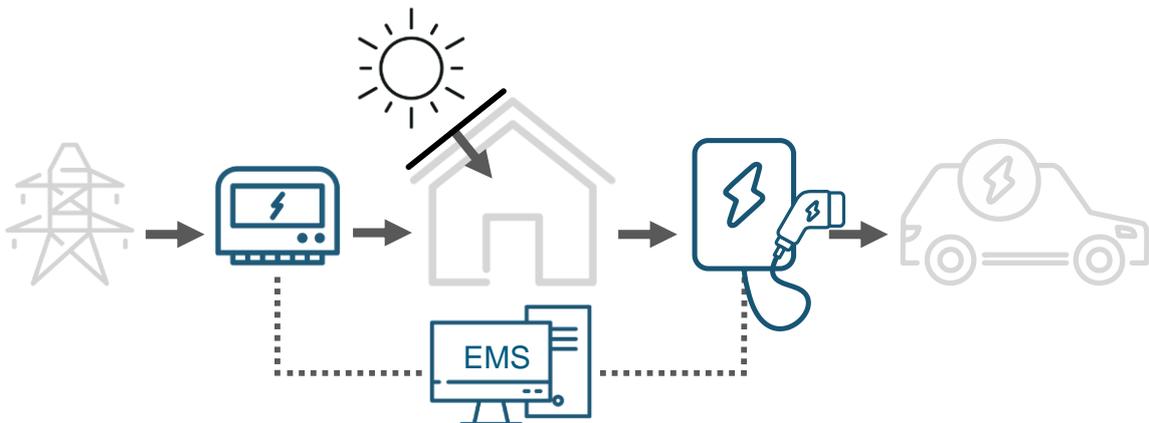


# Prüfrichtlinie

## Unidirektionales und Solares Laden Version 1.1



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Prüfrichtlinie

## Unidirektionales und Solares Laden Version 1.1

**Fraunhofer ISE**

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haussmann  
Dennis Freiberger  
Jan Körber

**HTW Berlin**

Nico Orth  
Joseph Bergner

**ADAC e.V.**

Matthias Vogt  
Michael Peukert

**Förderkennzeichen**

WBInspektion  
01MV23027 A und B

**Datum**

7. Dezember 2025

**Kontakt**

Dr.-Ing. Bernhard Wille-Haussmann  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Heidenhofstr. 2, 79110 Freiburg  
Telefon: +49 / 761 4588 – 5443  
E-Mail: [bernhard.wille-haussmann@ise.fraunhofer.de](mailto:bernhard.wille-haussmann@ise.fraunhofer.de)

**<https://wallbox-inspektion.de>**

**Changelog v.1.1**

Klarstellungen und Anpassungen bei der Messung  
Ergänzung Test 3.5 – Haltezeit-Test  
Ergänzung Test 3.7 – Rampen-Test  
(ersetzt Test minimale und maximale Ladeleistung)  
Ergänzung Test 4 – Dynamische Prüfungen

## Inhalt

<b>Abkürzungen .....</b>	<b>4</b>
<b>Begriffe und Formelzeichen .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Systemgrenze .....	7
<b>2 Prüfaufbau.....</b>	<b>9</b>
2.1 Stromnetz Modellierung.....	10
2.2 Haus-Emulation .....	10
2.3 Elektrofahrzeug-Emulation .....	11
2.4 Anforderungen an die Messgeräte und den Prüfstand.....	13
2.5 Prüfablauf.....	14
<b>3 Statische Prüfungen .....</b>	<b>15</b>
3.1 Stand-by-Verbrauch .....	15
3.2 Peripherieverbrauch .....	19
3.3 Regeltüte, Einschwingzeit und Totzeit.....	21
3.4 Phasenumschaltung zwischen dem 1- und 3-phasigen Betrieb.....	25
3.5 Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung.....	29
3.6 Rampentest .....	33
<b>4 Dynamische Prüfungen .....</b>	<b>37</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>40</b>
<b>A Danksagung.....</b>	<b>41</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>42</b>

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
<b>CP</b>	Control Pilot Kontakt
<b>TV</b>	Tastverhältnis (duty cycle)
<b>EMS</b>	Energiemanagementsystem
<b>EV</b>	Elektrofahrzeug (engl. Electric Vehicle)
<b>EVCC</b>	Fahrzeugladeregler (engl. Electric Vehicle Charge Controller)
<b>M</b>	Messpunkt
<b>mME</b>	Moderne Messeinrichtung
<b>iMSys</b>	Intelligentes Messsystem (engl. Smart Meter)
<b>NAP</b>	Netzanschlusspunkt
<b>OBC</b>	Ladegerät im Fahrzeug (engl. Onboard-Charger)
<b>PP</b>	Proximity Pilot bzw. Proximity Detection Kontakt
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>PWM</b>	Pulsweitenmoduliertes Signal
<b>Z</b>	Stromzähler
<b>DC</b>	Gleichstrom (engl. Direct Current)
<b>AC</b>	Wechselstrom (engl. Alternating Current)
<b>P-HIL</b>	Hard- und Softwareschnittstelle zur Kopplung von Softwaremodellen mit realen Leistungsflüssen (engl. Power Hardware in the Loop)

## Begriffe und Formelzeichen

Begriffe & Formelzeichen	Bedeutung
$I_{CP}$	Durch das TV auf dem CP-Kontakt vorgegebener maximal erlaubter Ladestrom für das Elektrofahrzeug
$I_{EV}$	Strom Elektrofahrzeug
$I_{EV, max}$	Maximal zulässiger Ladestrom des Elektrofahrzeugs
$I_{Haus}$	Strom sonstiger Verbrauch/Erzeugung (Verbrauch positiv)
$I_{max, PP}$	Maximal erlaubter Strom des Ladekabels, durch PP definiert
$I_{Netz}$	Strom Netzanschlusspunkt
$I_{step, x-ph}$	Diskretisierungsschrittweite des Stroms (Stromschrittweite) im 1-phasigen oder 3-phasigen Betrieb (x-ph)
$I_{WB, max, x-ph}$	Maximaler Strom Wallbox im 1-phasigen oder 3-phasigen Betrieb (x ist dabei mit der Phasenanzahl zu ersetzen)
$I_{WB, min, x-ph}$	Minimaler Strom Wallbox im 1-phasigen oder 3-phasigen Betrieb (x ist dabei mit der Phasenanzahl zu ersetzen)
$M_{EV}$	Messung Elektrofahrzeug
$M_{Haus}$	Messpunkt sonstiger Verbrauch/Erzeugung (Verbrauch positiv)
$M_{KOMM}$	Messpunkt für die Kommunikation zwischen Wallbox und Fahrzeug
$M_{Netz}$	Messpunkt Netzanschlusspunkt
$P_{Deep-Stand-by}$	Wirkleistung Deep-Stand-by gesamtes Wallboxsystem
$P_{Deep-Stand-by, WB}$	Wirkleistung Deep-Stand-by der Wallbox (ohne Peripherie)
$P_{EV}$	Wirkleistung Elektrofahrzeug
$P_{Haus}$	Wirkleistung sonstiger Verbrauch/Erzeugung
$P_{Netz}$	Wirkleistung Netzanschlusspunkt (Bezug positiv)
$P_{Peri}$	Wirkleistung der Peripherieverbraucher
$P_{Stand-by}$	Wirkleistung Stand-by gesamtes Wallboxsystem
$P_{Stand-by, WB}$	Wirkleistung Stand-by der Wallbox (ohne Peripherie)
$P_{Verlust}$	Verlustwirkleistung Wallbox im Betrieb
$P_{WB, max, x-ph}$	Maximale Wirkleistung Wallbox im 1-phasigen oder 3-phasigen Betrieb (x ist dabei mit der Phasenanzahl zu ersetzen)
$P_{WB, min, x-ph}$	Minimale Wirkleistung Wallbox im 1-phasigen oder 3-phasigen Betrieb (x ist dabei mit der Phasenanzahl zu ersetzen)
$R_{PP}$	Widerstand zwischen PP und PE kodiert die maximale Strombelastbarkeit des Ladekabels
$t_{CP, set}$	Einstellzeit bis zum Erreichen der Sollwertvorgabe nach dem Startvorgang
$t_E$	Einschwingzeit bis zum Erreichen der Sollwertvorgabe im Betrieb
$t_E, Phasenumschaltung$	Einschwingzeit bis zum Erreichen der Sollwertvorgabe während der Phasenumschaltung
$t_{Ende, Halten}$	Zeitpunkt ab dem die Wallbox die Ladung unterbricht (Test Haltezeit)
$t_{Haltezeit, Ende}$	Haltezeit nach der Reaktion der Wallbox vor dem Beenden der Ladung abzüglich der mittleren Totzeit
$t_{Haltezeit, Start}$	Haltezeit nach der Reaktion der Wallbox vor dem Starten der Ladung abzüglich der mittleren Totzeit
$t_{Haltezeit, Phasenumschaltung}$	Haltezeit nach Reaktion der Wallbox bis zum Abschalten.
$t_P, Phasenumschaltung$	Pausenzeit zur Phasenumschaltung

$t_{\text{mess}}$	Messintervall zur Erfassung der Messgrößen
$t_{\text{set, Halten}}$	Zeitpunkt bei dem der Strom $I_{\text{Haus}}$ geändert wird
$t_{\text{start}}$	Zeit bis zum Start des Ladevorgangs
$t_{\text{start, Halten}}$	Zeitpunkt ab dem die Wallbox die Ladung beginnt
$t_{\text{T}}$	Totzeit bis zum Einstellen der Sollwertvorgabe im Betrieb
$t_{\text{T, Ende, Halten}}$	Zeitspanne von Leistungssprung an $I_{\text{Haus}}$ bis die Wallbox ihre Ladung beendet
$t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$	Totzeit bis zum Erreichen der Sollwertvorgabe während der Phasenumschaltung
$t_{\text{T, Start, Halten}}$	Zeitspanne von Leistungssprung an $I_{\text{Haus}}$ bis zum Ladestart
$TV$	Tastverhältnis (duty cycle) des PWM-Signals auf CP-Kontakt
$t_{\text{warten}}$	Wartezeit bis zur Messung eines stabilen Ladestroms
$\Delta I_{\text{CP}}$	stationäre Regelabweichungen (vorzeichenbehaftet)
$U_{\text{CP}}$	Spitzenspannung des PWM-Signals auf dem CP-Kontakt

## 1 Einführung

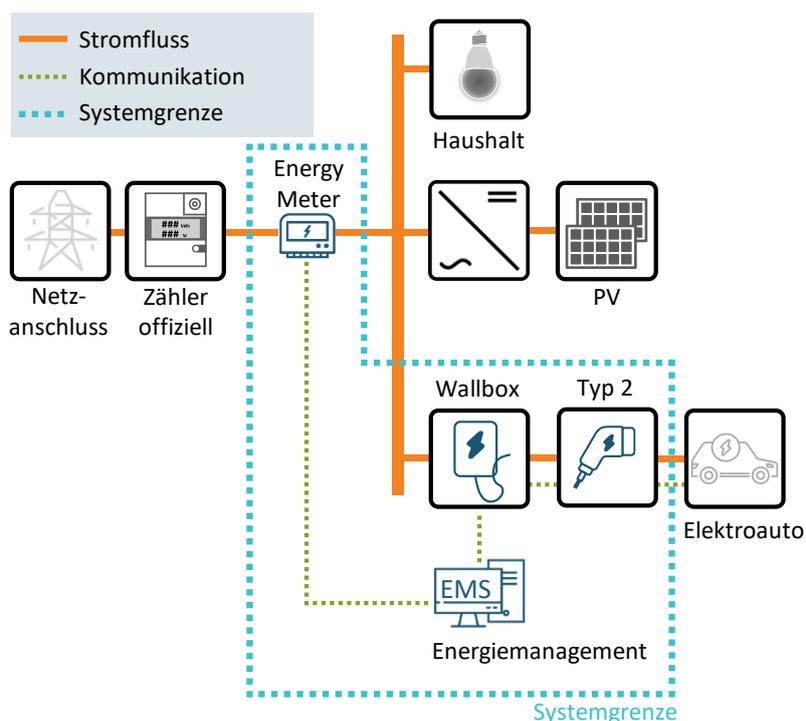
Das vorliegende Dokument ist ein Prüflitfadens zur einheitlichen und reproduzierbaren Charakterisierung zentraler Systemeigenschaften von gesteuerten unidirektionalen Ladelösungen für Elektrofahrzeuge im Privatbereich (auch als Wallbox bezeichnet). Ziel ist ein Qualitätsstandard für das sog. Überschussladen, das heißt ein gezieltes Laden des Fahrzeugs bei hoher Erzeugung durch die gekoppelte Photovoltaikanlage (PV). Im Fokus stehen neben dem Systemverbrauch im Betrieb und im Stand-by-Modus die Regelungseffizienz und Betriebseffekte, die beim solaren Laden von Elektrofahrzeugen eine zentrale Rolle spielen, wie z. B. reduzierte Leistungen und die Phasenumschaltung zwischen dem 1- und 3-phasigen Betrieb.

Aus den Ergebnissen der beschriebenen Testverfahren lassen sich einerseits Datenblattangaben ableiten und Simulationsmodelle parametrisieren.

Hinweis: Der Prüflitfaden beschreibt ausschließlich Prüfroutinen für die technische Charakterisierung der Systemperformance. Die Messungen nach dem Leitfaden ersetzen keine Zertifizierungen nach nationalen und internationalen Normen und Sicherheitsstandards (u.a. IEC 61851, DIN IEC / TS 61439-7).

### 1.1 Systemgrenze

Der Leitfaden beschreibt die einheitliche Messung der Energieeffizienz und der Regelgüte für gesteuertes Laden von Ladelösungen für Elektrofahrzeuge. Abbildung 1 stellt schematisch das Heimenergiesystem dar, in das die Wallbox integriert ist. Um das solare Laden des Elektroautos mit einer Photovoltaikanlage (PV) über die Wallbox im Prüflitfaden abzubilden, wird in der Systemgrenze des Wallbox-Tests der zusätzliche Zähler bzw. Stromsensoren am Netzanschlusspunkt (NAP) sowie das Energiemanagementsystem (EMS) mitberücksichtigt. Für den Test gelten die übrigen Komponenten, wie z.B. stationäre Batterien, des Hauses als nicht beeinflussbar. Der Stromsensor steht hier stellvertretend für die Führungsgröße des gesteuerten Ladens. Die im Folgenden beschriebenen Komponenten sollen mit den Prüfungen hinsichtlich ihrer Qualität bewertet werden, das solar gesteuerte Laden zu ermöglichen.



**Abbildung 1:** Systemgrenze des Wallbox-Tests. Alle anderen Komponenten im Haus werden als nicht beeinflussbar angenommen.

## Stromzähler

Es wird davon ausgegangen, dass am Netzanschlusspunkt ein dedizierter Stromzähler (häufig auch Energy Meter genannt) installiert ist. Dieser ist häufig als zusätzlicher Zähler hinter dem abrechnungsrelevanten offiziellen Stromzähler (Smart Meter auch intelligentes Messsystem (iMSys) bzw. moderner Messeinrichtung (mME) installiert. In vielen Fällen ist er mit klemmbaren Stromwandlern ausgeführt. Dieses System misst die residuale Last des Hausanschlusses, also die Haushaltslast abzüglich aller Erzeugungsleistung, welche als Regelgröße für das solare Laden im Energiemanagement genutzt wird.

## Wallbox

Die Wallbox bildet die Schnittstelle zwischen dem Stromnetz und dem Elektrofahrzeug. Im Kontext des solaren Ladens ist ihre Kernaufgabe die Vorgabe eines maximalen Ladestroms an das Fahrzeug zu kommunizieren und den Ladevorgang durch Freigabe des Ladestroms zu initiieren. Sofern es technisch umgesetzt ist, kann die Wallbox im Falle des AC-Ladens das Umschalten zwischen 1- und 3-phasigen Laden steuern.

