



Hochschule für Technik
und Wirtschaft Berlin

University of Applied Sciences

Reduktion des Netzausbaubedarfs durch Prosuming

Joseph Bergner, Nico Orth, Lucas Meissner
und Volker Quaschning

Forschungsgruppe Solarspeichersysteme
solar.htw-berlin.de

Studie | 05.09.2025

Rahmenbedingungen (1/2)



- Die Forschungsgruppe Solarspeichersysteme der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin hat verschiedene Konstellationen von PV, Batterie, Elektroauto und Wärmepumpe (Prosuming) in Haushalten analysiert, um den resultierenden Netzausbaubedarf abzuleiten.
- Fragestellung der Untersuchung:
 - Erzeugen PV-Anlagen von Prosumern zusätzlichen Netzausbaubedarf, der über den Bedarf der elektrischen Verbraucher (Wärmepumpe und E-Autos) hinausgeht?
 - Wird durch die Kombination von Erzeugung, Verbrauch und Batteriespeicher an einem Ort, Netzinfrastruktur effizienter genutzt?

Rahmenbedingungen (2/2)

- Die Simulation erfolgte für 57 unterschiedliche Haushalte mit identischer Ausstattung, um Gleichzeitigkeiten ausreichend abzubilden. Dabei wurde eine Durchdringung mit Prosuming-Anlagen von jeweils 100 % und somit ein Maximalwert der Netznutzung angenommen.
- Betrachtet wurde je ein Netzstrang. Variiert wurde die Prosuming-Ausstattung:
 - unterschiedlichen Verbrauchskonstellationen (Wärmepumpen (WP) und E-Autos (EV))
 - 10-kW-PV-Anlage mit unterschiedlichen Batteriespeichergrößen.



Kernergebnisse (1/2)



- Die effizienteste Nutzung der Netzinfrastruktur erreichen vollständige Prosuminghaushalte mit PV-Anlage, Wärmepumpe, E-Auto und Batteriespeicher mit intelligentem Energie- und Lastmanagement.
- Für den Photovoltaik-Zubau wird in diesem Fall kein zusätzlicher Netzausbau benötigt, welcher nicht ohnehin bereits für die elektrischen Verbraucher benötigt würde.
- Eine größere Speicherauslegung von 20 kWh anstatt 10 kWh kann die maximale Leistung am Transformator ohne zusätzliche Abregelungsverluste um 25 % senken und den Netzausbaubedarf weiter reduzieren.

Kernergebnisse (2/2)



- Dazu bedarf es eines intelligenten Speicherbetriebs (Entladung ins Netz). Bei einem solchen Betrieb benötigen PV-Anlagen als Einspeiseleistung lediglich 60% der installierten Peak-Leistung.
- Wärmepumpen beeinflussen die maximale Spitzenlast im Vergleich zu E-Autos deutlicher, da sie im Winterhalbjahr hohe Gleichzeitigkeitsfaktoren aufweisen.
- Durch den Einsatz von Batteriespeichern können nicht nur Erzeugungsspitzen der PV-Anlagen sondern auch Lastspitzen der elektrischen Verbraucher (WP/EV) gekappt werden.

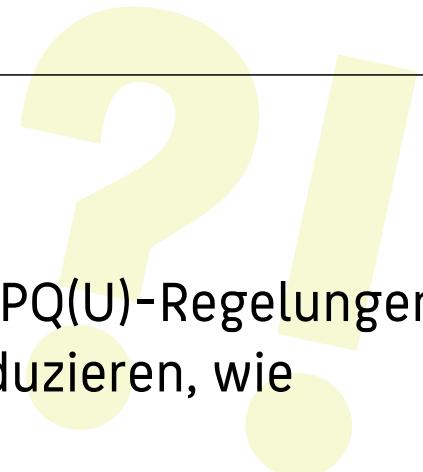
Theoretischer Hintergrund

Theoretischer Hintergrund: Gründe für den Netzausbau

- Verteilnetze müssen ertüchtigt werden, wenn folgende Parameter verletzt werden:

Parameter	Beispiel	Lösung
Alter bzw. Beschädigung	Isolationsfehler	Tauschen des Betriebsmittels
Spannungsgrenzen außerhalb $\pm 10\%$ der Nennspannung	Spannung am Ende des Netzstranges zu hoch.	Transformator umstufen, Kabel tauschen, ergänzen, vermaschen oder aufteilen
Betriebsstrom überschritten	Nennleistung des Transformators oder der Leitung überschritten.	Transformator oder Kabel tauschen, ergänzen, aufteilen.

- Meist treten Spannungsprobleme vor zu hohen Betriebsströmen auf.
- Spannungsprobleme sind netzspezifisch und könnten z.T. auch durch PQ(U)-Regelungen lokal am Hausanschluss behoben werden (Einspeisung oder Bezug reduzieren, wie beispielsweise im Rahmen von EnWG § 14a).
- Ist der Betriebsstrom überschritten, muss das Netz ertüchtigt werden.



Theoretischer Hintergrund: Gleichzeitigkeitsfaktoren

- Netze werden auf Basis von Gleichzeitigkeitsfaktoren geplant. D.h. je mehr Verbraucher in einem Netzstrang angeschlossen sind, desto geringer ist die durchschnittliche Leistung im Verhältnis zur Nennleistung. Ein Beispiel:
 - Bei einem einzelnen Haushalt beträgt die maximale Leistung 30 kW (Nennleistung).
 - Bei 100 Haushalten sind es 1,7 kW pro Haushalt, also 170 kW und nicht 3000 kW.
- Eine Planungsgrundlage ist DIN 18015-1. Sie unterscheidet in Haushalte mit elektrischer Warmwasserbereitung (Fall A) und ohne elektrische Warmwasserbereitung (Fall B).
- Bei 57 Haushalten entspricht dies 3 kW/HH (Fall A) bzw. 1,7 kW/HH (Fall B).
- Die Prüfung der Maximallast erfolgt nach Stetz et al. 2012 auf Basis des 99. Perzentil der maximalen Last. Das Perzentil blendet im Gegensatz zum absoluten Maximalwert Messfehler oder einmalige Situationen aus.¹⁾

Theoretischer Hintergrund: Leistung pro Haushalt

- Im EnWG § 14a wird dem Netzbetreiber die Möglichkeit eingeräumt, die Leistung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen auf 4,2 kW pro Haushalt zu begrenzen.
- „Der Netzbetreiber darf den Strombezug der steuerbaren Verbrauchseinrichtung temporär auf bis zu 4,2 kW reduzieren [...]. Diese Mindestleistung muss immer zur Verfügung stehen [...]. Der reguläre Haushaltsstrom ist davon nicht betroffen.¹⁾“
- Der Zielausbauzustand der Verteilnetze ist den technischen Grundlagen folgend mit 5,9 kW/HH bis 7,2 kW/HH zu bewerten (4,2 kW + DIN 18015-1).

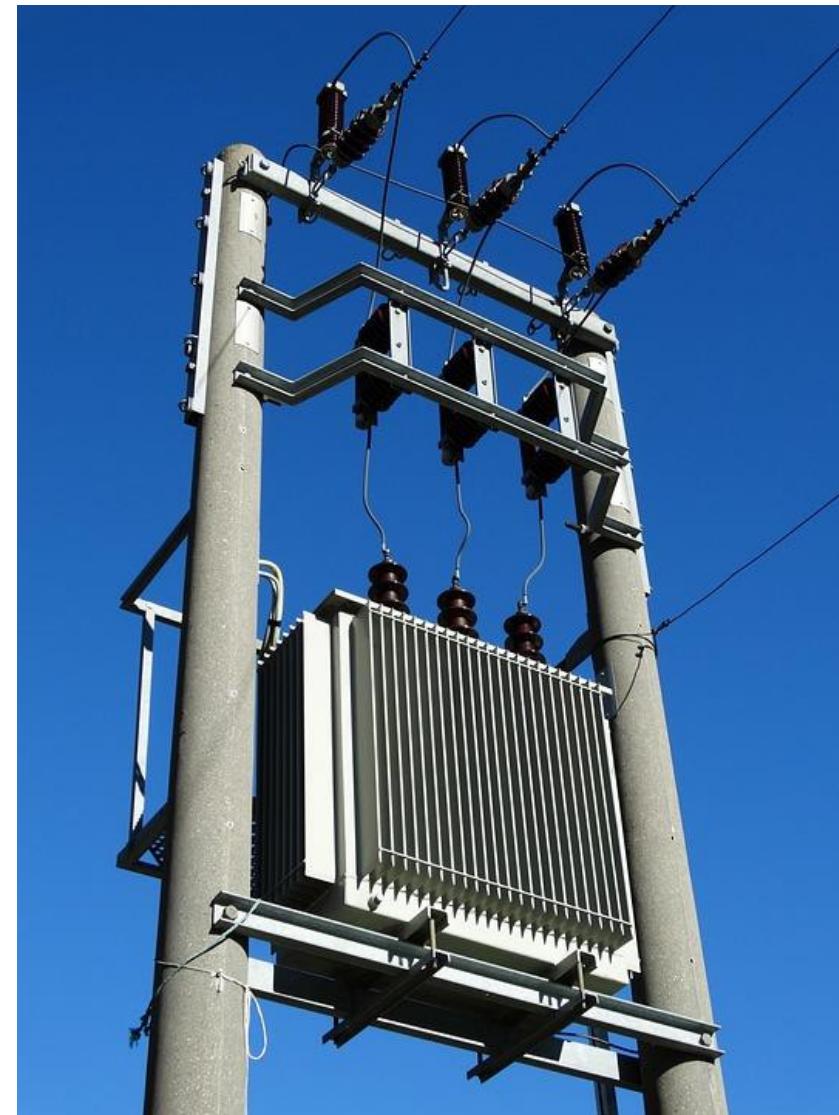


Theoretischer Hintergrund: Transformator

- Transformatoren haben Leistungsklassen.
- Nach DIN IEC 60076-7 (VDE 0532-76-7) wird im zyklischen Betrieb empfohlen:
Maximale Leistung < Nennleistung x 1,5

Nennleistung in kVA	100	160	250
Max. Leistung (zyklisch) in kVA	150	240	375
Max. Leistung (Notbetrieb) in kVA	<200	<320	<500

- Des Weiteren ist eine Bewertung der Temperaturen und dem damit verbundenen Lebensdauerverbrauch notwendig.
- Maximale Heißpunkttemperatur: 140° C
- (Nenn-)Lebensdauer des Transformators bei 98° C beträgt: 36,7 Jahre

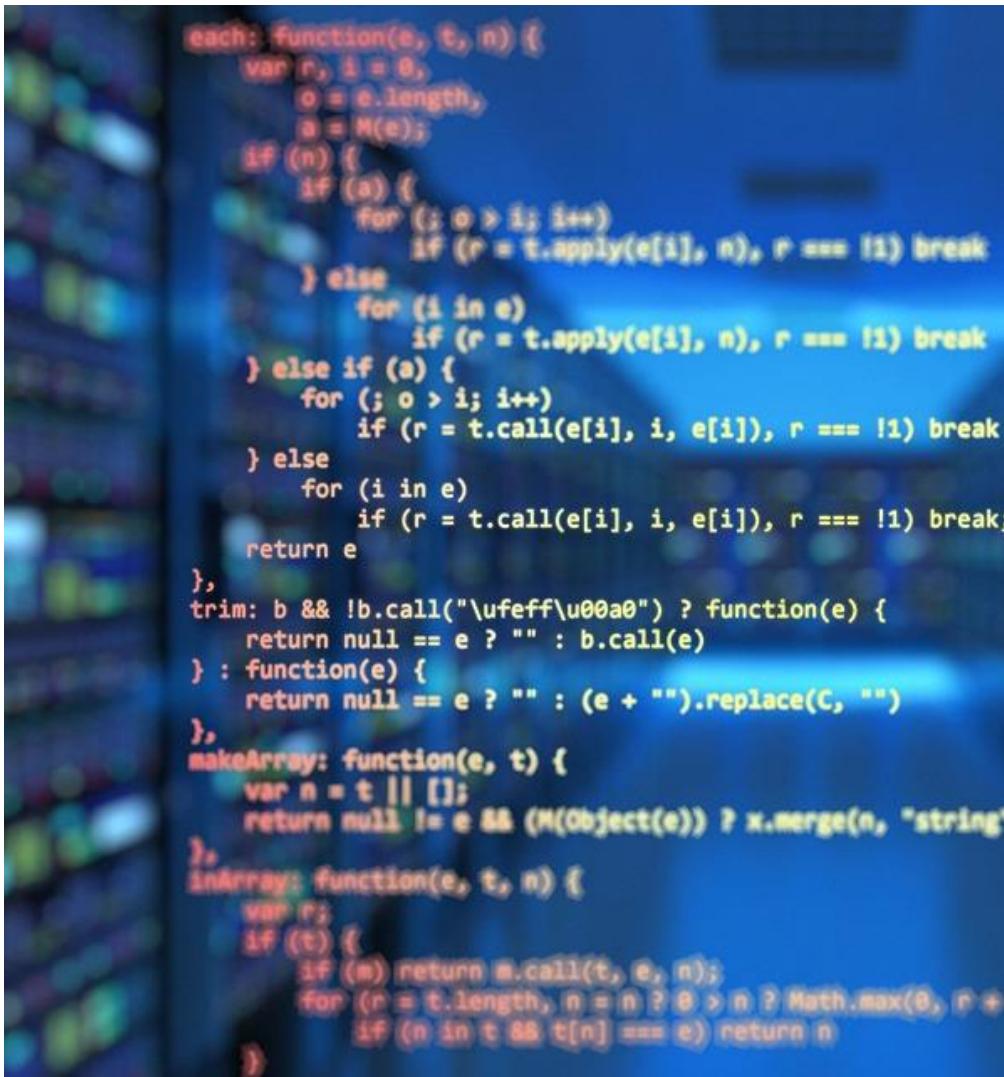


Schlussfolgerung und Annahmen für diese Untersuchung

- Spannungshaltung wird vernachlässigt, da hierfür lokale Lösungen bestehen.
- Transformatoren verfügen über erhebliche Leistungsreserven, jedoch erfordert dies eine Bewertung der Betriebstemperaturen.
- Ist die Einspeiseleistung kleiner als die Bezugsleistung, sollte kein PV-bedingter Netzausbau erforderlich sein.
- Der Zielausbauzustand des Verteilnetzes hat einen offenen Zeithorizont und verursacht hohe Kosten. Die Auswertung erfolgt daher auf Basis bestehender Grenzwerte zzgl. einer geringen Reserve für die aktive Betriebsmittelbewirtschaftung



Modellbeschreibung



```
each: function(e, t, n) {
    var r, i = 0,
        o = e.length,
        a = M(e);
    if (n) {
        if (a) {
            for (; o > i; i++)
                if (r = t.apply(e[i], n), r === !1) break;
        } else
            for (i in e)
                if (r = t.apply(e[i], n), r === !1) break;
        } else if (a) {
            for (; o > i; i++)
                if (r = t.call(e[i], i, e[i]), r === !1) break;
        } else
            for (i in e)
                if (r = t.call(e[i], i, e[i]), r === !1) break;
    return e
},
trim: b && !b.call("\ufeff\u00a0") ? function(e) {
    return null == e ? "" : b.call(e)
} : function(e) {
    return null == e ? "" : (e + "").replace(C, "")
},
makeArray: function(e, t) {
    var n = t || [];
    return null != e && (M(Object(e)) ? x.merge(n, "string")
),
isArray: function(e, t, n) {
    var r;
    if (t) {
        if (!e) return n.call(t, e, n);
        for (r = t.length, n = n ? 0 > n ? Math.max(0, r +
            n) : n in t && t[n] === e) return n
    }
}
```

- Die thermische Simulation der Gebäude erfolgt nach Tjaden et al. 2016. Die Wärmepumpe ist SG-Ready, modulierend und hat eine Nachtabsenkung.¹⁾
- Eigenverbrauch der PV-Leistung wird priorisiert und die Einspeiseleistung auf 60 % der installierten Leistung limitiert.
- Die Ladung der Elektroautos wird nach Bergner et al. 2025 simuliert²⁾.
- Der Batteriefahrplan mit PV-Spitzenkappung wird immer zu einem festen Zeitpunkt für den nächsten Tag optimiert.
- Prognosefehler werden durch die Abregelung von PV-Leistung ausgeglichen, die optimierte Einspeiseleistung wird gehalten.

1) <https://solar.htw-berlin.de/wp-content/uploads/TJADEN-2016-Solarspeichersysteme-zur-autarken-Strom-und-Waermeversorgung-von-Gebaeuden-in-Niederspannungsnetzen.pdf>
2) <https://solar.htw-berlin.de/publikationen/wie-viel-sonne-ist-im-tank/>

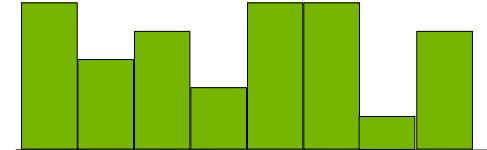
Batterieregelung

- Der Regelung ermöglicht eine minimale Einspeise- und Bezugslistung (Spitzenkappung). Hierbei ist die Netzentladung möglich. Die Entladung erfolgt in Abhängigkeit des Ladeszustands (SOC):
 - Sie folgt i.d.R. der Last (Modus 1).
 - Fällt der Ladezustand unter 20 % wird der Leistungsbezug auf 2 kW in Anlehnung an DIN 18015-1 begrenzt (Modus 2 und 3).
 - Bei geringem Ladezustand von weniger als 10 % ist zusätzlich Netzladung möglich (Modus 3).

