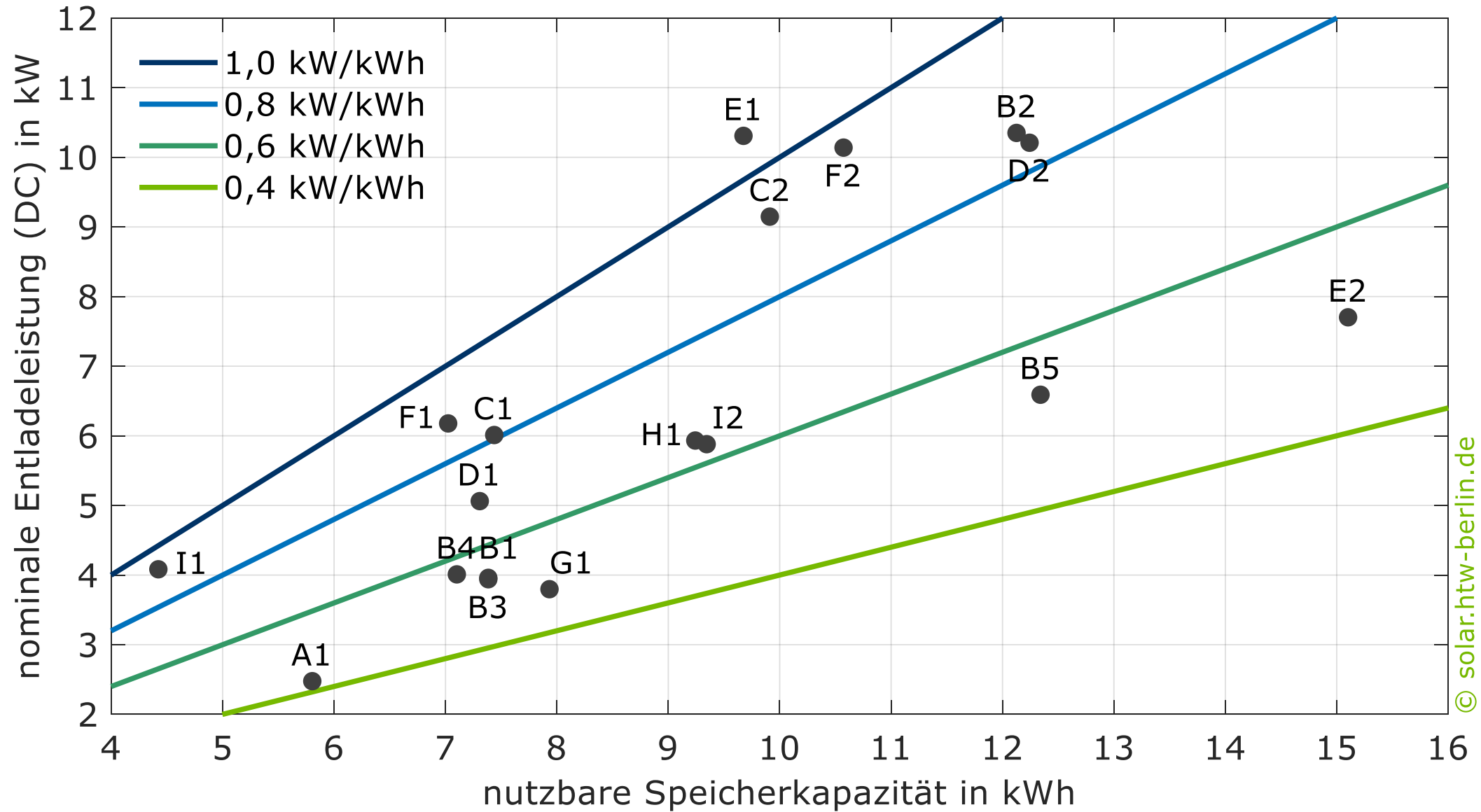
**Messwert größer als
Datenblattwert**



© solar.htw-berlin.de

Für 11 der 18 untersuchten Systeme wurden im Labortest im Vergleich zum Datenblatt niedrigere nutzbare Speicherkapazitäten ermittelt. Die vorgegebene Entladetiefe zum Schutz vor Tiefenentladung ist häufig der Grund dafür.

Nominale Entladeleistung der untersuchten Batteriesysteme



© solar.htw-berlin.de

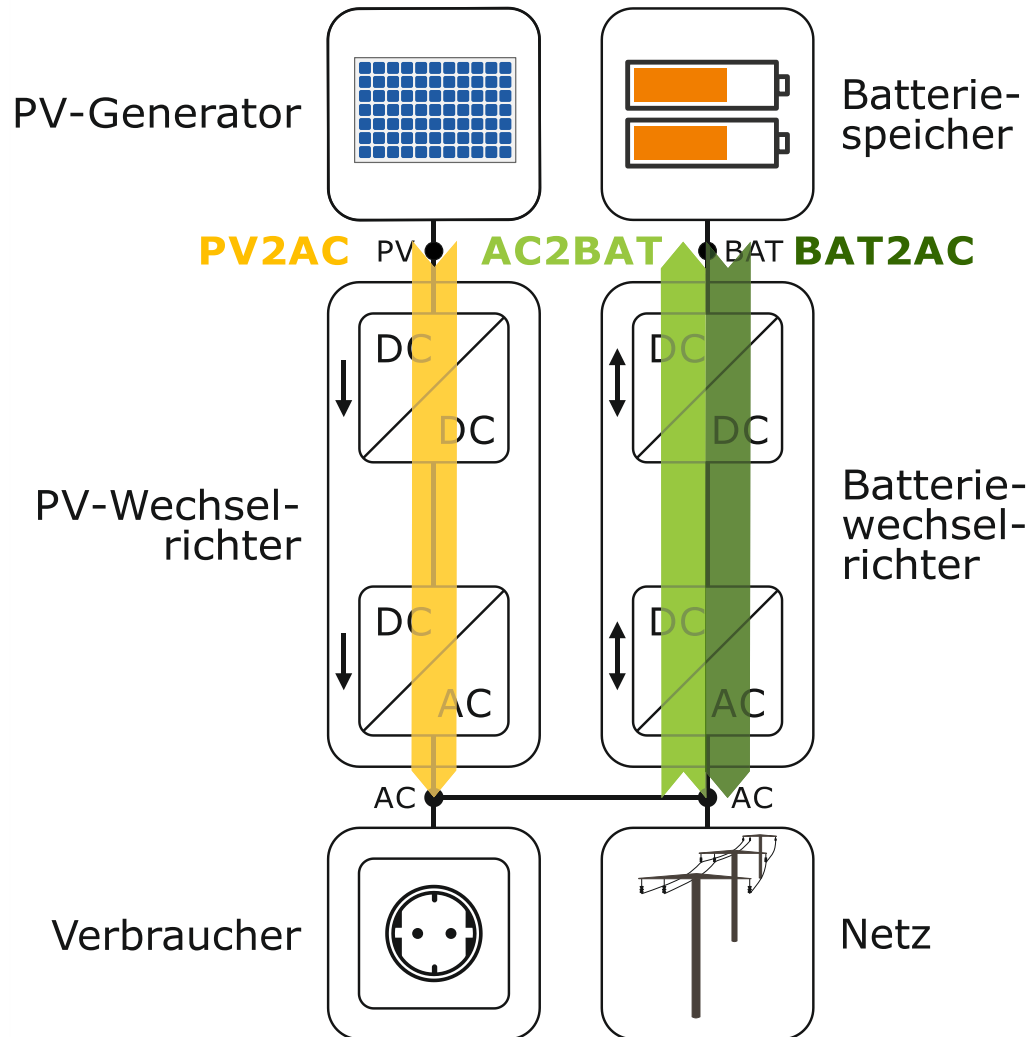
Nominale Ausgangsleistung der DC-gekoppelten Systeme

- In der Praxis liegt das Verhältnis der **Wechselrichterausgangsleistung** zur PV-Generatorleistung häufig zwischen 80 % und 90 %.
- Bei DC-gekoppelten Systemen beschränkt die sogenannte **PV-Bemessungs-ausgangsleistung** die Leistungsabgabe des PV-Speichersystems.
- Der Hersteller des Systems I2 gibt auf dem Datenblatt eine Ausgangsleistung von 10 kW an. Im Labortest konnte allerdings lediglich eine Leistungsabgabe von 7,8 kW bestimmt werden.

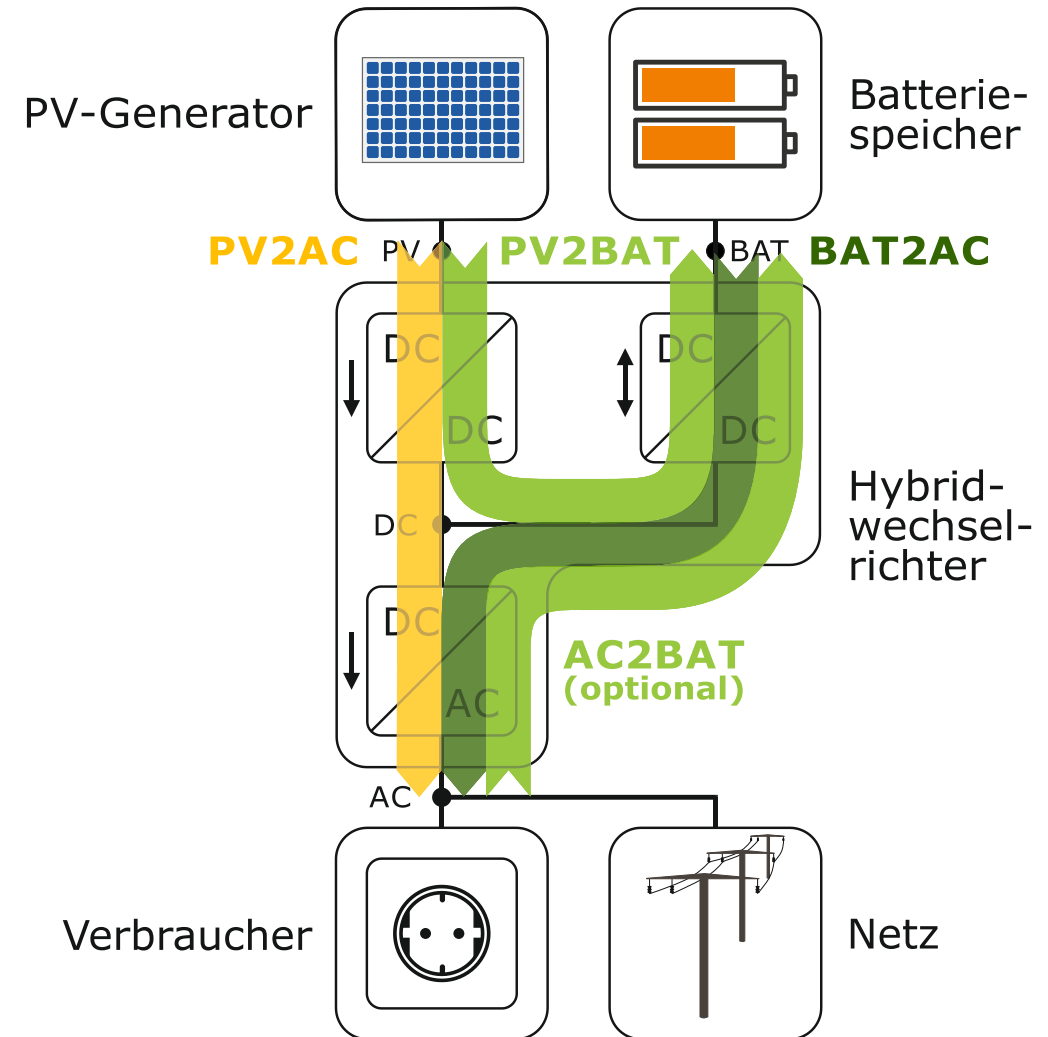
System	B3	B4	B5	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Leistung in kW	4,5	5,5	9,9	6,1	10,2	5,0	10,0	10,1	10,3
System	F1	F2	G1	H1	I1	I2			
Leistung in kW	5,9	10,0	4,5	10,1	4,5	7,8			