## Energiemanagement

Die Bewertung der residualen Last sowie das Übersetzen und Erstellen von Steuersignalen erfolgt über ein Energiemanagementsystem (EMS). Dieses kann in der Wallbox integriert oder extern ausgeführt sein. Darüber hinaus bietet das Energiemanagement das Interface zu den Nutzenden, so dass Ladevorgaben Berücksichtigung finden können.

Generell beinhaltet die Prüfung einen Systemtest für ein vom Hersteller empfohlenes Wallbox-System, bestehend aus zusätzlichem Stromzähler am NAP, Energiemanagement und Wallbox, für den Anwendungsfall „solares Laden“. Der Fokus der Prüfungen liegt auf der Bewertung der Effizienz und der Regelqualität rund um das solare Laden. Für die Prüfung sollen die Standardeinstellungen des Herstellers genutzt werden.

Häufig sind mehrere Modi in der Parametrierung verfügbar und die Benennung zum „solaren Laden“ nicht eindeutig. Hier ist der Lademodus zu wählen, der ein reines „solares Überschussladen“ verspricht. Es sind die Schwellwerte der Standardeinstellung zu wählen. Der gewählte Wallbox-Modus und dessen Parametrierung sind im Prüfprotokoll zu vermerken.

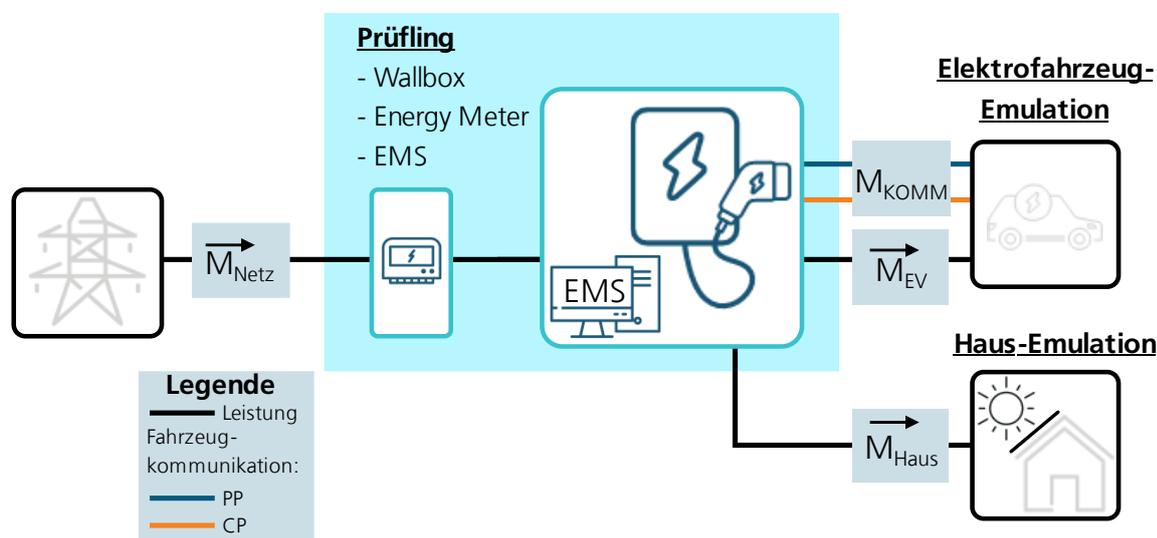
In Ausnahmefällen kann es notwendig werden, Einstellungen zu verändern (z.B. Aktivieren des solaren Ladens). In diesem Fall sind diese im Prüfbericht zu benennen und ggf. mit dem Hersteller abzustimmen. Empfiehlt ein Hersteller keine spezifischen Geräte für die Ausführung, sind vom Prüfinstitut ein Zähler und ein EMS auszuwählen und im Prüfbericht zu dokumentieren.

## 2 Prüfaufbau

Im Folgenden wird der Aufbau für die Wallbox-Prüfung detailliert beschrieben. Hierfür werden die folgenden Messpunkte vorgegeben:

- $M_{\text{Netz}}$ : Netzanschlusspunkt zur Messung des Netzaustauschs
- $M_{\text{EV}}$ : Anschlusspunkt des Ladesteckers zur Messung der Leistungsaufnahme des E-Fahrzeuges
- $M_{\text{Haus}}$ : Messung des Leistungsbezugs bzw. der Leistungseinspeisung der Solaranlage des Haushalts ohne Elektrofahrzeug
- $M_{\text{KOMM}}$ : Erfassung des CP und PP Signals

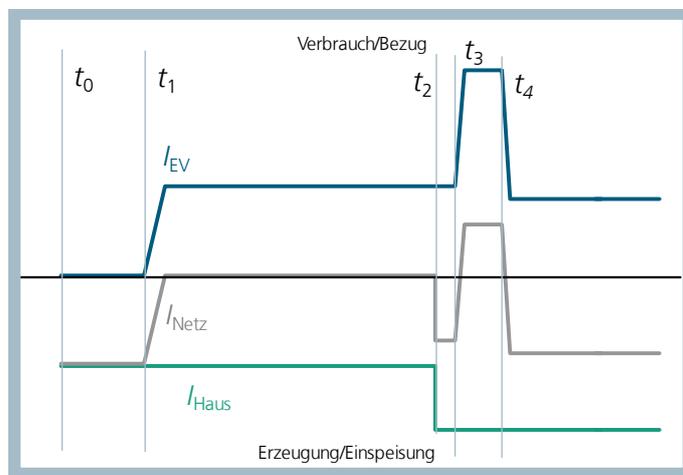
Ob alle Messpunkte für die Analyse benötigt werden, hängt von der jeweiligen Prüfung und vom Systemkonzept ab. Der in Abbildung 2 skizzierte Prüfaufbau soll die Messung in Bezug auf die Effizienz rund um den Prüfling ermöglichen. Das CP- und PP-Signal werden in der Fahrzeug-Emulation ausgewertet. Sie ist in Abschnitt 2.3 beschrieben.



**Abbildung 2:** Vollständiger Prüfaufbau für die Prüfungen der unidirektionalen, solaren Ladelösung mit den Messpunkten  $M_{\text{Netz}}$ ,  $M_{\text{EV}}$  und  $M_{\text{Haus}}$ ,  $M_{\text{KOMM}}$  (die Pfeilrichtung definiert positive Leistungsflüsse)

An den Messpunkten erfolgt die Strom-, Spannungs- bzw. Leistungsmessung für den Netzaustausch  $P_{\text{Netz}}$ , das Elektrofahrzeug  $P_{\text{EV}}$  und den Haushalt inklusive Elektrofahrzeug  $P_{\text{Haus}}$ . Die in Abbildung 2 gezeigte Pfeilrichtung definiert positive Leistungsflüsse entsprechend dem Verbraucherzählpeilsystem. Um die Ströme an den Systemgrenzen zu verdeutlichen, zeigt Abbildung 3 einen exemplarischen Verlauf der Ströme  $I_{\text{Netz}}$ ,  $I_{\text{EV}}$  und  $I_{\text{Haus}}$ :

- Zum Zeitpunkt  $t_0$  speist die PV-Anlage einen Strom ein,  $I_{\text{Haus}}$  ist daher negativ. Der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  ist nahezu identisch, weicht jedoch um den Stand-by-Verbrauch der Wallbox ab.
- In  $t_1$  aktiviert die Wallbox die Ladung und bezieht einen höheren Strom, so dass der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  um den Wallboxstrom  $I_{\text{EV}}$  ansteigt, während der Strom  $I_{\text{Haus}}$  identisch bleibt.
- Mit dem höheren eingespeisten Strom  $I_{\text{Haus}}$  zum Zeitpunkt  $t_2$ , wird der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  wieder negativ. Erhöht sich z. B. nach einem Eingriff des EMS der Wallboxstrom  $I_{\text{EV}}$  steigt auch der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  an,
- wie in  $t_3$  zu sehen. Der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  kann auch positive Werte annehmen, wenn die Last größer als die Erzeugung ist.
- Wird der Wallboxstrom  $I_{\text{EV}}$  wieder reduziert ( $t_4$ ), fällt auch der Netzstrom  $I_{\text{Netz}}$  wieder in den negativen Bereich und weist auf eine Einspeisung hin. Da über die Messungen auch Stand-by-Verluste erfasst werden, ist die in Tabelle 3 zusammengefasste Genauigkeit zu berücksichtigen, die auch im Prüfbericht zu dokumentieren ist.



**Abbildung 3:** Exemplarischer Verlauf der Ströme  $I_{Netz}$ ,  $I_{EV}$  und  $I_{Haus}$ . Ströme unterhalb der Nulllinie bedeuten Erzeugung/Einspeisung, Ströme oberhalb der Nulllinie Verbrauch/Netzbezug.

## 2.1 Stromnetz Modellierung

Für alle Messungen wird davon ausgegangen, dass die Prüfungen an einem hinreichend starken Netzanschlusspunkt durchgeführt werden. Das heißt die Netzspannung ist in einem Bereich von  $\pm 3\%$  um die Nennspannung konstant. Die mittlere Netzspannung ist für die einzelnen Prüfungen zu erfassen und zu dokumentieren.

Ist die Netzspannung nicht hinreichend konstant, wird der Einsatz eines Netzsimulators empfohlen. Nur mit einer konstanten Spannung kann sichergestellt werden, dass alle Prüfung ein repräsentatives Ergebnis liefern. Der Verlauf der Netzspannung ist zu beobachten und bei Bedarf grafisch in Abhängigkeit der Belastung zu dokumentieren.

Da das EMS der Wallbox auf die am Netzanschlusspunkt gemessene Residuallast regelt, ist es entscheidend, die Reaktionszeiten dieses Stromsensors bzw. Energy Meter mit im Prüfaufbau zu betrachten und den originalen Sensor zu nutzen. Um einen Wert für die Residuallast nachzubilden wird ein entsprechender Überschuss bzw. mit Lastemulator eingestellt.

## 2.2 Haus-Emulation

Da in einem Haushalt mit einer Solaranlage sowohl Bezug als auch Einspeisung möglich ist, ist die Emulation des Haushalts als steuerbare elektrische Senke/Quelle auszuführen. Die Haus-Emulation muss ein Steuersignal mit einer gewissen Güte umsetzen können. Die Parameter hierfür sind in Tabelle 1 genannt.

Wallboxen kommunizieren über den CP-Kontakt an das Elektrofahrzeug den maximal erlaubten Ladestrom  $I_{CP}$ , der über das Tastverhältnis definiert ist. Ein EMS in Verbindung mit einem Zähler definiert diesen Strom entsprechend der Messung am NAP. Um für die Prüfungen die Spannungsabhängigkeit des Sollwertes zu vermeiden, soll die Erzeugung bzw. der Verbrauch des Hauses über den Strom und nicht über einen Leistungswert vorgegeben werden.

**Tabelle 1:** Anforderungen für die Haus-Emulation mit elektrischer Last

Parameter	Wert und Einheit	Kommentar
Stationäre Regelgüte	$\pm 250$ W	
Totzeit	0,1 s	
Einschwingzeit 90 %	0,2 s	
Leistungsbereich	$\pm 25$ kVA	

## 2.3 Elektrofahrzeug-Emulation

Für die Prüfung von Wallboxen ist es essenziell mit einer zuverlässigen Emulation des Elektrofahrzeuges das Ladeverhalten zu steuern. Im Projekt WBInspektion [1] wurde die Power Hardware-in-the-Loop (P-HIL) Simulation des Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen modelliert. Für Details sei auf die eigene Dokumentation des digital Fahrzeugzwillings „ev twin“ [2] hingewiesen. In diesem Prüfleitfaden sind die wichtigsten Bausteine sowohl hardware- als auch softwareseitig beschrieben, um einen Ladevorgang mit realem Leistungsfluss zu emulieren.

### 2.3.1 Technischer Hintergrund

Um die Wallbox mit dem modellierten Elektrofahrzeug zu verknüpfen, ist ein Hardware-Interface erforderlich. Dieses stellt im Wesentlichen die Kommunikation gemäß IEC 61851-1 zwischen Fahrzeugladeregler (EVCC, engl. Electric Vehicle Communication Controller) und Wallbox her. Abbildung 4 stellt das Hardware-Interface, den Anschluss der Kontakte CP (Control Pilot), PP (Proximity Pilot) und den Leistungsfluss dar, die für eine Prüfung zu emulieren sind. Zwischen Wallbox und Fahrzeug findet die Kommunikation über den CP-Kontakt statt. Die Basis ist die Signalisierung nach IEC 61851-1. Für Details bzgl. der Auswertung von CP und PP sei auf die IEC 61851-1 verwiesen [3].

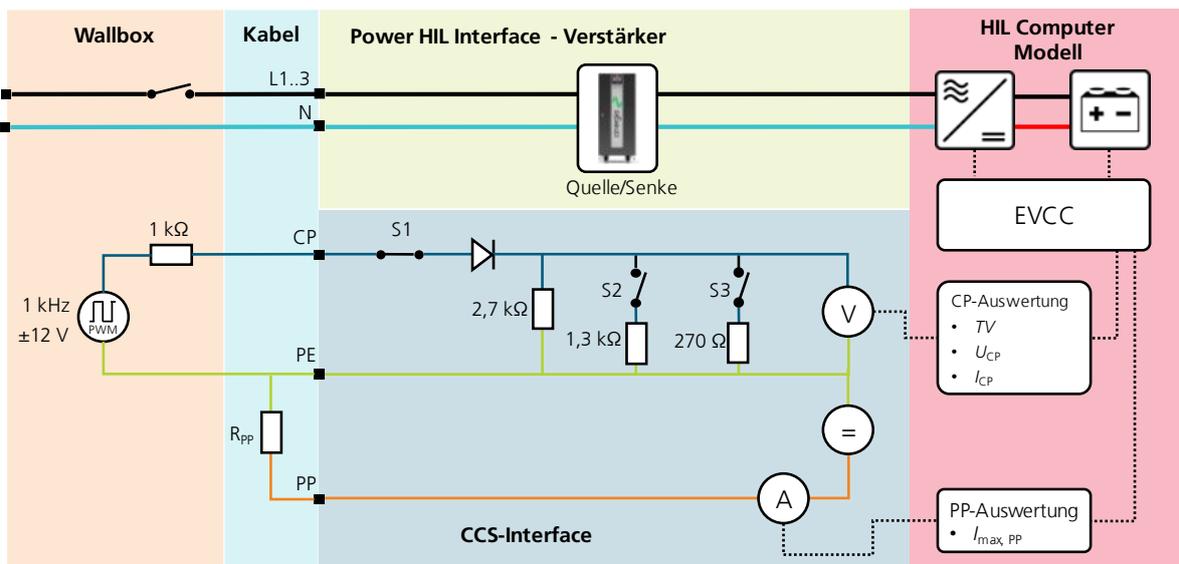
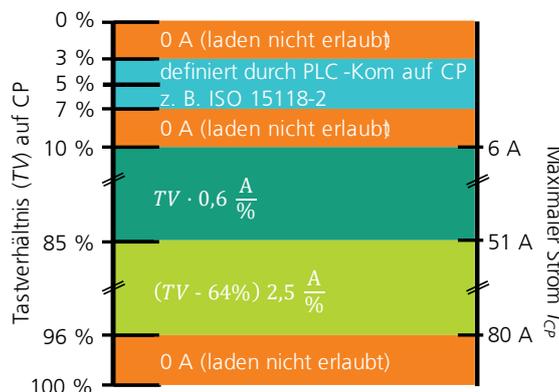


Abbildung 4: Hardware-Aufbau zum Anschluss der Wallbox gemäß IEC 61851-1 [3]

Sobald das Elektrofahrzeug mit der Wallbox verbunden wird (S1 geschlossen), misst das Fahrzeug auf dem CP-Kontakt ein pulswidenmoduliertes (PWM) Signal. Über das Tastverhältnis  $TV$  (engl. Duty cycle) des PWM-Signals kommuniziert die Ladestation dem Fahrzeug, welcher maximale Ladestrom  $I_{CP}$  freigegeben wird. Welcher Strom tatsächlich bezogen wird, hängt in der Praxis vom Fahrzeug ab. Abbildung 5 visualisiert die Auswertung des  $TV$ . Für das Standard-Pilotsignalgesteuerte Laden ist gemäß IEC 61851-1 ein Bereich zwischen 10 % und 96 % zulässig. Abbildung 5 verdeutlicht auch, dass in diesem Fall nur ein minimaler Ladestrom von 6 A durch die Wallbox vorgegeben werden kann.