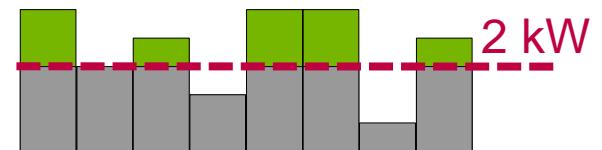
Entladung in Abhängigkeit des Ladezustands (SOC)

 Batterieentladung
 Netzbezug
 Batterieladung

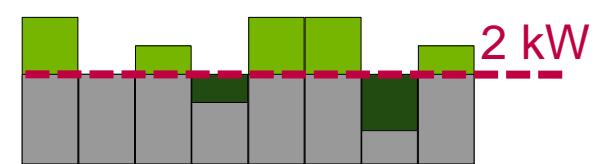
Modus 1: Normal
20 %...100 % SOC



Modus 2: Loadshaving
10 %...20 % SOC

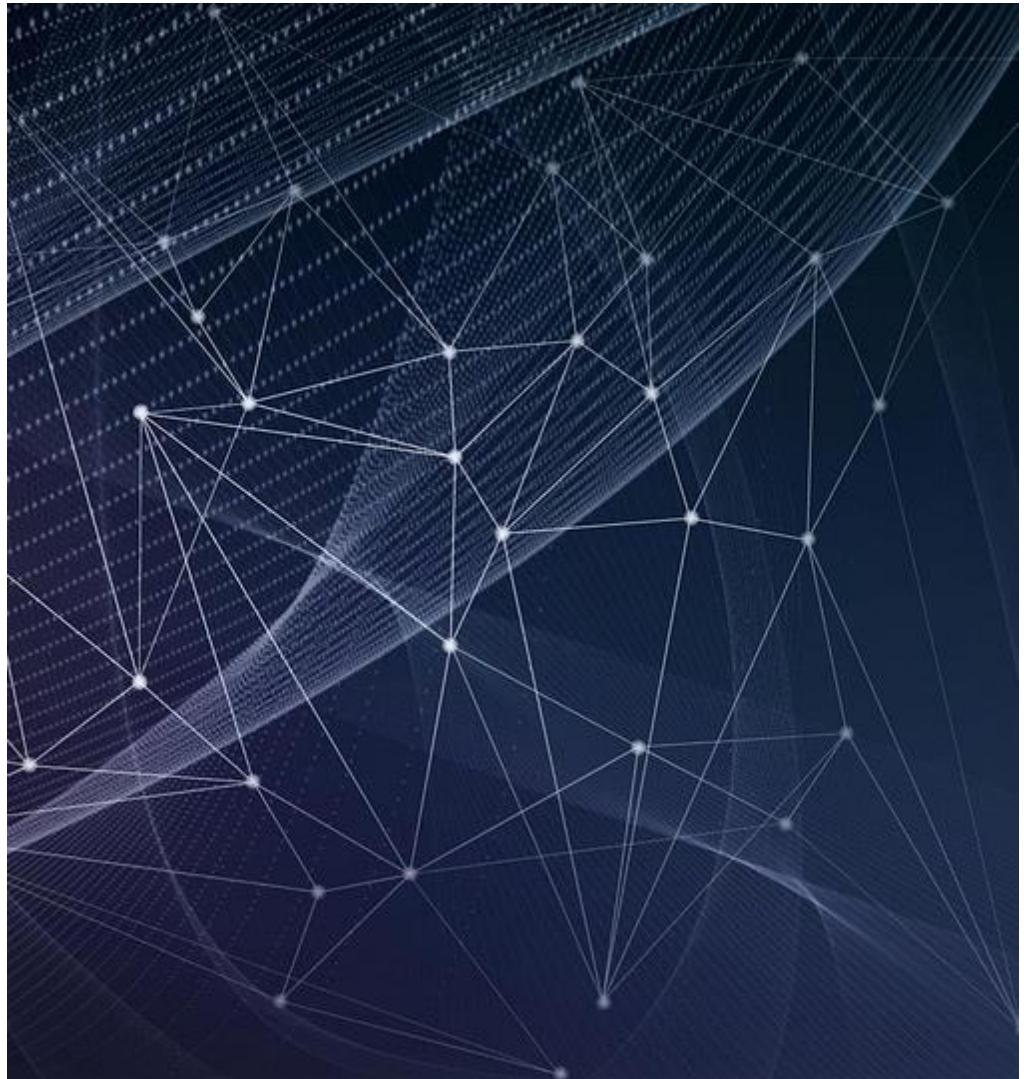


Modus 3: Netzmodus
Ab <10 % SOC bis 20 % wieder erreicht sind



Datengrundlage¹

- Wetterdaten DWD-Lindenberg (2004)
- Lastdaten: HTW 2016
- 57 Haushalte in einem Verteilnetzstrang.
- Gebäudesimulation: 2R2C-Einazonen-Modell
- Gebäudestandard: normalverteilt GEG
- Nutzfläche 140 m²
- Wärmepumpe Stiebel Eltron WPL 13 mit 500 l Puffer- und 250 l Trinkwarmwasserspeicher
- Abweichend von Tjaden et al. 2016:
 - PV-Anlage: 10 kW, Orientierung normalverteilt
 - Batteriekapazität: 10 kWh und 20 kWh
 - Batterieleistung: 10 kW



1) <https://solar.htw-berlin.de/wp-content/uploads/TJADEN-2016-Solarspeichersysteme-zur-autarken-Strom-und-Waermeverversorgung-von-Gebaeuden-in-Niederspannungsnetzen.pdf>

Einschränkungen der Annahmen:



- Keine Berücksichtigung von dynamischen Stromtarifen.
- Keine ökonomische Optimierung des Eigenverbrauchs.
- Batteriesteuerung zur Netzentlastung geht über den Marktstandard hinaus.
- Gebäudebestand ist in gutem Zustand (im Mittel GEG-Standard).
- „Worst-Case“: 100% Durchdringung, folglich maximale PV-Einspeisung, WP- und EV-Last.
- Elektrofahrzeuge im Solarbetrieb laden stets vor der Abfahrt die restliche benötigte Energiemenge mit max. Leistung (keine Netzoptimierung), dadurch hohe Spitzenlast.

Szenariendefinition

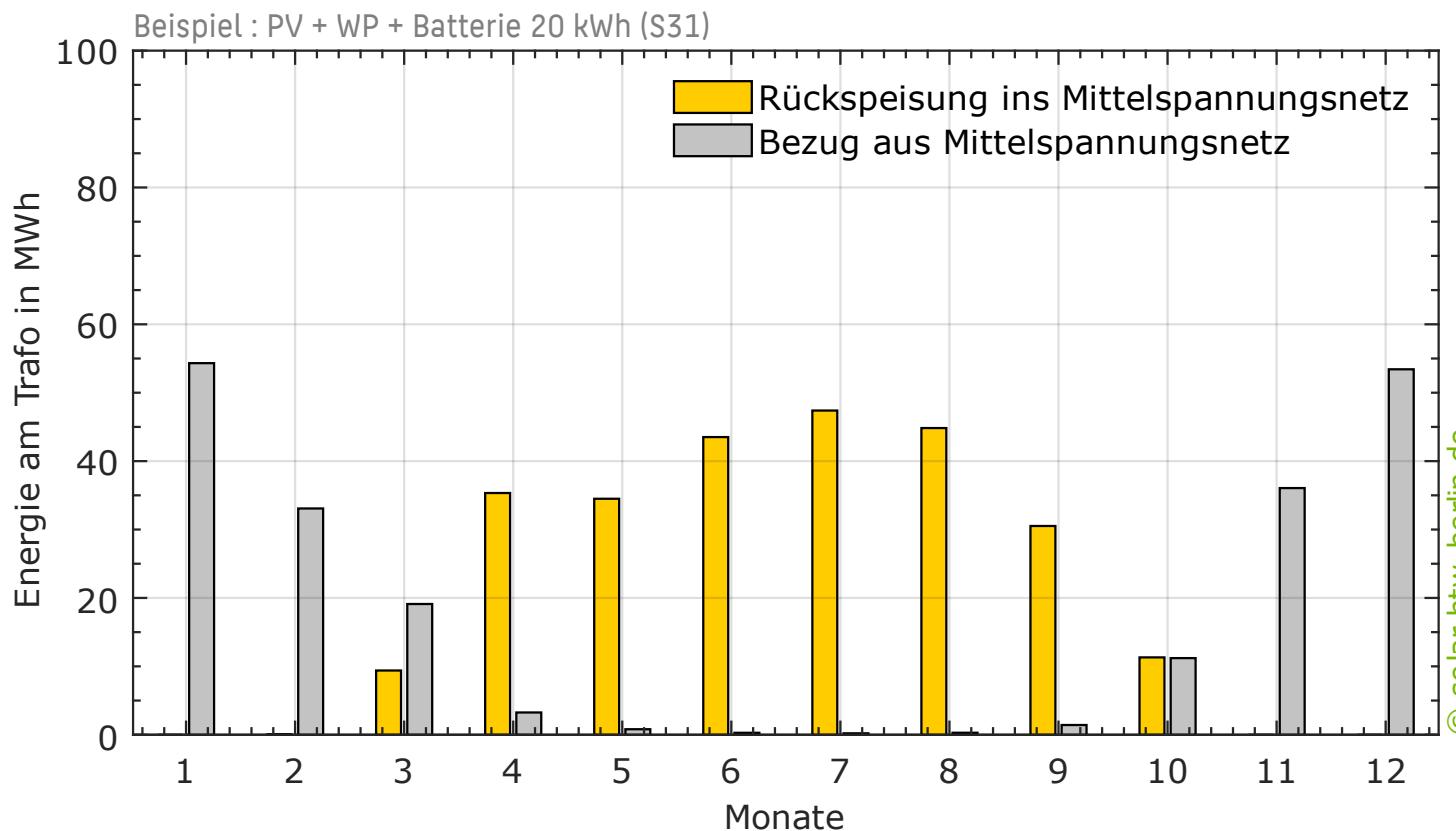
Name	HH	WP	PV	B10	B20	EV
S0	x					
S11	x	x				
S12	x	x				x
S21	x	x			x	
S22	x	x			x	x
S31	x	x	x		x	
S32	x	x	x	x		
S41	x	x	x		x	x
S42	x	x	x		x	(solar)
Abkürzung	Bezeichnung	Abkürzung	Bezeichnung			
HH	Haushaltslast	B10	Batterie mit 10 kWh			
WP	Wärmepumpe	B20	Batterie mit 20 kWh			
PV	Photovoltaik 10 kW	EV	Elektroauto			



Ergebnisse

Auswertung: Monatliche Energiebilanz Transformator

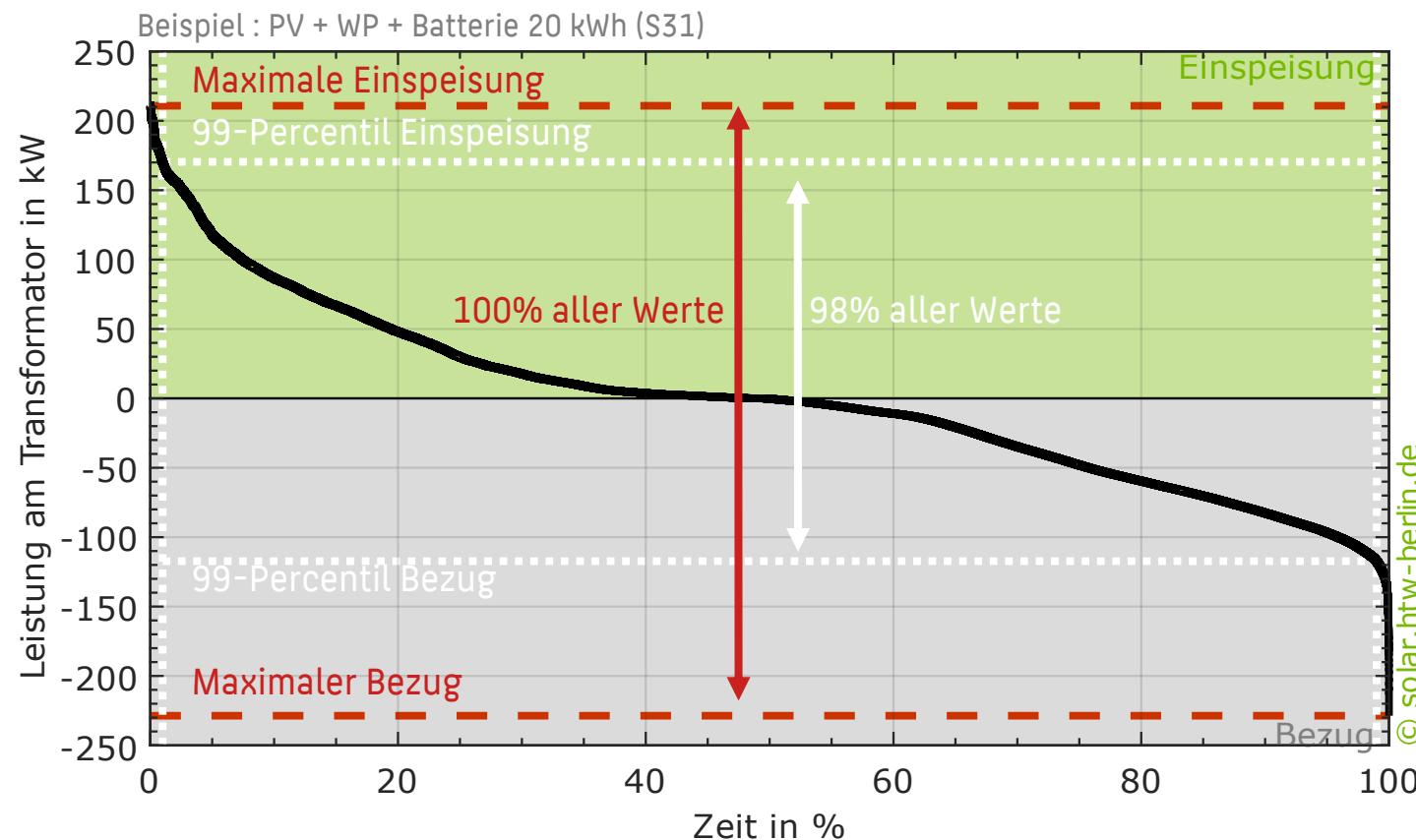
- Netzaustausch mit der übergeordneten Netzebene.
- Energiebilanz am Trafo in MWh pro Monat.
- Beispieldarstellung für S31, alle Darstellungen im Anhang.
- Im Sommerhalbjahr Rückspeisung und kaum Netzbezug.
- Im Winter deutlicher Netzbezug und keine Einspeisung.



© solar.htw-berlin.de

Auswertung: Maximale Last am Transformator

- Leistungsaustausch mit der übergeordneter Netzebene.
- Sortieren der Leistung am Transformator nach Höhe.
- Beispieldarstellung für S31, alle Darstellungen im Anhang.
- Maximaler Bezugs und Einspeisewert entspricht dem höchsten Wert (Modellabhängigkeit hoch).
- 99-Perzentil: Einspeisung bzw. Bezug, bei der genau 1% der Leistungen größer sind.



Ergebnistabelle: Energie und max. Leistung am Transformator

Szenario		Bezug Mittelspannung in MWh	Rückspeisung Mittelspannung in MWh	Maximale Rückspeisung in kW	Maximale Last in kW	Maximale Rückspeisung in kW (99 Percentil)	Maximale Last in kW (99 Percentil)
HH	S0	254	0	-	92	-	63
HH+WP	S11	460	0	-	285	-	144
HH+WP+EV	S12	541	0	-	300	-	160
HH+WP+B20	S21	481	0	-	203	-	126
HH+WP+EV+B20	S22	561	0	-	242	-	146
HH+WP+PV+B20	S31	214	207	211	229	170	117
HH+WP+PV+B10	S32	230	274	303	225	254	118
HH+WP+EV+PV+B20	S41	262	181	206	200	166	127
HH+WP+EV+PV+B20	S42	266	186	205	652*	164	136

HH: Haushaltslast; WP: Wärmepumpe; EV: E-Auto; B20: Batterie mit 20 kWh;
PV: PV-Anlage mit 10 kWp; B10: Batterie mit 10 kWh; S42: EV solares laden.

Fett Gedruckt: Höherer Wert, Szenarien-Definition siehe Folie „Szenarien“,
*: Alle Fahrzeuge laden zum spätest möglichen Zeitpunkt, Modellannahme

Ergebnistabelle: Maximale Temperaturen am Transformator

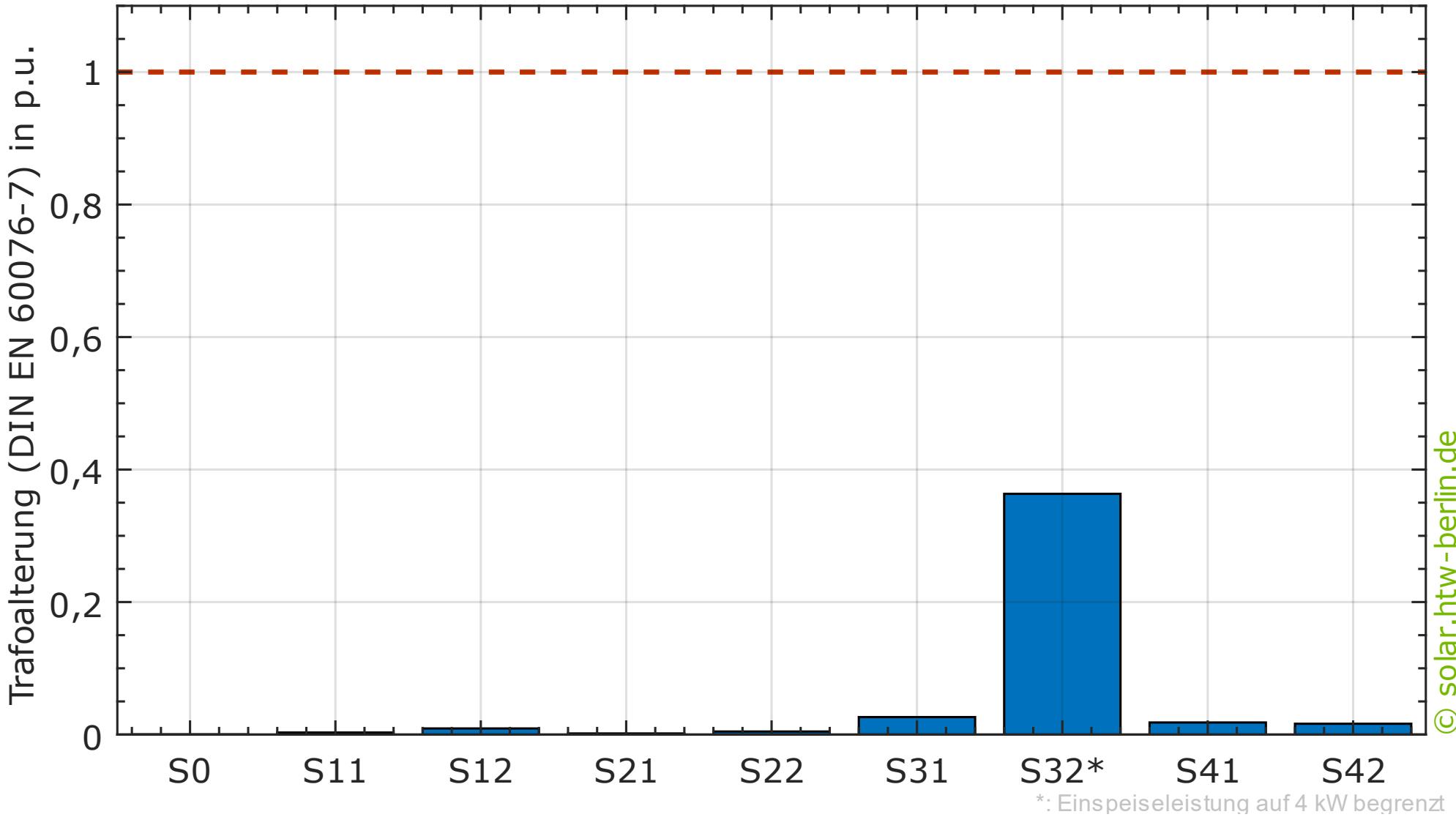
Szenario		Maximale Heißpunkttemperatur in °C nach DIN EN 60076-7			
		100 kVA	160 kVA	250 kVA	160 kVA
		Nach Norm mit 20° C			Außentemperatur
HH	S0	72	49	38	46
HH+WP	S11	251	132	78	108
HH+WP+EV	S12	268	140	82	117
HH+WP+B20	S21	185	101	63	77
HH+WP+EV+B20	S22	200	108	67	99
HH+WP+PV+B20	S31	295	140	88	144**
HH+WP+PV+B10*	S32*	268	153	82	159
HH+WP+EV+PV+B20	S41	253	133	78	136
HH+WP+EV+PV+B20	S42	245	129	77	133

HH: Haushaltslast; WP: Wärmepumpe; EV: E-Auto;
 B20: Batterie mit 20 kWh; PV: PVA mit 10 kWp;
 B10: Batterie mit 10 kWh; S42: EV solares laden.

Maximal zulässige Heißpunkttemperatur nach Norm: 140° C bei 20° C Außentemperatur, keine aktive Kühlung..
 Anmerkungen: *: Begrenzung der Einspeiseleistung auf 4 kW. ** Überschreitung in S31 nur für wenige Minuten.
 Parameter Trafo: $x=0,8$; $y=1,6$; $\tau_{öL} = 180 \text{ min}$; $\tau_w = 4 \text{ min}$; $R=8$, $k11=1$; $k21=1$; $k22=2$

- Simulation des Transformators nach DIN IEC 60076-7
- Ermittlung der max. Heißpunkttemperatur.
- - : OK
 - : Erhöhte Alterung
 - : Grenzwertig
 - : Ausschluss
- Folgerung: Ein 160 kVA Trafo könnte für alle Fälle in Betracht bezogen werden.