Energieumwandlungspfade der einzelnen Systemtopologien

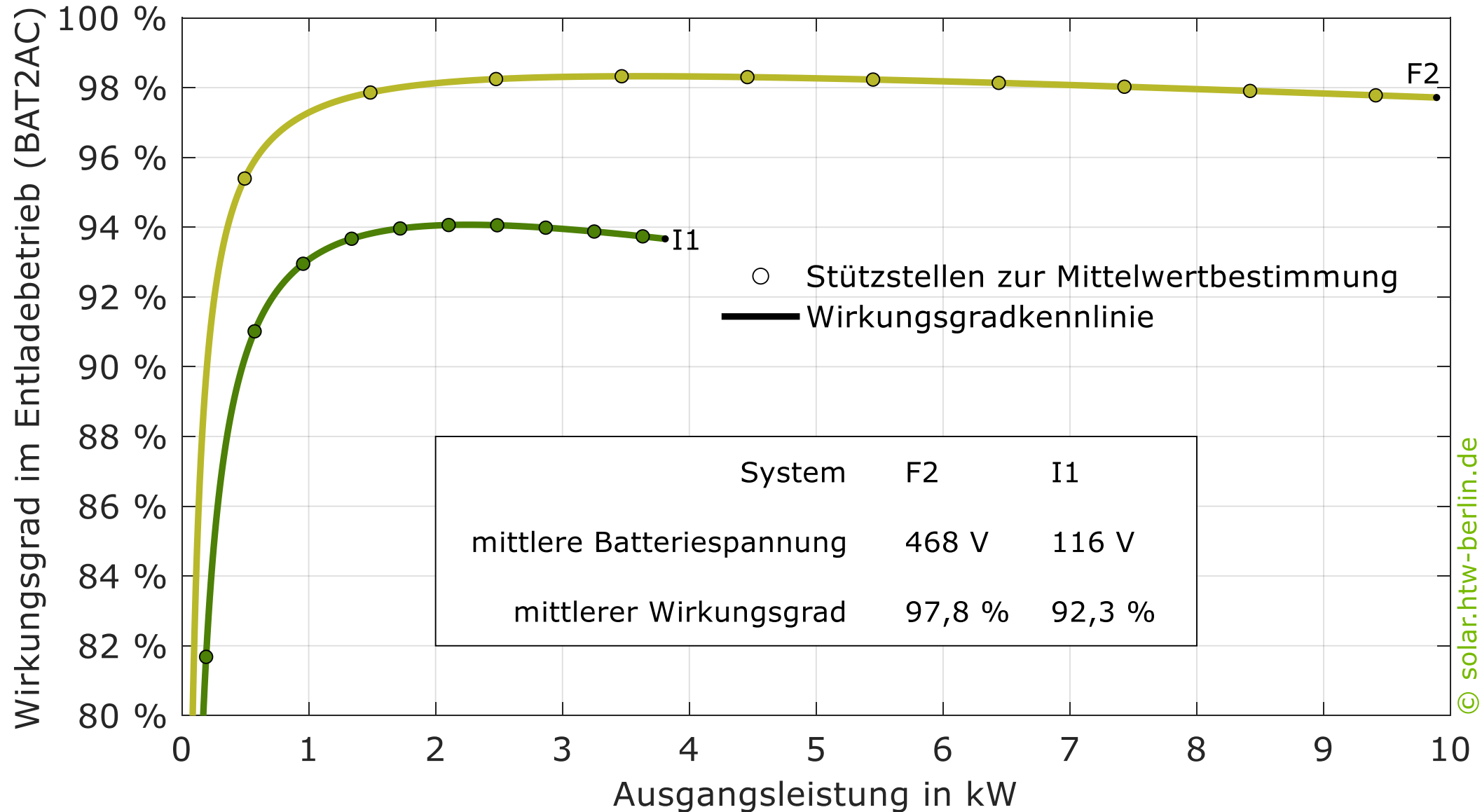
AC-gekoppelte Systeme



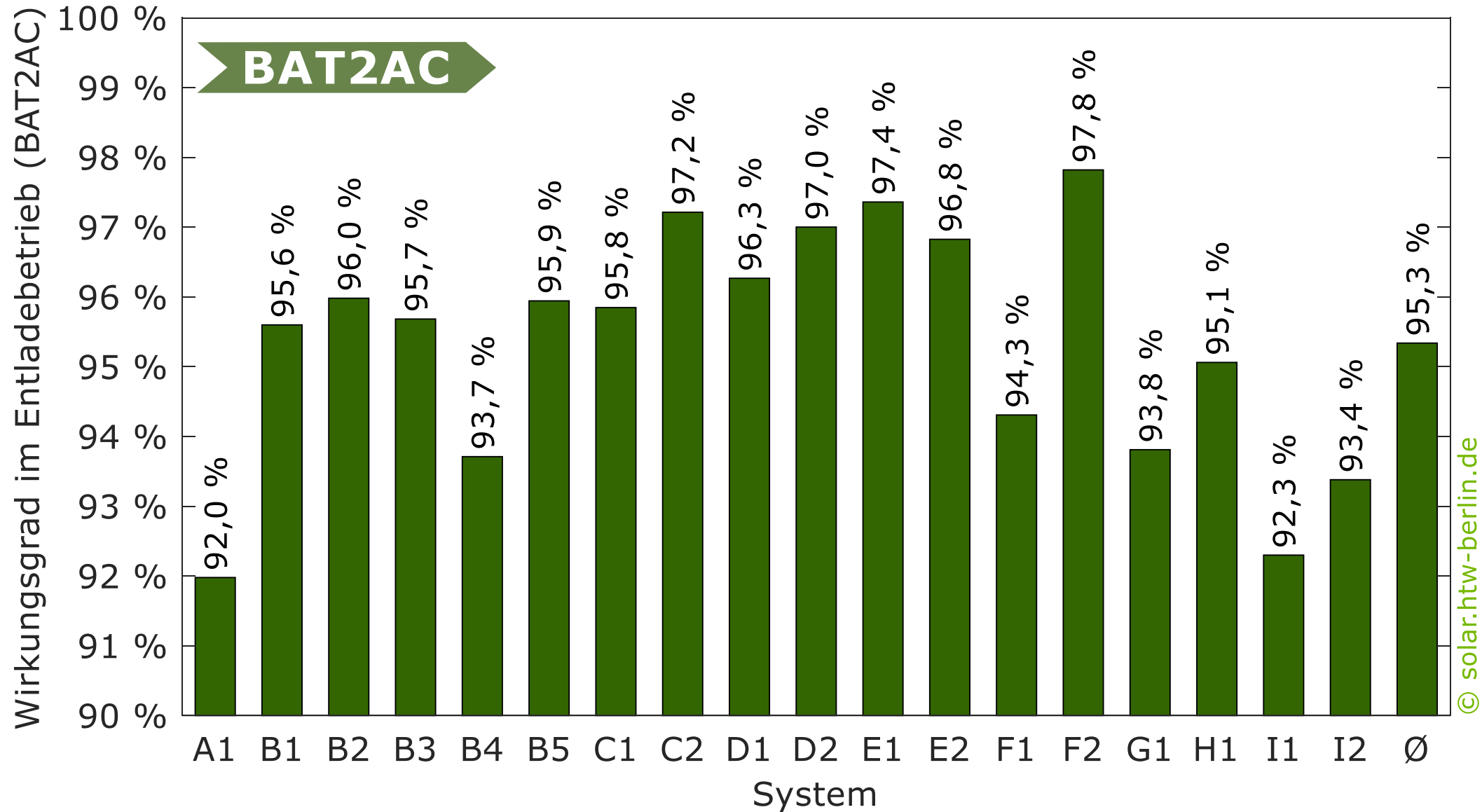
DC-gekoppelte Systeme



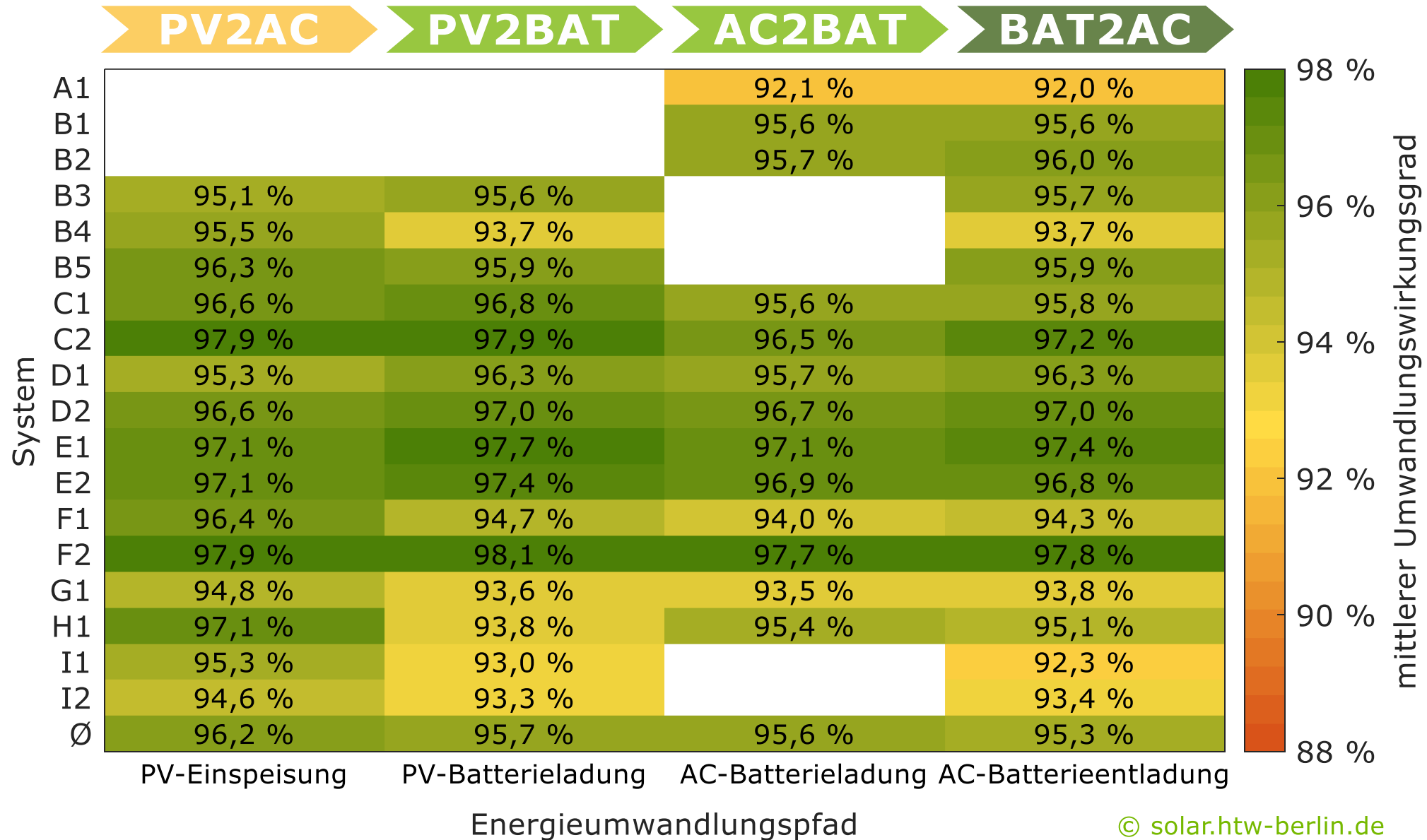
Mittlerer Pfadwirkungsgrad zum Vergleich der Wandlungseffizienz



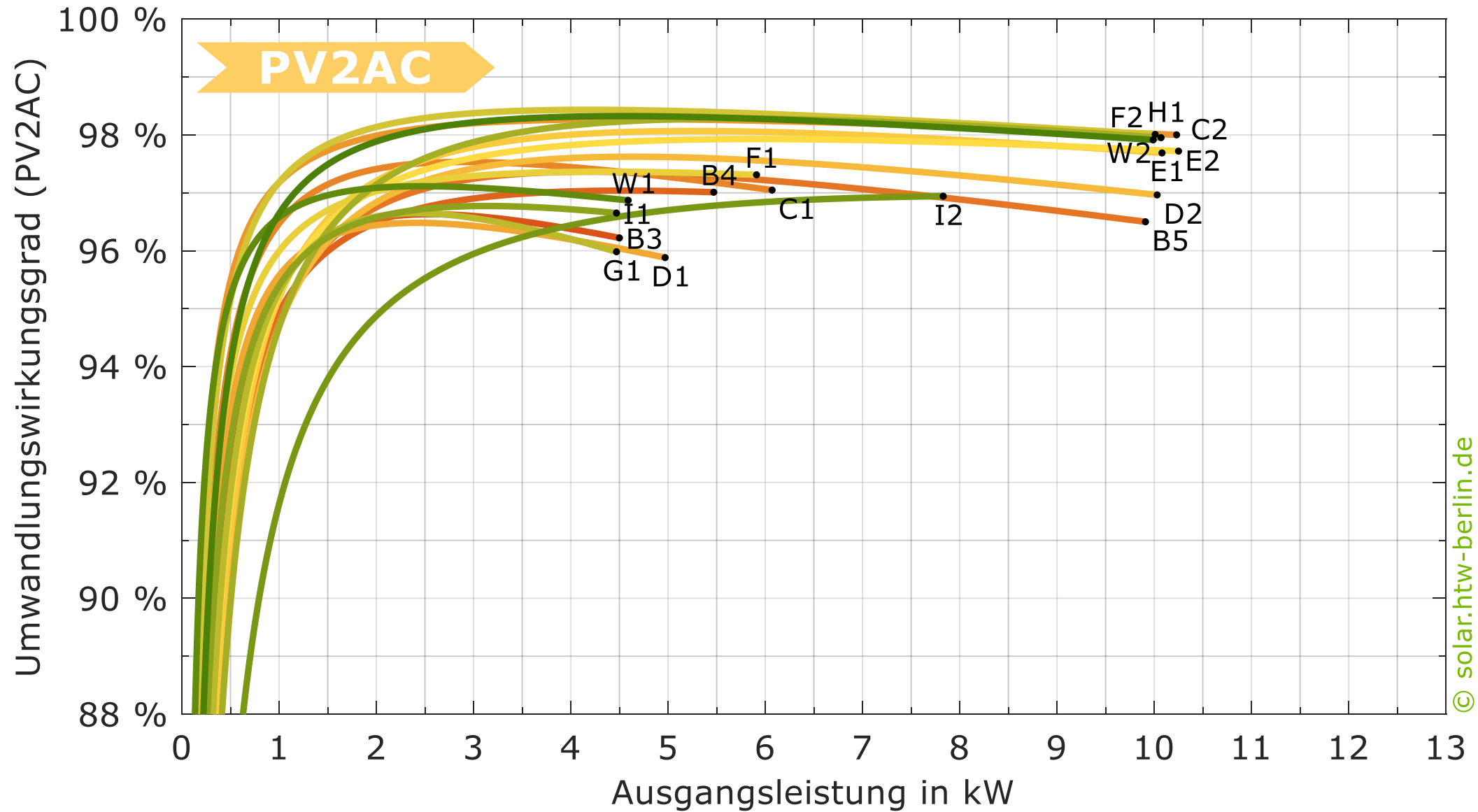
Mittlerer Umwandlungswirkungsgrad der AC-Batterieentladung