**Abbildung 5:** Maximaler Strom  $I_{CP}$  definiert durch das Tastverhältnis  $TV$  auf dem CP-Kontakt

Seine Ladeanforderung kommuniziert das Elektrofahrzeug durch das Schließen des Schalters S2, die Spitzenspannung des PWM-Signals auf dem CP-Kontakt fällt von ca. 9 V (Systemstatus B) auf rund 6 V und gibt das Laden frei. Ist in der Wallbox das Laden freigegeben, beginnt die Ladung und Spannung wird aktiviert. Der Systemstatus C ist erreicht. In Abhängigkeit des in der Wallbox generierten PWM-Signals auf CP (PWM messbar oder nicht) und des Schaltzustandes auf der Fahrzeugseite (eingesteckt, Schalter S2) ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Systemzustände für die Ladestation. Diese Systemzustände sind relevant in der Vorbereitung der jeweiligen Prüfung, aber auch für die Vermessung des Stand-by Verbrauchs.

**Tabelle 2:** Mögliche über den CP-Kontakt spezifizierte Systemzustände der Wallbox gemäß IEC 61851-1

Systemzustand		Wallbox		Elektrofahrzeug			Wallbox bereit
		Spitzenwert $U_{CP}$	PWM Status	Angeschlossen	S2	S3	
A1	Leerlauf	12 V	Aus	nein	n. relevant		nein
A2	Leerlauf bereit	12 V	An		ja	offen	offen
B1	angeschlossen	9 V	Aus	ja	zu	zu	nein
B2	angeschlossen PWM	9 V	An				ja
C1	ladebereit	6 V	Aus				nein
C2	ladebereit PWM	6 V	An		ja		
D1	Ventilation	3 V	Aus		nein		
D2	Ventilation PWM	3 V	An		ja		
E	Fehler	0 V	Aus	n. relevant	n. relevant		nein
F	Ungültig	-12 V	Aus				nein

Vor dem Starten des Ladevorgangs im Fahrzeug muss der Fahrzeugladeregler als zusätzliche Restriktion die Strombelastbarkeit des Ladekabels beachten. Diese wird über einen Widerstand  $R_{PP}$  am PP-Kontakt codiert. Für die maximale Strombelastbarkeit des Ladekabels  $I_{max, PP}$  sind folgende Werte vorgesehen:

$$I_{max, PP} = \begin{cases} 63 \text{ A} & 80 \Omega \leq R_{PP} < 140 \Omega \\ 32 \text{ A} & 164 \Omega \leq R_{PP} < 308 \Omega \\ 20 \text{ A} & 400 \Omega \leq R_{PP} < 936 \Omega \\ 13 \text{ A} & 1100 \Omega \leq R_{PP} < 2460 \Omega \\ 0 \text{ A} & R_{PP} < 60 \Omega \text{ || } R_{PP} > 2200 \Omega \end{cases} \quad (1)$$

Der Fahrzeugladeregler kann einen Strom  $I_{EV} \leq \min(I_{CP}, I_{max, PP}, I_{EV, max})$  in seinem integrierten Ladegerät (OBC, engl. On-board charger) einstellen. Über eine Spannungsmessung erkennt der Fahrzeugladeregler, ob 1- oder 3-phasig geladen wird und welche Phasen des OBC aktiviert werden müssen. Im Modell wird dieser Strom über den Verstärker in Abbildung 4 in der Fahrzeug-Emulation „ev twin“ eingestellt.

### 2.3.2 Parametrierung Fahrzeug-Emulation

Wichtigste Voraussetzung für die Wallboxprüfungen ist das Starten des Ladevorgangs im Fahrzeug. In allen Prüfungen darf, sofern nichts anderes vermerkt ist, vorgegeben werden, dass der Schalter S2 immer geschlossen ist. Das heißt: Das Fahrzeug startet immer im Zustand C, sobald es eingesteckt wird.

Zusätzlich muss im Fahrzeug für jede Prüfung ein Ladestrom  $I_{EV} \leq I_{EV, max}$  vorgegeben werden. Wenn im Folgenden die maximale Ladeleistung oder der maximale Ladestrom des Emulators definiert wird, so ist die maximale Ladeleistung im Emulator auf die nach Hersteller angegebene maximale Leistung der Wallbox  $P_{WB, max}$  (z. B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

## 2.4 Anforderungen an die Messgeräte und den Prüfstand

Mit den Prüfungen sollen die Spannungen und Ströme an den drei Messpunkten  $M_{Netz}$ ,  $M_{EV}$ ,  $M_{Haus}$  erfasst werden. Der Messung am NAP ( $M_{Netz}$ ) kommt eine besondere Bedeutung zu, da hier auch der Stand-by Verbrauch erfasst wird. Tabelle 3 fasst die erforderlichen Genauigkeiten für die Strom- und Spannungsmessungen zusammen.

Die verwendete Messtechnik (Stromwandler, Shunts, Geräte etc.) inklusive ihrer Genauigkeiten sind im Prüfbericht mit Verweis zum Datenblatt anzugeben.

**Tabelle 3:** Anforderungen an die Genauigkeit für die Messungen

Messung	Kriterien	
Allgemein	Abtastung	> 5 kHz
	Messwerterfassung	> 100 ms
	Synchronität der Messeinrichtung	20 ms
Strommessung	Messbereich	$\pm 50$ A (bzw. $35 A_{rms}$ )
	Genauigkeit	0,2 % (Messbereich)
	Typ	Wechselstrom, 3-phasig
Strommessung Stand-by- und Peripherieverbrauch	Messbereich	$\pm 5$ A
	Genauigkeit	0,1 % (Messbereich)
	Typ	Wechselstrom, 3-phasig
Spannungsmessung	Messbereich	$\pm 400$ V (bzw. $250 V_{rms}$ )
	Genauigkeit	0,2 % (Messbereich)
	Typ	Wechselstrom, 3-phasig

## 2.5 Prüfablauf

Die Vermessungen des Prüflings teilen sich in zwei verschiedene Teilprüfungen auf. Die obligatorischen statischen Prüfungen in Kapitel 3 und optionalen Anwendungstests in Kapitel 4. Die statischen Tests haben das Ziel, einzelne Verbräuche, Zeiten und Funktionalitäten zu erfassen. Diese können später für einen Systemvergleich, als Datenblattangaben oder auch für detaillierte Simulationen herangezogen werden.

Die Autor:innen dieses Leitfadens empfehlen die Durchführung unterschiedlicher Zeitreihen-Prüfungen. Diese Anwendungstests, bilden klassische Betriebseffekte in Wohngebäuden nach. Die unterschiedlichen Zeitreihen lassen sich mit einer zeitlichen Auflösung von 1 s unter [https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data\\_awt.zip](https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data_awt.zip) herunterladen. Mit ihnen können die Messungen der statischen Tests überprüft und bestätigt werden. Gleichzeitig lassen sich Auffälligkeiten identifizieren, die bei den Kurzzeittests nicht auftauchen. Zusätzlich dient dies einem besseren Systemverständnis.

Die in Tabelle 4 beschriebene Reihenfolge des Prüfablaufs wird empfohlen. Wenn Randbedingungen und Soll-Vorgaben der nachfolgenden Kapitel, bedingt durch das Systemverhalten oder die technischen Möglichkeiten des Prüfverantwortlichen, nicht eingehalten werden können, ist dies für jeden auftretenden Fall stets im Prüfbericht zu dokumentieren. Aus den unterschiedlichen Tests können mitunter identische Kenngrößen wie z. B. die maximale und minimale Leistungsabgabe im 1- und 3-phasigen Betrieb oder auch Totzeiten ermittelt werden. Hier ist es wichtig, die Zeiten und Werte kritisch zu überprüfen, um ein homogenes Messbild zu ermitteln.

**Tabelle 4:** Empfohlene Reihenfolge des Prüfablaufs und Verweis zu den Unterkapiteln

Prüfung	Verweis
Stand-by-Verbrauch	3.1
Peripherieverbrauch	3.2
Regelgüte, Einschwingzeit und Totzeit	3.3
Phasenumschaltung zwischen dem 1- und 3-phasigen Betrieb	3.4
Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung	3.5
Rampentest	3.6
Dynamische Prüfungen	4

Die folgenden Messvorschriften sind so aufgebaut, dass zunächst die "Prüfbedingungen" definiert werden. Darauf aufbauend wird die "Durchführung der Messung" inklusive der Messpunkte erläutert. Im Abschnitt "Ergebnisse" sind die Rahmenbedingungen der Prüfung, Auffälligkeiten und die Testergebnisse entsprechend der Vorgaben aufzulisten. Die vorgeschlagenen Tabellen sind gegebenenfalls zu erweitern. Der jeweils letzte Abschnitt der einzelnen Prüfung "Zusammenfassung" fasst die jeweiligen zentralen Messergebnisse für eine Übersicht zusammen.

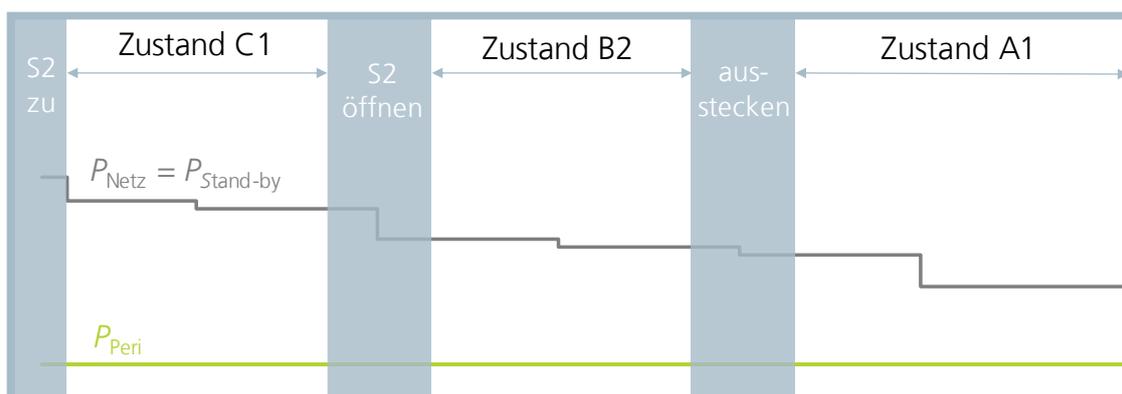
## 3 Statische Prüfungen

### 3.1 Stand-by-Verbrauch

Den größten Teil des Jahres befindet sich die Wallbox im Bereitschaftsbetrieb. Dabei kann das Fahrzeug mit der Ladelösungen ladebereit verbunden sein oder nicht. Unter Umständen kann es bei einzelnen Systemen mehrere, unterschiedliche Stand-by-Modi geben. Grundsätzlich sind die Übergangsbedingungen zwischen den verschiedenen Betriebszuständen vom Hersteller anzugeben, vom Prüfinstitut zu bestätigen und im Prüfbericht festzuhalten. Diese Messung erfasst den Stand-by-Verbrauch des in Abbildung 2 beschriebenen Prüflings, bestehend aus Wallbox, Energy Meter und EMS und ggf. zusätzlich notwendigen Peripheriekomponenten.

#### 3.1.1 Prüfbedingungen

Innerhalb der Prüfung des Stand-by-Verbrauchs der Wallbox werden drei Messungen durchgeführt und somit verschiedene typische Betriebszustände unterschieden. Hierbei orientieren sich die Prüfungen an den Systemzuständen gemäß Tabelle 2. Für den Stand-by-Verbrauch sind die Zustände C1 (ladebereit), B2 (nicht ladebereit) und A1 (Fahrzeug nicht eingesteckt, Leerlauf) relevant, die in den einzelnen Messungen einzustellen sind. Abbildung 6 stellt schematisch den erwarteten Verlauf der Stand-by Leistung  $P_{\text{Stand-by}}$  nach Anschließen des ladebereiten Fahrzeuges in grau dar. Zusätzlich ist der konstante Verlauf der Leistung  $P_{\text{Peri}}$  der Peripherieverbraucher (vgl. Abschnitt 3.2) in grün visualisiert.



**Abbildung 6:** Schematischer Ablauf der Stand-by-Messung bei einem Übergang zwischen den verschiedenen Systemzuständen C1 (Fahrzeug eingesteckt, ladebereit), B2 (Fahrzeug eingesteckt, nicht ladebereit), A1 (Fahrzeug nicht eingesteckt). In allen Zuständen soll geprüft werden, ob ein Deep Stand-by eingestellt wird.

Nach Herstellen der Ladebereitschaft (schließen von S2) geht die Wallbox in den Zustand C1, sofern kein Überschuss zum Laden vorhanden ist. Die Wallbox kann jederzeit durch Aktivierung eines PWM-Signals ein Laden initiieren.

Durch Öffnen des Schalters S2 kann der Nutzer fahrzeugseitig die Ladefreigabe beenden, z.B. weil der gewünschte Ladezustand erreicht ist. Die Wallbox wechselt in den Zustand B2. Damit ist sie zwar grundsätzlich ladebereit, jedoch kann ein Ladevorgang nur starten, wenn die Freigabe fahrzeugseitig wieder aktiviert wird.

Wird das Fahrzeug schließlich vollständig getrennt bzw. ausgesteckt, wechselt die Wallbox in den Zustand A1. Besonders in diesem Systemzustand wird davon ausgegangen, dass sich bei einigen Systemen mit der Zeit, z.B. durch das Abschalten von LEDs, ein Deep Stand-by einstellt (siehe auch Definition in Abbildung 7). Für alle Systemzustände sollte geprüft werden, ob sich ein zusätzlicher Stand-by-Modus aktiviert.

## Elektrofahrzeug:

### Messung C1: Stand-by mit Fahrzeug (ladebereit)

- Die Wallbox befindet sich im Systemzustand C1, d.h. die Wallbox generiert kein PWM-Signal auf CP und kann jederzeit einen Ladevorgang freigeben, z.B. wenn ein Überschuss vorliegt. In diesem Fall ist das Elektrofahrzeug ladebereit, d.h. es liegt eine Ladeanforderung durch den Nutzer vor.
- Während der Prüfung ist das Elektrofahrzeug mit der Wallbox über das Ladekabel verbunden. Das Fahrzeug ist ladebereit (S2 geschlossen).

### Messung B2: Stand-by mit Fahrzeug (nicht ladebereit)

- Die Wallbox befindet sich im Systemzustand B2, d.h. die Wallbox generiert ein PWM-Signal auf CP und kann jederzeit einen Ladevorgang freigeben. In diesem Fall wurde das Laden durch das Elektrofahrzeug beendet, da z. B. keine Ladeanforderung durch den Nutzer vorlag.
- Während der Prüfung ist das Elektrofahrzeug mit der Wallbox über das Ladekabel verbunden. Das Fahrzeug ist nicht ladebereit (S2 offen).

### Messung A1: Stand-by ohne Fahrzeug

- Die Wallbox befindet sich im Systemzustand A1, d.h. die Wallbox generiert kein PWM-Signal auf CP und ist nicht bereit für ein Laden.
- Während der Prüfung ist das Elektrofahrzeug nicht mit der Wallbox verbunden.

### Ermittlung Deep-Stand-by

- Einige Wallboxen haben im Leerlauf-Betrieb eine höhere Leistungsaufnahme, reduzieren diese jedoch nach einer bestimmten Zeit, solange keine weitere Ladung initiiert wird.
- Aus diesem Grund ist für alle zuvor beschriebenen Systemzustände der Wallboxen zu ermitteln, ob die Wallbox in einen Deep-Stand-by geht. Hierzu muss sich Wallbox und ggf. auch das Fahrzeug mindestens 30 Minuten stabil im jeweiligen Systemzustand befinden. Es wird davon ausgegangen, dass die Wallbox spätestens nach Ablauf dieser Zeit in einen Deep-Stand-by umschaltet oder nicht, weil ein solcher Modus nicht implementiert ist. Dieser Zustand stellt eine Adaption einer Ruhephase dar (beispielsweise in der Nacht oder im Rahmen einer, auf den Ladebefehl wartenden Ladeplanung). Abbildung 7 stellt den erwarteten Verlauf schematisch dar.