Alterung Transformator - 160 kVA



Lesehilfe: Ein Wert von 1 bedeutet der Trafo altert normal, also 1 Jahr pro Jahr. Die Alterung ist in allen Szenarien akzeptabel. Für die meisten Szenarien sind 100 kVA zu gering. Für alle Szenarien sind 250 kVA geeignet. Daher hier nur 160 kVA dargestellt.

Fazit

Fazit – Erkenntnisse



- WP und EV, steigern den Leistungs- und Energiebedarf
- Bei der Betrachtung einzelner Haushalte werden Gleichzeitigkeiten vernachlässigt.
- Mit Wärmepumpe in jedem Haushalt verdoppelt sich das 99. Perzentil der höchsten Leistungen am Transformator und verdreifacht sich die maximale Last.
- Das E-Auto in jedem Haushalt steigert die Leistung nur geringfügig, da die Gleichzeitigkeit geringer ist.
- Die Batterie kann so geregelt werden, dass eine maximale Bezugsleistung stets eingehalten wird.
- Ein smart betriebenes PV-Speichersystem reduziert die Leistung am Transformator und entlastet diesen.
- Ergebnis: Durch den Einsatz von PV-Speichersystemen kann die maximale Leistung reduziert werden.

Fazit - Fragestellung



- Smarte PV-Speichersysteme verursachen keinen zusätzlichen Ausbaubedarf, der über den Ausbaubedarf der elektrischen Verbraucher (Wärmepumpe und E-Autos) hinausgeht.
- Im Beispiel muss das Netz in der Lage sein Lasten bis zu 300 kW zu bedienen. Die Einspeiseleistung aller PV-Anlagen ist, trotz maximaler Durchdringung, deutlich geringer.
- Durch netzorientiertes Prosuming können PV-Speichersysteme die Spitzenleistungen von Bezug und Erzeugung reduzieren und somit Netze effizienter nutzen.

Diskussion und weiterer Forschungsbedarf (1/2)

- Variable Stromtarife ändern das Energie-management. Es können Anreize für die Ladung von Elektroautos, Speichern oder auch in begrenztem Umfang die Verschiebung der Einspeisung angereizt werden.
- Hierbei ist zu beachten, dass ein zentrales Preissignal zu einer ungewollten Synchronisierung der dezentralen Energiesysteme führen kann. Die kann zu unerwünschten Lastflüssen führen.
- Diese Synchronisierung in Bezug auf dynamische Strompreise ist unterbeleuchtet und verdient bei der regulatorischen Ausgestaltung mehr Aufmerksamkeit.



Diskussion und weiterer Forschungsbedarf (2/2)



- Die Simulation zeigt, dass der Austausch mit der höheren Netzebene sich verändert. Für viele Prosumingkonstellationen bedeutet dies, im Sommerhalbjahr wird nur eingespeist und im Winterhalbjahr erfolgt der gesamte Netzbezug. Dies stellt die Netzinfrastruktur vor neue Fragestellungen.
- Für diese Untersuchung wurden Wärmepumpe & Batterie netzoptimiert parametrisiert. Dies entspricht nicht dem aktuellem Marktstandard.
- Trotz Optimierung sorgt die Gleichzeitigkeit der Wärmepumpe in allen Haushalten für hohe Lasten. Ein smarter Speicher kann diese reduzieren. Es erscheint zielführend, die Rahmenbedingungen in diese Richtung weiterzuentwickeln.

Fazit – Zusammenfassung (1/2)

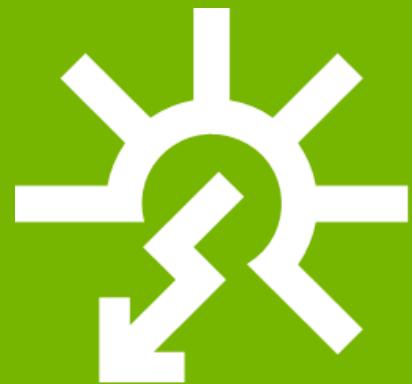


- Die effizienteste Nutzung der Netzinfrastruktur erreichen vollständige Prosuming-Konstellationen mit PV-Anlage, Wärmepumpe, E-Auto und Batteriespeicher mit intelligentem Energie- und Lastmanagement.
- Für den Photovoltaik-Zubau wird in diesem Fall kein zusätzlicher Netzausbau benötigt, welcher nicht ohnehin bereits für die elektrischen Verbraucher benötigt würde.
- Eine größere Speicherauslegung von 20 kWh anstatt 10 kWh kann die maximale Leistung am Transformator ohne zusätzliche Abregelungsverluste um 25 % senken und den Netzausbaubedarf weiter reduzieren.

Fazit - Zusammenfassung (2/2)



- Dazu bedarf es eines intelligenten Speicherbetriebs (Entladung ins Netz). Bei einem solchen Betrieb benötigen PV-Anlagen als Einspeiseleistung lediglich 60% der installierten Peak-Leistung.
- Wärmepumpen beeinflussen die maximale Spitzenlast im Vergleich zu E-Autos deutlicher, da sie im Winterhalbjahr hohe Gleichzeitigkeitsfaktoren aufweisen.
- Durch den Einsatz von Batteriespeichern können nicht nur Erzeugungsspitzen der PV-Anlagen sondern auch Lastspitzen der elektrischen Verbraucher (WP/EV) gekappt werden.



Forschungsgruppe
SOLARSPEICHERSYSTEME

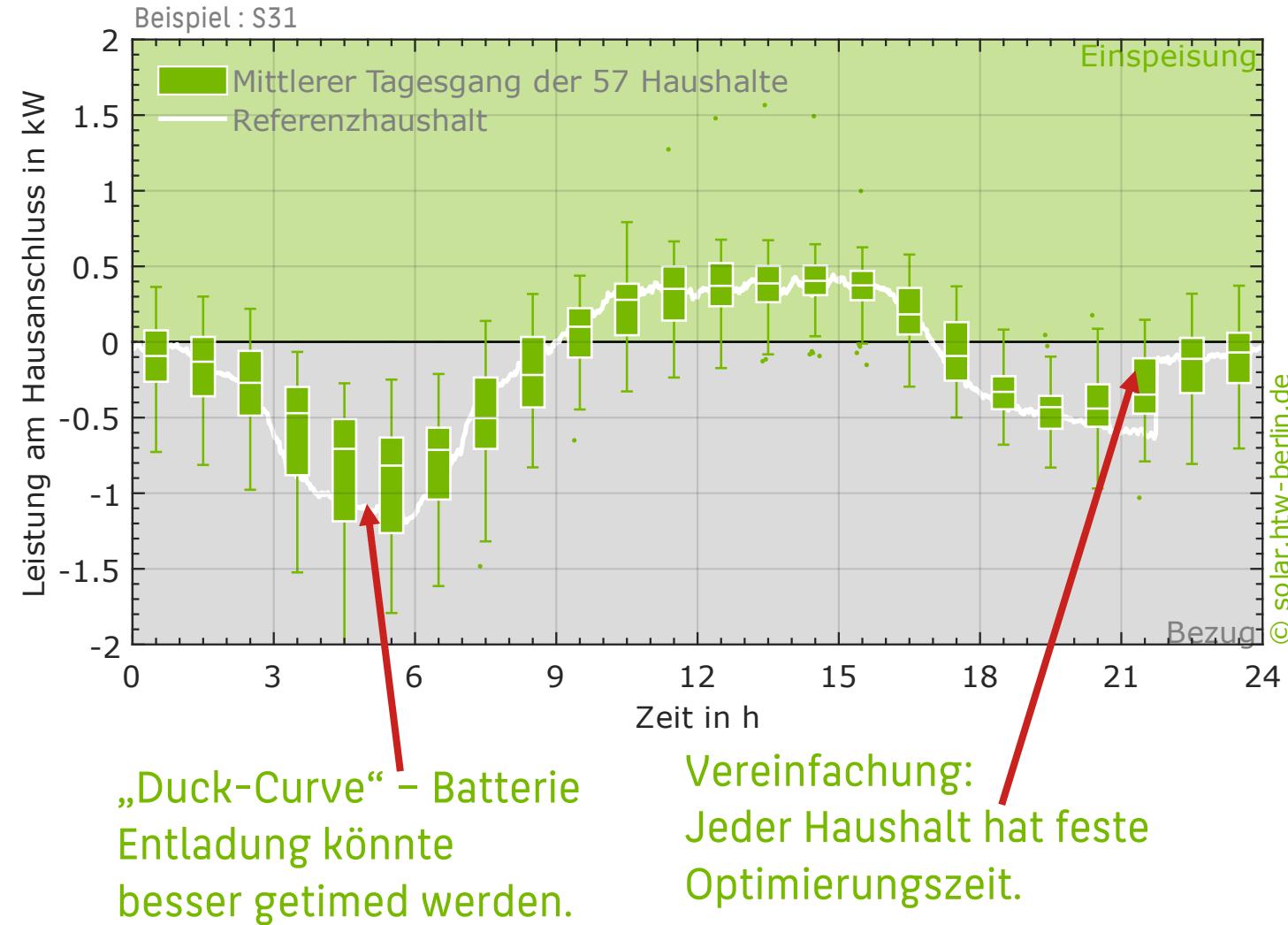
Anhang:

Detaillierte Ergebnisse

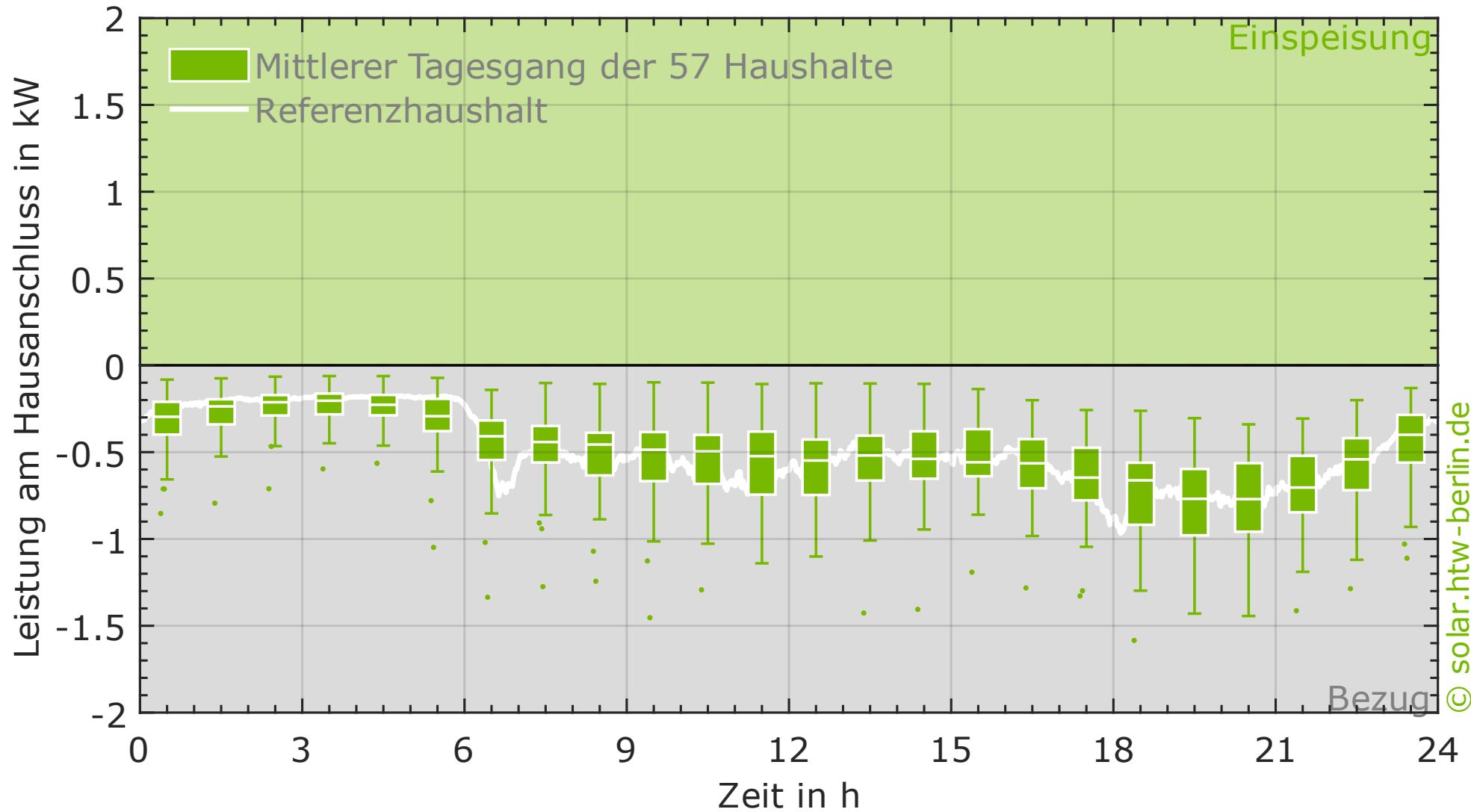
Boxplot Haushaltslast

Erläuterung Grafiken – Boxplot Haushaltslack

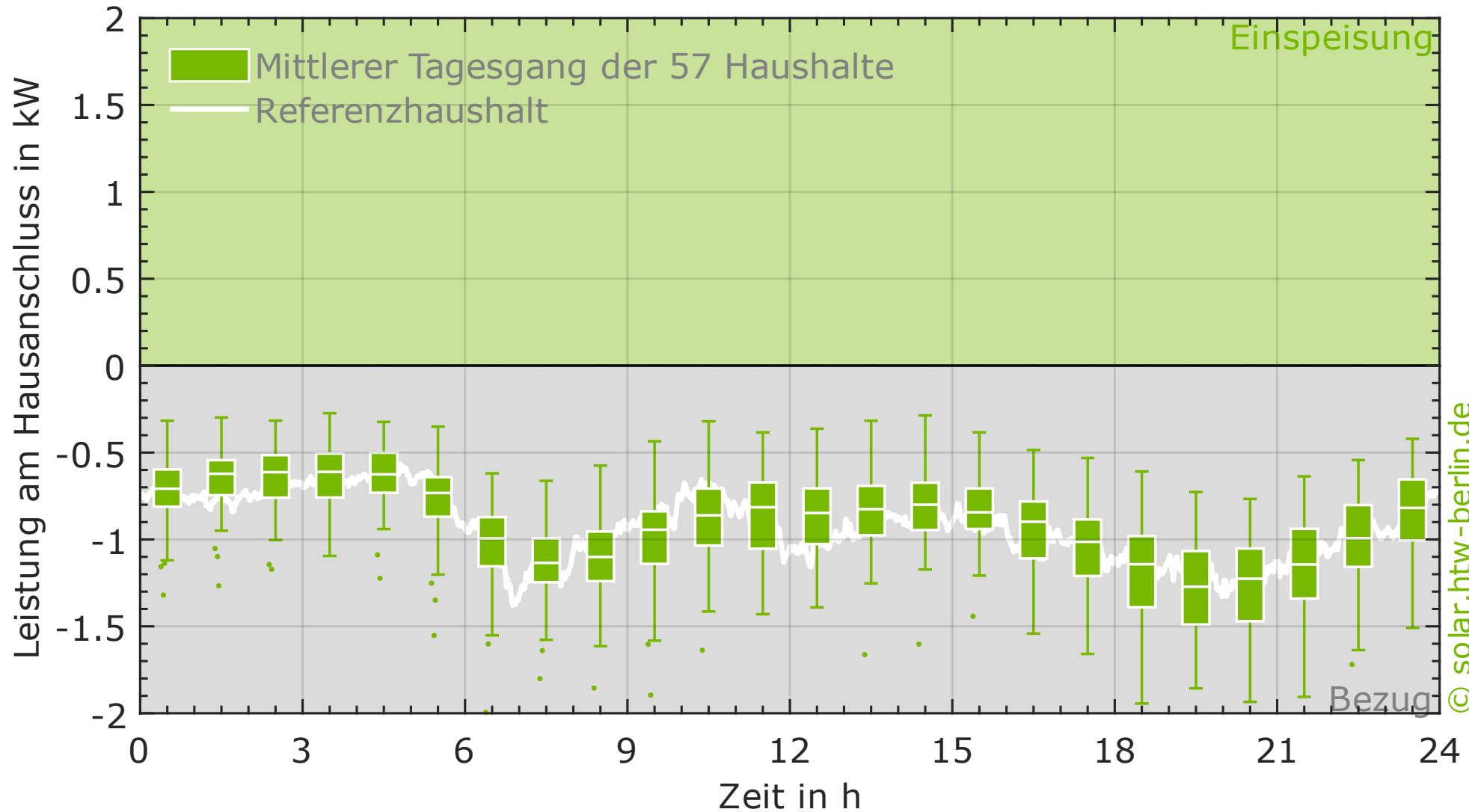
- Mittlere Tageslast aller 57 Haushalte.
- Streubreite ist die Varianz der Haushalte.
- Einspeisung oben, Bezug unten.
- Nachteinspeisung: Entladung so, dass der Speicher die PV-Spitze am nächsten Tag aufnehmen kann.
- Referenzhaushalt für Darstellung „Auslegungs-relevanter Tagesgang HH“.