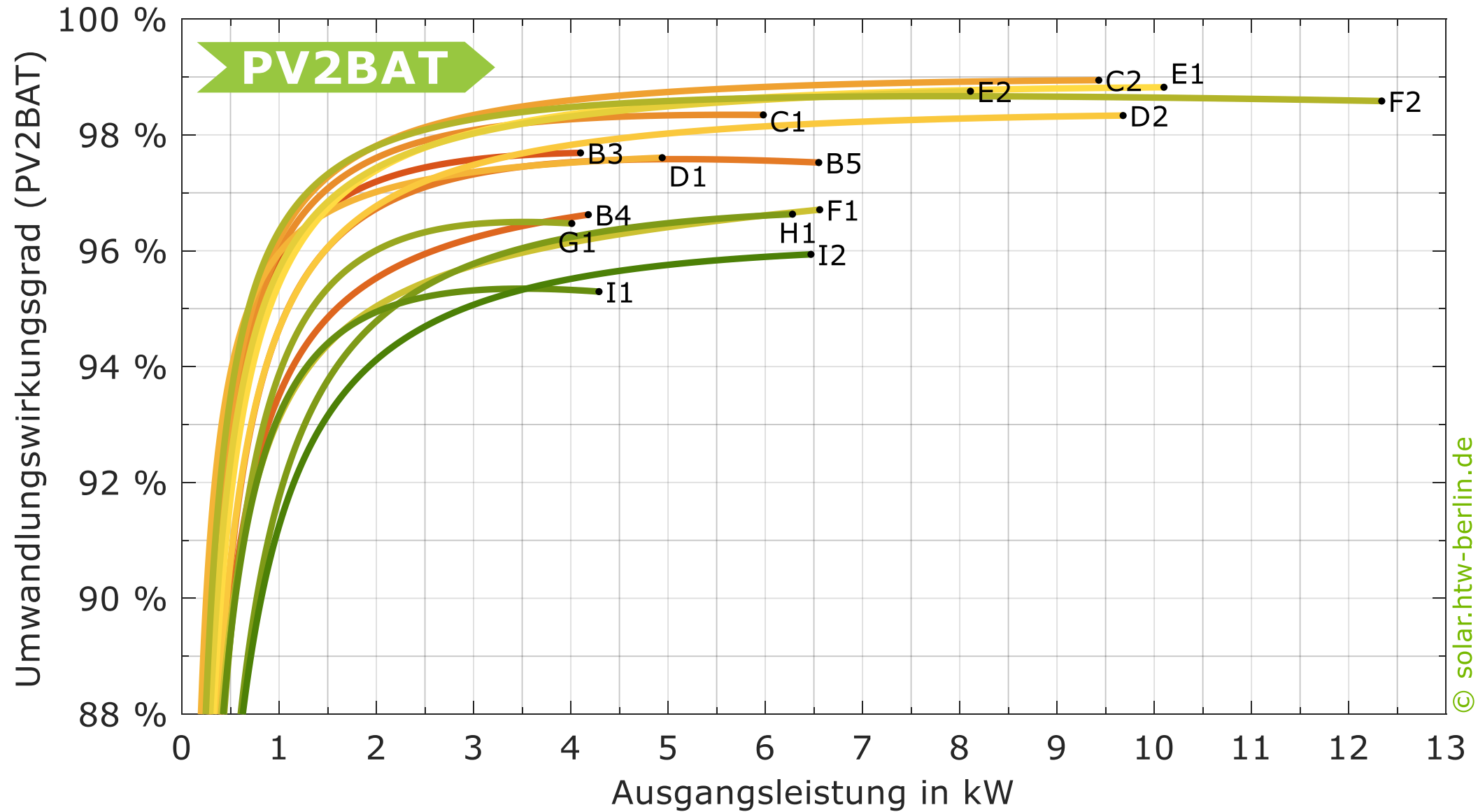
Mittlere Umwandlungswirkungsgrade



Umwandlungswirkungsgrad der PV-Einspeisung

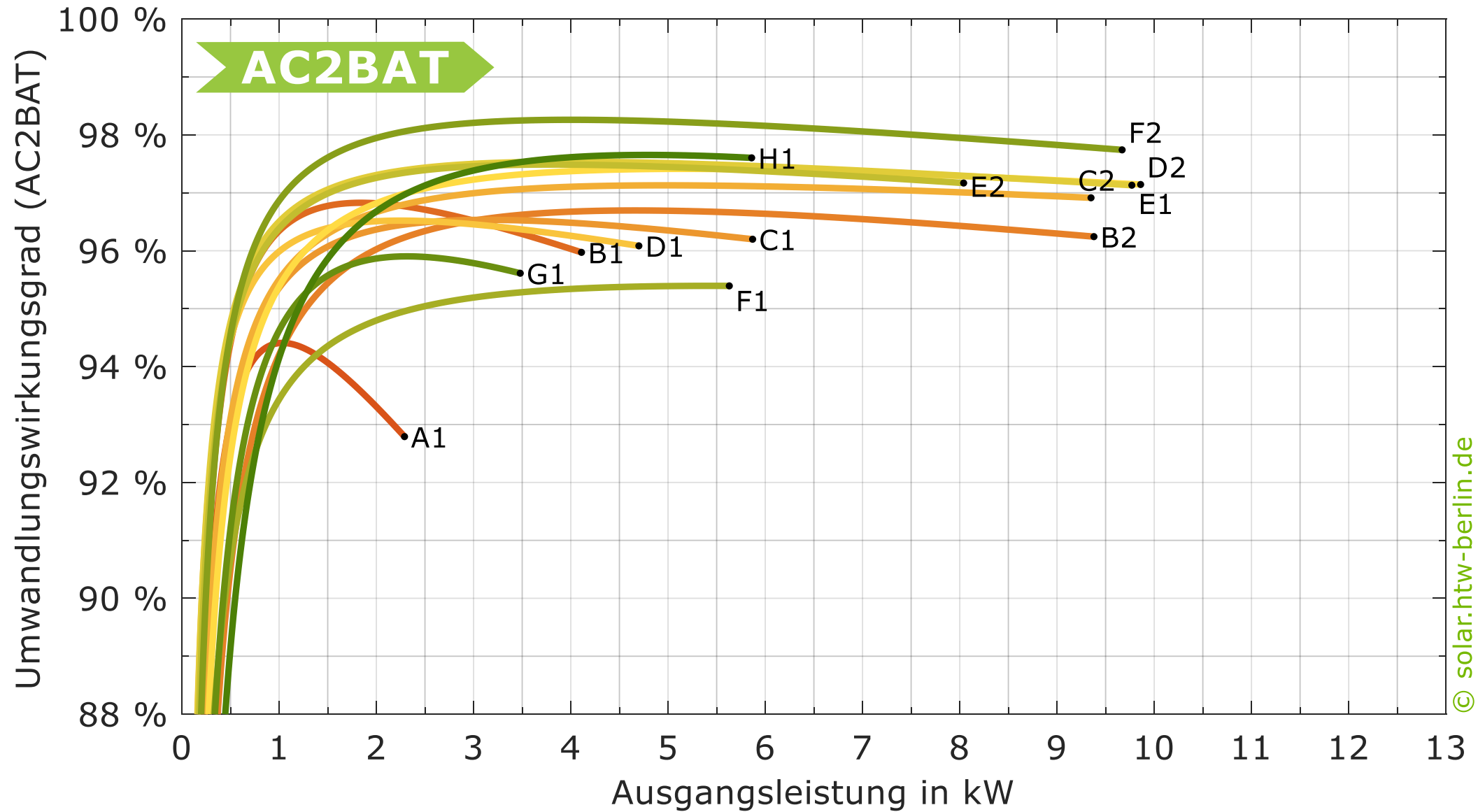


Umwandlungswirkungsgrad der PV-Batterieladung



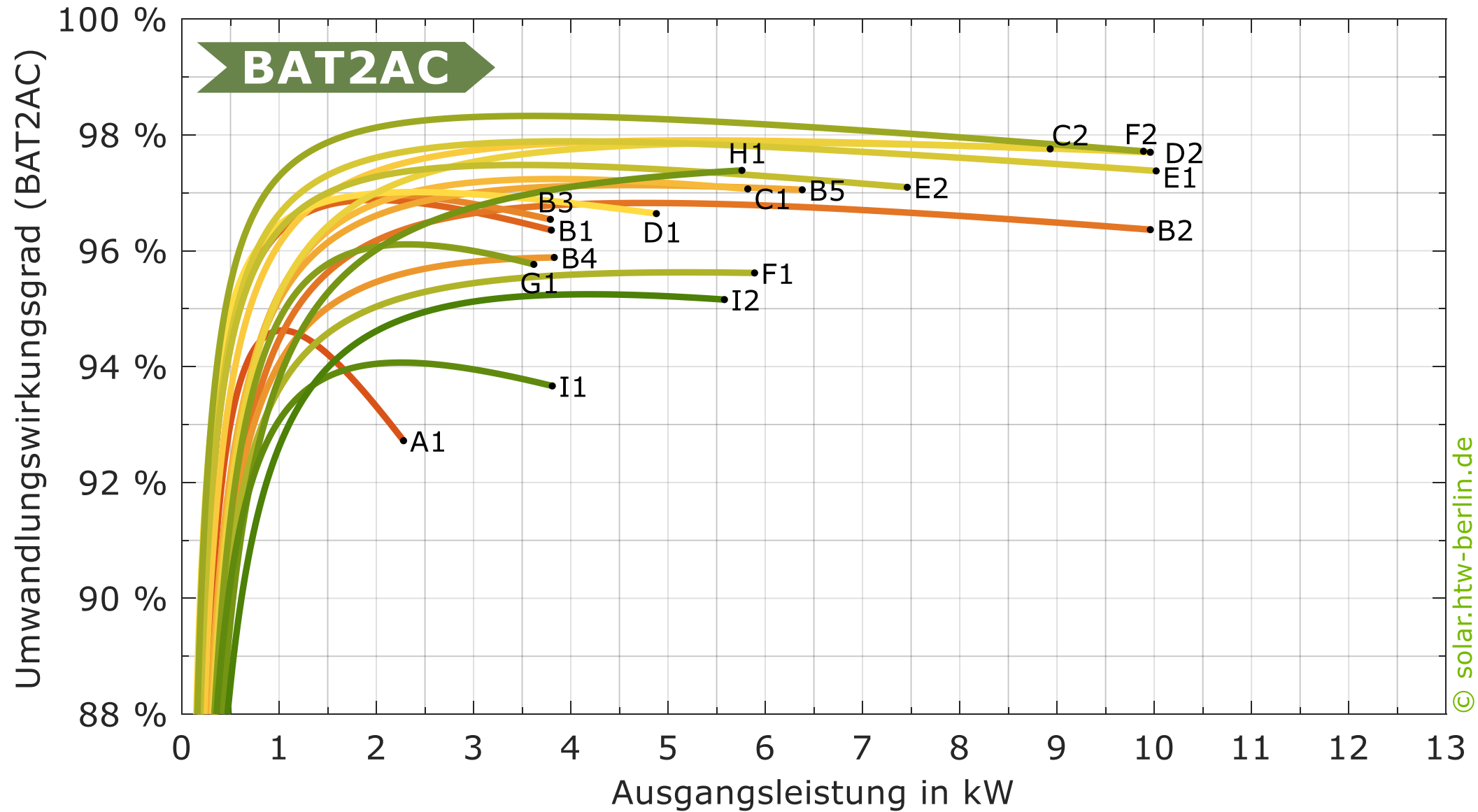
© solar.htw-berlin.de

Umwandlungswirkungsgrad der AC-Batterieladung



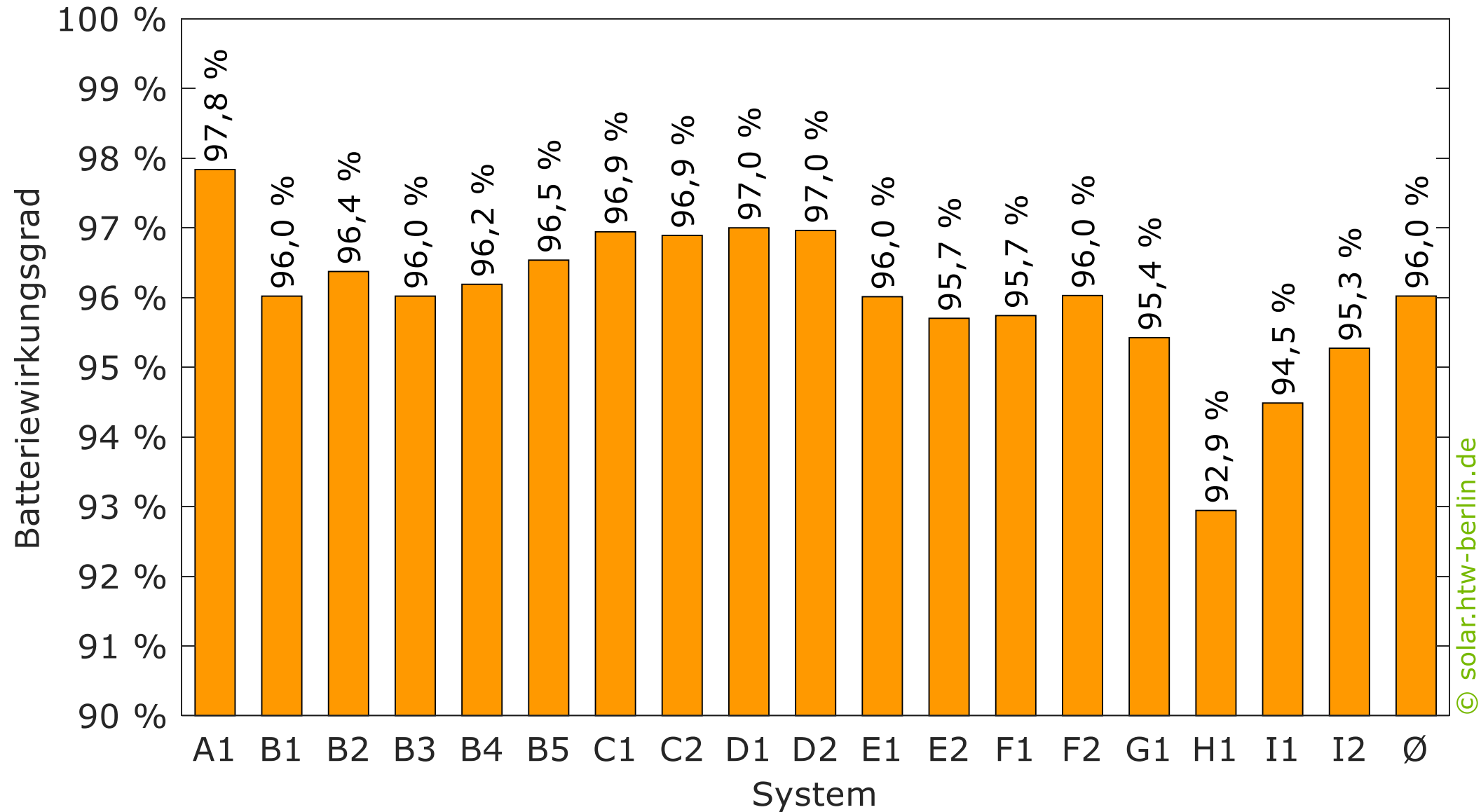
© solar.htw-berlin.de

Umwandlungswirkungsgrad der AC-Batterieentladung



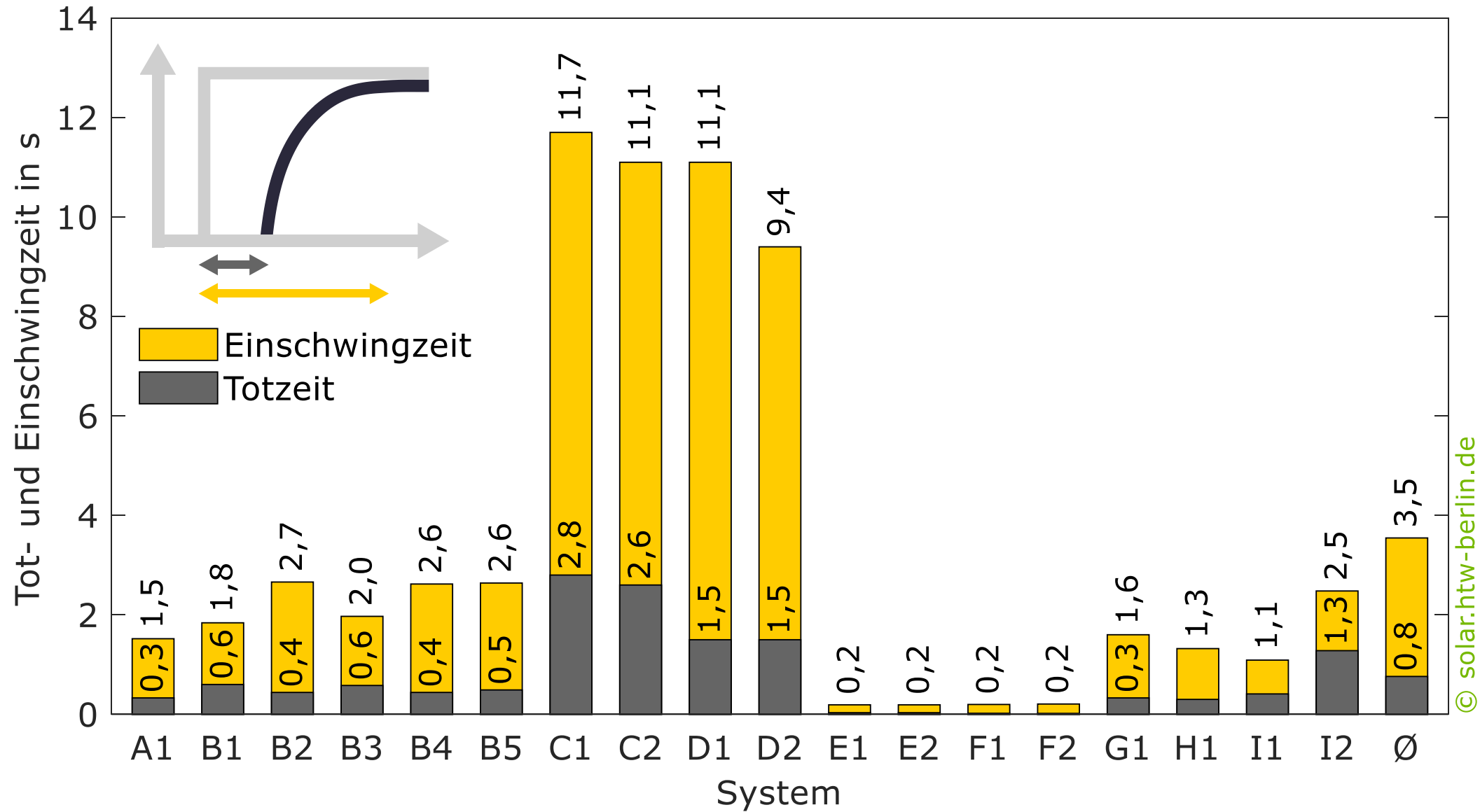
© solar.htw-berlin.de

Mittlere Batteriewirkungsgrade



© solar.htw-berlin.de

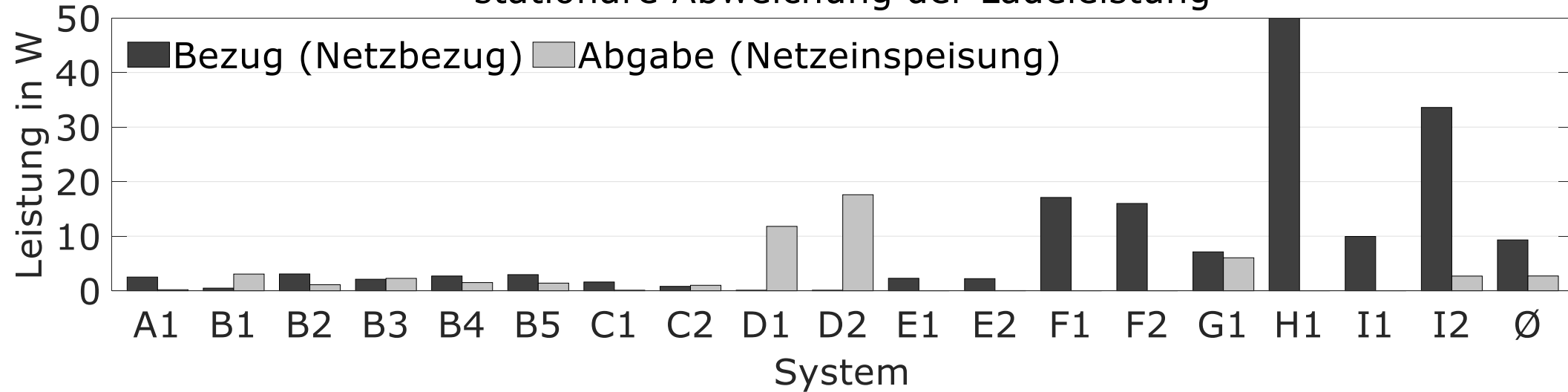
Dynamische Regelungsabweichungen



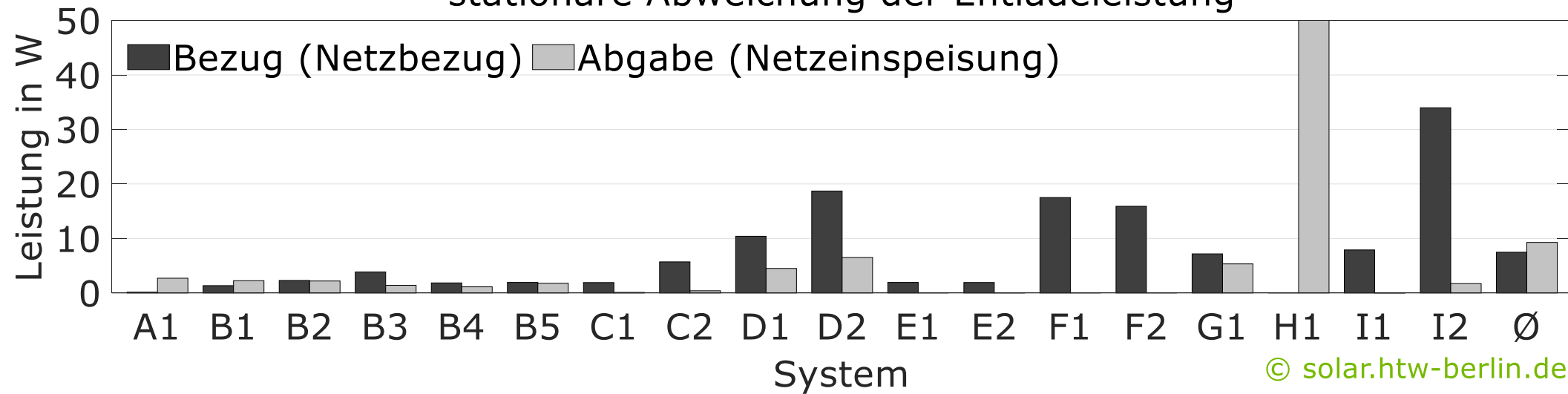
© solar.htw-berlin.de

Stationäre Regelungsabweichungen

stationäre Abweichung der Ladeleistung

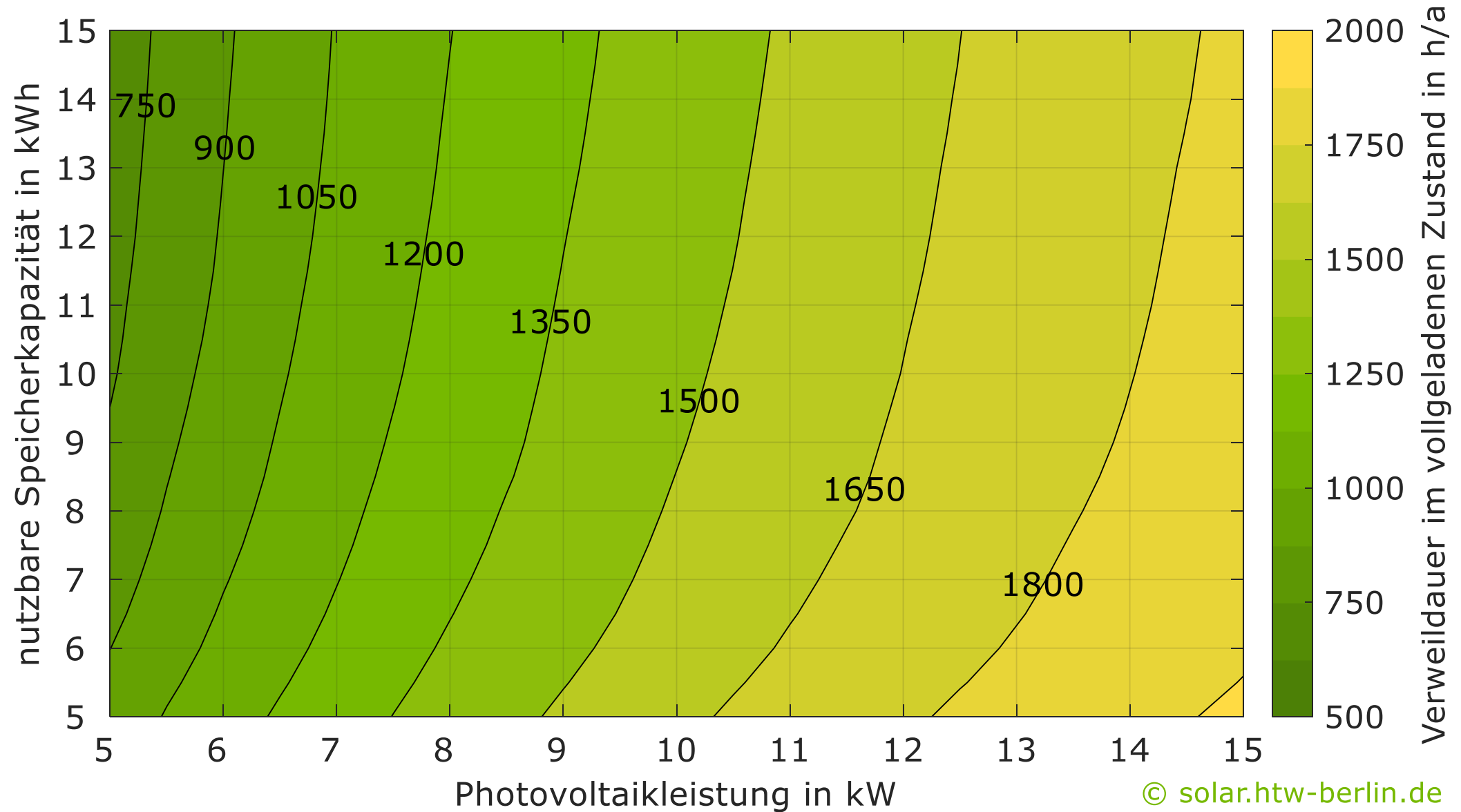


stationäre Abweichung der Entladeleistung



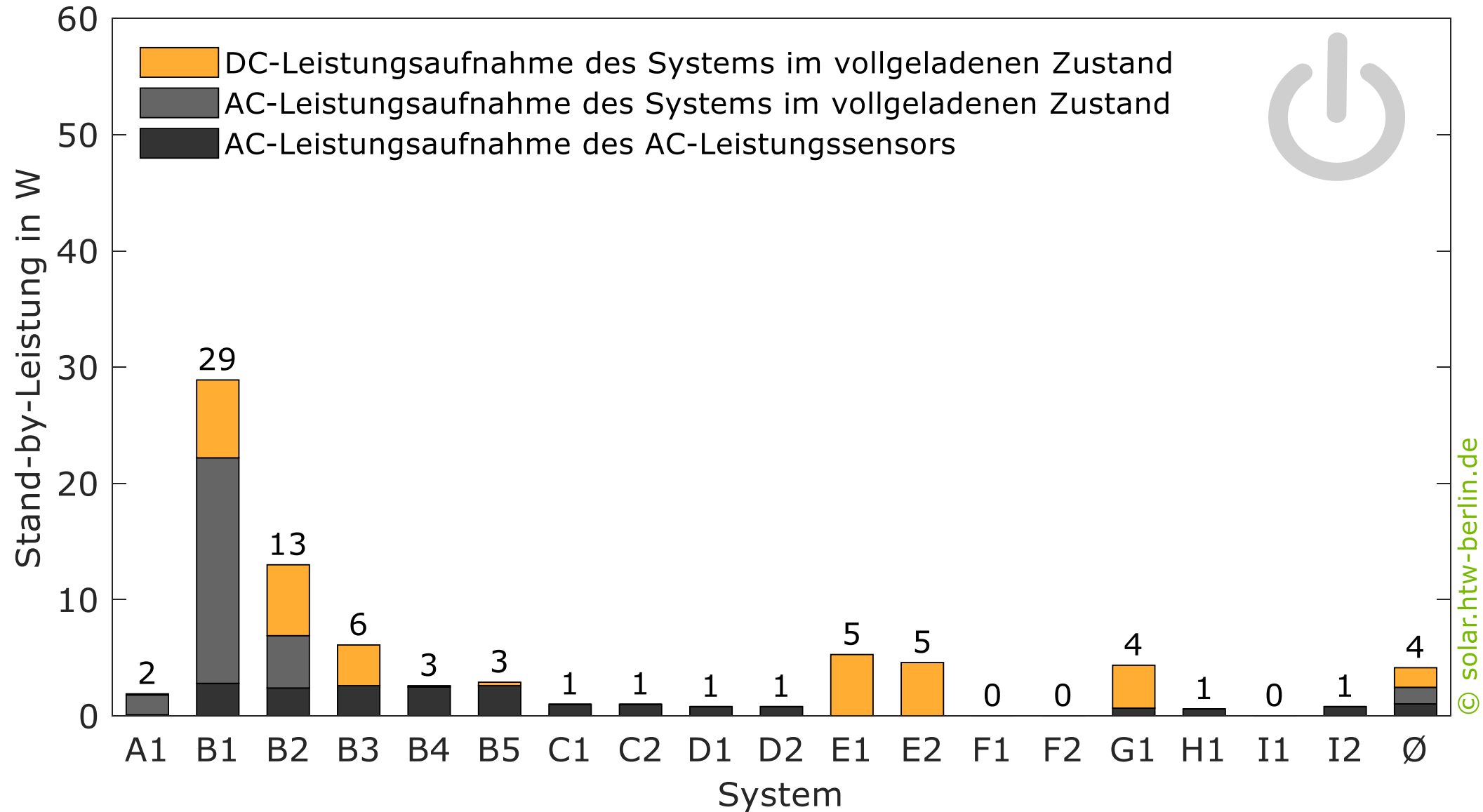
© solar.htw-berlin.de

Verweildauer bei vollgeladenem Batteriespeicher



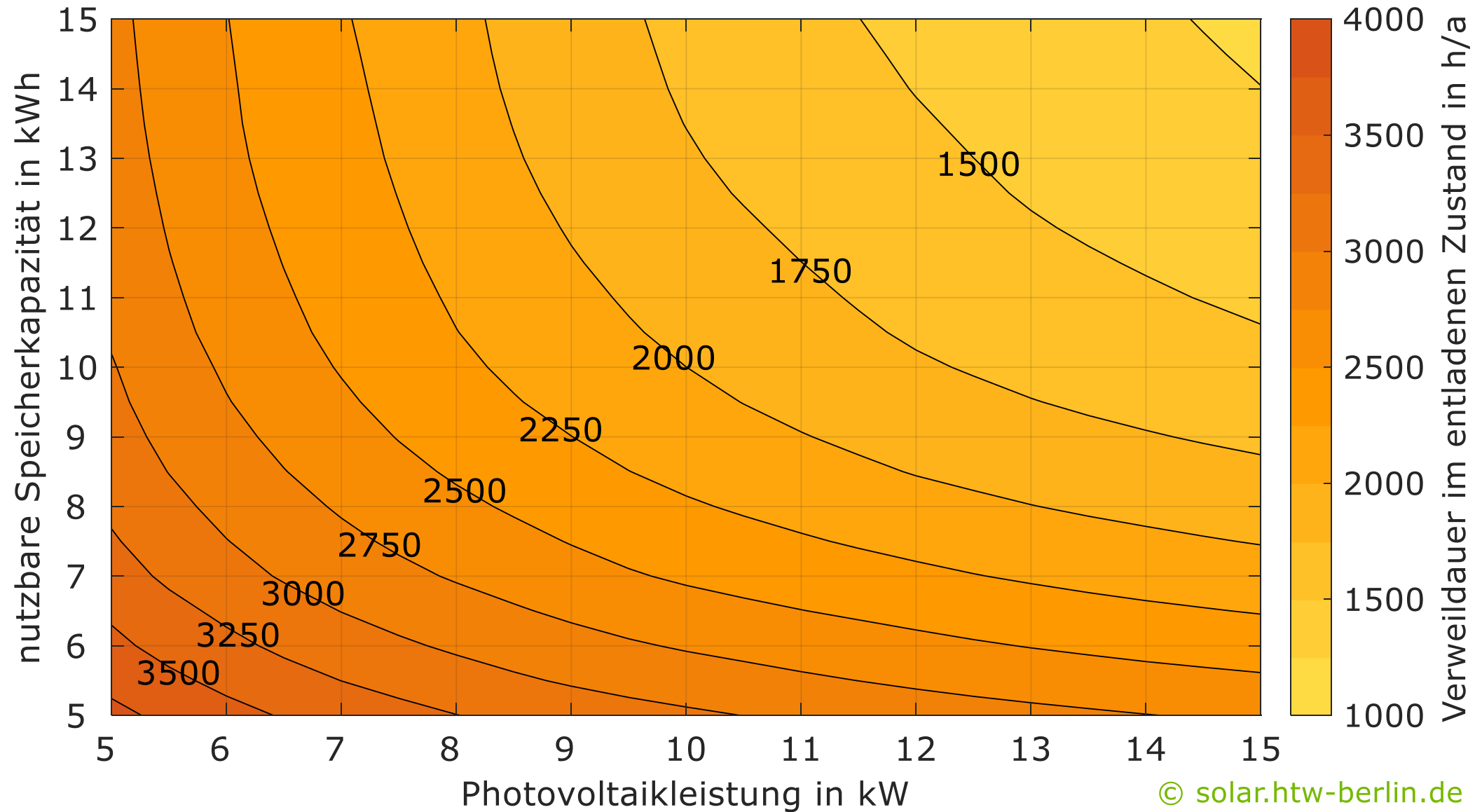
© solar.htw-berlin.de

Stand-by-Leistung bei vollgeladenem Batteriespeicher



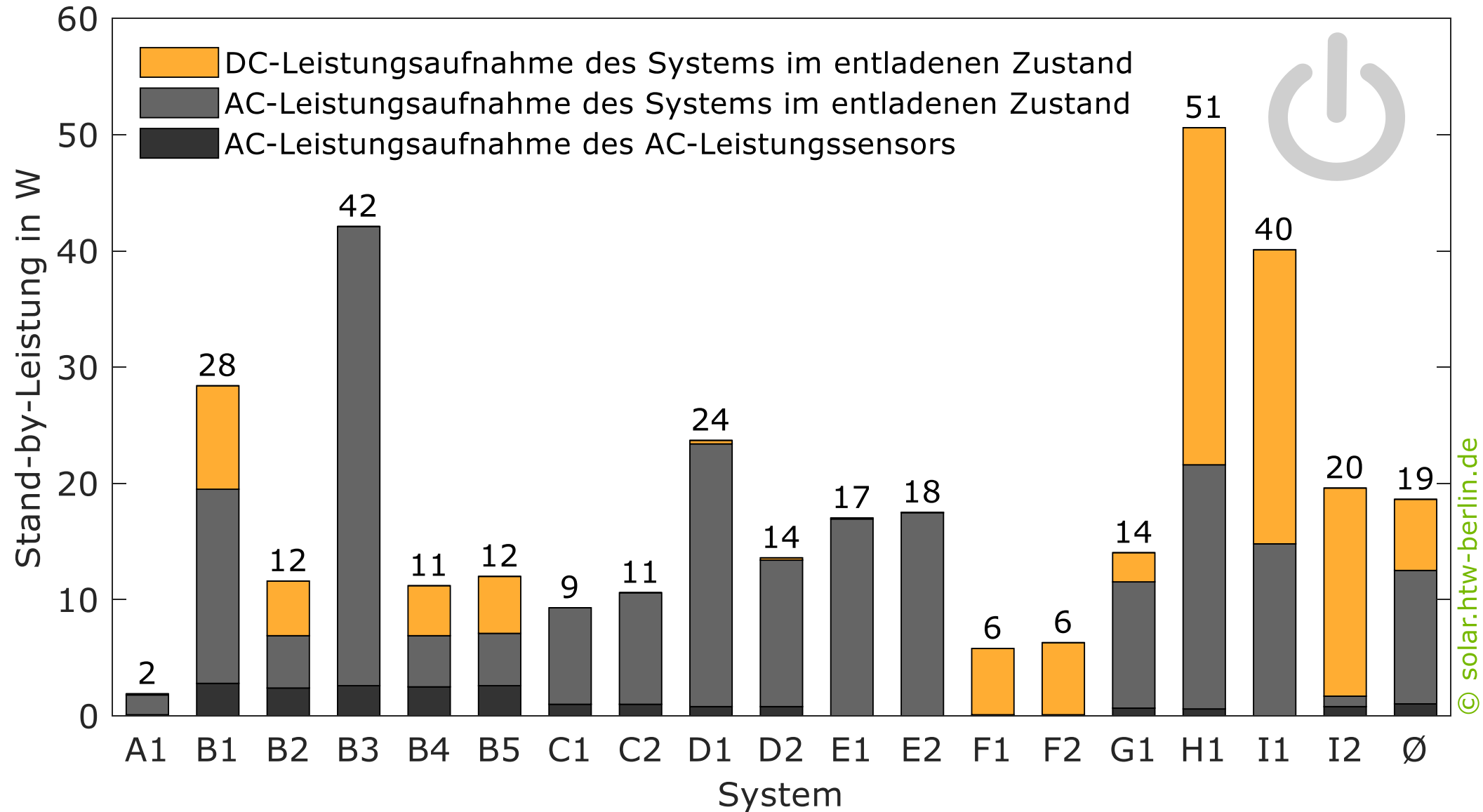
© solar.htw-berlin.de

Verweildauer bei entladenem Batteriespeicher

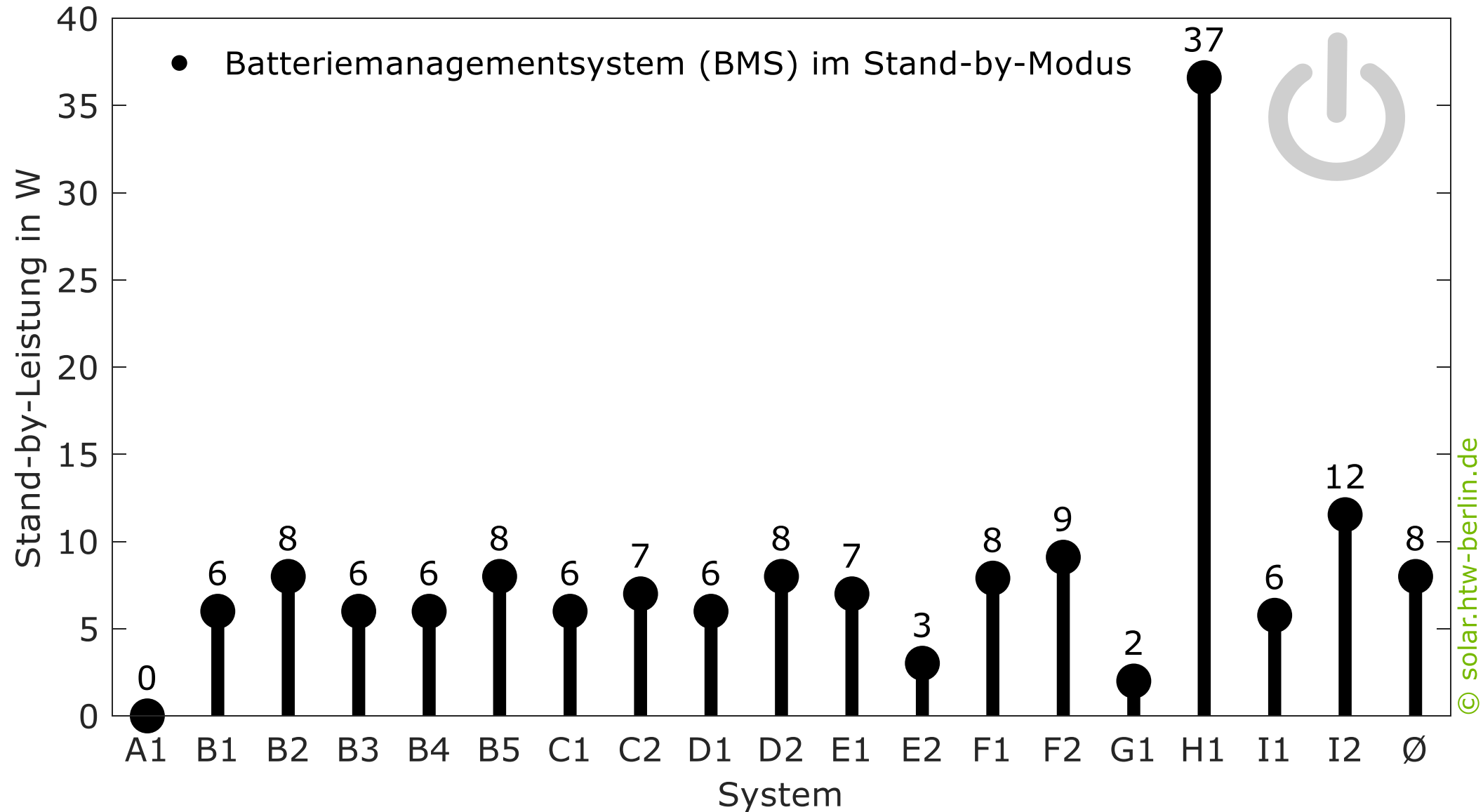


© solar.htw-berlin.de



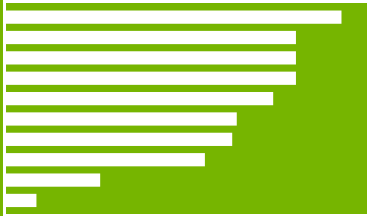
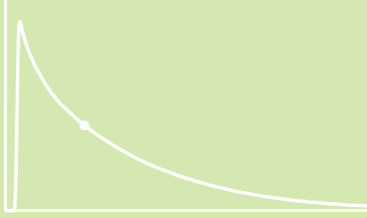
Stand-by-Leistung bei entladenem Batteriespeicher



Stand-by-Leistung des Batteriemanagementsystems (BMS)



Schwerpunkte der Stromspeicher-Inspektion 2023

1	Analyse des Markts für Photovoltaik-Speichersysteme in Deutschland	
2	Vergleich der Systemeigenschaften auf Basis der bereitgestellten Prüfberichte gemäß Effizienzleitfaden	
3	Simulationsbasierte Bewertung der Speichersysteme mit dem System Performance Index (SPI)	