## Netzanschlusspunkt:

### Messung C1, B2, A1

- a. Für alle Varianten der Stand-by-Messungen gilt, dass keine Last bzw. Erzeugung angeschlossen ist. Es gilt  $I_{\text{Haus}} = 0 \text{ A}$  am Messpunkt  $M_{\text{Haus}}$ . Dies ist beispielsweise durch Trennung vom Versuchsaufbau sicherzustellen.
- b. Weiterhin gilt für alle Fälle, dass das Elektrofahrzeug keine Leistung austauschen darf. Der Strom  $I_{\text{EV}}$  am Messpunkt  $M_{\text{EV}}$  beträgt  $0 \text{ A}$ .
- c. Über den Messpunkt  $M_{\text{Netz}}$  kann die momentane Stand-by-Leistung des Gesamtsystems ermittelt werden.

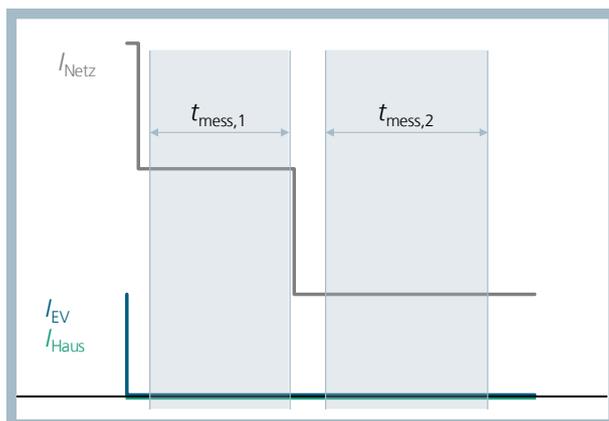
## Wallbox:

### Messung C1, B2, A1

- Die Wallbox befindet sich im jeweils vorgesehenen Systemzustand.
- In allen Stand-by-Varianten befindet sich die Wallbox in der typischen Betriebsweise für solares Überschussladen. Das heißt sie ist mit dem Energy Meter am Netzanschlusspunkt verbunden. Sollte der Hersteller eine Herstellerplattform anbieten, ist die Wallbox mit der Herstellerplattform und mit dem Internet verbunden. Jedoch ist in allen Stand-by-Varianten keine aktive Verbindung zum Beispiel vom Mobiltelefon vorgesehen.

### 3.1.2 Durchführung der Messung

Die nachfolgende Liste beschreibt die chronologische Vorgehensweise der Messung. Für die Auswertung in Tabelle 6 muss die Messung einmal erfolgen. Wie in Abbildung 7 visualisiert, startet die Stand-by Messung mit dem Beenden eines Ladevorgangs bzw. dem Herstellen des definierten Zustandes. Nachdem sich der Prüfling im geforderten Zustand befindet, wird über den Zeitraum  $t_{\text{mess},1}$  die Stand-by-Aufnahme  $I_{\text{Netz}}$  gemessen. Stellt sich ein Deep Stand-by ein, wird zusätzlich die Deep-Stand-by-Aufnahme erfasst.



**Abbildung 7:** Schematischer Ablauf der Stand-by-Messung bei einem Übergang der Wallbox in einen Deep-Stand-by-Modus. Die Messungen beginnen nach dem Warten auf einen eingeschwungenen Zustand. Die erste Messung erfolgt, bis das System in einen Modus mit verringerter Leistungsaufnahme übergeht (Deep-Stand-by). Nach dem Warten auf einen eingeschwungenen Zustand, wird die zweite Messung gestartet.

#### Messpunkte

Bei den Messungen sind für jeden Stand-by-Betrieb die folgenden Größen zu erfassen:

- Erfassen der Größen  $I_{\text{Netz}}$  und  $P_{\text{Netz}}$  für die jeweils angegebene Dauer und Mittelung. Es sind die minimalen, maximalen und mittleren Werte anzugeben.
- Überwachung von  $I_{\text{Haus}} = 0 \text{ A}$  und  $I_{\text{EV}} = 0 \text{ A}$  über die Versuchsdauer.

#### Vorbereitung

1. Haus-Emulation deaktivieren:  $I_{\text{Haus}} = 0 \text{ A}$
2. Fahrzeug-Emulation: Netzteil in der E-Fahrzeug Emulation ist nicht angeschlossen,  $P_{\text{EV}} = 0 \text{ W}$

Es ist vorgesehen die Prüfung in der Reihenfolge Variante C1, B2 und A1 durchzuführen.

#### Messung C1: Stand-by mit Fahrzeug (ladebereit)

1. Sicherstellen, dass sich Wallbox im Systemzustand C1 befindet.
  - a. Beendigung eines Ladevorganges.
  - b. Deaktivieren der Ladebereitschaft der Wallbox, z. B. keine Überschusseinspeisung (Haus-Emulation deaktivieren und trennen).
2. Sicherstellen, dass der Ladestecker mit dem Elektrofahrzeugemulator verbunden ist.
3. Herstellerangaben befolgen, sodass der Stand-by-Modus der Wallbox aktiv wird. Wenn möglich: Sichtprüfung (z. B. anhand einer LED-Anzeige), ob sich Wallbox im Stand-by-Betrieb befindet.
4. warten auf einen eingeschwungenen Zustand
5. Messung der Stromaufnahme  $I_{\text{Netz}}$  über einen Zeitraum von 30 Minuten oder bis zum Eintritt in den Deep-Standby.
6. Optional wenn Deep-Standby erreicht: Messung der Stromaufnahme  $I_{\text{Netz}}$  über einen Zeitraum von 15 Minuten im Deep-Stand-by.

#### Messung B2: Stand-by mit Fahrzeug (nicht ladebereit)

7. Sicherstellen, dass sich Wallbox im Systemzustand B2 befindet.
  - a. Deaktivieren der Ladebereitschaft im Fahrzeugemulator (öffnen von S2)
  - b. Aktivieren der Ladebereitschaft der Wallbox, z. B. über die App.

8. Sicherstellen, dass der Ladestecker mit dem Elektrofahrzeugemulator verbunden ist.
9. Weiter wie bei Variante C1 in den Punkten 3. bis 6.

Messung A1: Stand-by ohne Fahrzeug

10. Sicherstellen, dass sich Wallbox im Systemzustand A1 befindet.
  - a. Im Zustand B2 die Wallbox vom Fahrzeugemulator trennen.
  - b. Deaktivieren der Ladebereitschaft der Wallbox, z. B. über die App.
11. Sicherstellen, dass der Ladestecker nicht mit dem Elektrofahrzeugemulator verbunden ist.
12. Weiter wie bei Variante C1 in den Punkten 3. bis 6.

**3.1.3 Ergebnisse**

Die gemessenen Werte sind über den jeweiligen Messzeitraum zu mitteln. Zusätzlich sollen die Minimal- und Maximalwerte angegeben werden:

Hinweis: Bei mehreren Stand-by-Modi ist die Tabelle zu erweitern. Es ist die Dauer anzugeben, über die die Stand-by- bzw. Deep-Stand-by-Aufnahme erfasst wurde.

**Tabelle 5:** Rahmenbedingungen Stand-by-Messungen

<b>Betriebsmodus Wallbox</b>	
<b>Parametrisierung Wallbox</b>	
<b>Auffälligkeiten</b>	

**Tabelle 6:** Ergebnisse Stand-by-Verluste (Sb: Stand-by, d-Sb: deep-Stand-by)

Stand-by-Messung	Sb	d-Sb	Dauer [min]		$P_{\text{Netz}}$ [W]	$P_{\text{Haus}}$ [W]	$P_{\text{EV}}$ [W]	Anmerkungen	
Variante C1 mit Fahrzeug, Stand-by	x			Min					
				Mean					
				Max					
		x			Min				
					Mean				
					Max				
Variante B2 mit Fahrzeug, Stand-by	x			Min					
				Mean					
				Max					
		x			Min				
					Mean				
					Max				
Variante A1 ohne Fahrzeug, Stand-by	x			Min					
				Mean					
				Max					
		x			Min				
					Mean				
					Max				

### 3.1.4 Zusammenfassung

In Tabelle 7 werden die Ergebnisse aus Tabelle 6 zusammengefasst.

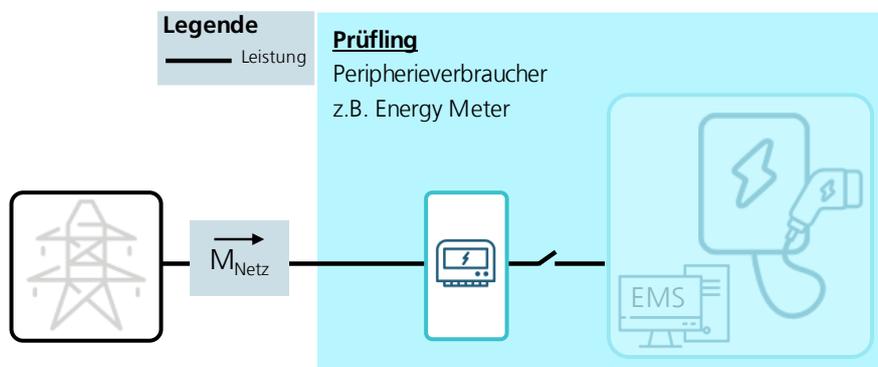
**Tabelle 7:** Zusammenfassung Stand-by-Verluste des Systems, bestehend aus Wallbox, Energy Meter und EMS und ggf. zusätzlich notwendigen Peripheriekomponenten

Kenngröße	mittlere Leistung [W]	Deep-Stand-by [ja/nein]	Umschaltzeit [s]	mittlere Leistung [W]
C1: Stand-by mit Fahrzeug (ladebereit)				
B2: Stand-by mit Fahrzeug (nicht ladebereit)				
A1: Stand-by ohne Fahrzeug				

## 3.2 Peripherieverbrauch

Einige Wallboxen benötigen für den Betrieb zusätzliche Peripheriekomponenten (z. B. Leistungssensoren zur Erfassung der Residuallast, ein externes Energiemanagement oder eine Phasenumschaltbox). Die AC-Leistungsaufnahme dieser Geräte soll mit der im Folgenden beschriebenen Testmethodik separat erfasst werden. Ziel dieser Messung ist eine Einordnung bzw. Aufteilung des im vorherigen Test erfassten Stand-by-Verbrauchs.

Für diese Prüfung kann, wie in Abbildung 8 dargestellt, ein vereinfachter Aufbau aus der Prüfung des Stand-by-Verbrauchs genutzt werden. Über den Messpunkt  $M_{\text{Netz}}$  wird nur der zu prüfende Peripherieverbraucher versorgt und der Verbrauch erfasst.



**Abbildung 8:** Vollständiger Prüfaufbau für die Prüfungen des Peripherieverbrauchs. Es wird ausschließlich der Messpunkt für den Netzaustausch  $M_{\text{Netz}}$  genutzt. Die Wallbox selbst wird vom Strom getrennt.

Hinweise:

- Die hier beschriebenen Änderungen müssen im Prüfbericht dokumentiert werden.
- In einigen Fällen kann es vorkommen, dass der Peripherieverbraucher in einen sinnvollen Betrieb gebracht werden muss. Dies kann zum Beispiel auftreten, wenn das EMS im Energy Meter integriert ist. In diesem Fall muss eine aktive Kommunikation mit der Wallbox erstellt werden. Die Wallbox muss dann über einen externen Stromkreis versorgt werden.
- Sofern z. B. der Leistungssensor und das Energiemanagement in einzelnen Geräten und von der Wallbox unabhängig vorliegen, ist der Verbrauch der Produkte separat aufzuführen.

### 3.2.1 Prüfbedingungen

Gemäß Abbildung 8 sind sowohl Elektrofahrzeug als auch Haus-Emulation getrennt. Dies kann über das Öffnen der Sicherungsautomaten erfolgen. Es wird nur die Messung am Messpunkt  $M_{\text{Netz}}$  ausgewertet.

### 3.2.2 Durchführung der Messung

Die nachfolgende Liste beschreibt die chronologische Vorgehensweise der Messung. Für die Auswertung in Tabelle 8 muss die Messung einmal erfolgen.

#### Messpunkte

Bei den Messungen sind für jeden Peripherieverbraucher die folgenden Größen zu erfassen:

- Erfassen der Größen  $I_{\text{Netz}}$  und  $P_{\text{Netz}}$  für die jeweils angegebene Dauer und Mittelung. Es sind die minimalen, maximalen und mittleren Werte anzugeben.

#### Vorbereitung

1. Anschluss des Peripherieverbrauchers an  $M_{\text{Netz}}$
2. Sicherstellen, dass sich der Verbraucher in einem stabilen Betriebszustand befindet (siehe auch Hinweise in der Beschreibung)

#### Messung

1. Erfassung der Leistungsaufnahme  $P_{\text{Netz}}$  über einen Zeitraum von 10 Minuten.

### 3.2.3 Ergebnisse

**Tabelle 8:** Ergebnisse Peripherieverbrauch

Peripherieverbraucher	Dauer [min]		$P_{\text{Netz}}$ [W]	$P_{\text{Haus}}$ [W]	$P_{\text{EV}}$ [W]	Anmerkungen
Energy Meter	10	Min				
		Max				
		Mean				
z. B. Energiemanagement	10	Min				
		Max				
		Mean				
z. B. externe Phasenumschaltung	10	Min				
		Max				
		Mean				

### 3.2.4 Zusammenfassung

Für die Tabelle 9 Zusammenfassung des Peripherieverbrauchs  $P_{\text{Peri}} = \text{mean}(P_{\text{Netz}})$  sind die vermessenen Peripheriekomponenten aufzulisten und jeweils die mittlere Leistung über den Messzeitraum zu bestimmen.

**Tabelle 9:** Zusammenfassung Peripherieverbrauch

Kenngroße	$P_{\text{Peri}}$ [W]	Anmerkungen
Energy Meter		
z. B. Energiemanagement		
z. B. externe Phasenumschaltung		

Mit dem Peripherieverbrauch  $P_{\text{Peri}}$  lässt sich mit Hilfe der folgenden Formeln der isolierte Stand-by- $P_{\text{Stand-by, WB}}$  und Deep-Stand-by-Verbrauch  $P_{\text{Deep-Stand-by, WB}}$  der Wallbox bestimmen. Die Ergebnisse sind in die Tabelle 10 zu überführen.

$$P_{\text{Stand-by, WB}} = P_{\text{Stand-by}} - \sum P_{\text{Peri}} \quad (2)$$

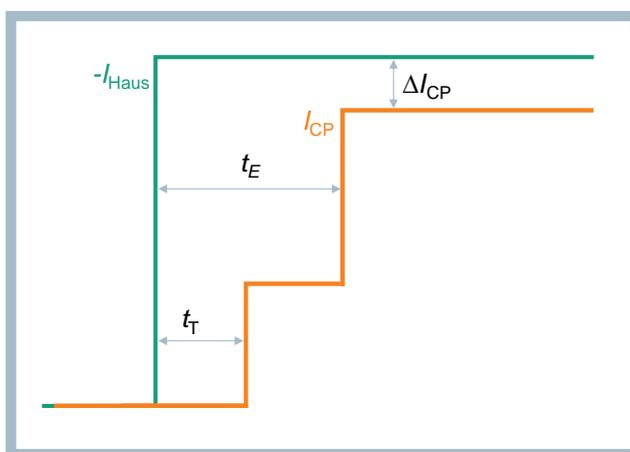
$$P_{\text{Deep-Stand-by, WB}} = P_{\text{Deep-Stand-by}} - \sum P_{\text{Peri}} \quad (3)$$

**Tabelle 10:** Zusammenfassung des bestimmten Stand-by- und Deep-Stand-by-Verbrauchs der Wallbox

Kenngroße		mittlere Leistung [W]	Anmerkungen
Stand-by-Verbrauch Wallbox	$P_{\text{Stand-by, WB}}$		
Deep-Stand-by-Verbrauch Wallbox	$P_{\text{Deep-Stand-by, WB}}$		

### 3.3 Regelgüte, Einschwingzeit und Totzeit

Dieser Test definiert Prüfungen mit dem Ziel die Regelgüte und -qualität im Betrieb zu erfassen. Der Versuch wird für 1- und 3-phasiges Laden durchgeführt. Bei der Steuerung über den Zähler wird das in Abbildung 9 skizzierte Verhalten nach einem Stromsprung am Messpunkt  $M_{\text{Haus}}$  erwartet. Das Fahrzeug lädt bereits. Durch die Messung am Zähler nach einer sprunghaften Stromänderung an  $I_{\text{Netz}}$ , in Folge einer Erzeugungsänderung  $I_{\text{Haus}}$ , wird nach einer Totzeit  $t_T$  und nach der Einschwingzeit  $t_E$  ein neuer maximal möglicher Strom  $I_{\text{CP}}$  über den CP-Kontakt kommuniziert. Dieser wird über das Tastverhältnis  $TV$  ermittelt. Die Regelabweichungen des maximal erlaubten Ladestroms  $I_{\text{CP}}$  vom Sollwert  $-I_{\text{Haus}}$  können mit der stationären Regelabweichung  $\Delta I_{\text{CP}}$  beschrieben werden. Der Strom  $-I_{\text{Haus}}$  soll im gültigen Betriebsbereich der Wallbox liegen. Es ist zu beachten, dass bei einigen Wallboxen die Änderung bei großen Sprüngen schrittweise erfolgt.