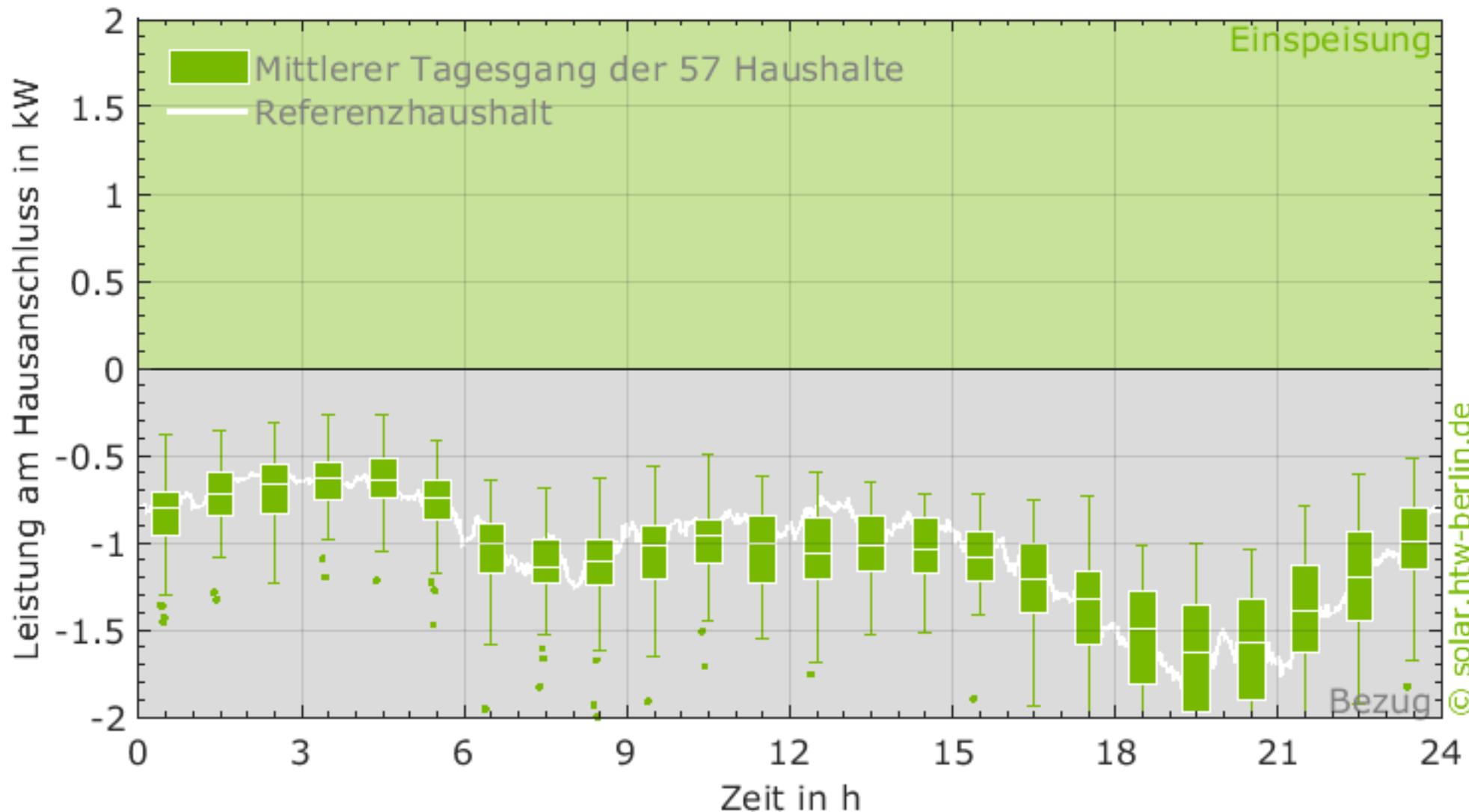
SO - HH



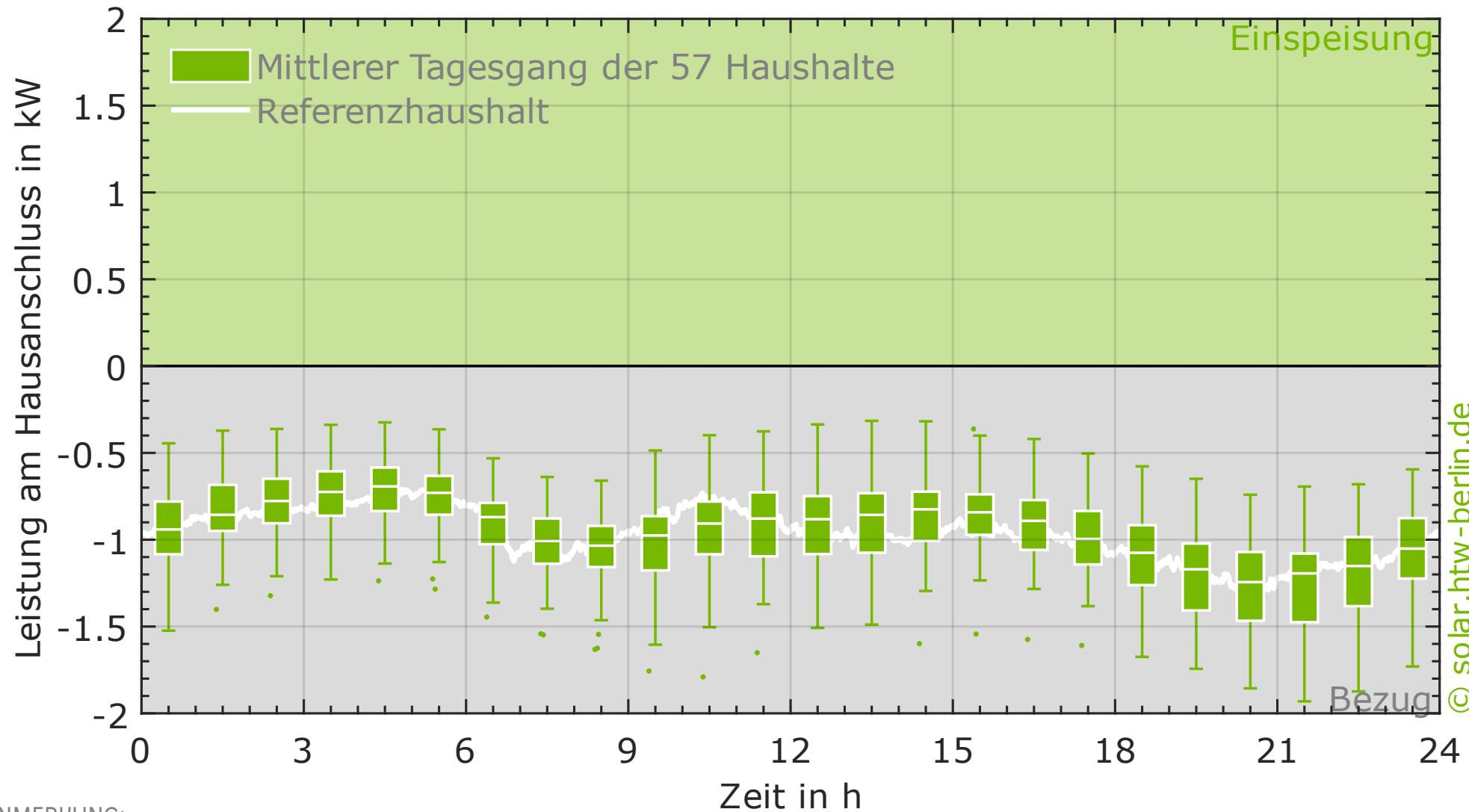
S11 – HH + WP



S12 – HH + WP + EV



S21 – HH + WP + Batterie

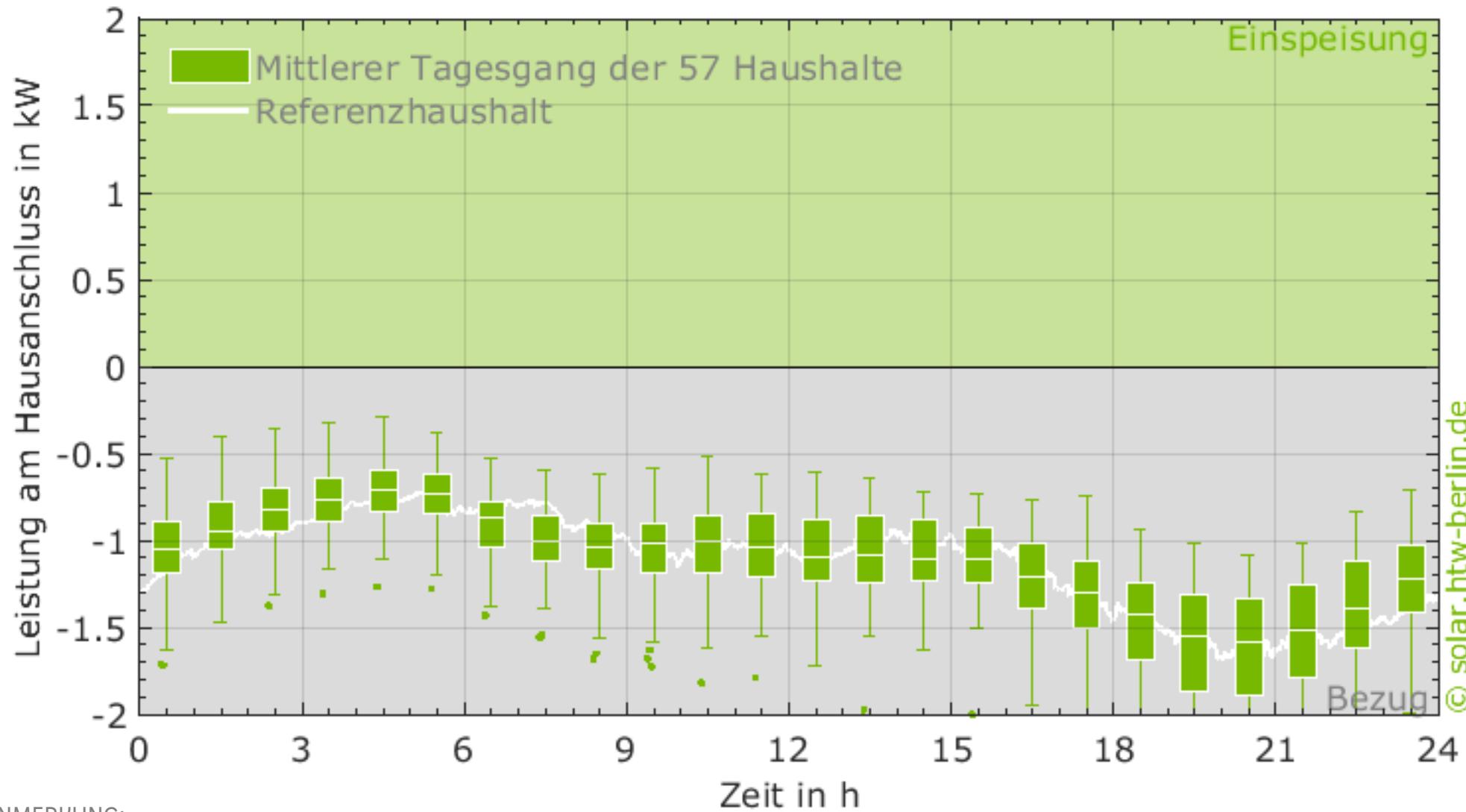


ANMERKUNG:

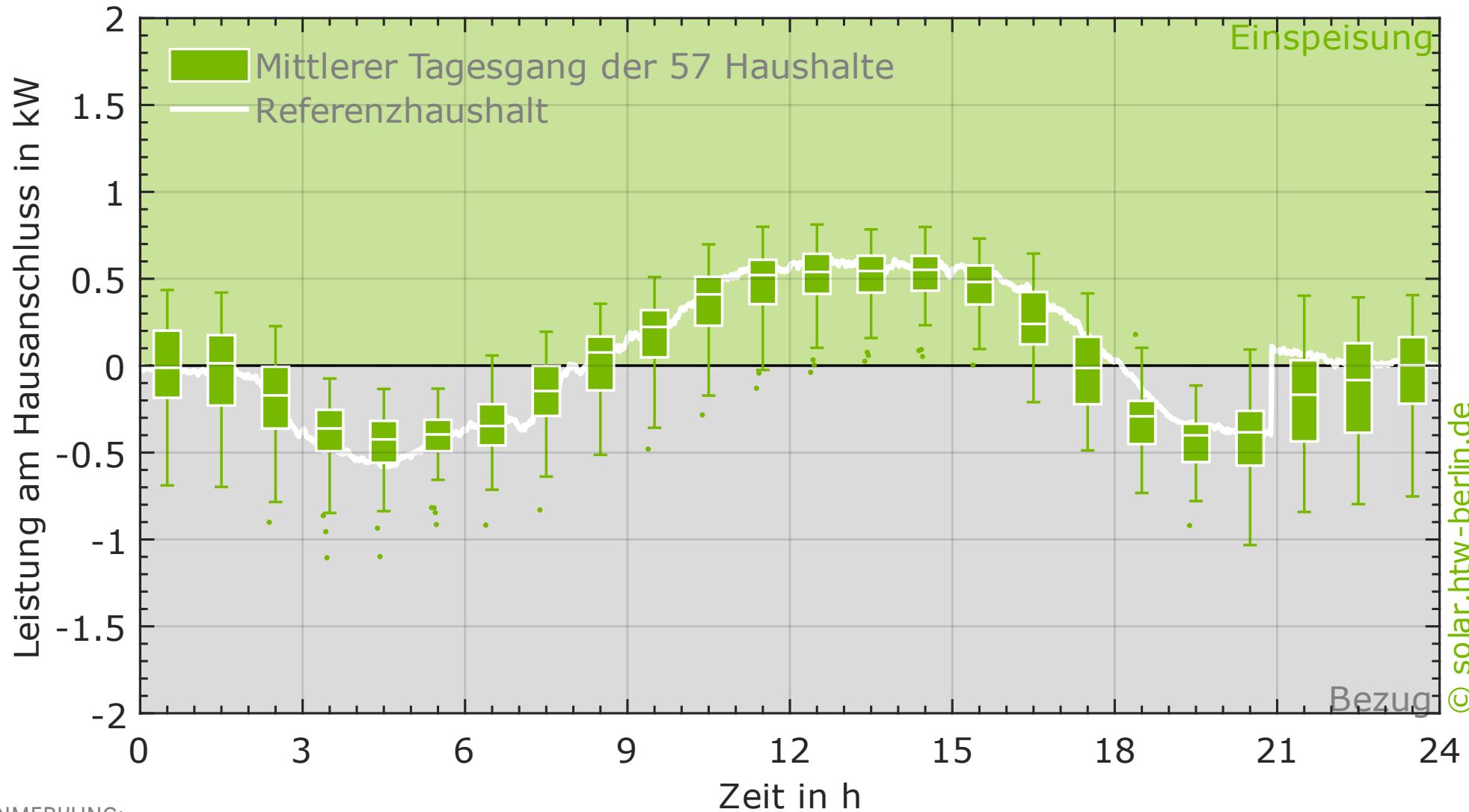
Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

S22 – HH + WP + Batterie + EV



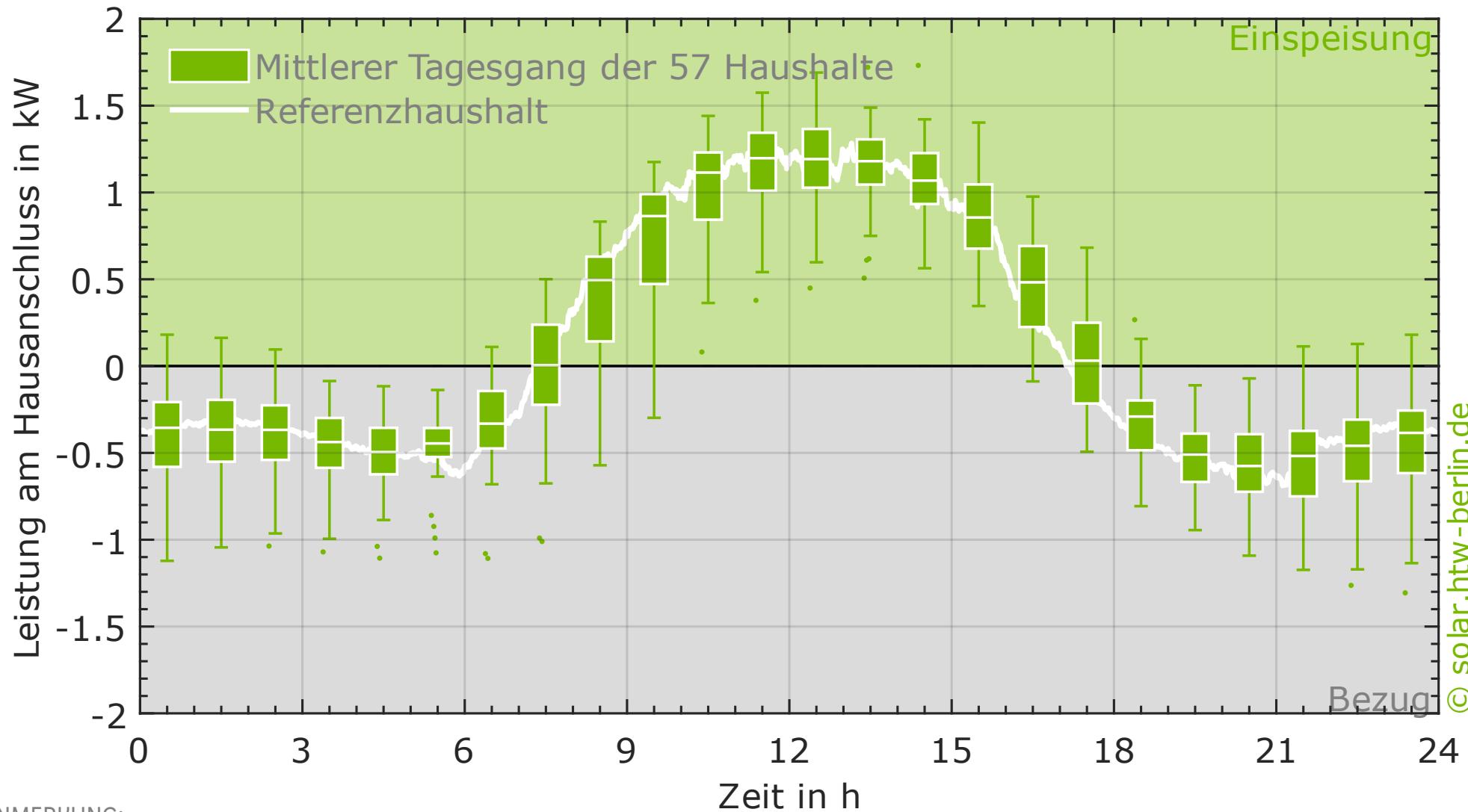
S31 – HH + WP + Batterie + PV



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

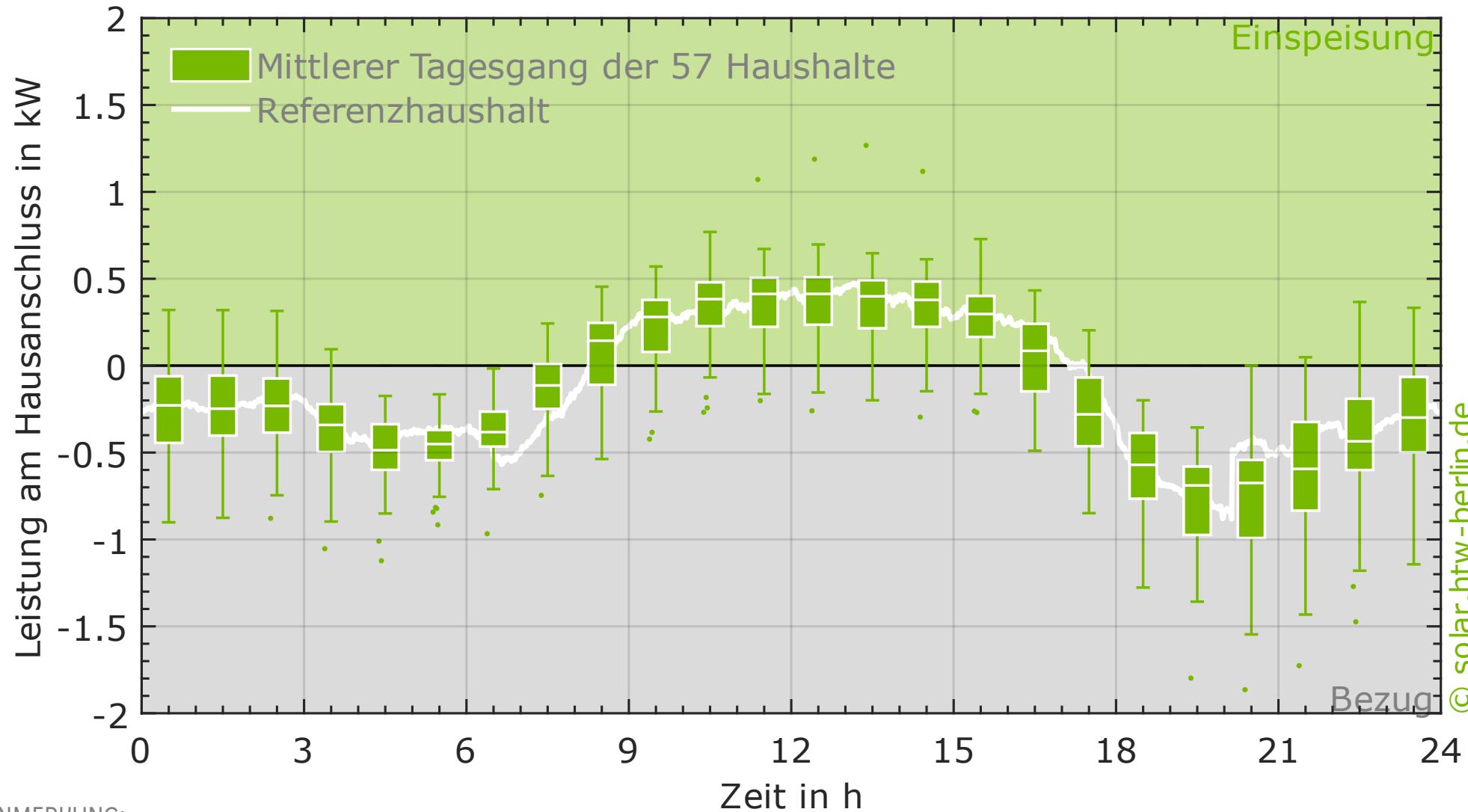
S32 – HH + WP + Batterie + PV



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

S41 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Laden bei Ankunft)