4	Analyse von Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batteriesystemen	

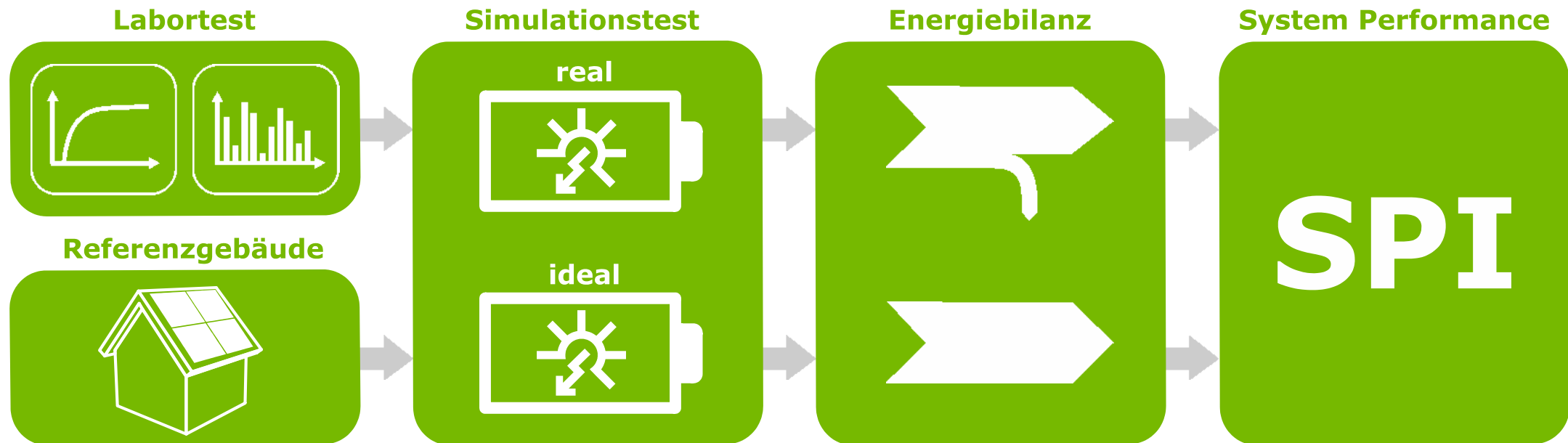
Vorgehensweise zur simulationsbasierten Systembewertung

- **Simulation des Betriebsverhaltens** der PV-Speichersysteme über ein Jahr.
- Der System Performance Index (SPI) bewertet die Systeme anhand der Energieflüsse am **Netzanschlusspunkt** und berücksichtigt dabei die unterschiedliche ökonomische Wertigkeit der in das Netz eingespeisten Energie und der aus dem Netz bezogenen Energie.
- Geänderte regulatorische Rahmenbedingungen, Netzbezugpreise und Einspeisevergütungssätze erfordern es, dass der SPI zukünftig auf Basis der folgenden **Rahmenbedingungen** ermittelt wird.

Rahmenbedingungen zur SPI-Bestimmung	bis 2022	ab 2023
Berücksichtigung der 70-%-Einspeisegrenze	ja	nein
Einspeisevergütung	12 ct/kWh	8 ct/kWh
Netzbezugspreis	30 ct/kWh	40 ct/kWh

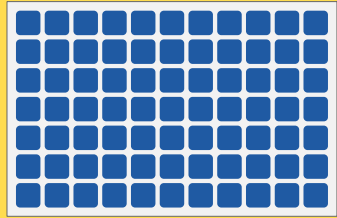
Vorgehensweise zur simulationsbasierten Systembewertung

- Parametrierung des Simulationsmodells „**PerMod**“ (Version 2.2) auf Basis der nach dem Effizienzleitfaden ermittelten Labormessergebnisse.
- Abbildung der **Dimensionierungs-, Umwandlungs-, Regelungs- und Bereitschaftsverluste** anhand der Labormesswerte.



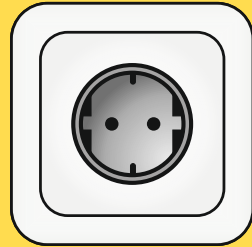
System Performance Index SPI (5 kW) und SPI (10 kW)

1. Referenzfall für den System Performance Index SPI (5 kW)



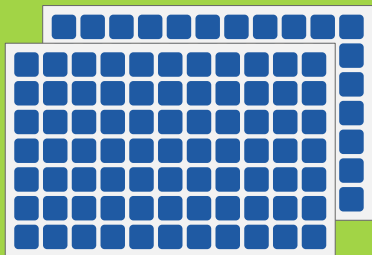
PV-Anlage
(5 kW)

+



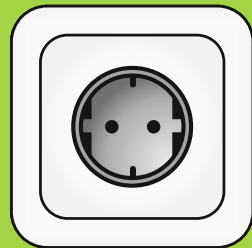
Haushalt
(5010 kWh/a)

2. Referenzfall für den System Performance Index SPI (10 kW)



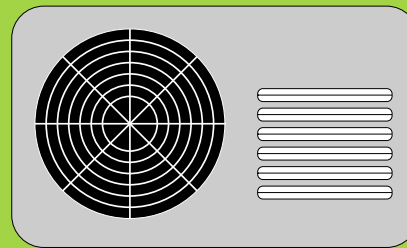
PV-Anlage
(10 kW)

+



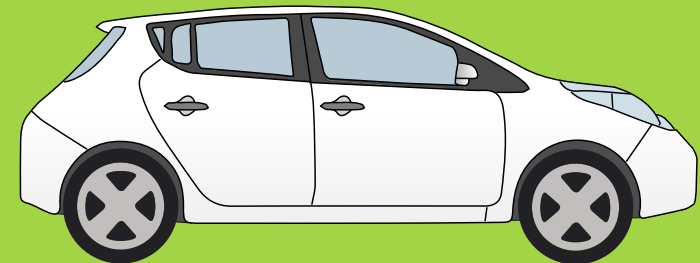
Haushalt
(5010 kWh/a)

+



Wärmepumpe
(2664 kWh/a)

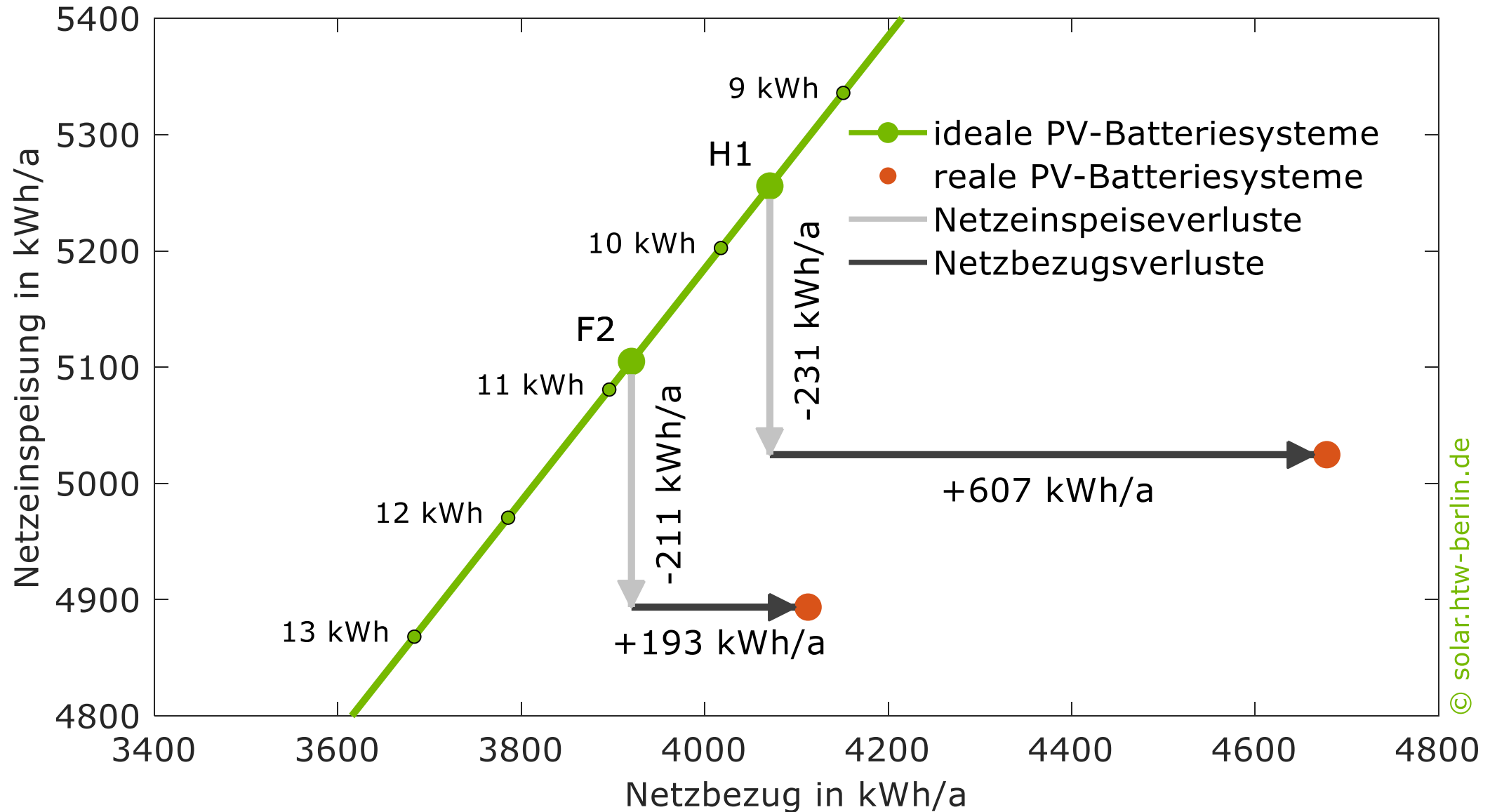
+



Elektroauto
(1690 kWh/a)