**Abbildung 9:** Erwartete Sprungantwort des zulässigen Stroms  $I_{\text{CP}}$  nach einem Leistungssprung am Messpunkt  $M_{\text{Netz}}$  in Folge einer Erzeugungsänderung von  $I_{\text{Haus}}$ . Nach der Totzeit  $t_T$  und nach der Einschwingzeit  $t_E$  muss sich ein stabiler Strom  $I_{\text{CP}}$  eingestellt haben.

#### 3.3.1 Prüfbedingungen

##### Elektrofahrzeug

In dieser Prüfung wird dem Elektrofahrzeug im solar gesteuerten Modus über die Wirkkette Zähler, EMS, Wallbox ein Strom entsprechend der eingespeisten Leistung bereitgestellt. Hierzu ist der Fahrzeug-Emulator mit der zu prüfenden Wallbox zu verbinden und mit einem minimalen Strom zum Laden zu bringen (Schalter S2 geschlossen, Systemzustand C2). Der maximal zulässige Strom bzw. die maximale Ladeleistung ist im Emulator auf die nach Hersteller angegebene Maximalleistung der Wallbox  $P_{\text{WB, max}}$  (z. B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

##### Netzanschlusspunkt

Der maximal von der Wallbox vorzugebende Ladestrom wird durch die Messung des Zählers für das EMS vorgegeben. Die am Zähler erfasste Leistung sollte dem Messpunkt  $M_{\text{Netz}}$  entsprechen und sich nach  $P_{\text{Netz}} = P_{\text{EV}} + P_{\text{Haus}}$  bestimmen. Bei Überschuss ( $P_{\text{Netz}}$  ist negativ) steuert das EMS den bereitgestellten Ladestrom für das Fahrzeug so, dass die Netzleistung  $P_{\text{Netz}}$  nahe Null ist. Das heißt: Über eine Einspeisung am Messpunkt  $M_{\text{Haus}}$  kann das Laden gesteuert werden. Es gilt ein Strom  $I_{\text{Haus}} < 0$  A führt zu einer Einspeisung und damit zum Laden des Fahrzeugs. Der Strom  $I_{\text{Haus}}$  wird so eingestellt, dass das Fahrzeug von Systemzustand B2 in Systemzustand C2 wechselt.

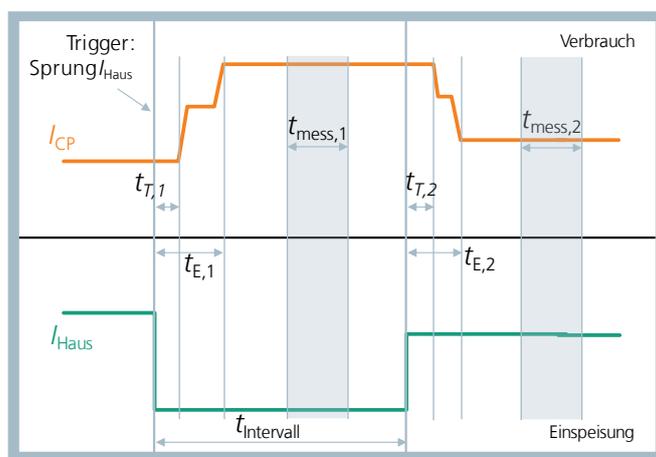
##### Wallbox

Die Wallbox muss nach Herstellerangaben für das solar gesteuerte Überschussladen parametrisiert werden und das EMS mit dem Zähler verbunden sein.

### 3.3.2 Durchführung der Messung

Die Vorbereitung erfolgt nach den im Folgenden beschriebenen Schritten. Die Messung startet direkt im Zustand C2. Das Fahrzeug wird während der gesamten Messung beladen.

Abbildung 10 visualisiert die erwarteten Änderungen im maximalen Ladestrom  $I_{CP}$  nach einer sprunghaften Stromänderung des Haushalts  $I_{Haus}$ . Die Stromaufnahme des Fahrzeugs ändert sich nach einer Totzeit  $t_T$  und stellt einen endgültigen Wert nach der Einschwingzeit  $t_E$  ein. Wenn sich das System im eingeschwungenen Zustand befindet, werden für einen Zeitraum  $t_{mess} = 30$  s die Leistungen und Ströme erfasst. Anschließend folgt die nächste Stufe. Die Tot- und Einschwingzeiten können dabei je nach Betriebspunkt variieren.



**Abbildung 10:** Erwartete Sprungantworten des Stroms  $I_{CP}$  nach einer sprunghaften Änderung des Stroms von  $I_{Haus}$ .

Da im Folgenden die Regelgüte erfasst wird, sollte die Netzspannung möglichst konstant sein, um deren Einflüsse gering zu halten (vgl. Abschnitt 2.1). Die mittlere Netzspannung ist für jeden Betriebspunkt zu erfassen.

#### Messpunkte

Tabelle 11 stellt alle einzustellenden Betriebspunkte für den 1- und 3-phasigen Betrieb dar. In einer zweiten, nachgelagerten Messung ist der Messverlauf in umgekehrter Reihenfolge zu prüfen.

#### Vorbereitung

1. Wallbox in den Modus „solares Laden“ versetzen
2. Fahrzeugemulation in den Systemzustand C2 versetzen:
  - a. Überschuss einstellen von  $I_{Haus} = -11$  A
  - b. Laden im Fahrzeug aktivieren (S2 geschlossen)

#### Messung Betriebspunkte (Tabelle 11)

1. Einstellen des Betriebspunktes für  $I_{Haus}$  nach Tabelle 11
2. Erfassen von  $t_T$  bis eine signifikante Änderung von  $I_{CP}$  erfolgt
3. Erfassen von  $t_E$  bis  $I_{CP}$  stabil eingestellt ( $\pm 0,5$  A vom Sollwert)
4. Messung: (Mittelung  $t_{mess} = 30$  s)
  - a. Abtastverhältnis  $TV$
  - b. Maximaler Strom  $I_{CP}$
  - c. Statische Regelgüte  $\Delta I_{CP}$  (berechnet)
5. Messung in umgekehrter Reihenfolge wiederholen

**Hinweis:** Es wird empfohlen zuerst die Messung mit der Anzahl an Phasen durchzuführen, die nach 3.3.2 als letztes gemessen wurde.

### Betriebspunkte für den Haushaltstrom

Die Betriebspunkte in Tabelle 11 sollen nacheinander angefahren werden. Die Änderung der Stromvorgabe erfolgt in einem Intervall von  $t_{\text{Intervall}} = 5 \text{ min}$  oder nach Abschluss der vorherigen Stufe.

**Tabelle 11:** Betriebspunkte der Haus-Emulation für die Bewertung der Regelgüte - jeweils für 5 Minuten (bzw. bis zur erfolgten Messung der Stufe) konstant zu halten. Für das 1-phasige Laden wird  $I_{\text{Haus}}$  in Summe auf alle drei Phasen vorgegeben

Betriebspunkt	Wallbox	
	3-phasig	1-phasig
	$I_{\text{Haus}}$ [A] je Phase	$I_{\text{Haus}}$ [A] Summe auf allen Phasen
1	-7,0	-7,0
2	-16,0	-16,0
3	-7,0	-7,0
4	-13,0	-13,0
5	-8,0	-8,0
6	-12,0	-12,0
7	-10,0	-10,0
8	-11,0	-11,0
9	-10,5	-10,5

### 3.3.3 Ergebnis

Die Regelabweichung  $\Delta P_{\text{WB}}$  bestimmt sich aus der Summe des durch die Wallbox maximal bereitgestellten Leistung  $P_{\text{EV}}$  und der aus  $P_{\text{Haus}}$  berechneten Sollwertvorgabe, wie folgt:

$$\Delta P_{\text{WB}} = P_{\text{EV}} - P_{\text{Haus}} \quad (4)$$

Das Vorzeichen von  $\Delta P_{\text{WB}}$  ist mit zu übertragen. Eine negative Regelabweichung bedeutet somit, dass die eingespeiste Leistung  $P_{\text{Haus}}$  größer ist als die eingestellte Leistung  $P_{\text{EV}}$  über dem CP-Kontakt, ein positives Vorzeichen, dass die bereitgestellte Leistung  $P_{\text{EV}}$  größer ist als die eingespeiste Leistung  $P_{\text{Haus}}$ .

### 3-phasiger Betrieb

Tabelle 12: Ergebnis Regelgüte im 3-phasigen Betrieb

Betriebspunkt		$I_{\text{Haus}}$ [A]	$\bar{U}_{\text{Netz}}$ [V]	$P_{\text{Netz}}$ [kW]	$P_{\text{EV}}$ [kW]	$t_{\text{T}}$ [s]	$t_{\text{E}}$ [s]	$TV$ [%]	$I_{\text{CP}}$ [A]	$\Delta P_{\text{WB}}$ [W]
	$P_{\text{Haus}}$ [kW]									
1	-4,8	-7,0								
2	-11,0	-16,0								
3	-4,8	-7,0								
4	-9,0	-13,0								
5	-5,5	-8,0								
6	-8,3	-12,0								
7	-6,9	-10,0								
8	-7,6	-11,0								
9	-7,2	-10,5								
8	-7,6	-11,0								
7	-6,9	-10,0								
6	-8,3	-12,0								
5	-5,5	-8,0								
4	-9,0	-13,0								
3	-4,8	-7,0								
2	-11,0	-16,0								
1	-4,8	-7,0								

### 1-phasiger Betrieb

Tabelle 13: Ergebnis Regelgüte im 1-phasigen Betrieb

Betriebspunkt		$I_{\text{Haus}}$ [A]	$\bar{U}_{\text{Netz}}$ [V]	$P_{\text{Netz}}$ [kW]	$P_{\text{EV}}$ [kW]	$t_{\text{T}}$ [s]	$t_{\text{E}}$ [s]	$TV$ [%]	$I_{\text{CP}}$ [A]	$\Delta P_{\text{WB}}$ [W]
	$P_{\text{Haus}}$ [kW]									
1	-1,6	-7,0								
2	-3,7	-16,0								
3	-1,6	-7,0								
4	-3,0	-13,0								
5	-1,8	-8,0								
6	-2,8	-12,0								
7	-2,3	-10,0								
8	-2,5	-11,0								
9	-2,4	-10,5								
8	-2,5	-11,0								
7	-2,3	-10,0								
6	-2,8	-12,0								
5	-1,8	-8,0								
4	-3,0	-13,0								
3	-1,6	-7,0								
2	-3,7	-16,0								
1	-1,6	-7,0								

### 3.3.4 Zusammenfassung

In Tabelle 14 werden die Ergebnisse zusammengefasst und der Median, sowie der Minimal- und Maximalwert der Messungen aufgeführt.

**Tabelle 14:** Zusammenfassung Regelgüte

Kenngröße	3-phasig			1-phasig		
	Min	Median	Max	Min	Median	Max
Totzeit $t_T$ [s]						
Einschwingzeit $t_E$ [s]						
Regelgenauigkeit $\Delta P_{WB}$ [W]						

## 3.4 Phasenumschaltung zwischen dem 1- und 3-phasigen Betrieb

Für das solare unidirektionale Laden, gesteuert über das Pilotsignal nach IEC61851-1, kann die Wallbox nur einen minimalen Ladestrom von 6 A einstellen (vgl. Abschnitt 2.3.) Ein kleinerer Strom kann mit dem über den CP-Kontakt übertragenen PWM-Signal nicht kommuniziert werden. Die minimalen Ladeleistungen betragen damit 1,4 kW (1-phasiger Betrieb) bzw. 4,2 kW (3-phasiger Betrieb). Aus diesem Grund kommt vor allem für kleinere PV-Installationen der Umschaltung zwischen ein und drei Phasen im Tagesverlauf der wechselhaften PV-Erzeugung eine besondere Bedeutung zu. Um eine Fehlfunktion zu vermeiden, wird bei der Phasenumschaltung das Laden unterbrochen, die Wallbox freigeschaltet, mit der gewünschten Phasenanzahl wieder zugeschaltet und die Ladung fortgesetzt. Diese Phasenumschaltzeit soll mit dieser Prüfung erfasst werden.

### 3.4.1 Prüfbedingungen

#### Elektrofahrzeug

In dieser Prüfung wird dem Elektrofahrzeug im solar gesteuerten Modus über die Wirkkette Zähler, EMS, Wallbox ein Strom entsprechend der eingespeisten Leistung bereitgestellt. Hierzu ist der Fahrzeug-Emulator mit der zu prüfenden Wallbox zu verbinden. Initial ist das Fahrzeug ladebereit (Schalter S2 geschlossen, Systemzustand C2). Der maximal zulässige Strom bzw. die maximale Ladeleistung ist im Emulator auf die nach Hersteller angegebene Maximalleistung der Wallbox  $P_{WB, max}$  (z. B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

#### Netzanschlusspunkt

Der maximal von der Wallbox vorzugebende Ladestrom und das Umschalten zwischen 1- und 3-phasigem Betrieb wird durch die Messung des Energy Meters für das EMS vorgegeben. Die am Zähler erfasste Leistung sollte etwa dem Messpunkt  $M_{Netz}$  entsprechen und sich nach  $P_{Netz} = P_{EV} + P_{Haus}$  bestimmen. Bei Überschuss ( $P_{Netz}$  ist negativ) steuert das EMS den bereitgestellten Ladestrom und die Anzahl der für das Fahrzeug genutzten Phasen so, dass die Netzleistung  $P_{Netz}$  nahe Null ist. Das heißt, dass über eine Einspeisung am Messpunkt  $M_{Haus}$  das Laden gesteuert werden kann. Es gilt ein Strom  $I_{Haus} < 0$  A führt zu einer Einspeisung und damit zum Laden des Fahrzeugs. Durch Vorgabe einer Einspeisung von z. B.  $I_{Haus} = -9/3$  A (auf allen 3 Phasen) wird zuverlässig ein 1-phasiges Laden oder mit  $I_{Haus} = -12$  A (3 Phasen) wird 3-phasiges Laden initialisiert.

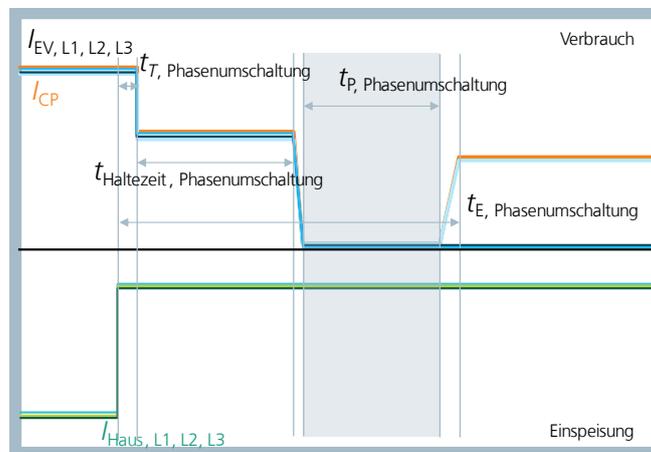
#### Wallbox

Die Wallbox muss nach Herstellerangaben für das solar gesteuerte Überschussladen parametrisiert werden und das EMS mit dem Zähler verbunden sein. In der Wallbox und dem EMS muss die automatische Umschaltung zwischen 1- und 3-phasigem Laden aktiviert sein.