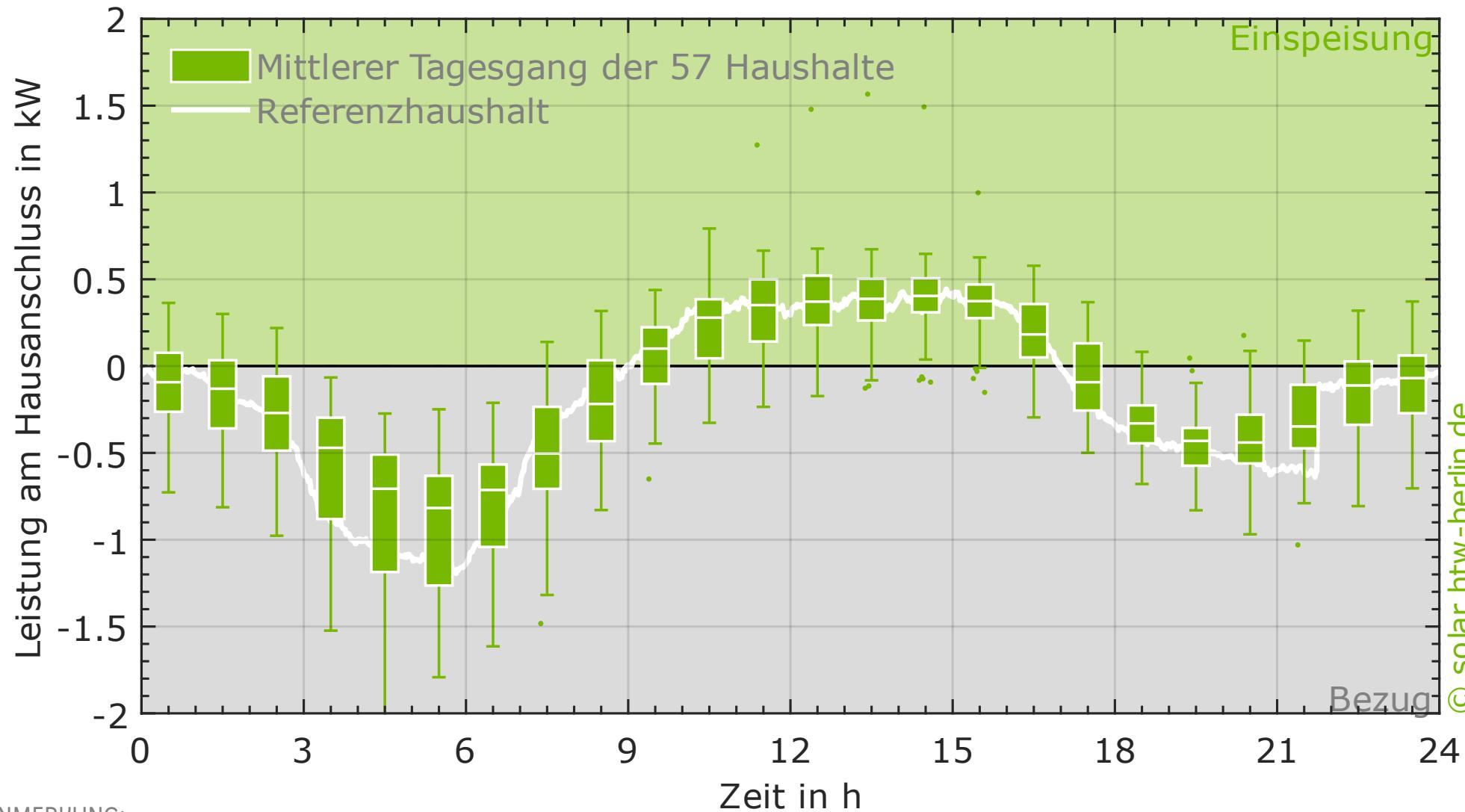


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

S42 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Solar)



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

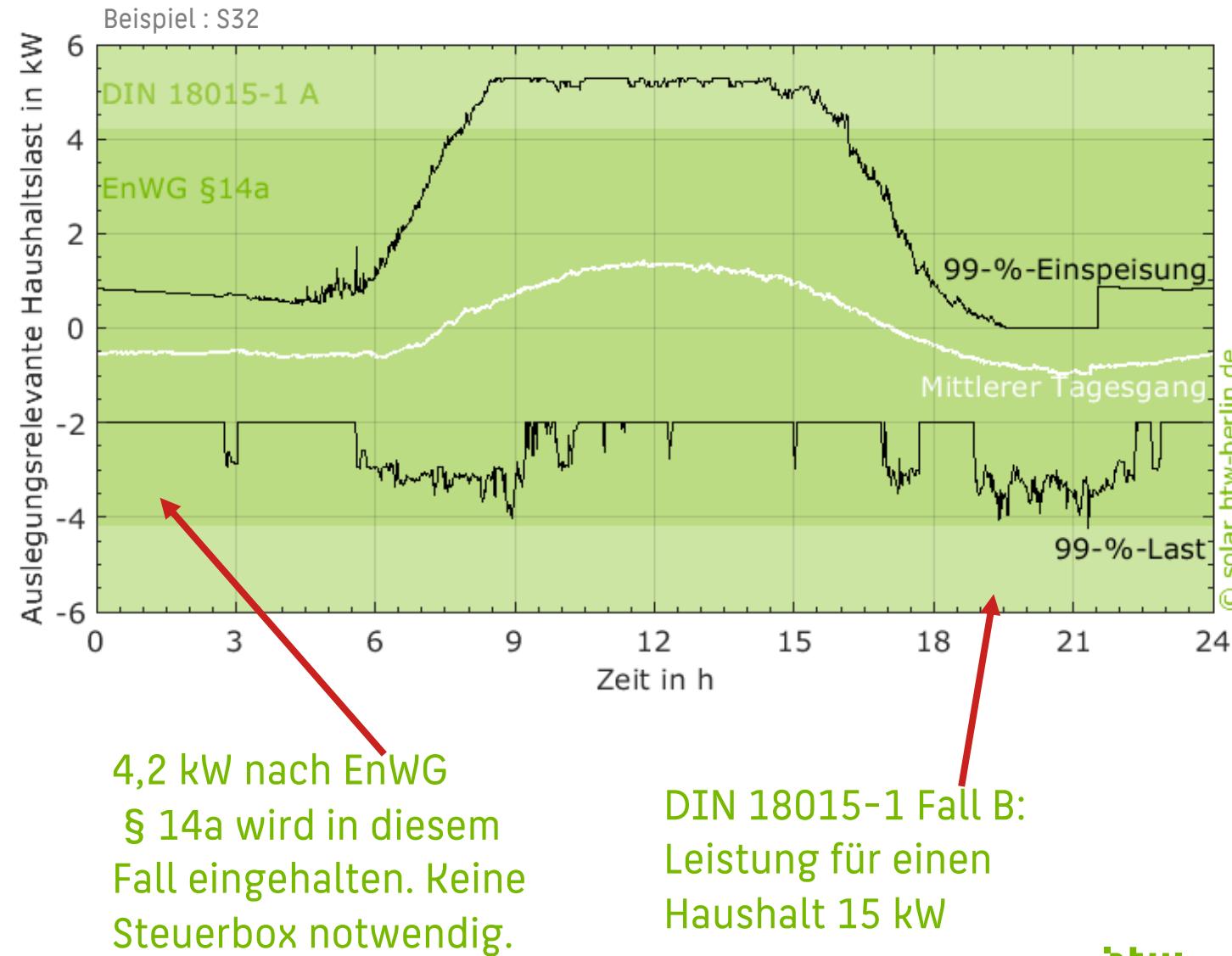
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

Fahrzeug wartet auf Solarüberschüsse und lädt zum spät möglichsten Zeitpunkt mit maximaler Leistung vor Abfahrt

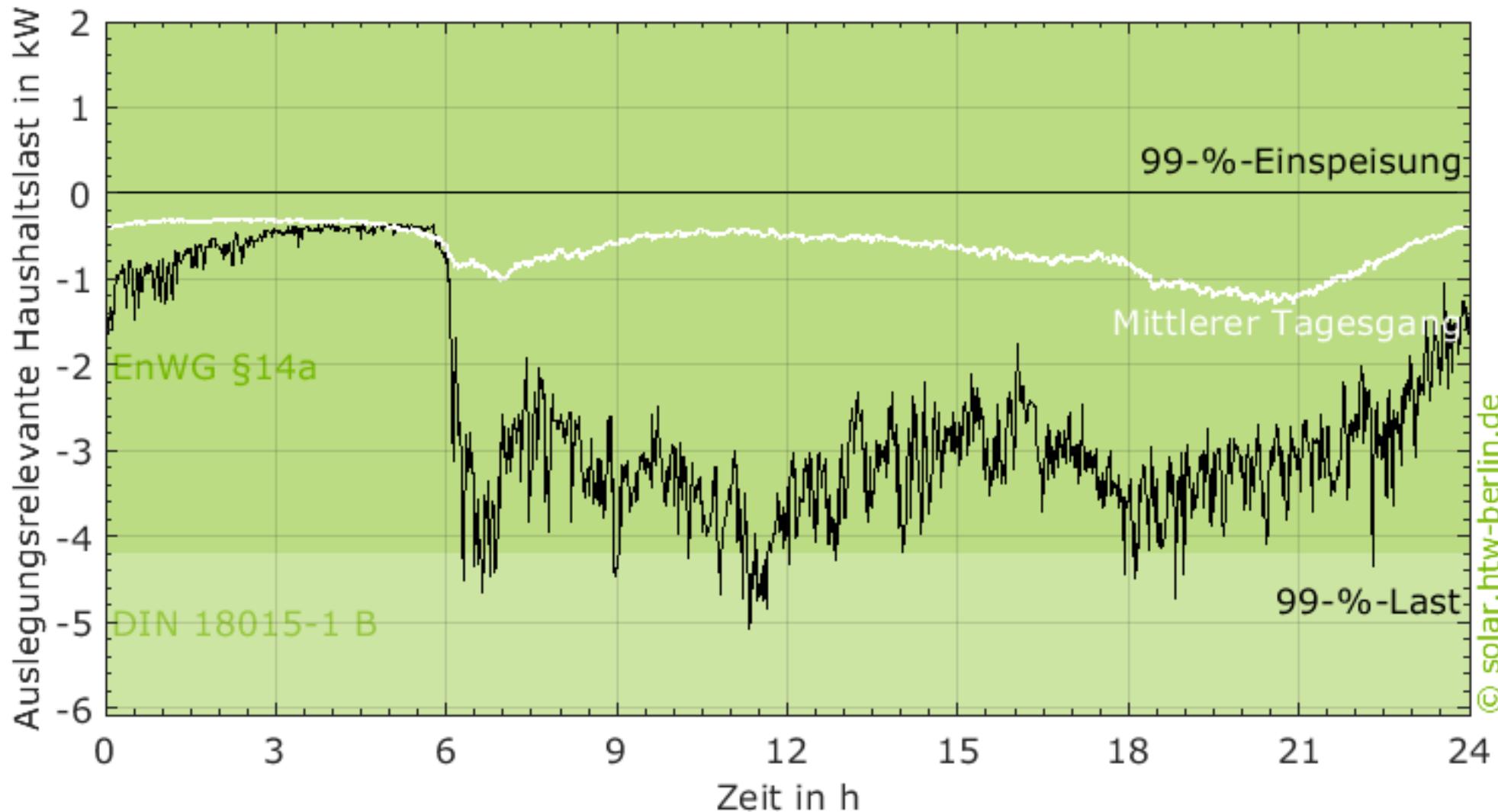
Auslegungsrelevanter Tagesgang Haushaltslast

Erläuterung Grafiken – Auslegungsrelevanter Tagesgang HH

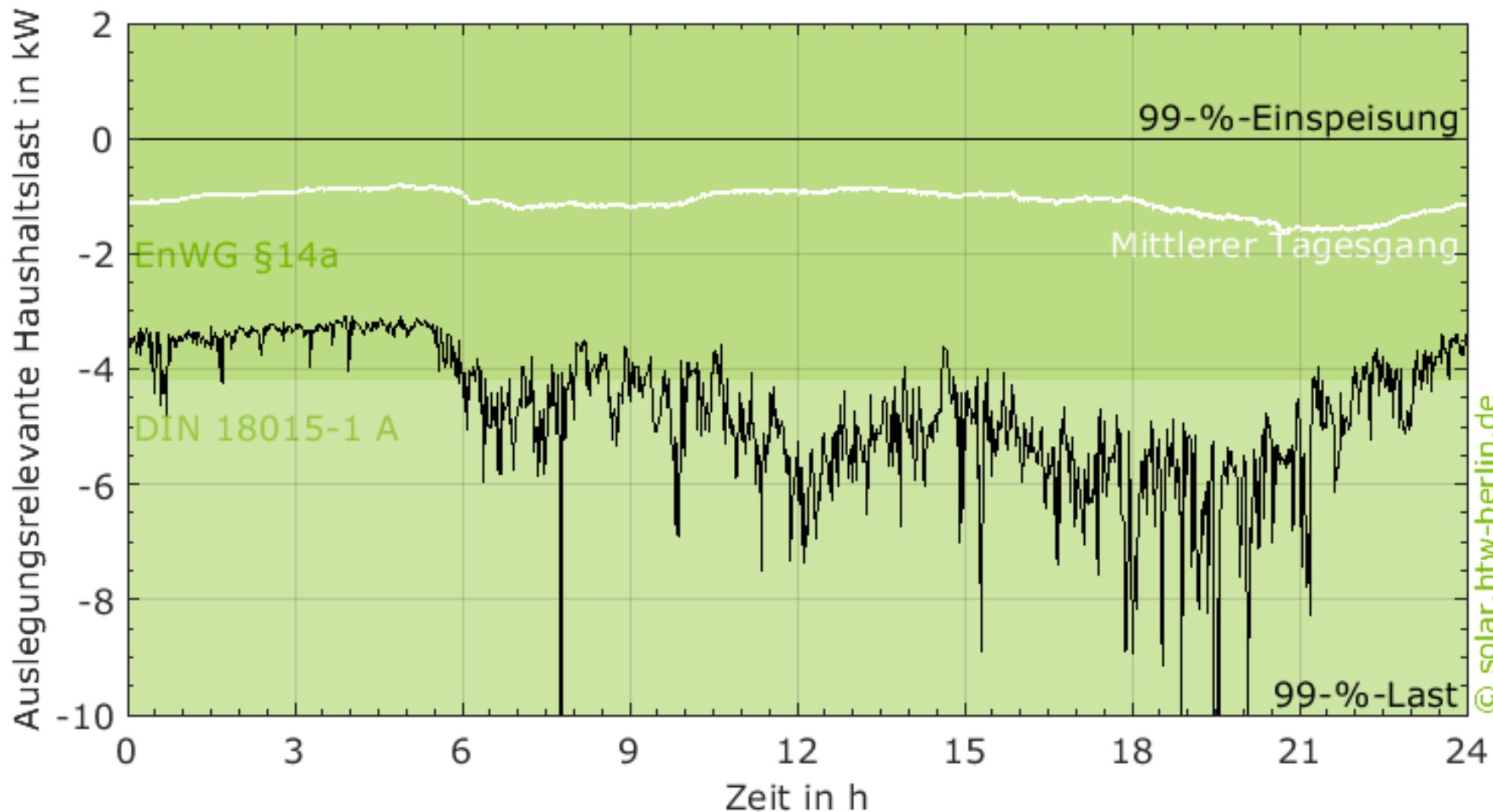
- Netzaustausch Referenzhaushalt.
- In Weiß mittlerer Tagesgang
- Einspeisung oben & Netzbezug unten.
- 99 %-Einspeisung bzw. 99 %-Last: 1% der Einspeisungen bzw. Lasten zur jeweiligen Uhrzeit war höher alle anderen Leistungen liegen darunter.