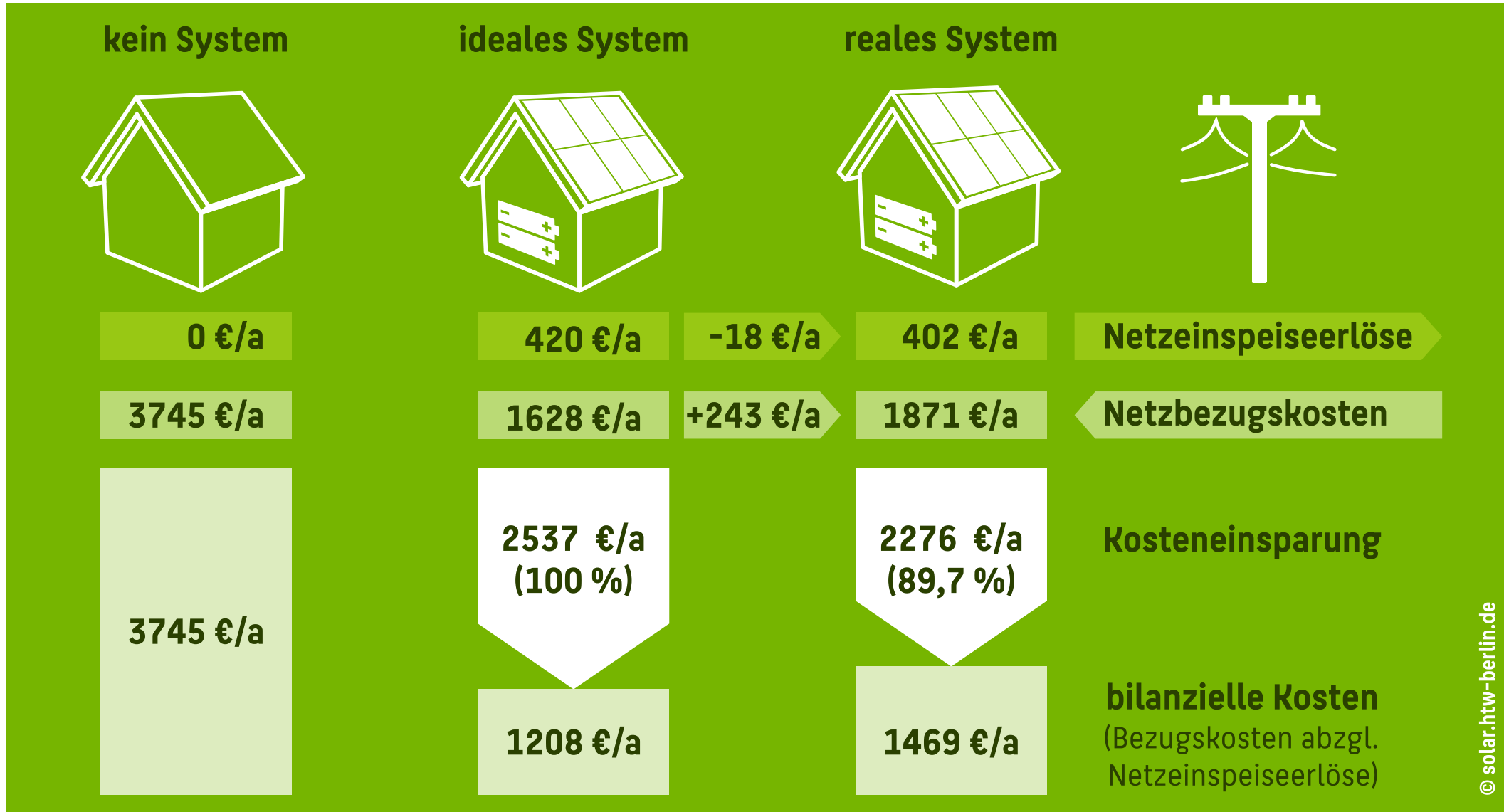
Hinweis: SPI (5 kW) und SPI (10 kW) sind aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen der beiden Referenzfälle nicht vergleichbar. 

Netzeinspeise- und Netzbezugsverluste realer Systeme



Reduktion der Netzeinspeisung und Anstieg des Netzbezugs aufgrund der Effizienzverluste der PV-Batteriesysteme F2 und H1. Rahmenbedingungen der Simulationsanalyse: PV-Leistung 10 kW und Stromverbrauch 9363 kWh/a (2. Referenzfall).

Beispiel zur Bestimmung des System Performance Index (SPI)



© solar.htw-berlin.de

Zuordnung der Systeme zu den Referenzfällen

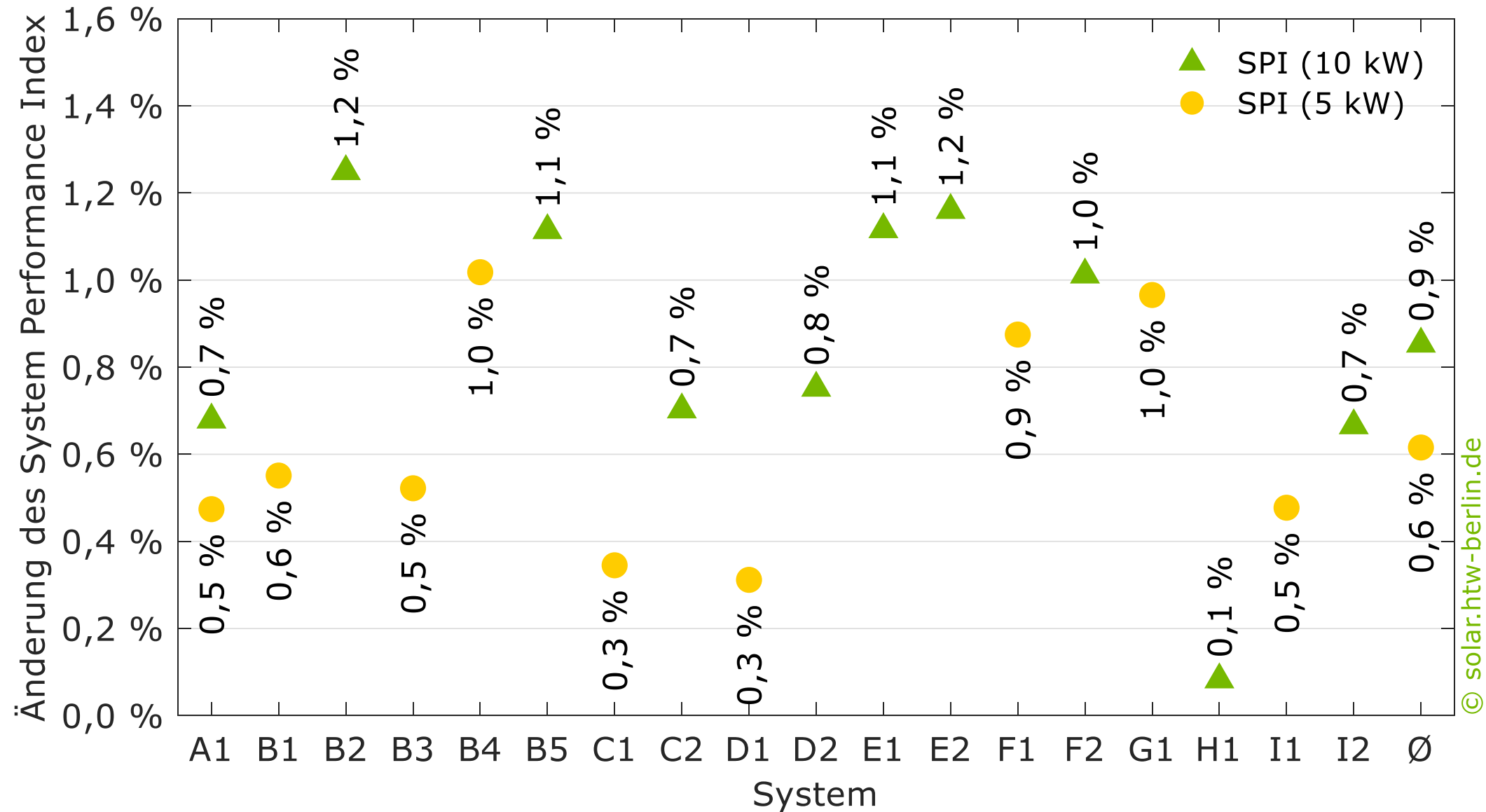
- Je nach Dimensionierung der **Leistungselektronik** und des **Batteriespeichers** ist die Effizienzbewertung mit dem **SPI (5 kW)** oder **SPI (10 kW)** sinnvoll.
- Mit dem SPI (5 kW) wurden lediglich die Systeme bewertet, die eine nutzbare Speicherkapazität kleiner als **8,0 kWh** vorweisen konnten.
- Für die Bewertung mit dem SPI (10 kW) war eine nutzbare Speicherkapazität kleiner als **16,0 kWh** erforderlich.
- Die Einordnung erfolgte anhand der im **Labortest** ermittelten nutzbaren Speicherkapazitäten.
- 9 Systeme wurden mit dem SPI (5 kW) und 10 Systeme mit dem SPI (10 kW) bewertet. Für das AC-gekoppelte System A1 wurden beide Kennzahlen ermittelt.

System	A1	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	H1	I1	I2
SPI (5 kW)	■	■		■	■		■		■				■		■		■	
SPI (10 kW)	■		■			■		■		■	■	■		■		■		■

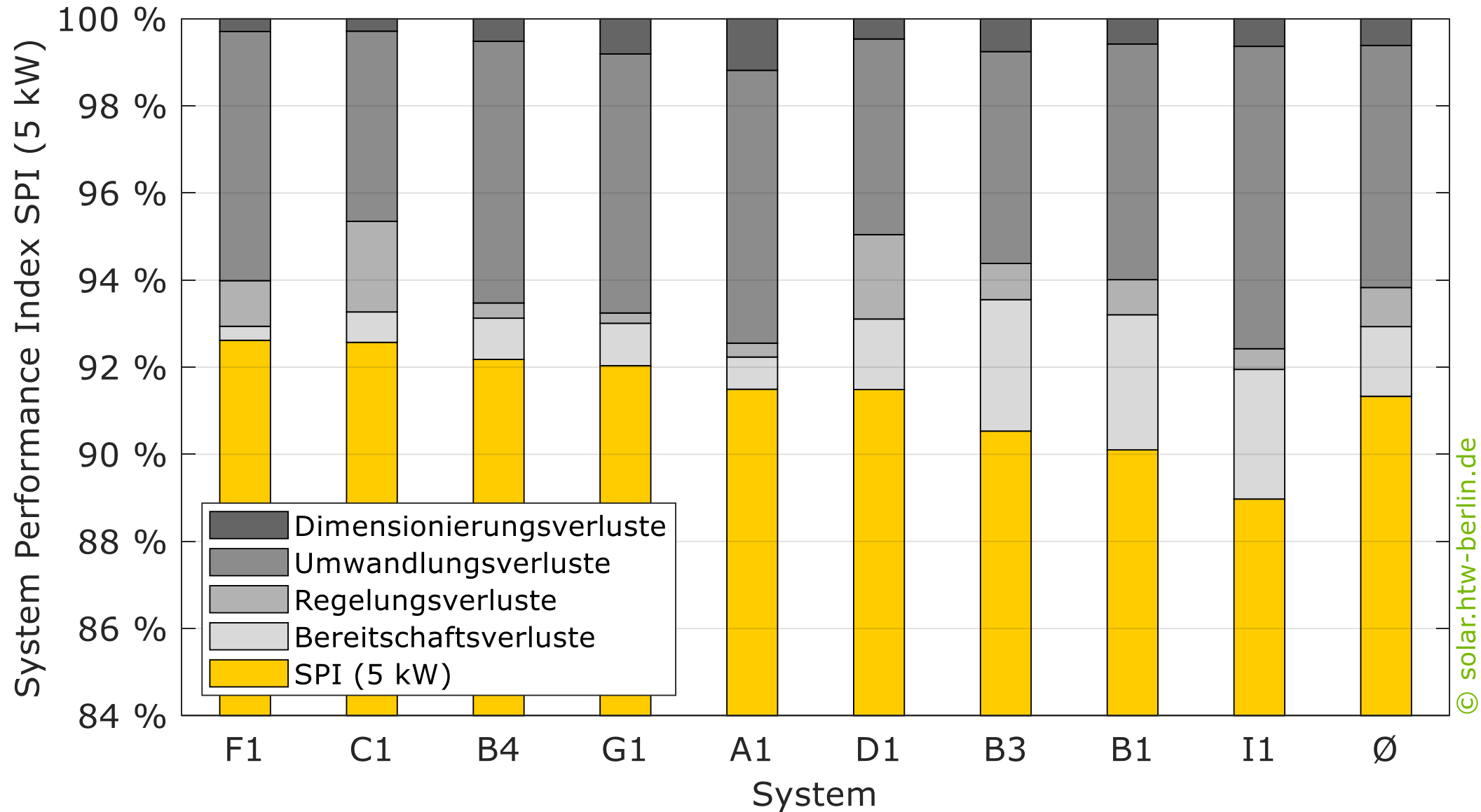
Einfluss der geänderten Rahmenbedingungen auf den SPI

- Die **neuen Rahmenbedingungen** führen dazu, dass die SPI-Werte im Vergleich zu den in den vergangenen Jahren ermittelten Werten ansteigen.
- Durch die **Abschaffung der 70%-Einspeisebegrenzung** werden die damit verbundenen Energiemanagementverluste nicht weiter berücksichtigt.
- Im Mittel steigen durch diese Änderung der SPI (5 kW) um +0,5 Prozentpunkte und der SPI (10 kW) um +0,8 Prozentpunkte an.
- Durch den zunehmenden Unterschied **zwischen der Einspeisevergütung und dem Netzbezugspreis** fallen die Verluste, die zu einem höheren Netzbezug führen, gegenüber den Verlusten, die nur die Netzeinspeisung verringern, stärker ins Gewicht.
- Unter Berücksichtigung aller veränderten Parameter steigt der **SPI (5 kW)** im Vergleich zur bisherigen Berechnung durchschnittlich um **+0,6 Prozentpunkte** an. Beim **SPI (10 kW)** sind es im Mittel **+0,9 Prozentpunkte**.