### 3.4.2 Durchführung der Messung

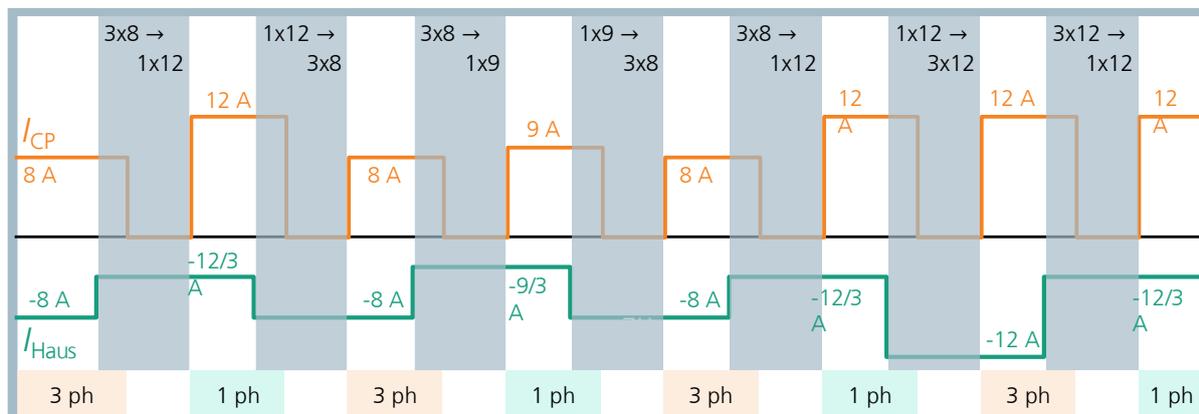
Bei der Durchführung der Messung soll der mehrfache Wechsel zwischen 1- und 3-phasigem Laden durch Änderung der Einspeisung des Stroms  $I_{\text{Haus}}$  getestet werden.

Der erwartete Ablauf der Messung für einen Phasenwechsel ist in Abbildung 11 visualisiert. Zum Start der Messung befindet sich das Fahrzeug im dreiphasigen Ladebetrieb. Zum Startpunkt wird der eingespeiste Strom  $I_{\text{Haus}}$  auf  $-8 \text{ A}$  auf allen drei Phasen reduziert, sodass die Wallbox nach der Totzeit  $t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$  mit dem minimal einstellbaren  $I_{\text{CP}} \geq 6 \text{ A}$  eine höhere Leistung als  $4,2 \text{ kW}$  erlaubt. Es ergibt sich Netzbezug. Nach einer Haltezeit  $t_{\text{Haltezeit, Phasenumschaltung}}$  unterbricht die Wallbox die Fahrzeugladung und trennt das Fahrzeug vom Netz. Es folgt eine Pause von  $t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$  bis die Wallbox die Ladung wieder im einphasigen Betrieb startet. Nachdem das Elektrofahrzeug wieder 1-phasig mit neuem  $I_{\text{CP}}$  lädt, ist die Phasenumschaltung abgeschlossen. Die Zeit zwischen Startzeitpunkt und eingeschwungenen Zustand ist die Gesamteinschwingzeit  $t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$ . Die Umschaltung in den 3-phasigen Betrieb geschieht in umgekehrter Reihenfolge.



**Abbildung 11:** Erwartetes Verhalten einer Phasenumschaltung vom 3-phasigen auf den 1-phasigen Betrieb, in Folge einer sprunghaften Änderung des Stroms von  $I_{\text{Haus}}$ . Nach einer Totzeit  $t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$  reduziert die Wallbox die Leistung auf die minimale bzw. maximale Leistung mit der aktuellen Phasenanzahl. Nach einer Haltezeit  $t_{\text{Haltezeit, Phasenumschaltung}}$  beendet die Wallbox das Laden und startet es nach einer Pause  $t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$  wieder. Die gesamte Dauer wird mit der Einschwingzeit  $t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$  beschrieben. Vor der Umschaltung lud das Fahrzeug auf 3 Phasen mit einem Strom  $I_{\text{EV, L1 L3}} = I_{\text{CP}}$ . Nach der Umschaltung sind die Ströme auf zwei Phasen  $I_{\text{EV}} = 0 \text{ A}$ .

Die Messung erfolgt dann im Wechsel von 3-phasigen auf 1-phasigen Betrieb und von 1-phasigen auf 3-phasigen Betrieb, wie in Abbildung 12 dargestellt. Dabei sollen die Umschaltungen mit verschiedenen Systemzuständen durchgeführt werden. Nach einer Vorbereitung im 3-phasigen Betrieb  $I_{\text{Haus}} = -8 \text{ A}$  und einem stabilen Laden mit  $I_{\text{CP}} = 8 \text{ A}$ , wird durch eine Änderung von  $I_{\text{Haus}} = -12/3 \text{ A}$  (3-phasig) das erste 1-phasige Laden initiiert. Dies ist in Abbildung 12 mit dem grau schraffierten Bereich hervorgehoben. Dieser Bereich entspricht der Einschwingzeit  $t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$ . Nach der Umschaltung ist eine Pause von mindestens 15 Minuten einzuhalten, bevor die nächste Umschaltung initiiert wird. Es ist zu beachten, dass alle Ströme für die Vorgabe von  $I_{\text{Haus}}$  3-phasig sind.



**Abbildung 12:** Abfolge von Phasenumschaltung: Getriggert wird die Phasenumschaltung durch eine Änderung in  $I_{\text{Haus}}$ . Im daran folgenden grau hinterlegten Bereich findet die Phasenumschaltung statt. Der erwartete Verlauf ist in Abbildung 11 dargestellt. Nach erfolgreich durchgeführtem Phasenwechsel muss ein Mindestpause von 15 Minuten vor dem nächsten Initiieren einer Umschaltung eingehalten werden.

### Messpunkte

Bei den Messungen sind für jeden Betriebspunkt (siehe Abbildung 12) die folgenden Größen zu erfassen:

- Erfassen der Größen  $I_{\text{EV}}$ ,  $I_{\text{Netz}}$ ,  $I_{\text{Haus}}$ ,  $U_{\text{EV}}$ ,  $U_{\text{Netz}}$ ,  $U_{\text{Haus}}$
- $t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$  bis die Wallbox das Laden beendet
- $t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$  Zeitspanne zwischen Ladeunterbrechung und Ladestart
- $t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$  bis  $I_{\text{CP}}$  stabil ( $\pm 0,5$  A vom Sollwert) eingestellt ist

### Vorbereitung:

1. Hausemulator auf Einspeisung stellen,  $I_{\text{Haus}} = -8$  A
2. Fahrzeugemulator mit der Wallbox verbinden, Laden aktivieren und maximalen Ladestrom einstellen
3. Es ist zu überprüfen, dass die Wallbox nun 3-phasig lädt
4. Einhalten von Mindestpause 3 Minuten

### Betriebspunkte entsprechend Abbildung 12

1. Hausemulator 3-phasig:  $I_{\text{Haus}}$  einstellen
2. Erfassen von  $t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$
3. Erfassen von  $t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$ ,
4. Erfassen von  $t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$
5. Erfassen von  $TV$  und  $I_{\text{CP}}$  so bald  $I_{\text{CP}}$  stabil ( $\pm 0,5$  A vom Sollwert)
6. Überprüfen mit wie vielen Phasen geladen wird.  
Kriterium Phase aktiv: Spannung an Phase an  $M_{\text{EV}} > 40$  V
7. Erfassen der übrigen Größen  $I_{\text{EV}}$ ,  $I_{\text{Netz}}$ ,  $I_{\text{Haus}}$ ,  $U_{\text{EV}}$ ,  $U_{\text{Netz}}$ ,  $U_{\text{Haus}}$
8. Einhalten von Mindestpause 3 Minuten vor dem Ansteuern der nächsten Stufe

Hinweis: Es ist mit Phasenumschaltzeiten bis zu 15 Minuten zu rechnen. Messzeiten sind ggf. auf lange Haltezeiten anzupassen.

### Messung

1. Die Messungen sind mindestens einmal zu wiederholen
2. Besonderheiten sind im Prüfbericht zu vermerken

### 3.4.3 Ergebnisse

Tabelle 15: Rahmenbedingungen Messung 1- und 3-phasiges Umschalten

<b>Betriebsmodus Wallbox</b>	
<b>Parametrierung Wallbox</b>	
<b>Auffälligkeiten</b>	

Die Tabelle 16 ist für jede der drei Wiederholung erneut auszufüllen, zu bezeichnen und im Prüfbericht festzuhalten.

Tabelle 16: Ergebnis 1- und 3-phasiges Umschalten

Betriebspunkt	$I_{\text{Netz}}$ [A]	$I_{\text{Haus}}$ [A]	$I_{\text{EV}}$ [A]	$U_{\text{Netz}}$ [W]	$U_{\text{Haus}}$ [W]	$U_{\text{EV}}$ [V]	$t_{\text{T, Phasen-umschaltung}}$ [s]	$t_{\text{P, Phasen-umschaltung}}$ [s]	$t_{\text{E, Phasen-umschaltung}}$ [s]	TV [%]	$I_{\text{CP}}$ [A]	Ph.
	3 Phasen			3 Phasen								
3x8 → 1x12												
1x12 → 3x8												
3x8 → 1x9												
1x9 → 3x8												
3x8 → 1x12												
1x12 → 3x12												
3x12 → 1x12												

### 3.4.4 Zusammenfassung

Der Mittelwert der Phasenumschaltzeit zwischen dem 1- und 3-phasigen Laden und umgekehrt sowie der Minimal- und Maximalwert sind in Tabelle 17 festzuhalten.

Tabelle 17: Zusammenfassung der Phasenumschaltzeit zwischen dem 1- und 3-phasigen Betrieb

	<b>Kenngroße</b>	<b>Min [s]</b>	<b>Mean [s]</b>	<b>Max [s]</b>
1 zu 3 Phasen	$t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{Haltezeit, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$			
3 zu 1 Phasen	$t_{\text{T, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{Haltezeit, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{P, Phasenumschaltung}}$			
	$t_{\text{E, Phasenumschaltung}}$			

## 3.5 Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung

Ist die Wallbox angeschlossen und bereit für das solare Laden muss eine Mindestleistung überschritten werden und für eine bestimmte Zeit anliegen, bevor die Wallbox die Ladung startet. Ebenso wird die Leistung nicht sofort auf null reduziert, wenn die Überschussleistung nur für wenige Sekunden unterschritten wird. Die Ermittlung dieser Haltezeiten ist für die Bewertung des Start- bzw. Ladeverhalten bei geringer und schwankender Überschussleistung notwendig.

### 3.5.1 Prüfbedingungen

#### Elektrofahrzeug

In dieser Prüfung wird dem Elektrofahrzeug im solar gesteuerten Modus über die Wirkkette Zähler, EMS, Wallbox ein Strom entsprechend der eingespeisten Leistung bereitgestellt. Hierzu ist der Fahrzeug-Emulator mit der zu prüfenden Wallbox zu verbinden. Initial ist das Fahrzeug ladebereit (Schalter S2 geschlossen, Systemzustand C2). Der maximal zulässige Strom bzw. die maximale Ladeleistung ist im Emulator auf die nach Hersteller angegebene Maximalleistung der Wallbox  $P_{WB, max}$  (z. B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

#### Netzanschlusspunkt

Der maximal von der Wallbox vorzugebende Ladestrom wird durch die Messung des Energy Meters für das EMS vorgegeben. Die am Zähler erfasste Leistung sollte etwa dem Messpunkt  $M_{Netz}$  entsprechen und sich nach  $P_{Netz} = P_{EV} + P_{Haus}$  bestimmen. Bei Überschuss ( $P_{Netz}$  ist negativ) steuert das EMS den bereitgestellten Ladestrom und die Anzahl der für das Fahrzeug genutzten Phasen so, dass die Netzleistung  $P_{Netz}$  nahe Null ist. Das heißt, dass über eine Einspeisung am Messpunkt  $M_{Haus}$  das Laden gesteuert werden kann. Es gilt ein Strom  $I_{Haus} < 0$  A führt zu einer Einspeisung und damit zum Laden des Fahrzeugs. Durch Vorgabe einer Einspeisung von z. B.  $I_{Haus} = -9/3$  A (auf allen 3 Phasen) wird zuverlässig ein 1-phasiges Laden oder mit  $I_{Haus} = -16$  A (3 Phasen) wird 3-phasiges Laden initialisiert.

#### Wallbox

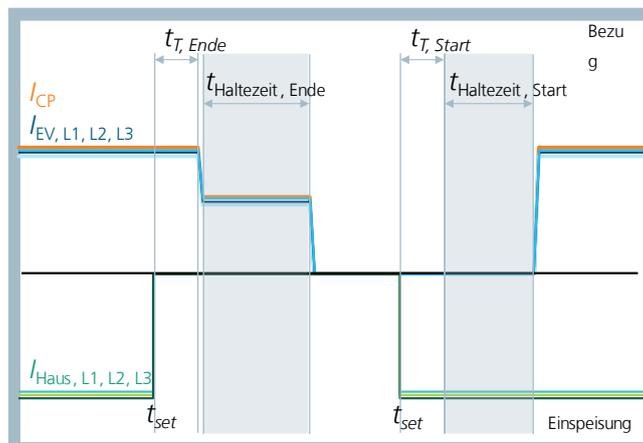
Die Wallbox muss nach Herstellerangaben für das solar gesteuerte Überschussladen parametrisiert werden und das EMS mit dem Zähler verbunden sein.

### 3.5.2 Durchführung der Messung

Bei der Durchführung der Messung soll der mehrfache Wechsel zwischen dem Halten der Ladung, dem Stoppen und dem abermaligen Laden durch Änderung der Einspeisung des Stroms  $I_{Haus}$  getestet werden.

Der erwartete Ablauf der Messung ist in Abbildung 13 visualisiert. Zum Start der Messung befindet sich das Fahrzeug im 1-phasigen Ladebetrieb. Nach einer Zeit von z. B. 3 min wird die Überschussleistung auf 0 A reduziert, sodass sich am Netzanschlusspunkt ein Netzbezug einstellt. Die Wallbox registriert den Leistungsbezug leicht verzögert (Totzeit) und reduziert die Ladeleistung auf den minimalen Ladestrom im einphasigen Betrieb, sie hält diesen für eine gewisse Zeit ( $t_{Haltezeit, Ende}$ ) und schaltet dann ab.

Nach einer Wartezeit von 6 min wird die Einspeiseleistung erhöht mit  $I_{Haus} < -6/3$  A auf allen drei Phasen. Die Wallbox registriert mit einer Totzeit ( $t_T$ ) die Einspeisung und startet nach kurzer Haltezeit ( $t_{Haltezeit, Start}$ ) erneut die Ladung des Fahrzeugs. Die Totzeit am Ladungsstart ist dabei in der Start-Haltezeit enthalten und lässt sich nicht isoliert bestimmen. Die isolierte Haltezeiten am Ende der Ladung und vor dem Start der Ladung werden daher mit den Formeln (5) und (6) unter Berücksichtigung der mittleren Totzeit (siehe Abschnitt 3.3) ermittelt.



**Abbildung 13:** Erwartetes, verzögertes Verhalten einer Wallbox im dreiphasigen Betrieb in Folge einer sprunghaften Änderung des Stroms von  $I_{\text{Haus}}$ . Nach einer Totzeit reduziert die Wallbox ihre Leistungsabgabe auf die minimale Leistung und beendet nach einer Haltezeit Zeit ( $t_{\text{Haltezeit, Ende}}$ ) zum Zeitpunkt  $t_{\text{Ende, Halten}}$  die Ladung. Vor dem Startvorgang ist ein komplementäres Verhalten identifizierbar.