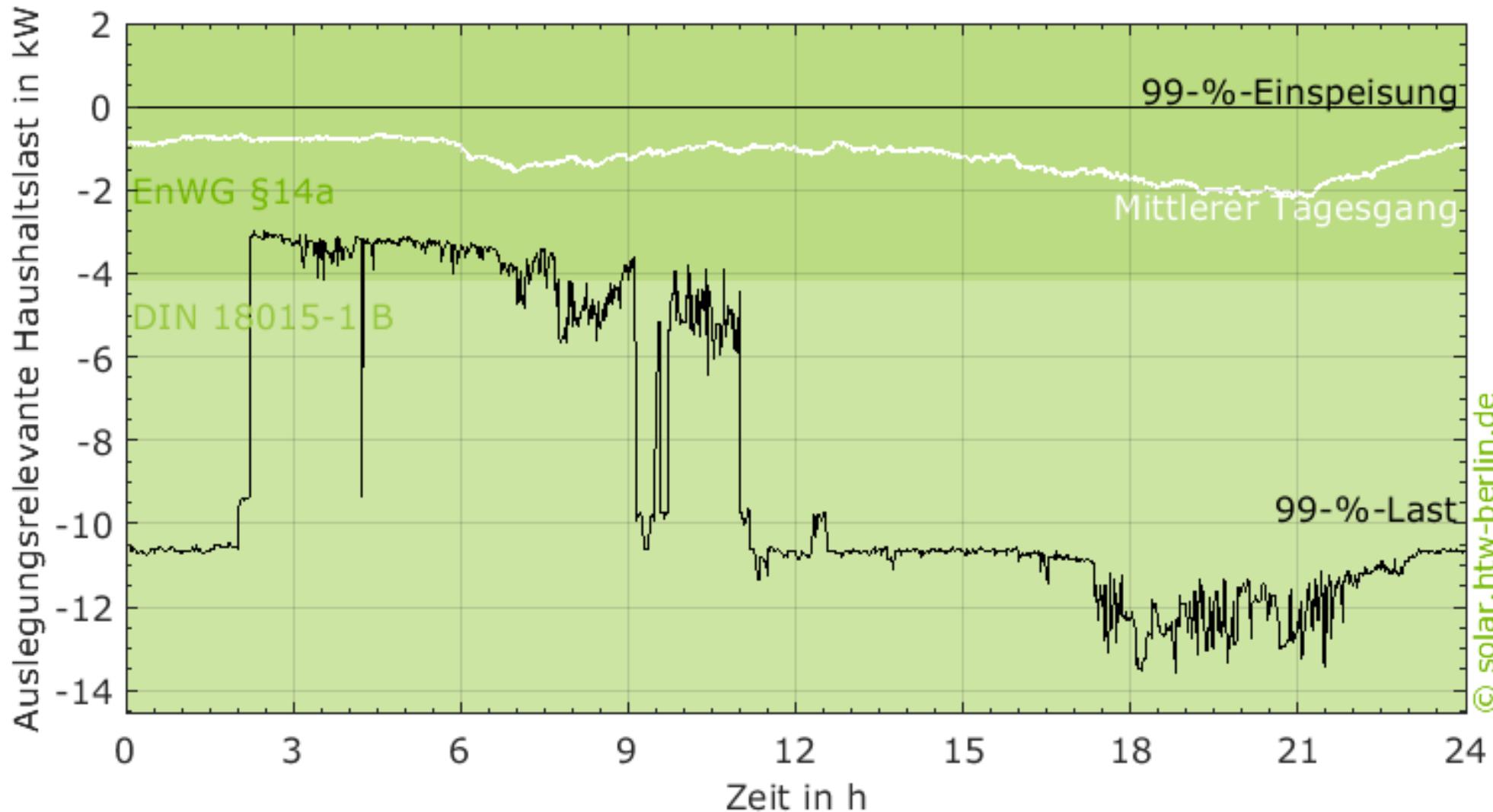
SO - HH



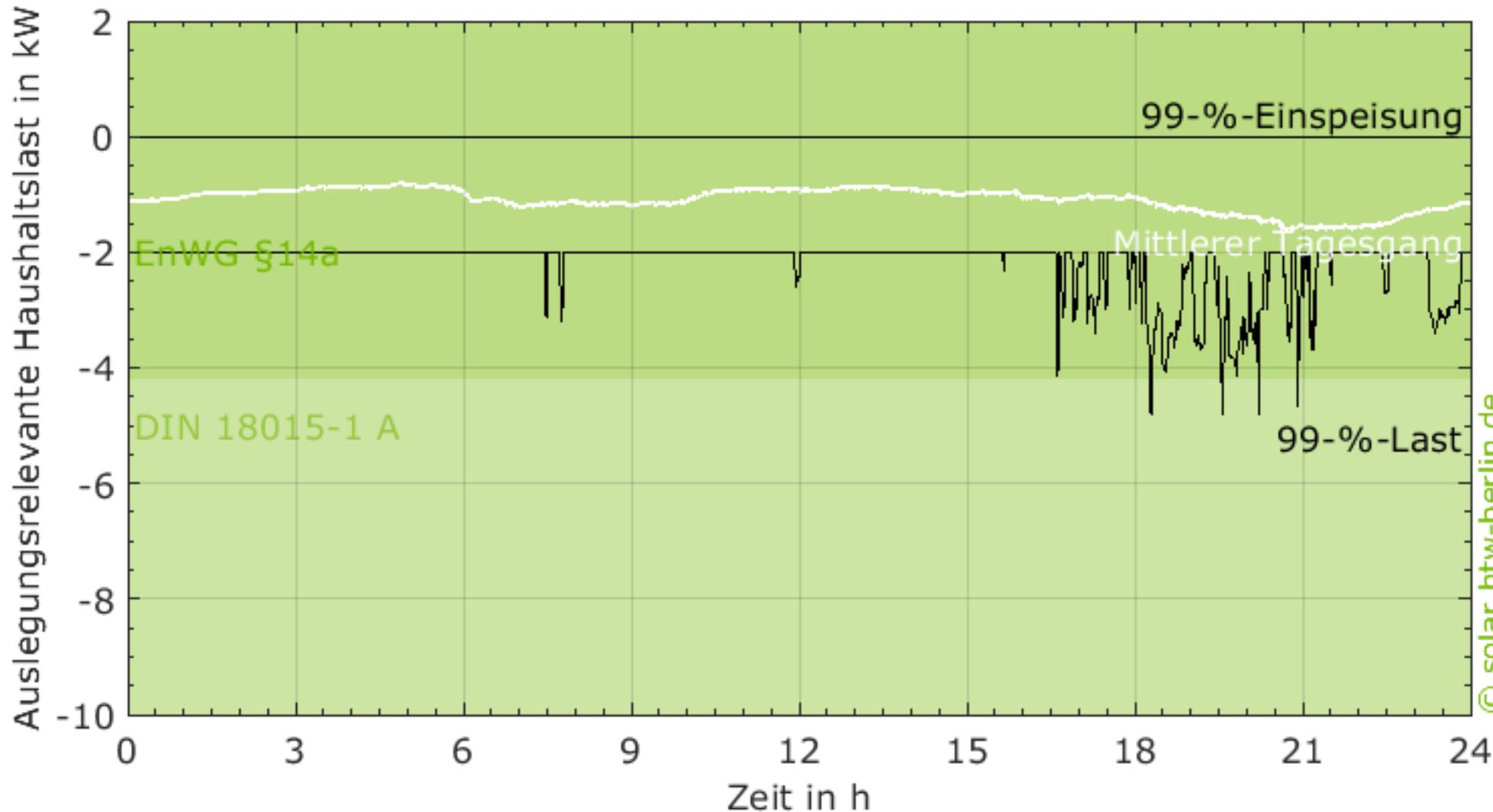
S11 – HH + WP



S12 – HH + WP + EV



S21 – HH + WP + Batterie



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

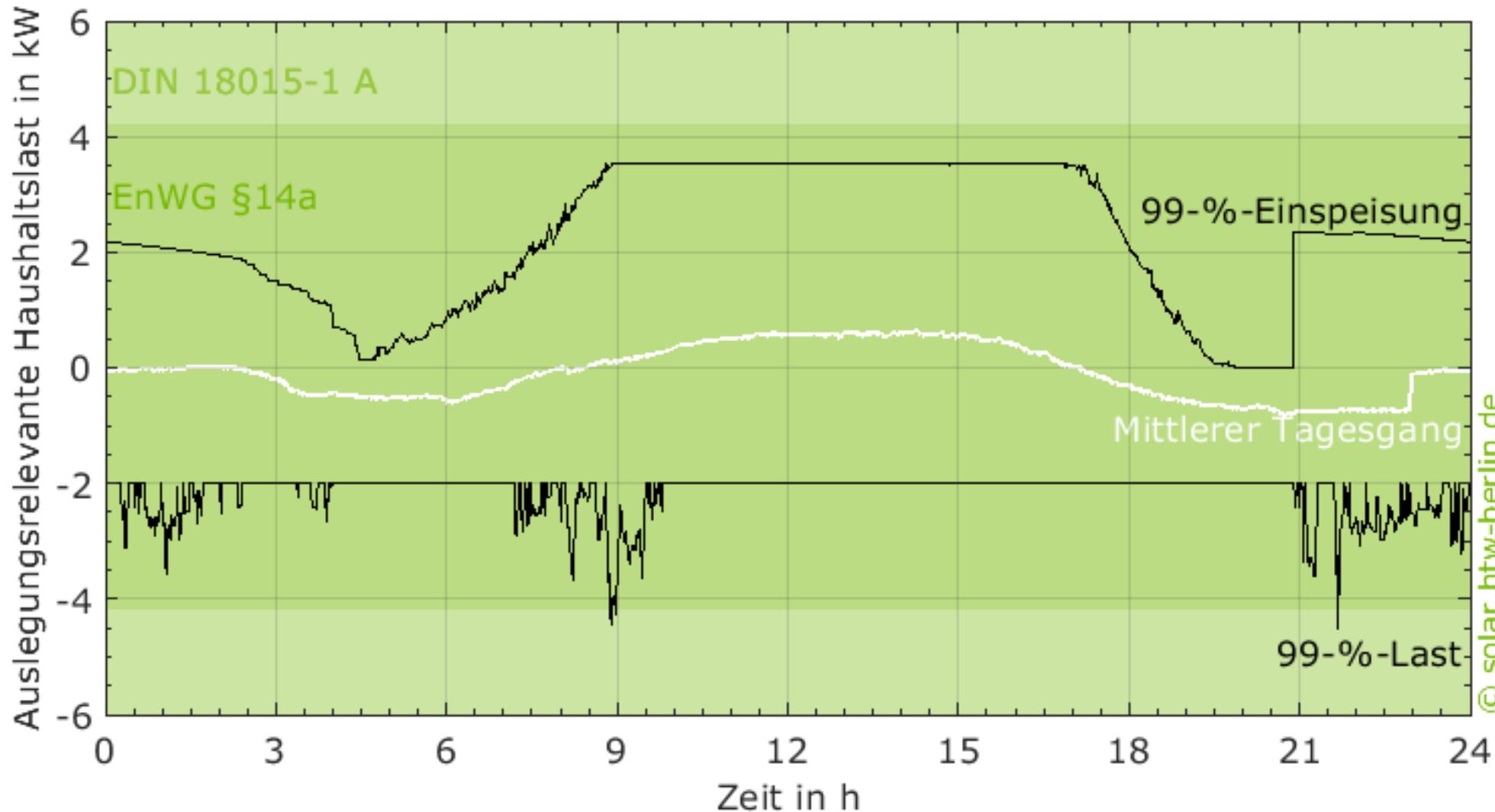
S22 – HH + WP + Batterie + EV



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

S31 – HH + WP + Batterie + PV

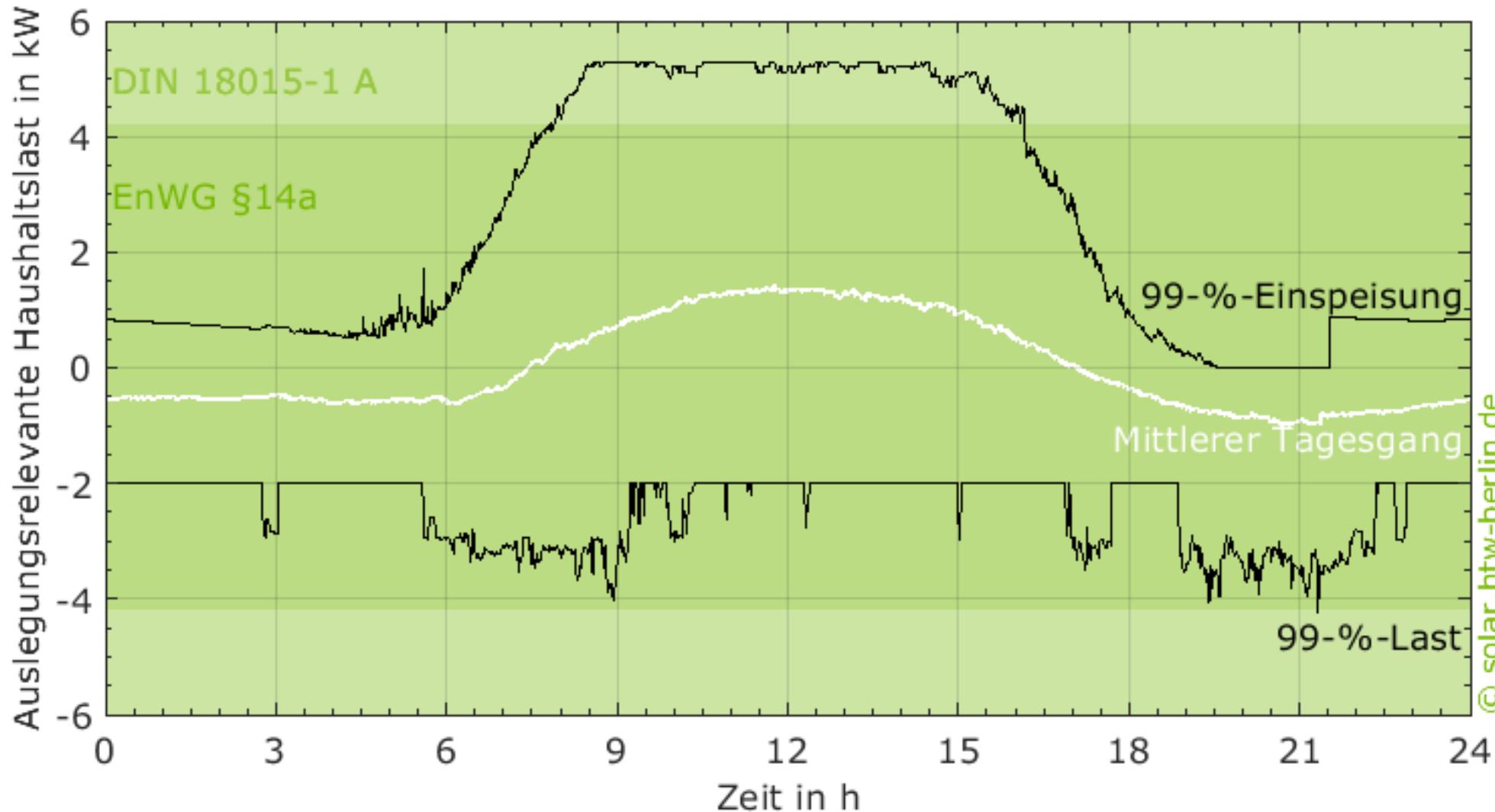


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S32 – HH + WP + Batterie + PV

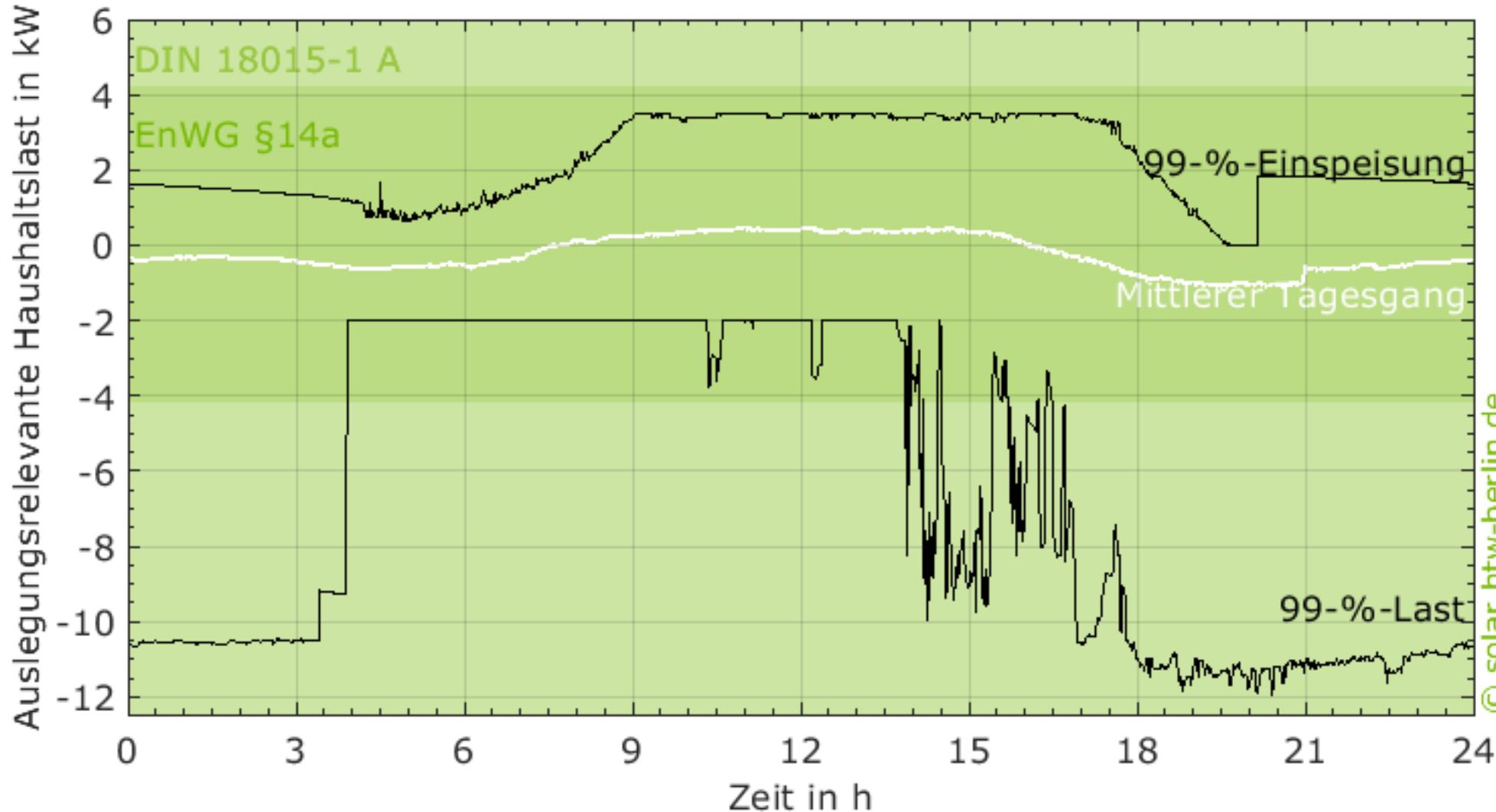


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

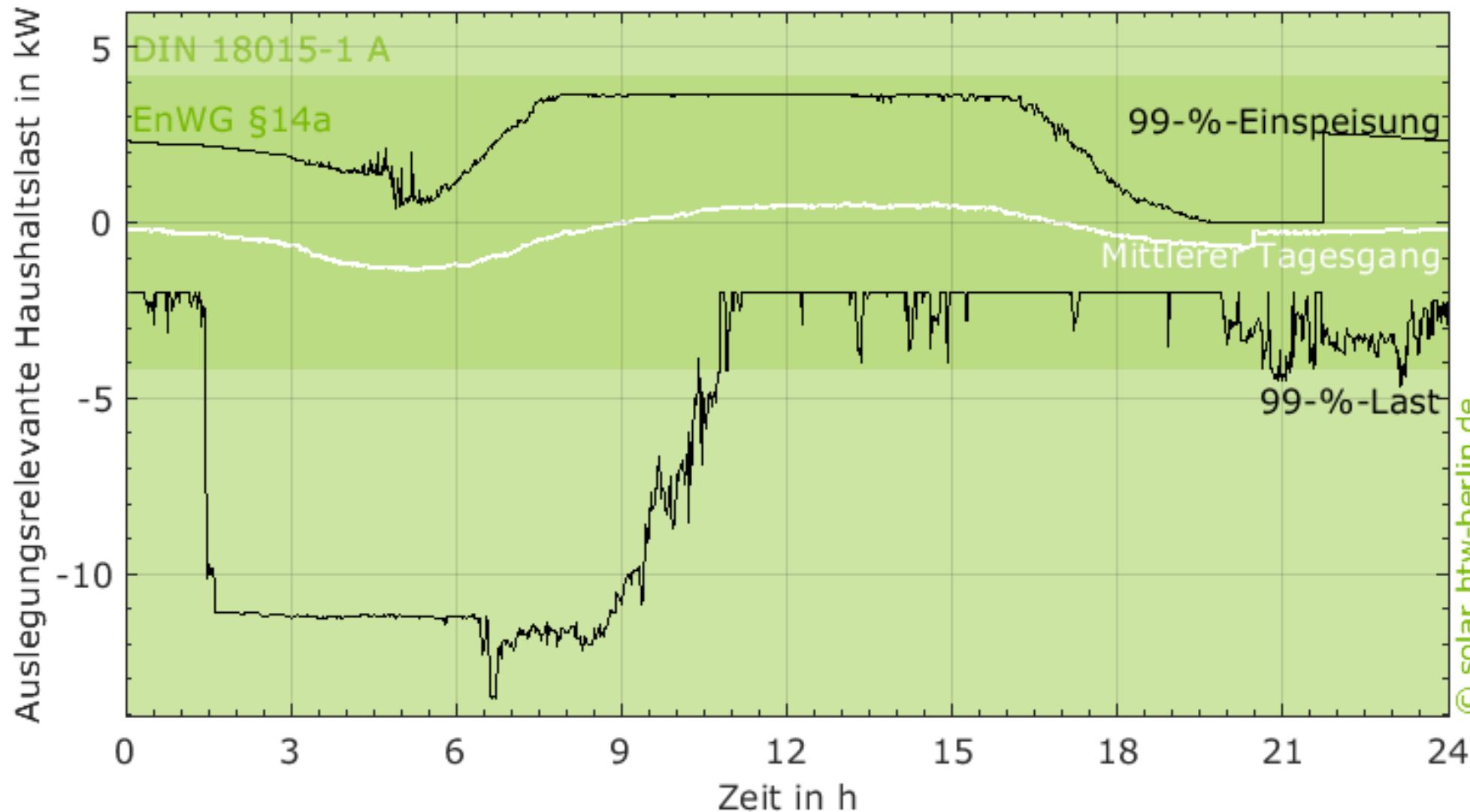
S41 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Laden bei Ankunft)