Änderung des SPI im Vergleich zur bisherigen Berechnung

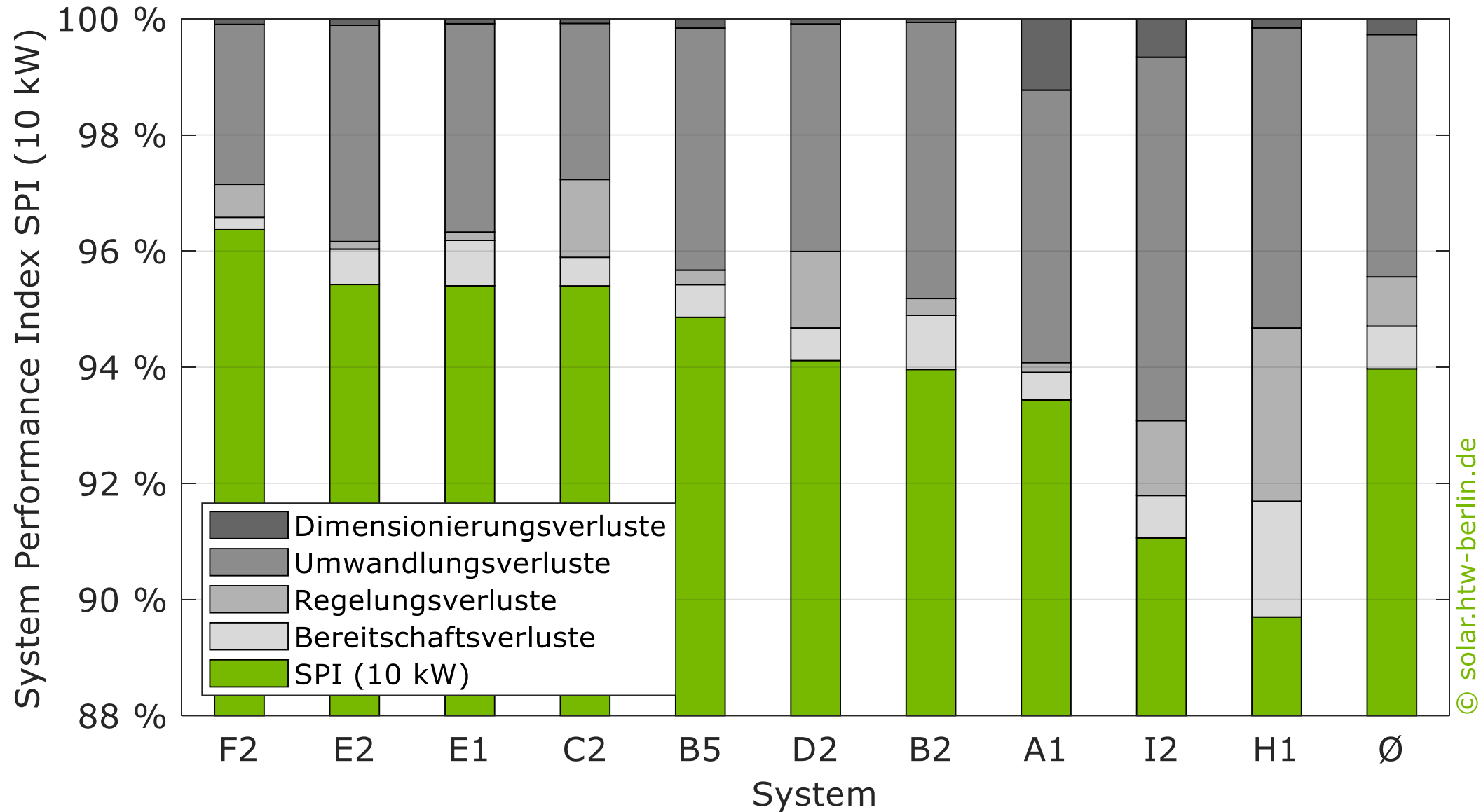


Verlustanalyse der mit dem SPI (5 kW) bewerteten Systeme



© solar.htw-berlin.de

Verlustanalyse der mit dem SPI (10 kW) bewerteten Systeme



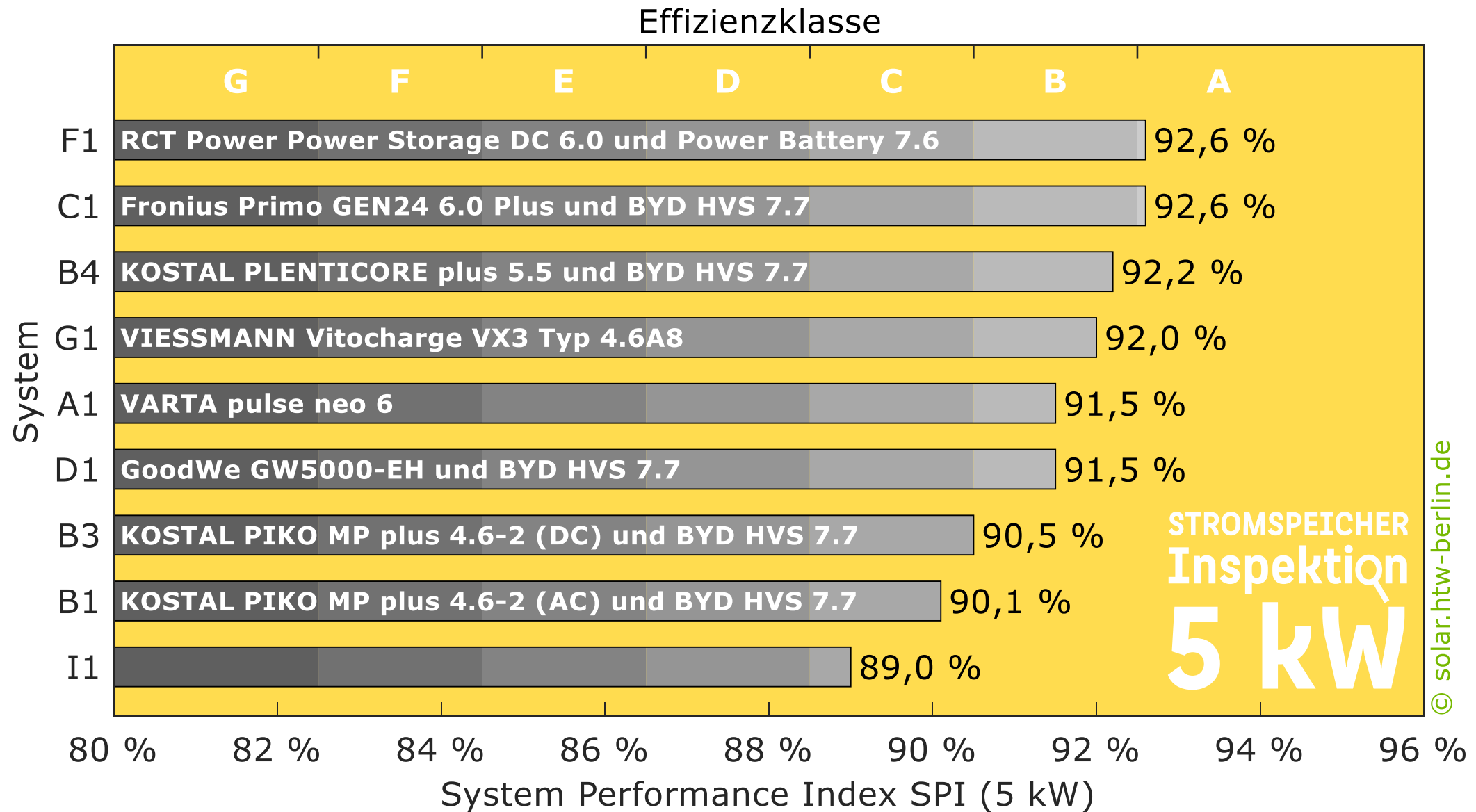
© solar.htw-berlin.de

Definition der Effizienzklassen für PV-Speichersysteme

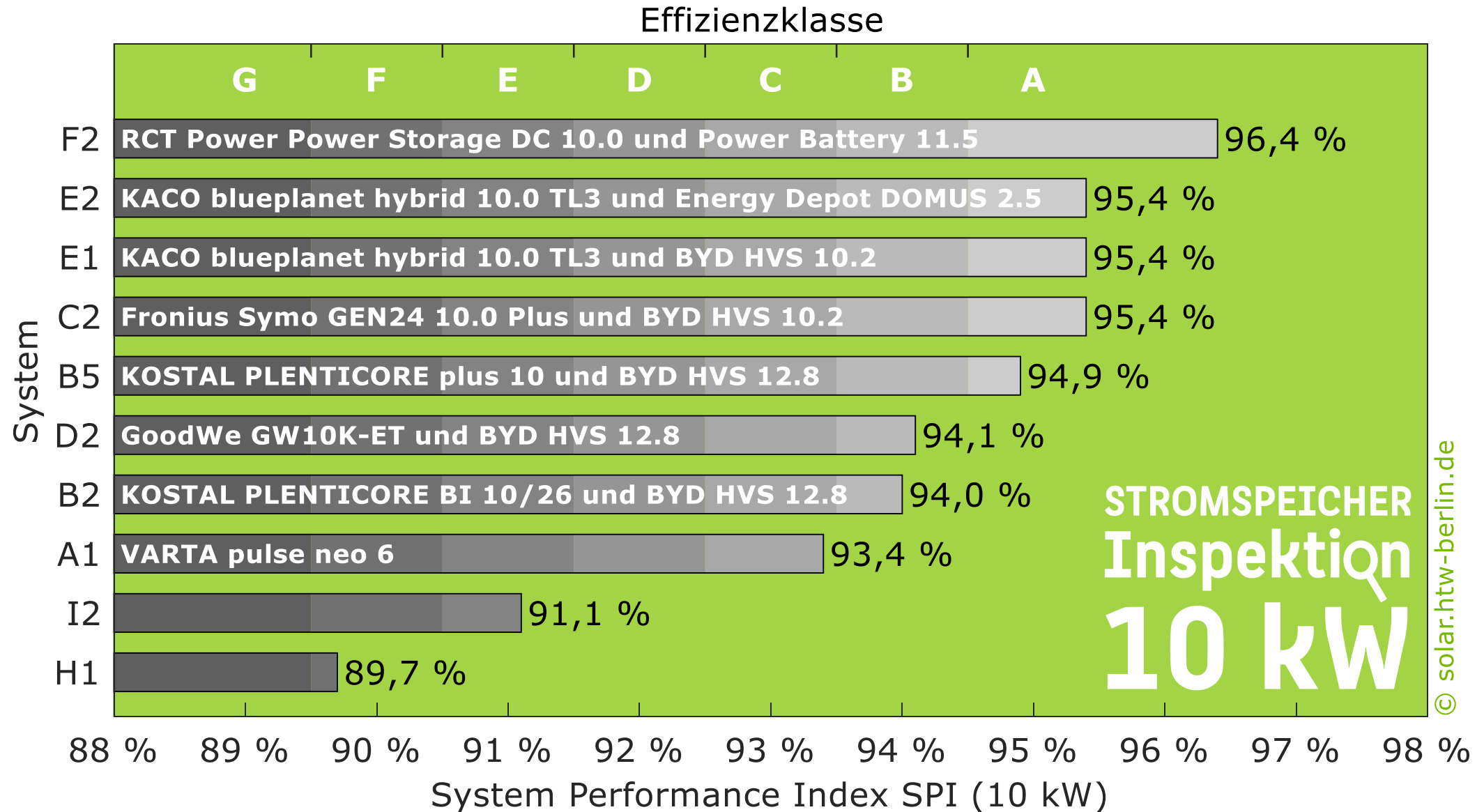
- Aufgrund der geänderten SPI-Werte wurden auch die **Effizienzklassen** angepasst.
- Die **Schwellenwerte** zum Erreichen der einzelnen Klassen wurden beim SPI (5 kW) um 0,5 Prozentpunkte und beim SPI (10 kW) um 1 Prozentpunkt erhöht.

Klasse	SPI (5 kW)	SPI (10 kW)
A	$\geq 92,5 \%$	$\geq 94,5 \%$
B	$\geq 90,5 \%$	$\geq 93,5 \%$
C	$\geq 88,5 \%$	$\geq 92,5 \%$
D	$\geq 86,5 \%$	$\geq 91,5 \%$
E	$\geq 84,5 \%$	$\geq 90,5 \%$
F	$\geq 82,5 \%$	$\geq 89,5 \%$
G	$< 82,5 \%$	$< 89,5 \%$

SPI (5 kW) und Effizienzklassen der analysierten Systeme

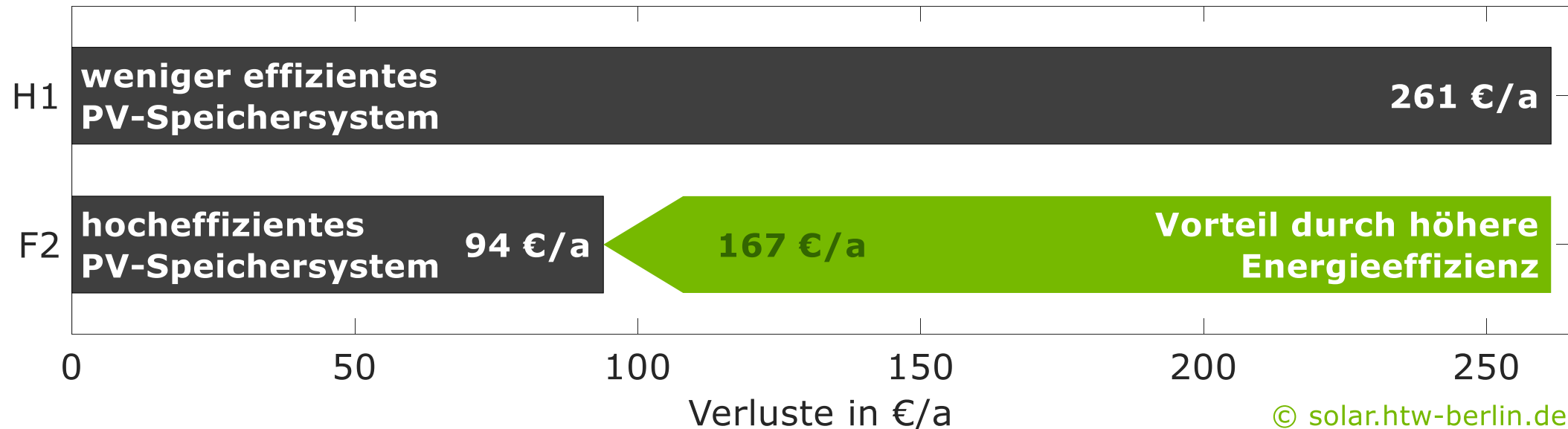


SPI (10 kW) und Effizienzklassen der analysierten Systeme



Warum ist eine hohe Systemeffizienz wichtig?

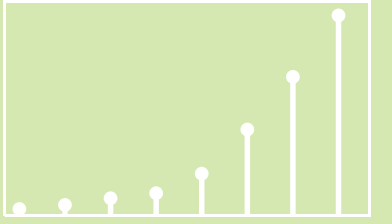

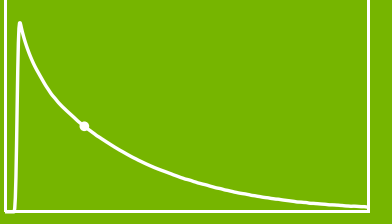
- Die Effizienzverluste reduzieren das **Kosteneinsparungspotenzial** eines PV-Speichersystems. Die monetären Verluste betragen bei den mit dem SPI (10 kW) bewerteten Speichersystemen zwischen 94 €/a und 261 €/a.
- Wer auf ein hocheffizientes Photovoltaik-Speichersystem setzt, kann innerhalb der ersten **zehn Betriebsjahre bis zu 1700 €** gegenüber einem weniger effizienten System zusätzlich einsparen.



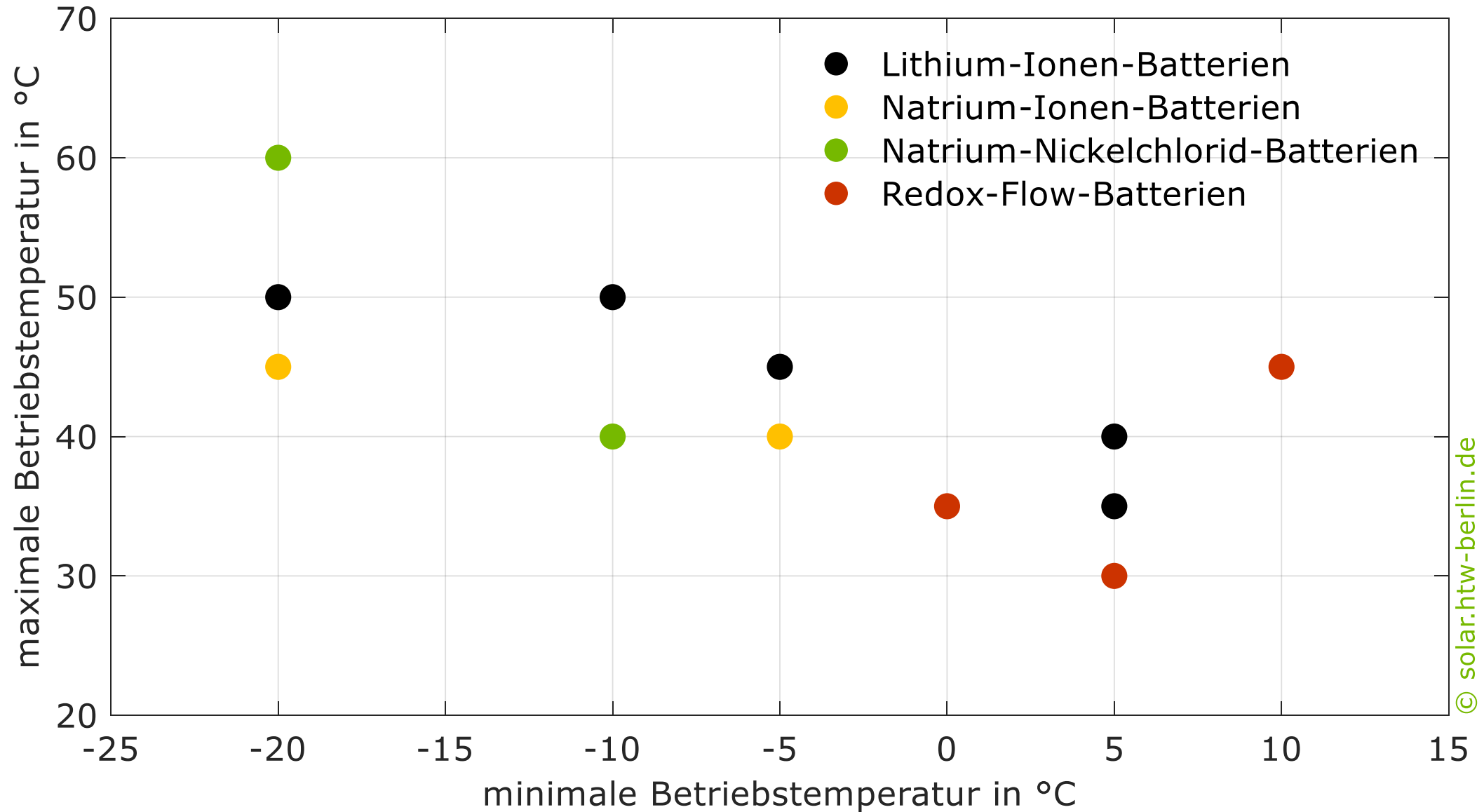
Zusammenfassung der Ergebnisse der Systembewertung

- Im Rahmen der Stromspeicher-Inspektion 2023 wurde die Energieeffizienz von **18 Stromspeichersystemen** analysiert und verglichen.
- Mit einem mittleren Wechselrichterwirkungsgrad im Entladebetrieb von 97,8 % und einer Einschwingzeit unter 0,2 s wurden **neue Bestwerte** aufgestellt.
- In der **Leistungsklasse bis 5 kW** setzten die Systeme F1 und C1 mit einem SPI (5 kW) von **92,6 %** durch.
- System F2 erzielte mit einem Wert von **96,4 %** den höchsten **SPI (10 kW)**.
- 14 der 18 untersuchten Systeme punkteten mit einer **sehr guten Systemeffizienz** und erreichten die Effizienzklassen A und B.
- Während die **Umwandlungsverluste** weiterhin ausschlaggebend für die Gesamtverluste sind, variiert je nach System die Verlustkategorie, die zu den zweithöchsten Einbußen führt.

Schwerpunkte der Stromspeicher-Inspektion 2023

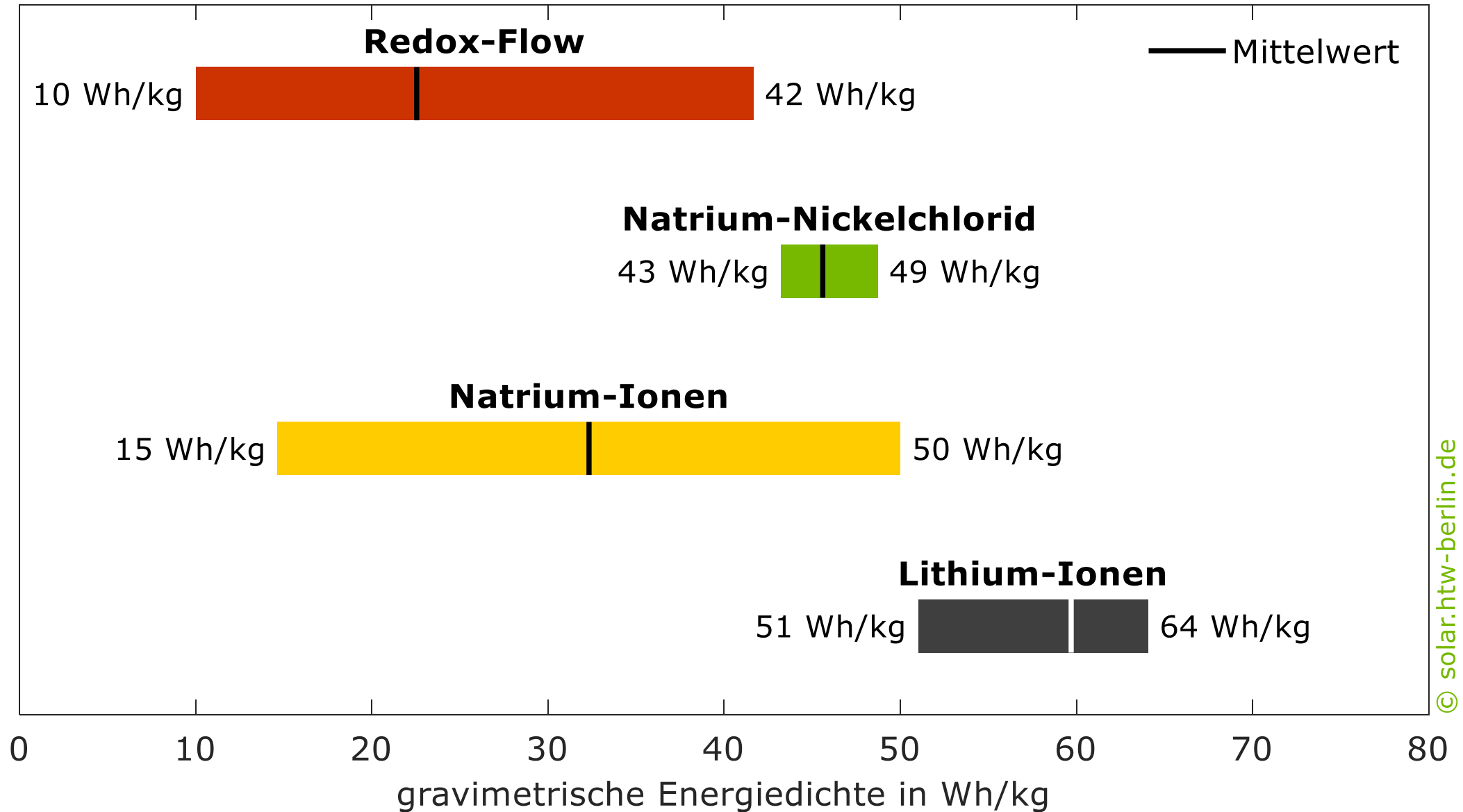
1	Analyse des Markts für Photovoltaik-Speichersysteme in Deutschland	
2	Vergleich der Systemeigenschaften auf Basis der bereitgestellten Prüfberichte gemäß Effizienzleitfaden	
3	Simulationsbasierte Bewertung der Speichersysteme mit dem System Performance Index (SPI)	
4	Analyse von Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batteriesystemen	