Dieser Vorgang wird mit unterschiedlich langen An- und Auszeiten wiederholt, wie Abbildung 14 zeigt. Hinweis: Die Haltezeit am Ende und Beginn der Ladung können sich unterscheiden. Auch ist es möglich, dass die Haltezeiten z. B. beim Ende der Ladung untereinander variieren. Darüber hinaus haben manche Hersteller eine übergeordnete Sperrzeit implementiert, die nach der Beendigung einer Ladung eine Sperrzeit berücksichtigt. Ferner ist zu berücksichtigen, dass manche Wallboxen bei der Beendigung der dreiphasigen Ladung erst in den einphasigen Betrieb wechseln, daher wird der Test wenn möglich im einphasigen Betrieb durchgeführt. Ist dies nicht möglich, weil die Wallbox hierzu nicht in der Lage ist, ist dies im Prüfbericht zu vermerken und die Messung mit geeigneter dreiphasiger Leistung durchzuführen.

### Messpunkte

Bei den Messungen sind für jeden Betriebspunkt (siehe Abbildung 14) die folgenden Größen zu erfassen:

- $t_{\text{Set, Halten}}$  Zeitpunkt bei dem der Strom  $I_{\text{Haus}}$  geändert wird
- $t_{\text{Ende, Halten}}$  Zeitpunkt ab dem die Wallbox die Ladung unterbricht ( $I_{\text{Haus}} - I_{\text{Netz}} < 0,5 \text{ A}$ )
- $t_{\text{T, Ende, Halten}}$  Zeitspanne von Leistungssprung an  $I_{\text{Haus}}$  bis die Wallbox ihre Ladung beendet
- $t_{\text{Start, Halten}}$  Zeitpunkt ab dem die Wallbox die Ladung beginnt ( $I_{\text{Haus}} - I_{\text{Netz}} > 0,5 \text{ A}$ )
- $t_{\text{T, Start, Halten}}$  Zeitspanne von Leistungssprung an  $I_{\text{Haus}}$  bis zum Ladestart

### Vorbereitung:

1. Hausemulator auf Einspeisung stellen,  $I_{\text{Haus}} = -10/3 \text{ A}$
2. Fahrzeugemulator mit der Wallbox verbinden, Laden aktivieren und maximalen Ladestrom einstellen
3. Es ist zu überprüfen, dass die Wallbox nun 1-phasig lädt
4. Einhalten von Mindestpause 3 Minuten

### Betriebspunkte entsprechend Abbildung 14

5. Hausemulator:  $I_{\text{Haus}}$  auf 0 A einstellen
6. Erfassen von  $t_{\text{Set, Halten}}$
7. Erfassen von  $t_{\text{T, Ende, Halten}}$
8. Hausemulator 3-phasig:  $I_{\text{Haus}}$  auf 10/3 A einstellen
9. Erfassen von  $t_{\text{Set, Halten}}$
10. Erfassen von  $t_{\text{T, Start, Halten}}$
11. Wiederholung ab Betriebspunkt 5. mit den Haltezeiten in Tabelle 18

**Tabelle 18:** Betriebspunkte der Haus-Emulation für die Bewertung der Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung

Betriebspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$I_{\text{Haus}}/3$ in A	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0	-10	0
Haltezeit in min	1	6	1,5	6	3	6	4,5	6	6	6	5	4	4	2

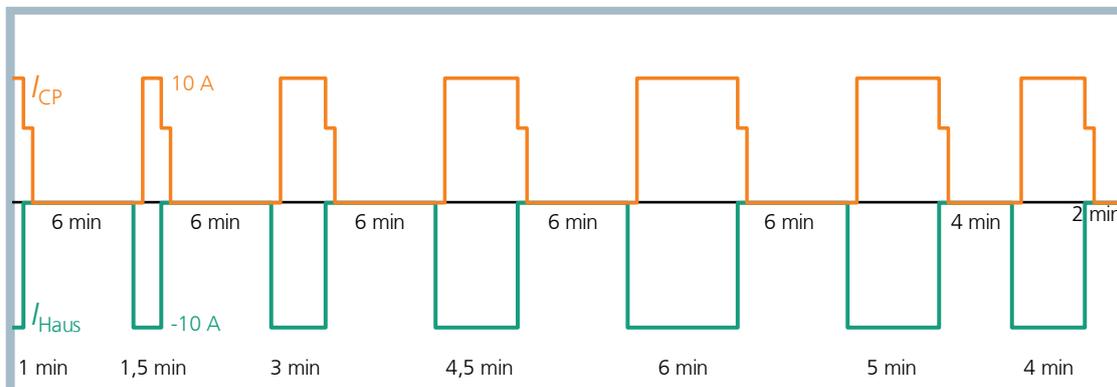


Abbildung 14: Schematischer Ablauf der Haltezeit-Messung mit unterschiedlich langen An- und Auszeiten.

#### Messung

1. Es sind mindestens drei Startvorgänge und Beendigungen der Ladung zu erfassen.
2. Besonderheiten sind im Prüfbericht zu vermerken, z. B.: dreiphasige Messung

### 3.5.3 Ergebnisse

Tabelle 19: Rahmenbedingungen Messung Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung

<b>Betriebsmodus Wallbox</b>	
<b>Parametrierung Wallbox</b>	
<b>Auffälligkeiten</b>	

Tabelle 20: Ergebnis Haltezeiten bei Start und Beendigung der Ladung

Betriebspunkt	$t_{\text{Set, Halten}}$ [s]	$t_{\text{Ende, Halten}}$ [s]	$t_{\text{Start, Halten}}$ [s]	$t_{T, \text{Ende, Halten}}$ [s]	$t_{T, \text{Start, Halten}}$ [s]	Anmerkungen
1			-		-	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						

### 3.5.4 Zusammenfassung

Statistische Größen der Haltezeiten beim Start und Beenden der Ladung sind in Tabelle 21 festzuhalten.

Anmerkung: In die Berechnung der mittleren Haltezeiten beim Laden und Beenden der Ladung sollten lediglich zweifelsfreie Ausschalt- bzw. Einschaltvorgänge berücksichtigt werden. Wird die Ladung am Ende des letzten Betriebspunkts nicht ausgeschaltet, weil die Haltezeit z. B. größer als 2 min ist, geht die Zeit nicht in die Berechnung der Kenngrößen in Tabelle 21 ein. Gleiches gilt für einen eventuellen Phasenwechsel. Die Haltezeit vor der Phasenumschaltung kann sich von den Haltezeiten vor einer Ausschaltung der Wallbox unterscheiden.

Zur Ermittlung der Haltezeit beim Start und Beenden der Ladung muss von der Zeitspanne zwischen dem Leistungssprung an  $I_{\text{Haus}}$  und dem Zeitpunkt bis die Wallbox ihre Ladung beendet oder startet die mittlere Totzeit (Median), bis die Wallbox auf den Leistungssprung reagiert abgezogen werden. Die Berechnung ist in den Formeln (5) und (6) dargestellt.

$$t_{\text{Haltezeit, Ende}} = t_{\text{T, Ende, Halten}} - t_{\text{Set, Halten}} - \text{median}(t_{\text{T}}) \quad (5)$$

$$t_{\text{Haltezeit, Start}} = t_{\text{T, Start, Halten}} - t_{\text{Set, Halten}} - \text{median}(t_{\text{T}}) \quad (6)$$

**Tabelle 21:** Zusammenfassung der Haltezeiten beim Ladestart und beim Beenden der Ladung.

Kenngröße	Min [s]	Mean [s]	Median [s]	Max [s]
$\bar{t}_{\text{Haltezeit, Ende}}$ [s]				
$\bar{t}_{\text{Haltezeit, Start}}$ [s]				

## 3.6 Rampentest

Die kontinuierliche und konstante Änderung der Leistung ist ein wirksamer Test, um verschiedene Betriebsverhalten zu Reproduzieren. Hierzu zählen:

- Maximale Leistung im 1-phasigen und im 3-phasigen Betrieb
- Minimale Leistung im 1-phasigen und im 3-phasigen Betrieb
- Diskretisierungsschrittweite des Stroms (Stromschrittweite)
- Haltezeiten bei der Phasenumschaltung
- Haltezeiten beim Starten und Beenden der Ladung.

Die Werte für die Parameter d) und e) wurden bereits mit den Tests 3.5 und 3.6 wirkungsvoll nachgewiesen. Je nach Steilheit der Rampe kann unter Umständen auch die Schaltzeit, also die Zeit ermittelt werden, die angibt, wie oft das System einen neuen Sollwert einstellen kann.

### 3.6.1 Prüfbedingungen

#### Elektrofahrzeug

In dieser Prüfung wird dem Elektrofahrzeug im solar gesteuerten Modus über die Wirkkette Zähler, EMS, Wallbox ein Strom entsprechend der eingespeisten Leistung erlaubt. Hierzu ist der Fahrzeug-Emulator mit der zu prüfenden Wallbox zu verbinden. Initial ist das Fahrzeug ladebereit (Schalter S2 geschlossen, Systemzustand C2). Der maximal zulässige Strom bzw. die maximale Ladeleistung ist im Emulator auf die nach Hersteller angegebene Maximalleistung der Wallbox  $P_{WB, max}$  (z. B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

#### Netzanschlusspunkt

Der maximal von der Wallbox vorzugebende Ladestrom wird durch die Messung des Energy Meters für das EMS vorgegeben. Die am Zähler erfasste Leistung sollte etwa dem Messpunkt  $M_{Netz}$  entsprechen und sich nach  $P_{Netz} = P_{EV} + P_{Haus}$  bestimmen. Bei Überschuss ( $P_{Netz}$  ist negativ) steuert das EMS den bereitgestellten Ladestrom und die Anzahl der für das Fahrzeug genutzten Phasen so, dass die Netzleistung  $P_{Netz}$  nahe Null ist. Das heißt, dass über eine Einspeisung am Messpunkt  $M_{Haus}$  das Laden gesteuert werden kann.

#### Wallbox

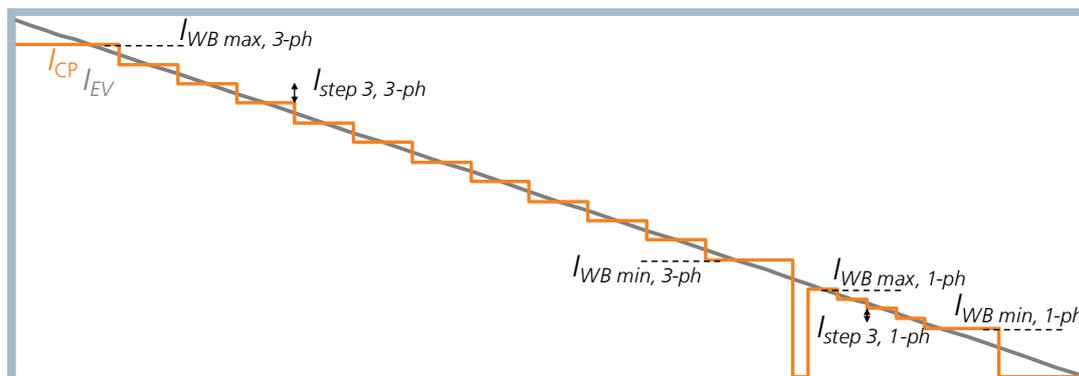
Die Wallbox muss nach Herstellerangaben für das solar gesteuerte Überschussladen parametrisiert werden und das EMS mit dem Zähler verbunden sein.

### 3.6.2 Durchführung der Messung

Bei der Durchführung der Messung soll das Systemverhalten bei kontinuierlicher Leistungsreduktion ermittelt werden.

Der erwartete Ablauf der Messung ist in Abbildung 15 visualisiert. Zum Start der Messung befindet sich das Fahrzeug im 3-phasigen Ladebetrieb. Die Einspeiseleistung liegt oberhalb der Nennleistung der Wallbox, um die maximale Leistungsfähigkeit der Wallbox zu ermitteln. Mit einer Steigung von 200 W/min wird die Leistung von 12 kW bzw. 23 kW auf 0 W reduziert.

Die Wallbox folgt der Überschussleistung mit leichter Verzögerung entsprechend der Totzeit ( $t_T$  aus Test 3.4.). Bei den meisten Wallboxen wird  $I_{CP}$  diskret abgebildet. Es wird daher erwartet, dass die Wallbox zunächst im 3-phasigen Betrieb der Überschussleistung in diskreten Leistungsstufen folgt. Bei einem Strom zwischen -7 A und -6 A wird die Leistung gehalten und ein Phasenwechsel oder die Beendigung der Ladung initiiert. Nach Durchführung des Phasenwechsels lädt die Wallbox 1-phasig weiter und reduziert die Leistung nun in kleineren Leistungs- aber mit gleicher Stromschrittweite bis zur minimalen Ladeleistung, die abermals gehalten wird, um abschließend die Ladung zu beenden.



**Abbildung 15:** Schematischer Ablauf des Rampentests zur Bestimmung der Stromschrittweite und der minimalen und maximalen Stromabgabe im 1- und 3-phasigen Betrieb.

### Messpunkte

Bei den Messungen sind für jeden Betriebspunkt die folgenden Größen zu erfassen:

- Erfassen der Größen  $I_{EV}$ ,  $I_{Netz}$ ,  $I_{Haus}$ ,  $U_{EV}$ ,  $U_{Netz}$ ,  $U_{Haus}$ ,  $P_{EV}$ ,  $P_{Netz}$ ,  $P_{Haus}$  jeweils bei Änderung der Wallboxleistung um mehr als 0,1 A.  
Anmerkung: Wenn die Wallbox das  $I_{CP}$ -Signal höher aufgelöst diskretisiert, z.B. 0,01 A, ist die Stromschrittweite anzupassen. Hierbei gilt, dass die Leistungsänderung hervorgerufen durch Spannungsschwankungen die Messung bei geringeren Werten deutlich beeinflussen können.
- Optional kann die Haltezeit und die Phasenumschaltzeit zur Validierung abermals bestimmt werden.

### Vorbereitung:

1. Hausemulator auf Einspeisung stellen,  $I_{Haus} = -17$  A bei 11 kW oder -33 A bei 22 kW.
2. Fahrzeugemulator mit der Wallbox verbinden, Laden aktivieren und maximalen Ladestrom einstellen
3. Es ist zu überprüfen, dass die Wallbox nun 3-phasig lädt.

### Betriebspunkte entsprechend

4. Hausemulator 3-phasig:  $I_{Haus}$  auf -17 A einstellen.
5. Erfassen der Messgrößen zur Ermittlung der maximalen Leistung.
6. Reduktion von  $I_{Haus}$  auf 0 A mit einer Steigung von 200 W/min entspricht etwa 0,29 A/min.
7. Erfassen der Messgrößen bei Änderung des  $I_{EV}$  um mehr als 0,1 A oder öfter.
8. Erfassen der Messgrößen bei minimaler 3-phasiger Ladeleistung (Haltephase).
9. Erfassen der Messgrößen bei Beginn der 1-phasiger Ladung.
10. Erfassen der Messgrößen bei Änderung des  $I_{EV}$  um mehr als 0,1 A oder öfter.
11. Erfassen der Messgrößen bei minimaler 1-phasiger Ladeleistung (Haltephase).

### Messung

1. Besonderheiten sind im Prüfbericht zu vermerken
2. Die Messung ist so lange durchzuführen, bis die Wallbox ausschaltet – auch wenn kein solarer Überschuss mehr vorhanden ist. In der Praxis kann dies durch ein längeres Halten der minimalen Stromabgabe passieren.

## 3.6.3 Ergebnisse

**Tabelle 22:** Rahmenbedingungen Rampentest

<b>Betriebsmodus Wallbox</b>	
<b>Parametrierung Wallbox</b>	
<b>Auffälligkeiten</b>	

Anmerkung: Je nach Stromschrittweite ist die Tabelle 23 und Tabelle 24 zu erweitern. Dabei sollen im 3-phasigen Betrieb mindestens 9 Stromschritte, im 1-einphasigen Betrieb mindestens 7 Stromschritte aufgezeichnet werden. Sollte z. B. die Haltezeit vor der Phasenumschaltung oder ähnliches vergleichbares verhindern, dass 7 Stufen im 1-phasigen Betrieb aufgezeichnet werden können, ist das im Prüfbericht zu vermerken.