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S42 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Solar)



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

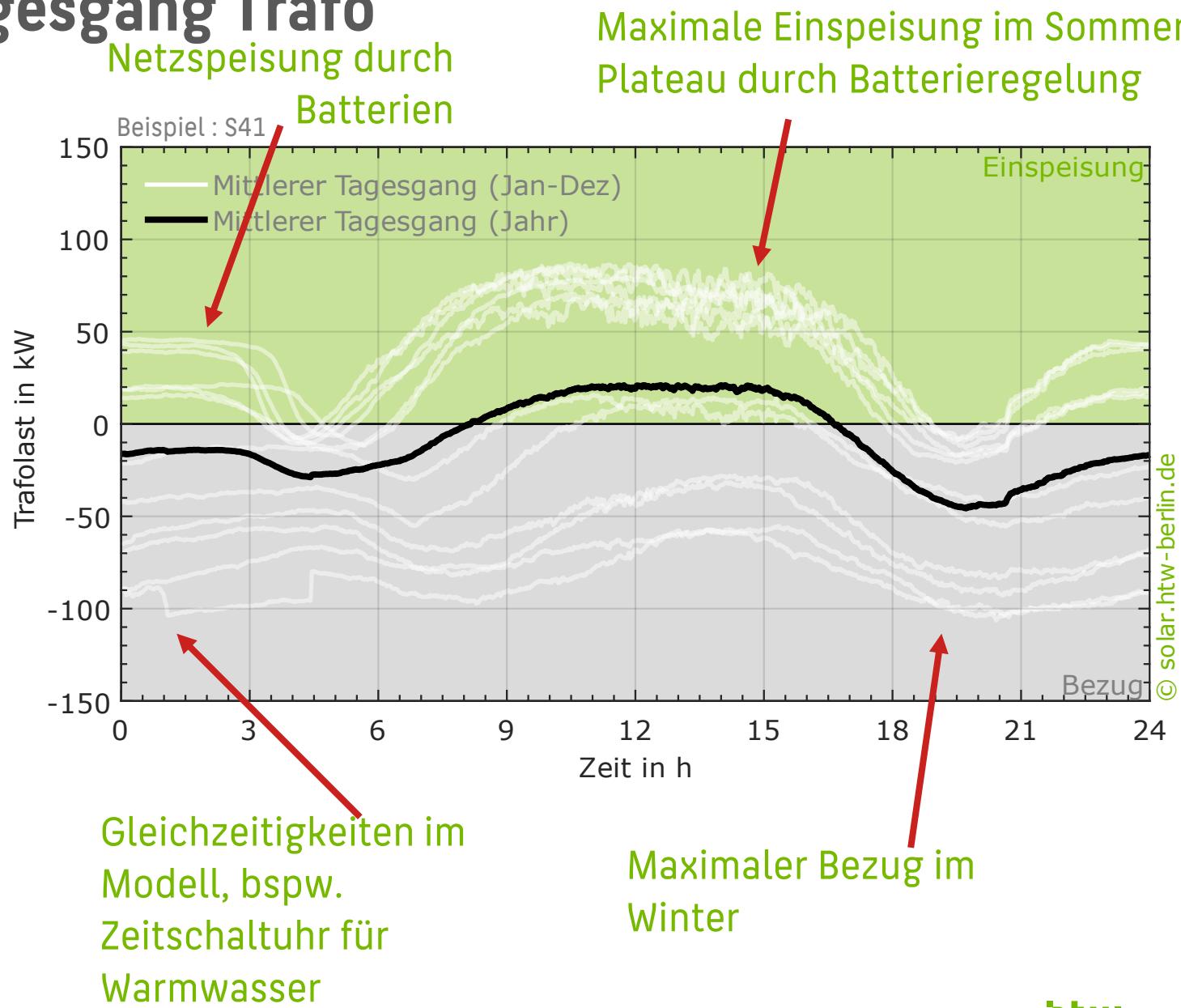
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

Fahrzeug wartet auf Solarüberschüsse und lädt zum spät möglichsten Zeitpunkt mit maximaler Leistung vor Abfahrt.

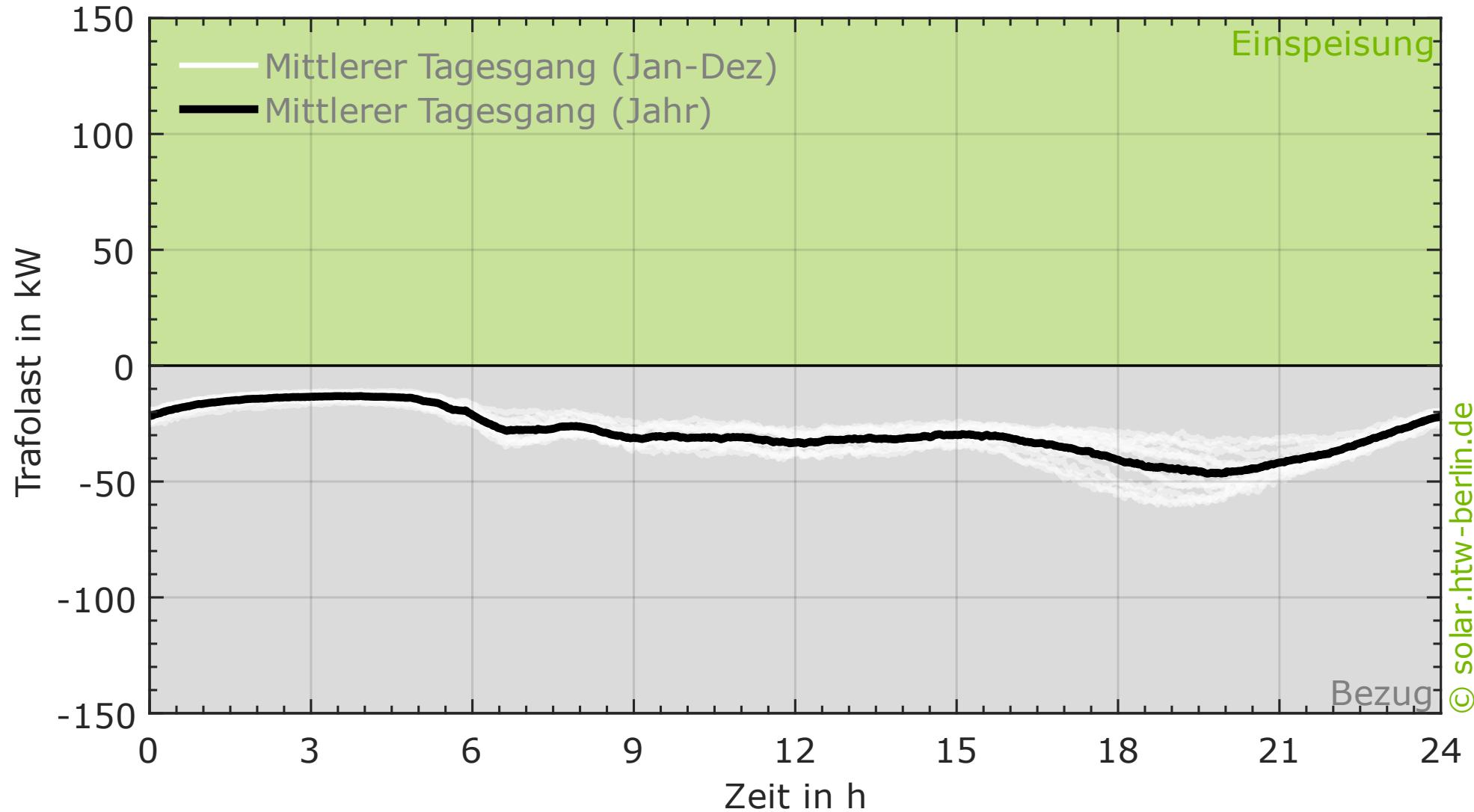
Monatlicher Tagesgang am Transformator

Erläuterung Grafiken – Tagesgang Trafo

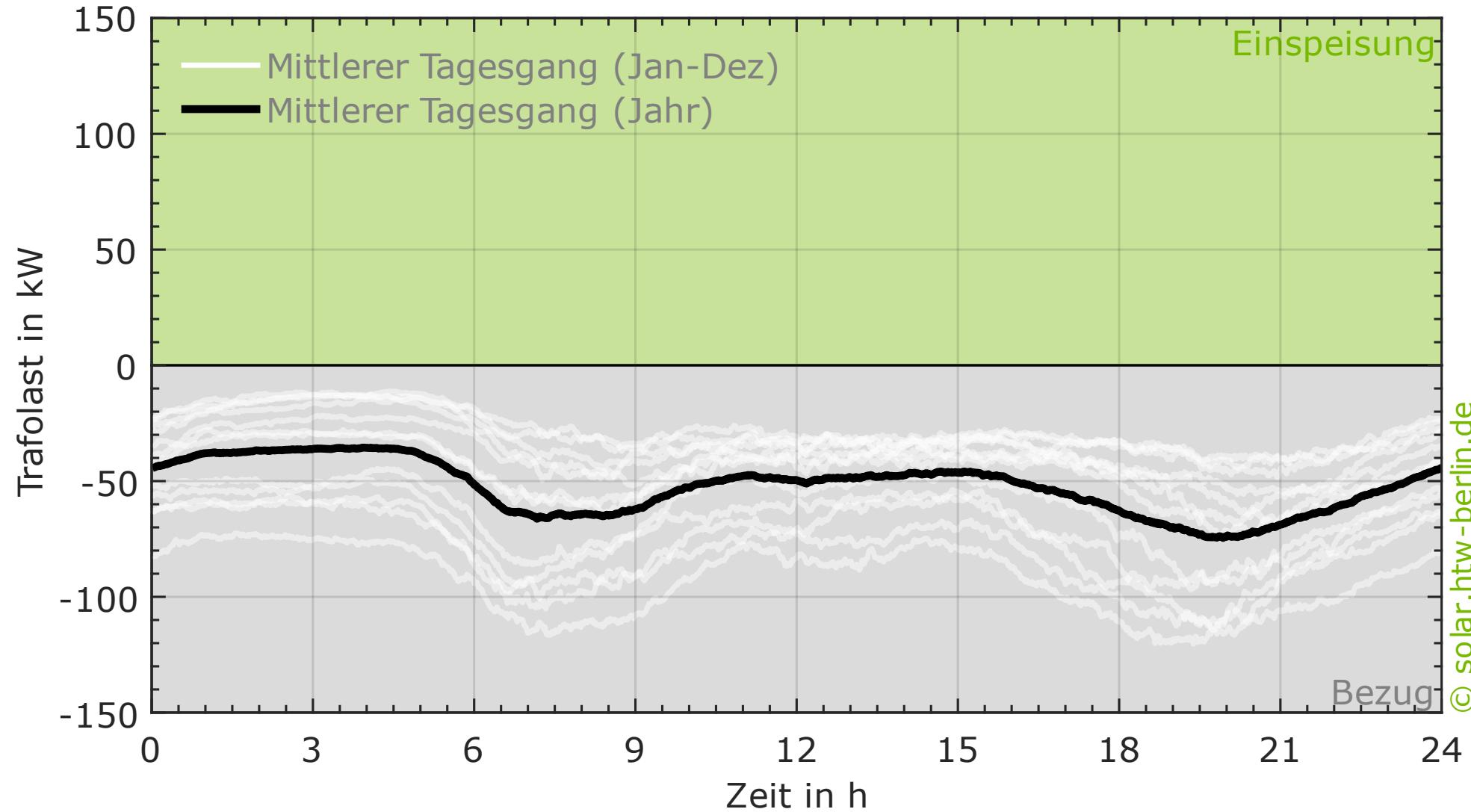
- Netzaustausch mit der übergeordneten Netzebene.
- Einspeisung oben, Bezug unten.
- In Schwarz: mittlerer Tagesgang des Jahres
- In Weiß: mittlerer Tagesgang pro Monat.
- Maximale Einspeisung durch gesetzliche Vorgabe ($0,6 \text{ kW/kWp}$).
- Minimale Bezugsleistung durch Batterie vorgegeben.