Zulässiger Betriebstemperaturbereich



© solar.htw-berlin.de

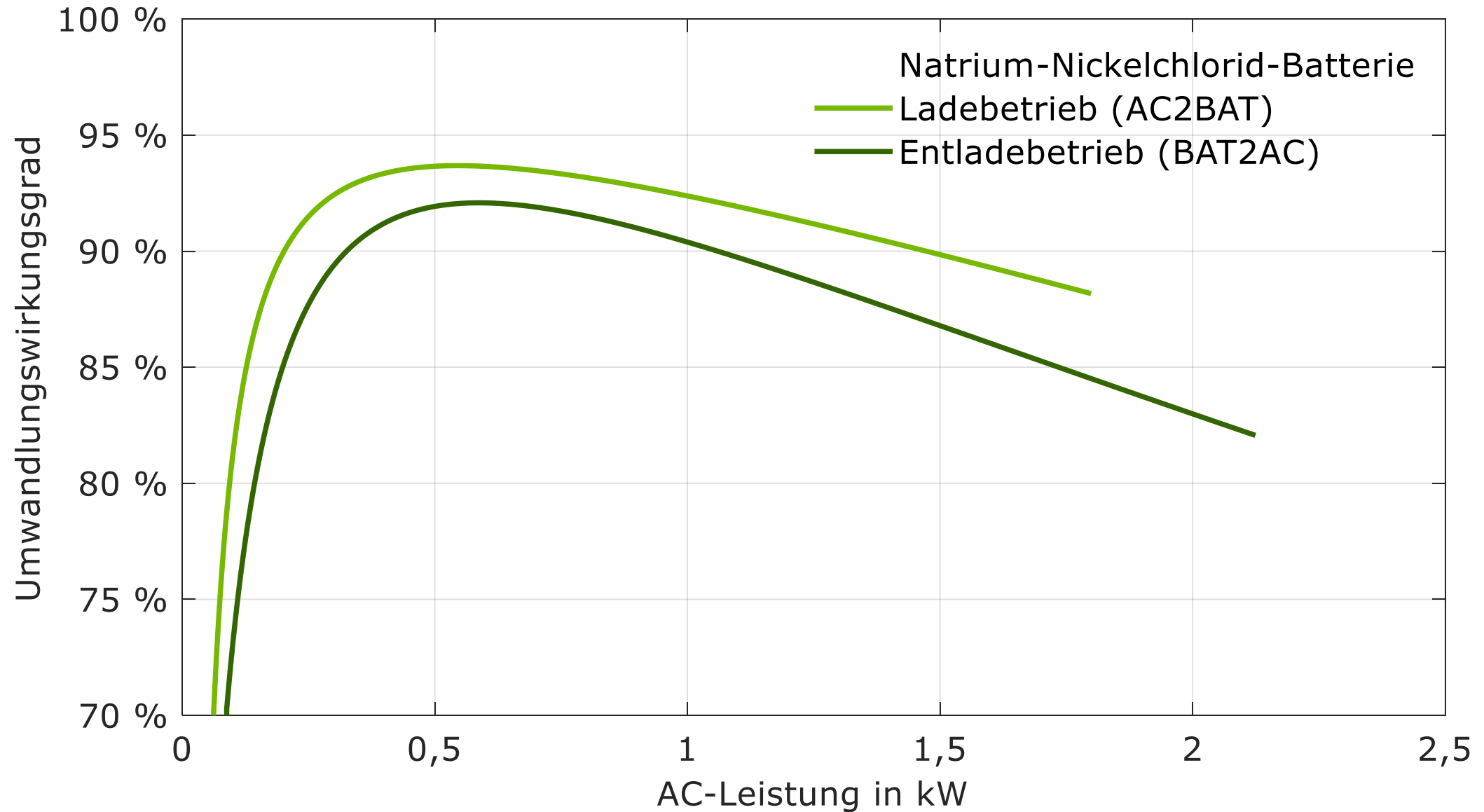
Gravimetrische Energiedichte



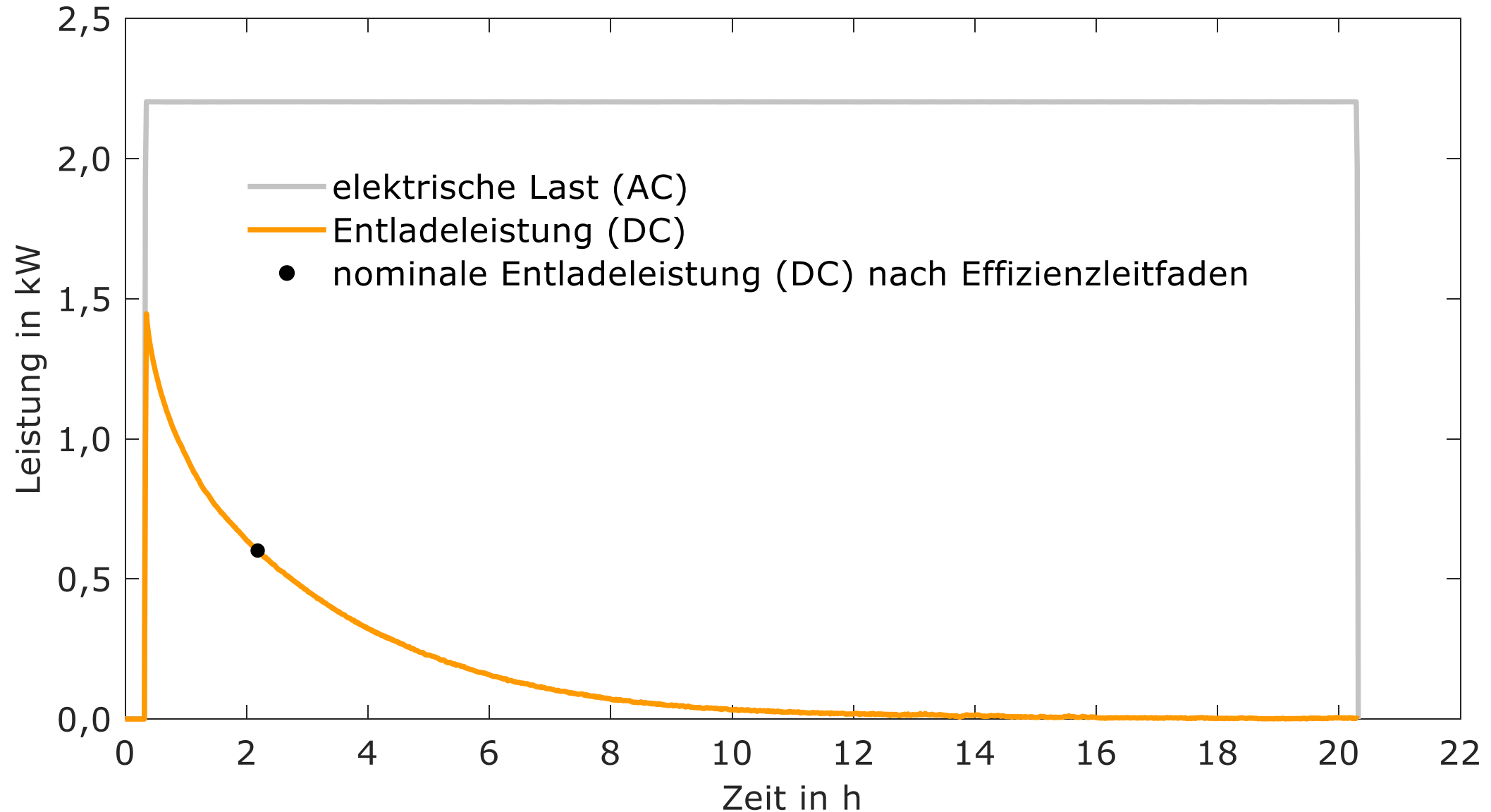
Untersuchung alternativer Batteriesysteme

- In den vergangenen Jahren wurden im Heimspeichermarkt **zahlreiche Produkte neu eingeführt**, darunter Natrium-Ionen-, Natrium-Nickelchlorid-, Nickel-Metallhydrid- und Redox-Flow-Speichersysteme.
- Für eine umfassende Analyse der alternativen Batteriesysteme sollten möglichst viele verschiedene Produkte erworben werden. Unter anderem aufgrund von Unternehmensinsolvenzen oder Lieferschwierigkeiten waren allerdings nur ein **Natrium-Ionen- und ein Natrium-Nickelchlorid-System** erhältlich.
- Umgangssprachlich werden sie auch als **Salzwasserbatterie** und **Hochtemperaturbatterie** bezeichnet.
- Die beiden Systeme wurden in den Prüflaboren des **Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)** vermessen.
- Neben detaillierten **Effizienzmessungen** wurde das reale Betriebsverhalten der alternativen Systeme über einen mehrtägigen **Anwendungstest** erfasst.

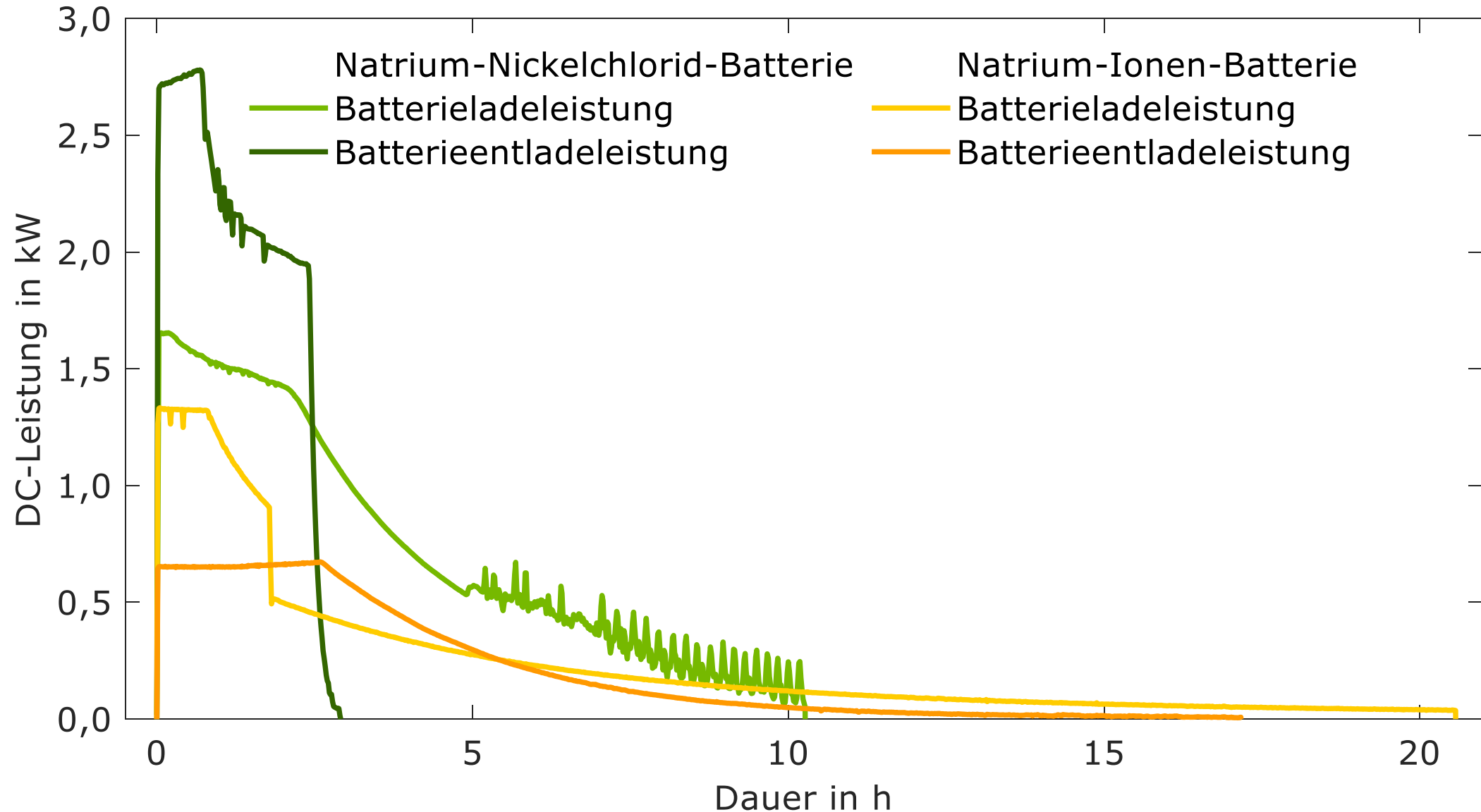
Lade- und Entladeeffizienz der Natrium-Nickelchlorid-Batterie



Verlauf der Entladeleistung des Natrium-Ionen-Speichers



Leistungsfähigkeit der alternativen Batterien



Verlauf der Lade- und Entladeleistung beim Test mit der nach dem Effizienzleitfaden bestimmten nominalen Leistung. Darstellung der Messwerte des 3. Zyklus.