**Tabelle 23:** Ergebnis Rampentest 3-phasige Ladung

Betriebspunkt	$I_{\text{Netz}}$ [A]	$I_{\text{Haus}}$ [A]	$I_{\text{EV}}$ [A]	$P_{\text{Netz}}$ [W]	$P_{\text{Haus}}$ [W]	$P_{\text{EV}}$ [W]	$U_{\text{Netz}}$ [V]	$U_{\text{Haus}}$ [V]	$U_{\text{EV}}$ [V]
3 phasig									
<b>Maximale Leistung</b>									
$I_{\text{step},1}$									
$I_{\text{step},2}$									
...									
$I_{\text{step},n}$									
<b>Minimale Leistung</b>									

**Tabelle 24:** Ergebnis Rampentest 1-phasige Ladung

Betriebspunkt	$I_{\text{Netz}}$ [A]	$I_{\text{Haus}}$ [A]	$I_{\text{EV}}$ [A]	$P_{\text{Netz}}$ [W]	$P_{\text{Haus}}$ [W]	$P_{\text{EV}}$ [W]	$U_{\text{Netz}}$ [V]	$U_{\text{Haus}}$ [V]	$U_{\text{EV}}$ [V]
1 phasig									
<b>Maximale Leistung</b>									
$I_{\text{step},1}$									
$I_{\text{step},2}$									
...									
$I_{\text{step},n}$									
<b>Minimale Leistung</b>									

### 3.6.4 Zusammenfassung

Für die Stromschrittweite sowie die minimale und maximale Leistung im 1- und 3-phasigen Betrieb sind die statistischen Kenngrößen in Tabelle 25 festzuhalten.

**Tabelle 25:** Zusammenfassung Rampentest

<b>Kenngröße</b>	<b>Min</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>Max</b>
<i>I<sub>step, 1-ph</sub> [A]</i>				
<i>I<sub>WB, max, 1-ph</sub> [A]</i>				
<i>I<sub>WB, min, 1-ph</sub> [A]</i>				
<i>P<sub>WB, max, 1-ph</sub> [W]</i>				
<i>P<sub>WB, min, 1-ph</sub> [W]</i>				
<i>I<sub>step, 3-ph</sub> [A]</i>				
<i>I<sub>WB, max, 3-ph</sub> [A]</i>				
<i>I<sub>WB, min, 3-ph</sub> [A]</i>				
<i>P<sub>WB, max, 3-ph</sub> [W]</i>				
<i>P<sub>WB, min, 3-ph</sub> [W]</i>				

## 4 Dynamische Prüfungen

Die dynamischen Prüfungen sollen die statischen Prüfungen ergänzen. Sie dienen der Überprüfung der in den statischen Labormessungen erfassten Kenngrößen. Zusätzlich verbessern sie das Systemverständnis und offenbaren eventuelle Auffälligkeiten, die in den statischen Tests nicht erfasst werden. Grundlage für die ersten 5 verschiedenen Belastungsprofile (vgl. Abbildung 16) sind sekundliche Messungen der Haushaltslast und der PV-Erzeugung in Einfamilienhäusern in Berlin. Aus den Betriebsdaten unterschiedlicher Haushalte wurden verschiedene, kurzzeitige Anwendungstests mit einer Länge von bis zu 45 min identifiziert. Sie bilden klassische Betriebseffekte in Wohngebäuden nach und werden im Folgenden unter 4.1.2 kurz beschrieben. Besonders mit dem 6. Anwendungstests lassen sich zahlreiche Messungen aus den Abschnitten 3.3 bis 3.6 überprüfen. Die unterschiedlichen Zeitreihen lassen sich mit einer zeitlichen Auflösung von 1 s unter [https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data\\_awt.zip](https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data_awt.zip) herunterladen.

### 4.1.1 Prüfbedingungen

Die Prüfbedingungen im Rahmen der Anwendungstest sind an die Prüfbedingungen in Abschnitt 3.6 angelehnt.

#### Elektrofahrzeug

In dieser Prüfung wird dem Elektrofahrzeug im solar gesteuerten Modus über die Wirkkette Zähler, EMS, Wallbox ein Strom entsprechend der eingespeisten Leistung bereitgestellt. Hierzu ist der Fahrzeug-Emulator mit der zu prüfenden Wallbox zu verbinden und mit einem minimalen Strom zum Laden zu bringen (Schalter S2 geschlossen, Systemzustand C2). Der maximal zulässige Strom bzw. die maximale Ladeleistung ist im Emulator auf die nach Hersteller angegebene Maximalleistung der Wallbox  $P_{WB, max}$  (z.B. 11 kW – 16 A, 22 kW – 32 A) einzustellen.

#### Netzanschlusspunkt

Der maximal von der Wallbox vorzugebende Ladestrom wird durch die Messung des Energy Meters für das EMS vorgegeben. Die am Zähler erfasste Leistung sollte etwa dem Messpunkt  $M_{Netz}$  entsprechen und sich nach  $P_{Netz} = P_{EV} + P_{Haus}$  bestimmen. Bei Überschuss ( $P_{Netz}$  ist negativ) steuert das EMS den bereitgestellten Ladestrom und die Anzahl der für das Fahrzeug genutzten Phasen so, dass die Netzleistung  $P_{Netz}$  nahe Null ist. Das heißt, dass über eine Einspeisung am Messpunkt  $M_{Haus}$  das Laden gesteuert werden kann.

#### Wallbox

Die Wallbox muss nach Herstellerangaben für das solar gesteuerte Überschussladen parametrisiert werden und das EMS mit dem Zähler verbunden sein.

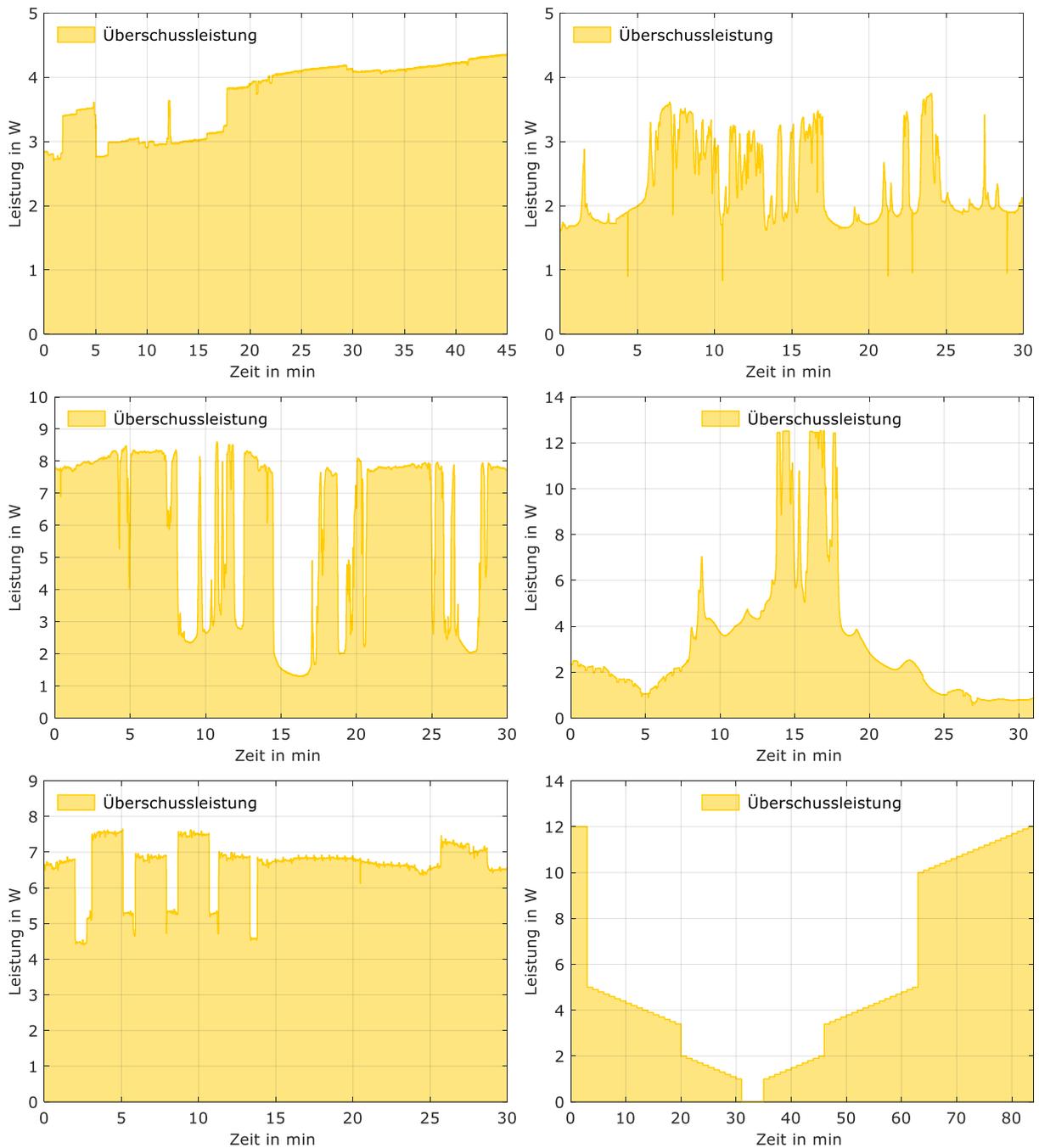
### 4.1.2 Durchführung der Messung

Die Messung startet im Zustand C2. Bei den Messungen sind für jeden Anwendungstest die folgenden Größen zu kontinuierlich zu erfassen und abzuspeichern:

- $I_{EV}, I_{Netz}, I_{Haus}, U_{EV}, U_{Netz}, U_{Haus}, P_{EV}, P_{Netz}, P_{Haus}$

Die Anwendungstest (siehe Abbildung 16) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

AWT	Beschreibung
1	Sonniger, unbedeckter Morgen mit Änderung der Überschussleistung, durch die Haushaltslast.
2	Bedeckter Frühlingstag im Mai, mit schwankender Überschussleistung unterhalb von 4 kW.
3	Wechselnd bewölkter Tag mit stark schwankende PV-Leistungsabgabe
4	Vorwiegend bedeckter Tag mit kurzer Leistungsspitze
5	Sonniger Nachmittag mit hohen Leistungsgradienten der elektrischen Haushaltslast
6	Dynamische Prüfung mit abfallender und ansteigender Leistung, zur Validierung der statischen Tests.



**Abbildung 16:** Verlauf der Überschussleistung der AWT 1 (oben links), AWT 2 (oben rechts), AWT 3 (mitte links), AWT 4 (mitte rechts), AWT 5 (unten links) und AWT 6 (unten rechts), die zusätzlich zu den statischen Prüfungen durchgeführt werden sollten, um das Systemverständnis und die Interpretation der statischen Prüfungen zu verbessern, Daten: HTW Berlin. Daten: [https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data\\_awt.zip](https://wallbox-inspektion.de/publikationen/data_awt.zip)

### 4.1.3 Ergebnisse

Die Reaktion der Wallboxen auf die Überschussleistung sind für jeden Anwendungstest in einer separaten Grafik im Prüfbericht aufzuführen. Die Rahmenbedingungen inkl. Auffälligkeiten sind ebenfalls für jede dynamische Testreihe nach Tabelle 26 aufzuführen. In Tabelle 27 sind die Energiesummen des solaren Überschusses ( $-E_{\text{Haus}}$ ), der von der Wallbox abgegebene Energiemenge ( $E_{\text{WB}}$ ) sowie der Netzbezug ( $E_{\text{G2WB}}$ ) und der Direktverbrauch ( $E_{\text{PV2WB}}$ ) der Wallbox festzuhalten. Darüber hinaus ist die Anzahl der Phasenumschaltungen ( $n_{\text{Umschaltungen}}$ ) zu erfassen und der Solaranteil ( $a_{\text{PV2WB}}$ ) an der von der Wallbox abgegebenen und direkt verbrauchten ( $e_{\text{PV2WB}}$ ) Energiemenge nach den folgenden Formeln (7) und (12) zu ermitteln und auf Plausibilität zu überprüfen. Es ist zu empfehlen die Energien direkt in der Messtechnik zu ermitteln:

$$P_{\text{WB}} = P_{\text{Netz}} - P_{\text{Haus}} \quad (7)$$

$$P_{\text{PV2WB}} = \min(-P_{\text{Haus}}, P_{\text{WB}}) \quad (8)$$

$$P_{\text{G2WB}} = P_{\text{WB}} - P_{\text{PV2WB}} \quad (9)$$

$$E = \int P dt \quad (10)$$

$$a_{\text{PV2WB}} = \frac{(E_{\text{WB}} - E_{\text{G2WB}})}{E_{\text{WB}}} \quad (11)$$

$$e_{\text{PV2WB}} = \frac{E_{\text{PV2WB}}}{-E_{\text{Haus}}} \quad (12)$$

**Hinweis:** Für die Bewertung der Ergebnisse müssen sowohl die zur Verfügung stehende Überschussenergie als auch die Gesamt geladene Energie berücksichtigt werden. Beispielsweise kann eine Wallbox, die mit maximaler Leistung lädt zwar die meiste Solarenergie im Test beziehen aber Netzstrombezug nicht effektiv vermindern. Auf der anderen Seite könnte eine Wallbox, durch große negative Regelabweichung oder auch eine besonders genaue Regelung einem hohen Solaranteil ( $a_{\text{PV2WB}}$ ) erreichen, da sie wenig Netzbezug verursacht. Wenn die gleiche Wallbox eben mit den großen negativen Regelabweichungen oder die genaue Wallbox nur verzögert mit der Ladung startet, führt dies im Test zu einer reduzierten direkten Solarenergienutzung ( $e_{\text{PV2WB}}$ ). Sie kann also nicht so gut auf die zur Verfügung stehende Solarenergie reagieren.

Der Vergleich unterschiedlicher Messungen könnte über virtuell geladene Energie unter der Annahme einer Netzladung ermittelt werden. Allen Wallboxen würde dann eine Nachladung aus dem Netz bis zur virtuellen Energiemenge unterstellt.

**Tabelle 26:** Rahmenbedingungen Anwendungstests 1-6

<b>Betriebsmodus Wallbox</b>	
<b>Parametrierung Wallbox</b>	
<b>Auffälligkeiten</b>	

**Tabelle 27:** Ergebnisse Anwendungstests 1-6

Anwendungstest	$E_{\text{WB}}$ [kWh]	$-E_{\text{Haus}}$ [kWh]	$E_{\text{G2WB}}$ [kWh]	$E_{\text{PV2WB}}$ [kWh]	$a_{\text{PV2WB}}$ [%]	$e_{\text{PV2WB}}$ [%]	$n_{\text{Umschaltungen}}$
<b>AWT1</b>							
<b>AWT2</b>							
<b>AWT3</b>							
<b>AWT4</b>							
<b>AWT5</b>							
<b>AWT6</b>							

# Anhang

## A Danksagung

Die Arbeiten am vorliegenden Leitfaden wurden durchgeführt im Projekt "WBInspektion", gefördert durch das BMWK in der Förderrichtlinie "Elektro Mobil" (FKZ: 01MV23027).

## Literaturverzeichnis

- [1] Fraunhofer ISE, „Projektwebseite Wallbox-Inspektion,“ 2024. [Online]. Available: [www.wallbox-inspektion.de](http://www.wallbox-inspektion.de).
- [2] Fraunhofer ISE, „ev twin,“ 2025. [Online]. Available: [https://marketplace.typhoon-hil.com/package?package\\_name=EV+charging+twin](https://marketplace.typhoon-hil.com/package?package_name=EV+charging+twin).
- [3] VDE, „DIN EN IEC 61851-1 VDE 0122-1:2019-12, Konduktive Ladesysteme für Elektrofahrzeuge,“ 2019.