Energieaufnahme und -abgabe der alternativen Batterien

Natrium-Nickelchlorid-Batterie

Natrium-Ionen-Batterie

6,5 kWh

4,0 kWh

entnehmbare Energie laut Datenblatt

5,8 kWh

3,8 kWh

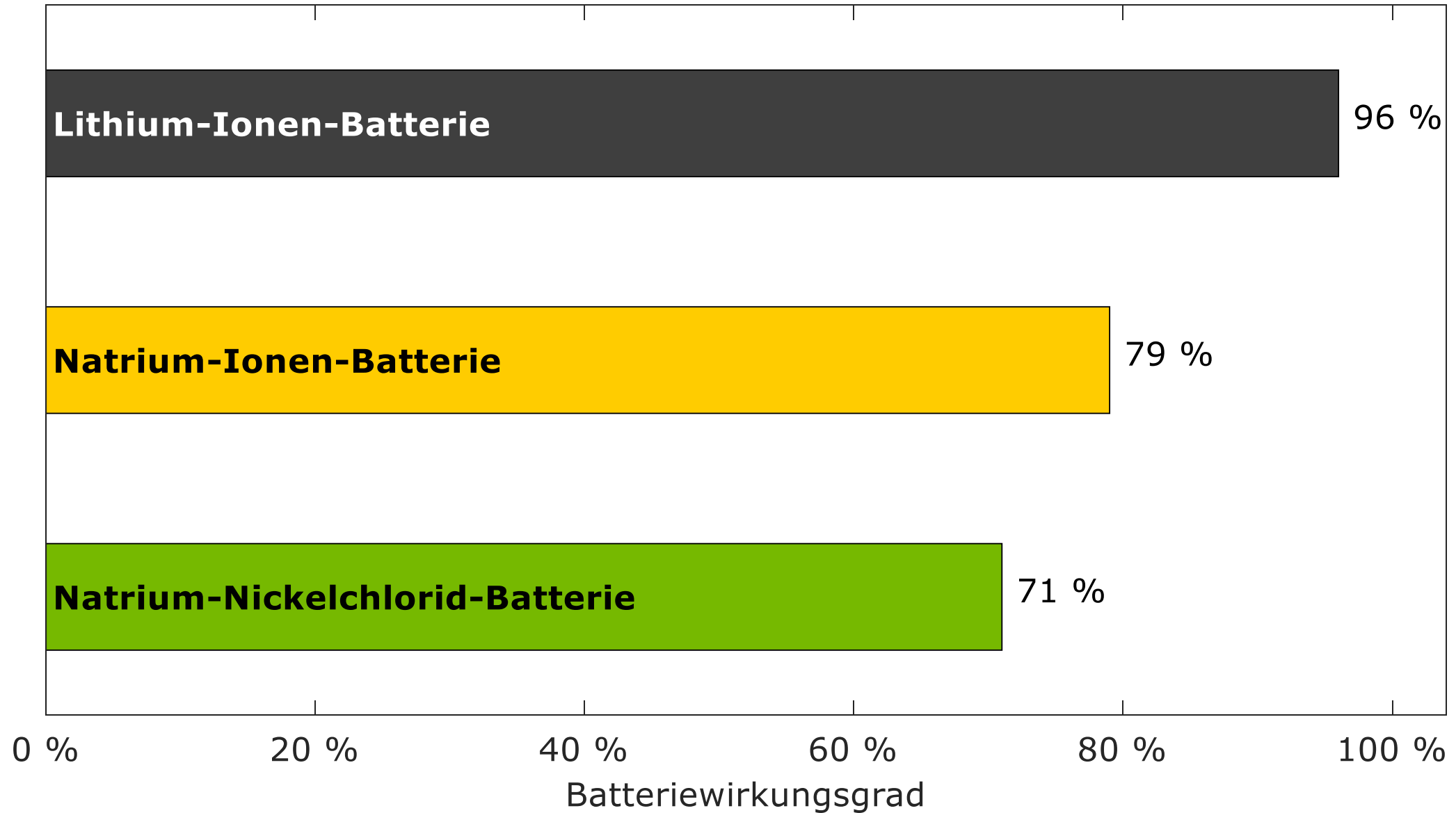
abgegebene Energie

8,3 kWh

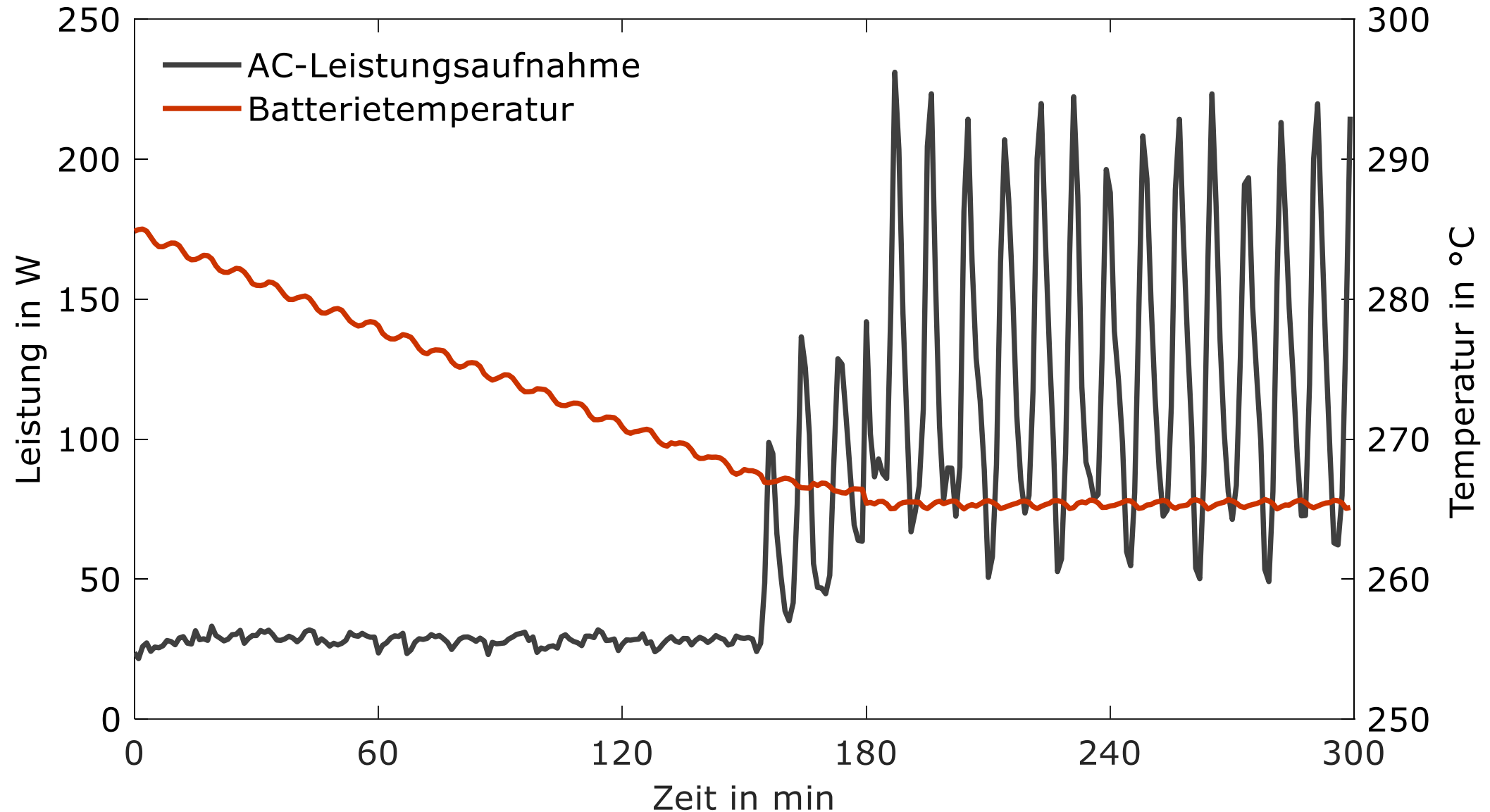
4,9 kWh

zugeführte Energie

Mittlere Wirkungsgrade unterschiedlicher Batterietechnologien

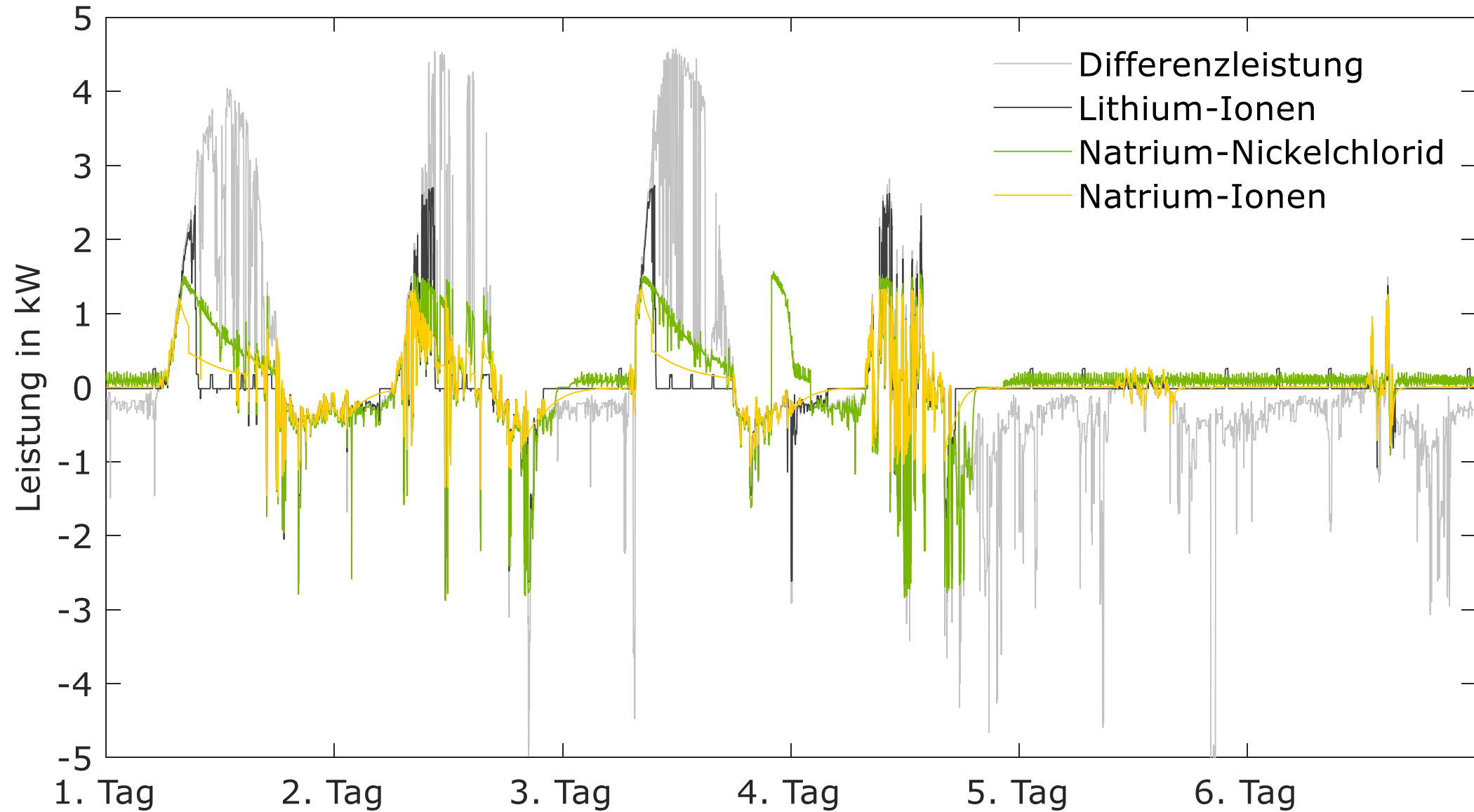


Stand-by-Leistungsaufnahme der Natrium-Nickelchlorid-Batterie



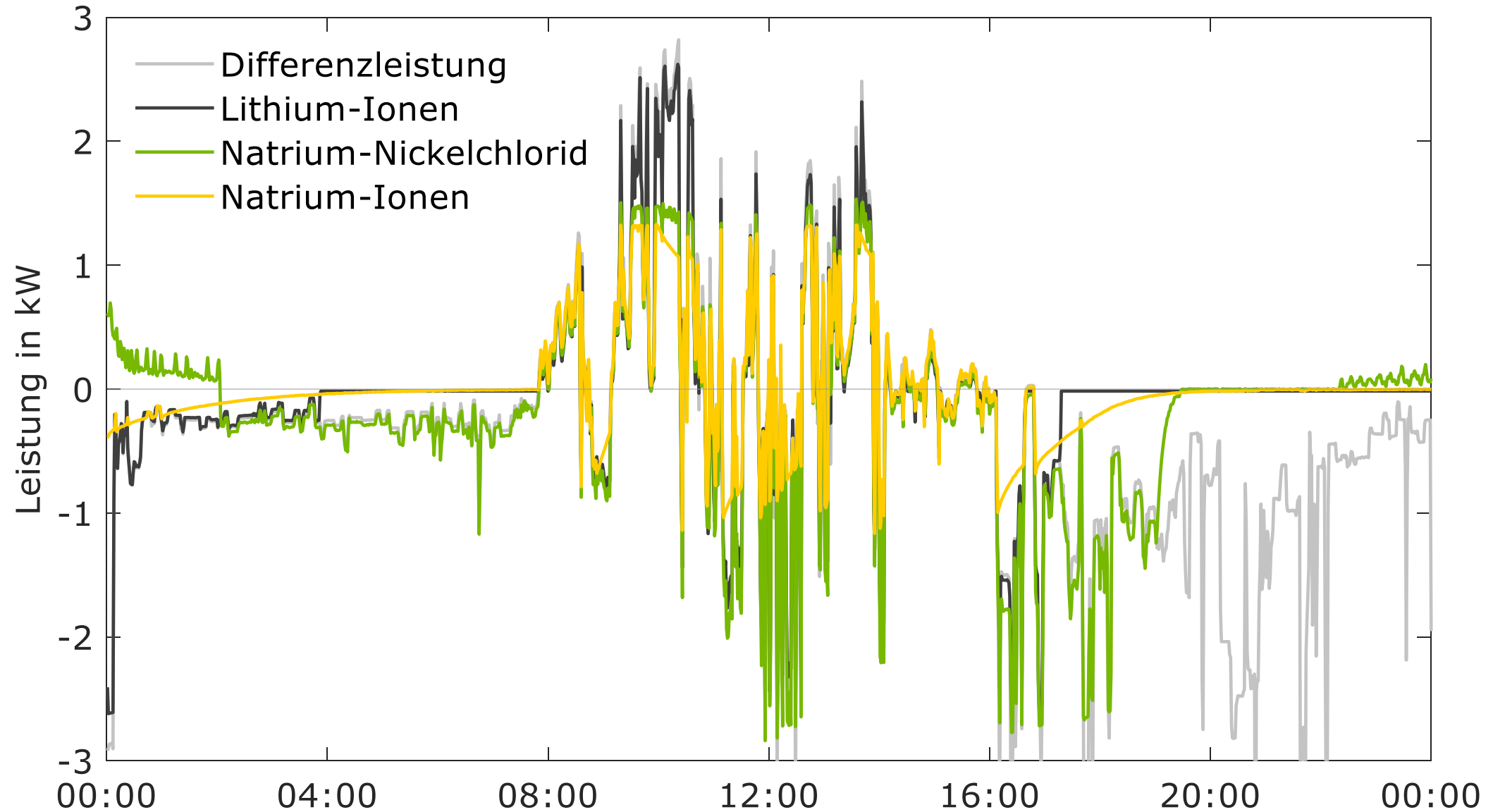
Leistungsaufnahme der Hochtemperaturbatterie im entladenen Zustand. Zur Einhaltung der minimalen Betriebstemperatur der Batterie von 265 °C nimmt das Batteriesystem während der Nachheizphase im Mittel 130 W AC-seitig auf.

Betriebsverhalten der Batteriesysteme über mehrere Tage



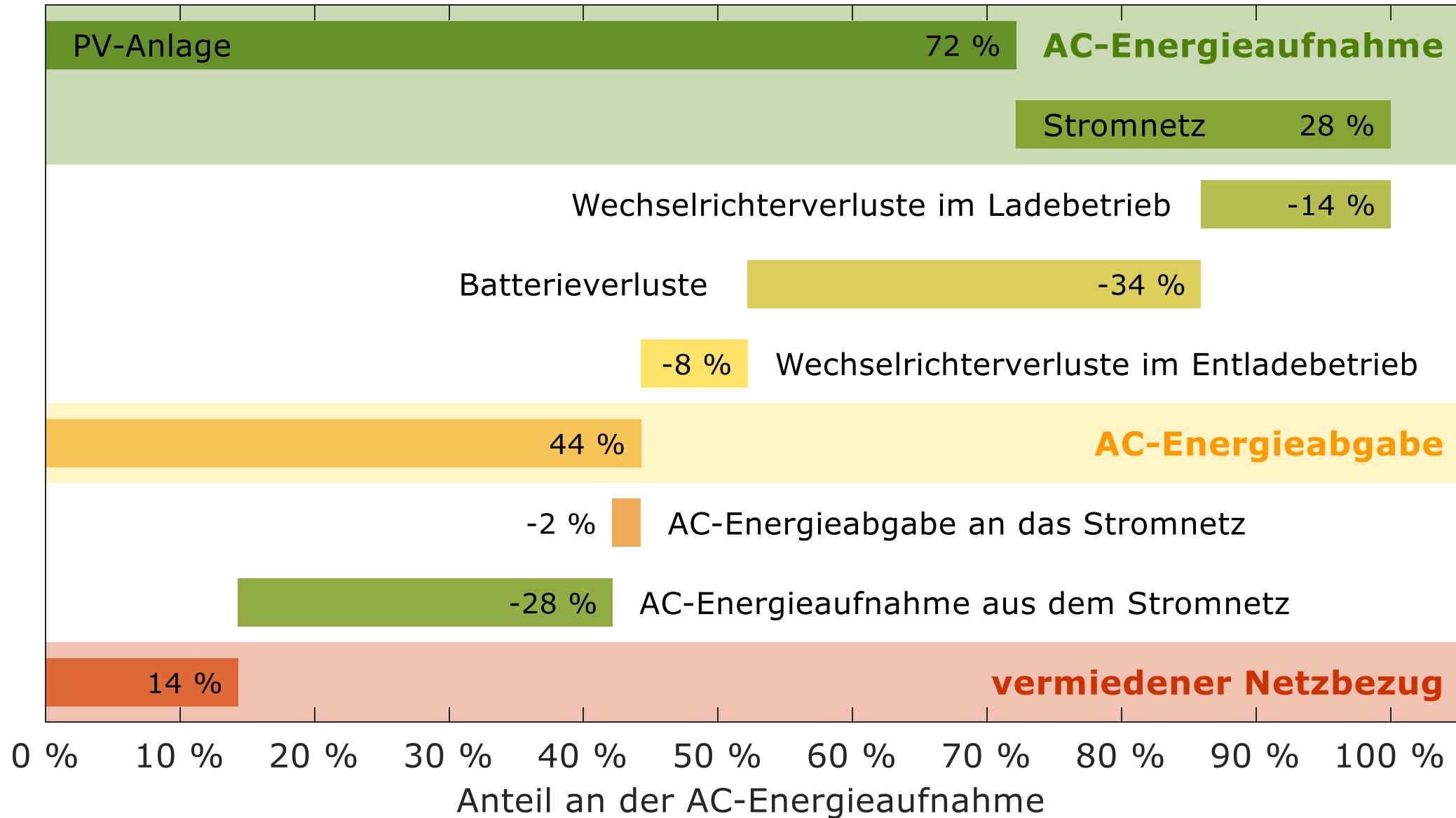
Zeitlicher Verlauf der Differenzleistung (PV-Leistung abzüglich der elektrischen Last) sowie der gemessenen AC-Leistung der 3 untersuchten Speichersysteme.

Betriebsverhalten der Batteriesysteme an einem Herbsttag



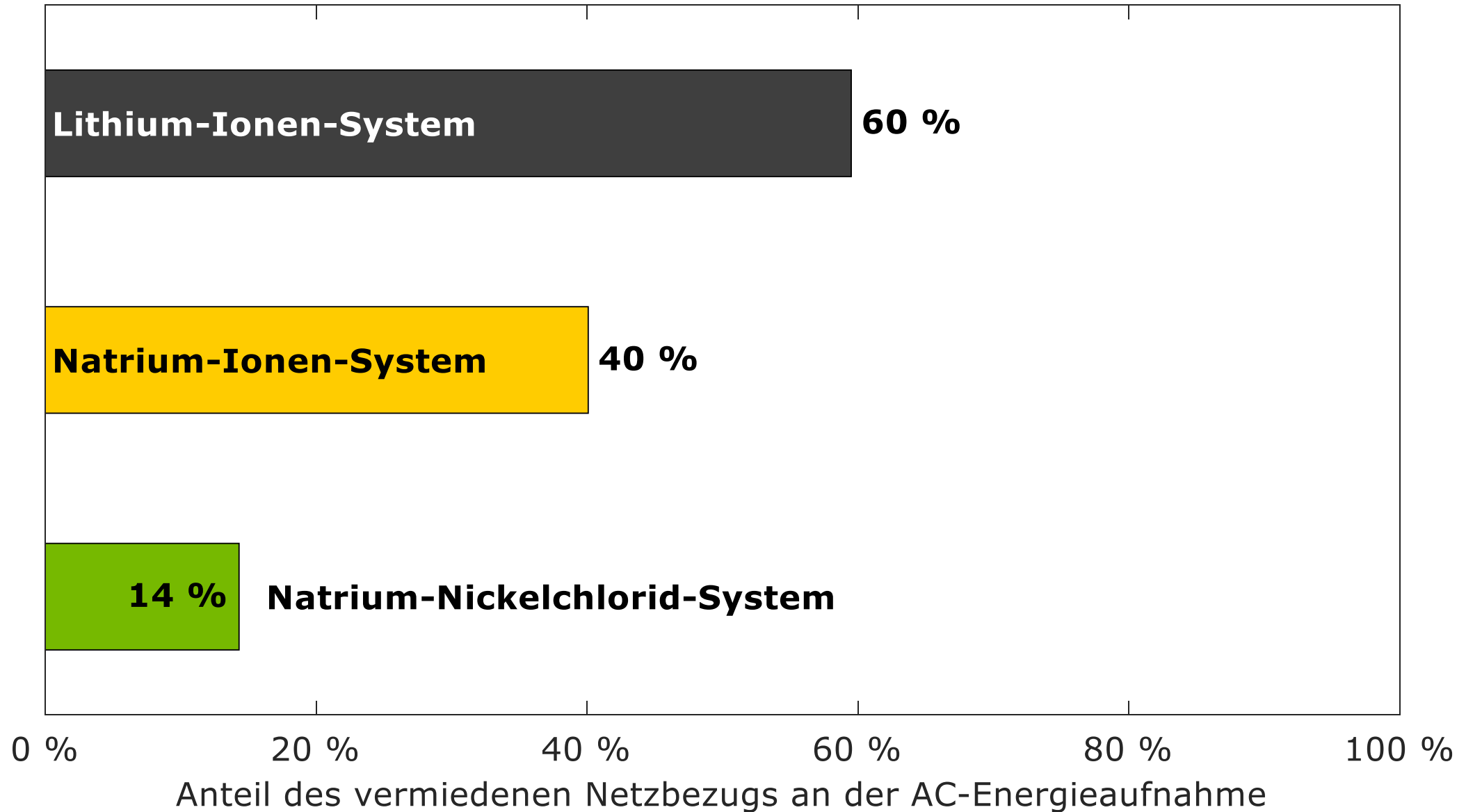
Tag 4 des Anwendungstests: Zeitlicher Verlauf der Differenzleistung (PV-Leistung abzüglich der elektrischen Last) sowie der gemessenen AC-Leistung der 3 untersuchten Speichersysteme.

Vermiedener Netzbezug des Natrium-Nickelchlorid-Systems



Prozentualer Anteil der Verluste und des vermiedenen Netzbezugs an der AC-Energieaufnahme des Natrium-Nickelchlorid-Speichersystems während des sechstägigen Anwendungstests.

Vermiedener Netzbezug unterschiedlicher Batterietechnologien



Referenz: AC-Energieaufnahme der Speichersysteme während des sechstägigen Anwendungstests. Hocheffiziente Lithium-Systeme können im Vergleich zu dem untersuchten Lithium-System der ersten Produktgeneration Werte von über 70 % erreichen.

Zusammenfassung der Ergebnisse zu den alternativen Batterien

- Im 4. Schwerpunkt der Stromspeicher-Inspektion 2023 wurde die Energieeffizienz von **alternativen Batterietechnologien** von der HTW Berlin und vom KIT verglichen.
- Die Labortests belegen, dass die **Speicherverluste** der Natrium-Nickelchlorid-Batterien um das Siebenfache höher sind als die der Lithium-Ionen-Batterien.
- Ebenfalls verbesserungswürdig ist die **geringe Leistungsfähigkeit** der Natrium-Ionen-Batterien, die mit sinkendem Ladezustand sogar noch weiter abnimmt.
- Die Gesamtsystemeffizienz der alternativen Batteriesysteme wird darüber hinaus stark von der **hohen AC-Energieaufnahme** der Systeme beeinträchtigt.
- Die Stromspeicherung in Natrium-Ionen- und Natrium-Nickelchlorid-Batterien ist folglich im Vergleich zur Speicherung in Lithium-Ionen-Systemen deutlich verlustbehafteter.
- **Verbesserungen** hinsichtlich der verwendeten Materialien, der erreichbaren Energiedichten, der Leistungsfähigkeit sowie der Wirkungsgrade sind notwendig.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



solar.htw-berlin.de/inspektion