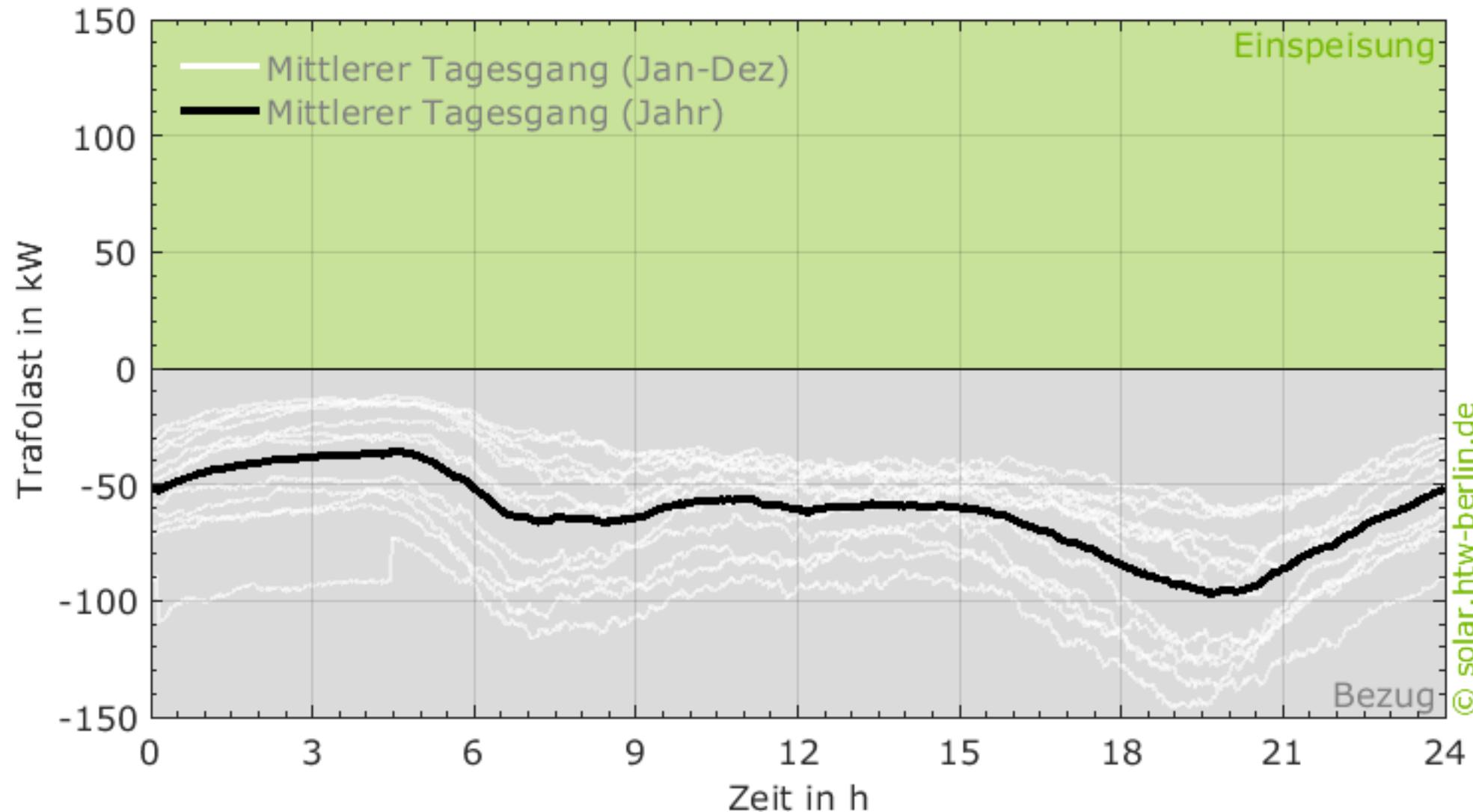
SO - HH



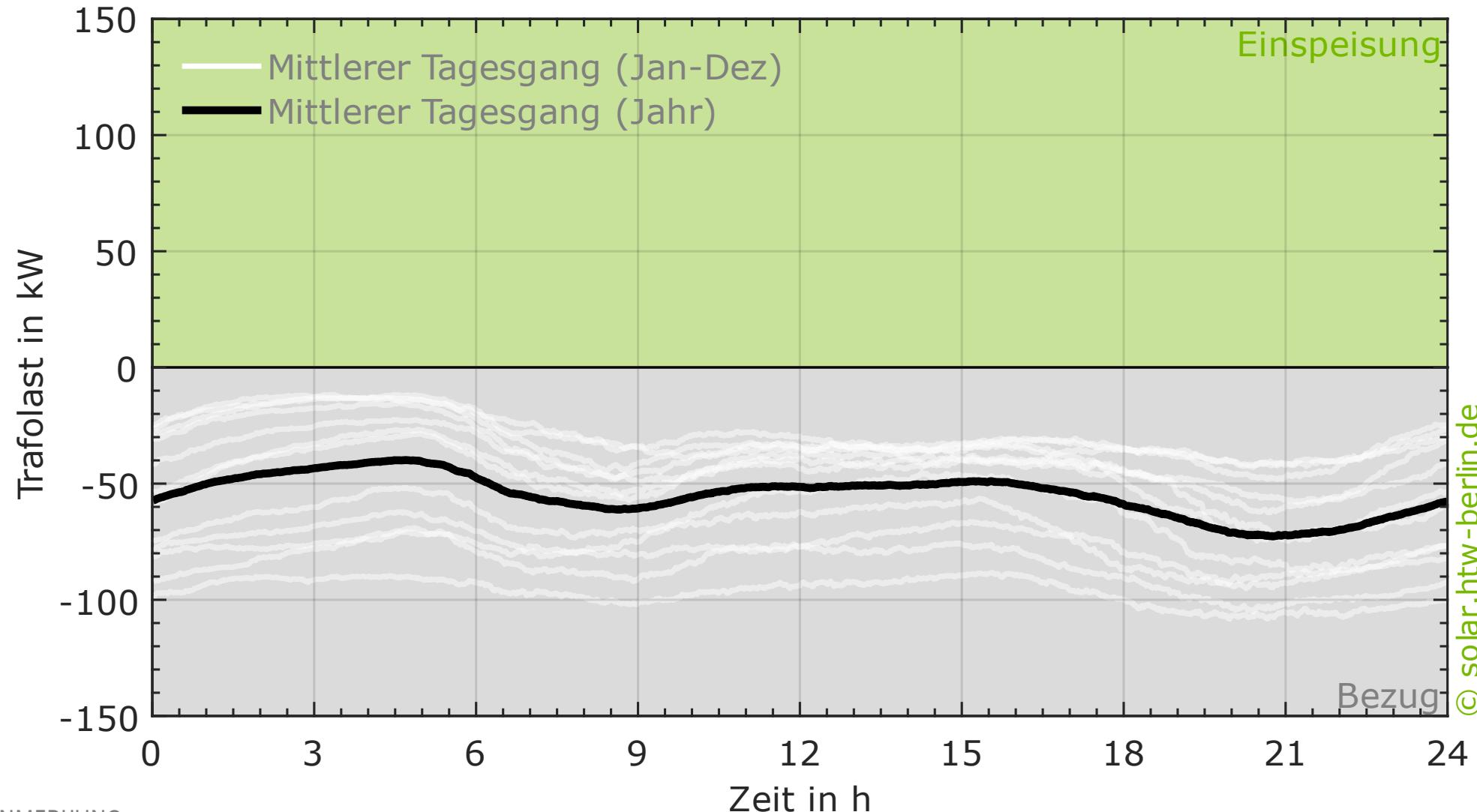
S11 – HH + WP



S12 – HH + WP + EV



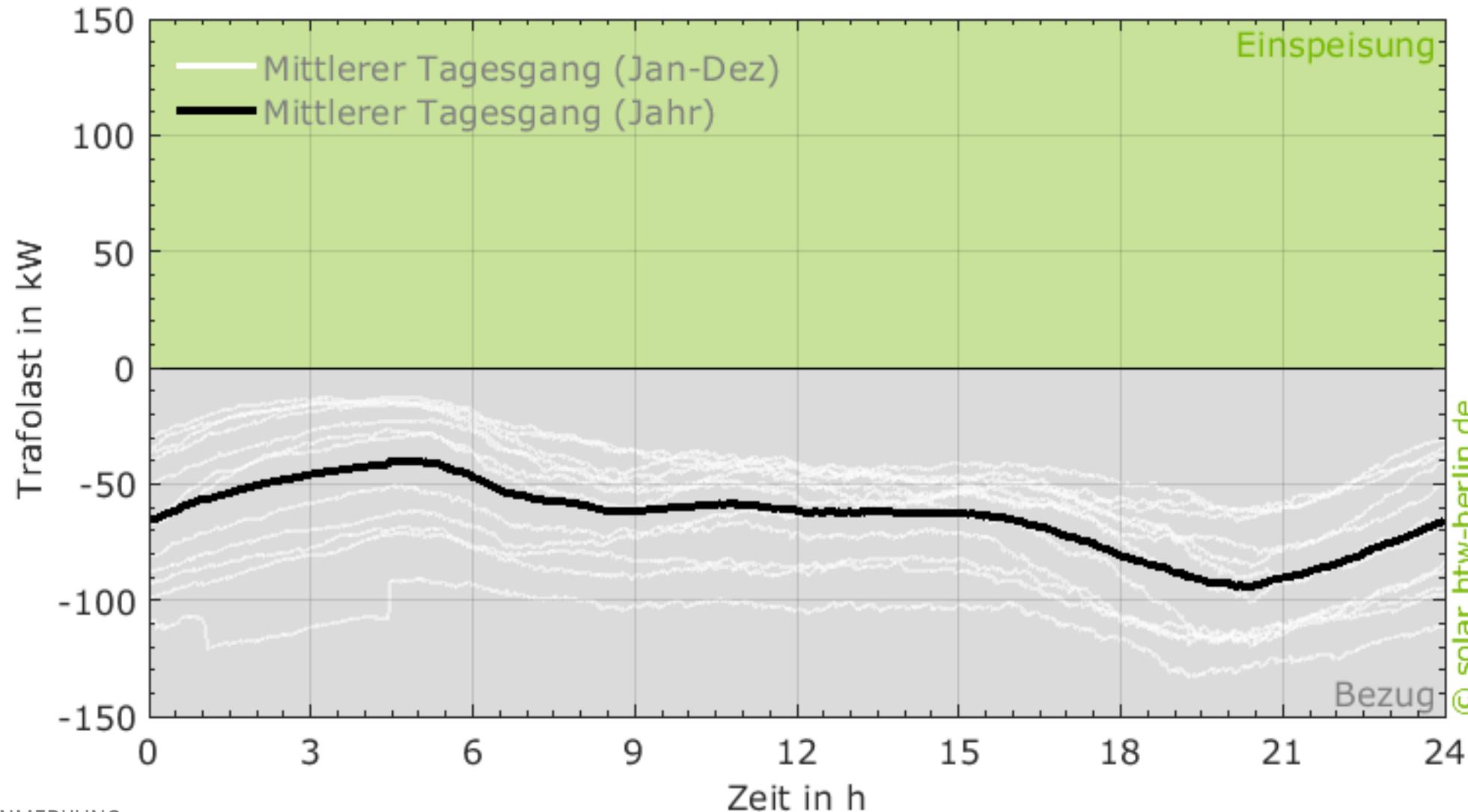
S21 – HH + WP + Batterie



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

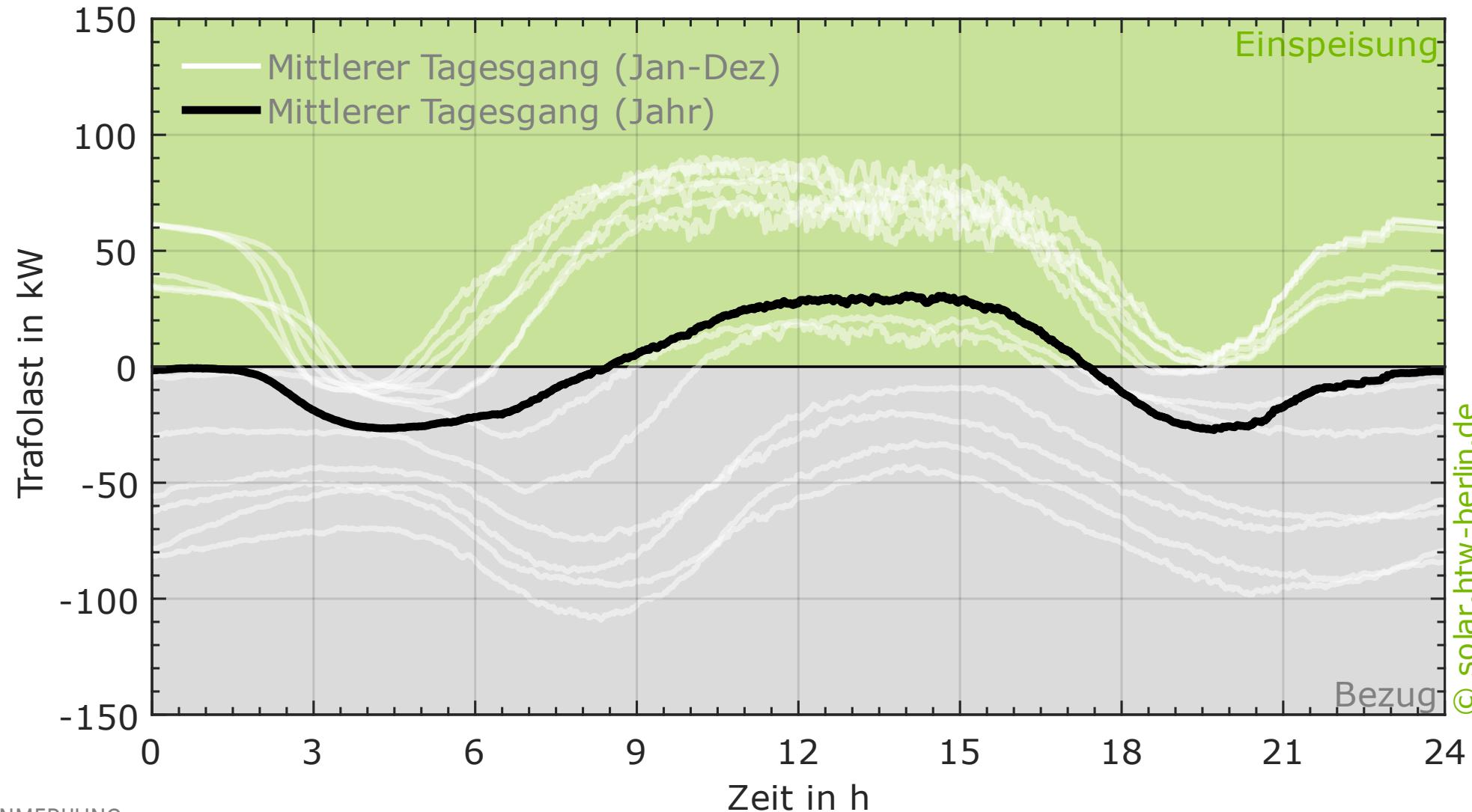
S22 – HH + WP + Batterie + EV



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

S31 – HH + WP + Batterie + PV

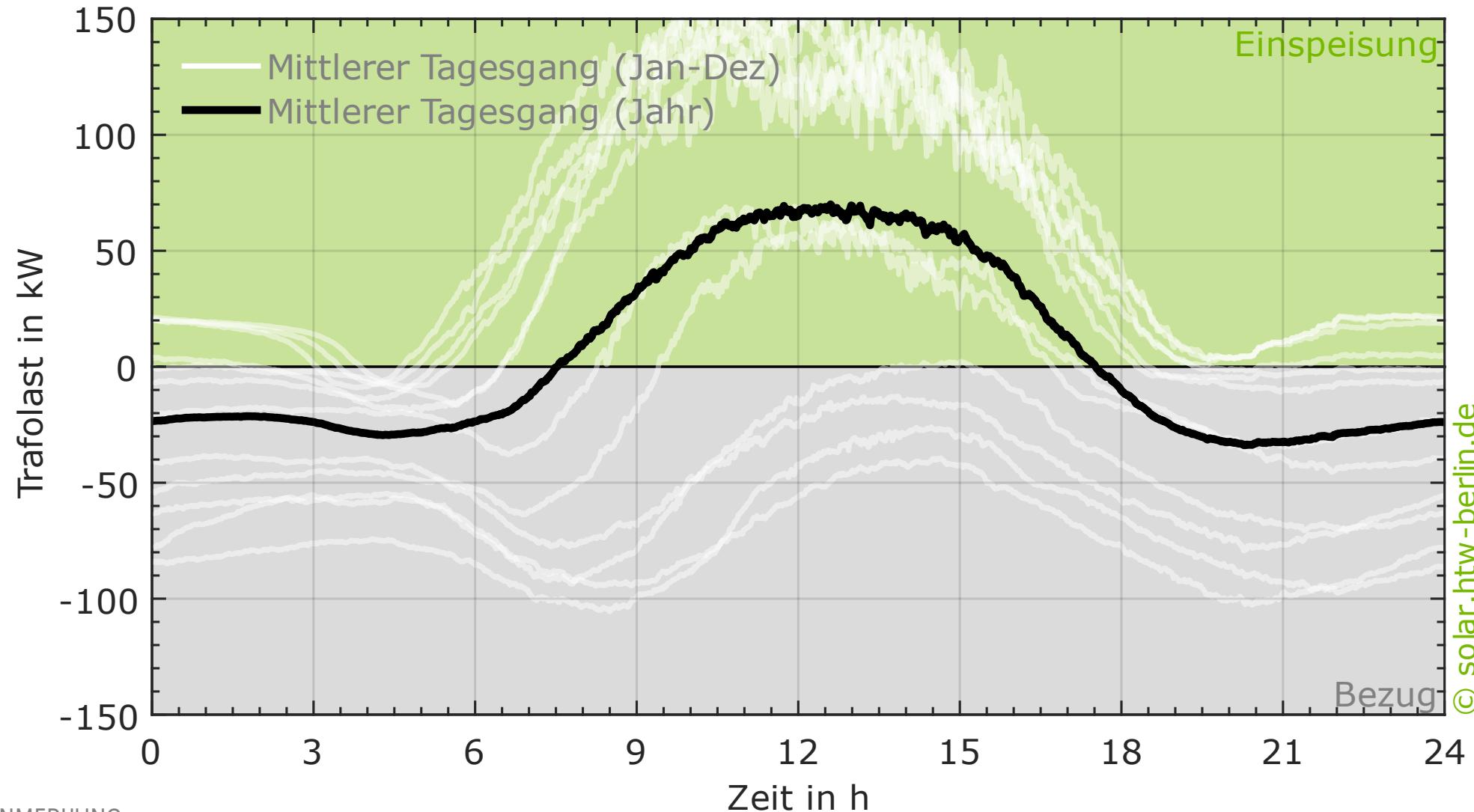


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S32 – HH + WP + Batterie + PV

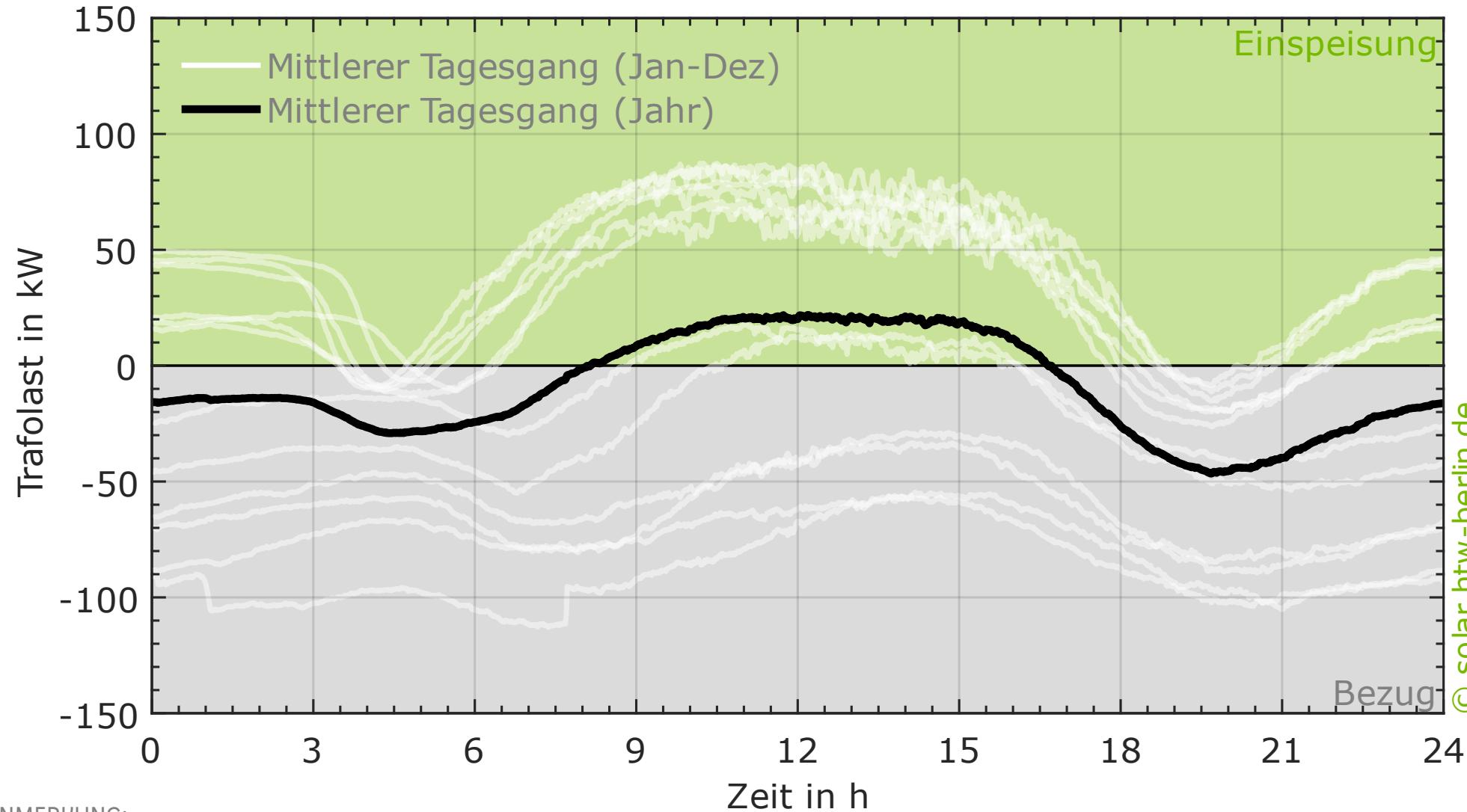


ANMERKUNG:

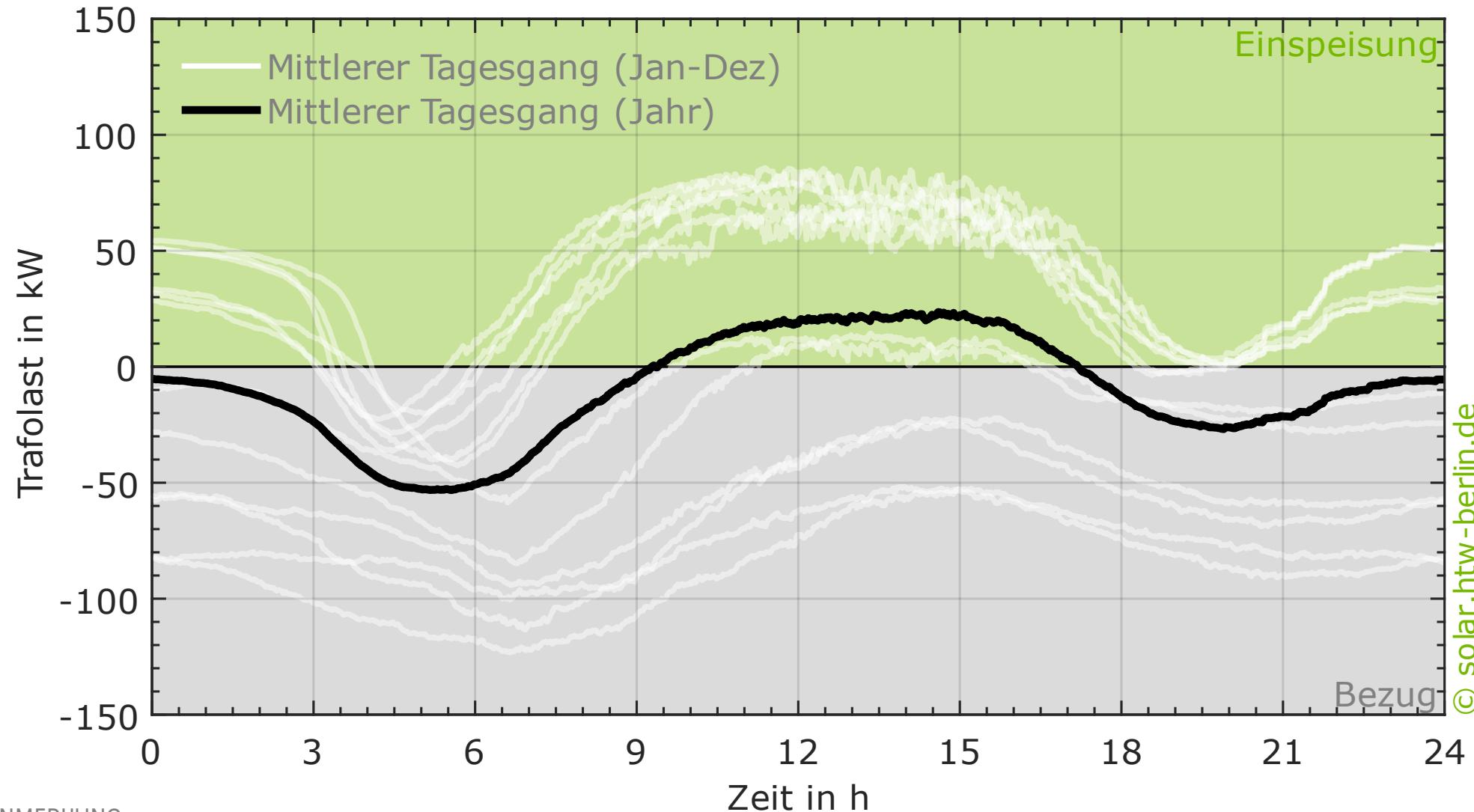
Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S41 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Laden bei Ankunft)



S42 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Solar)



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

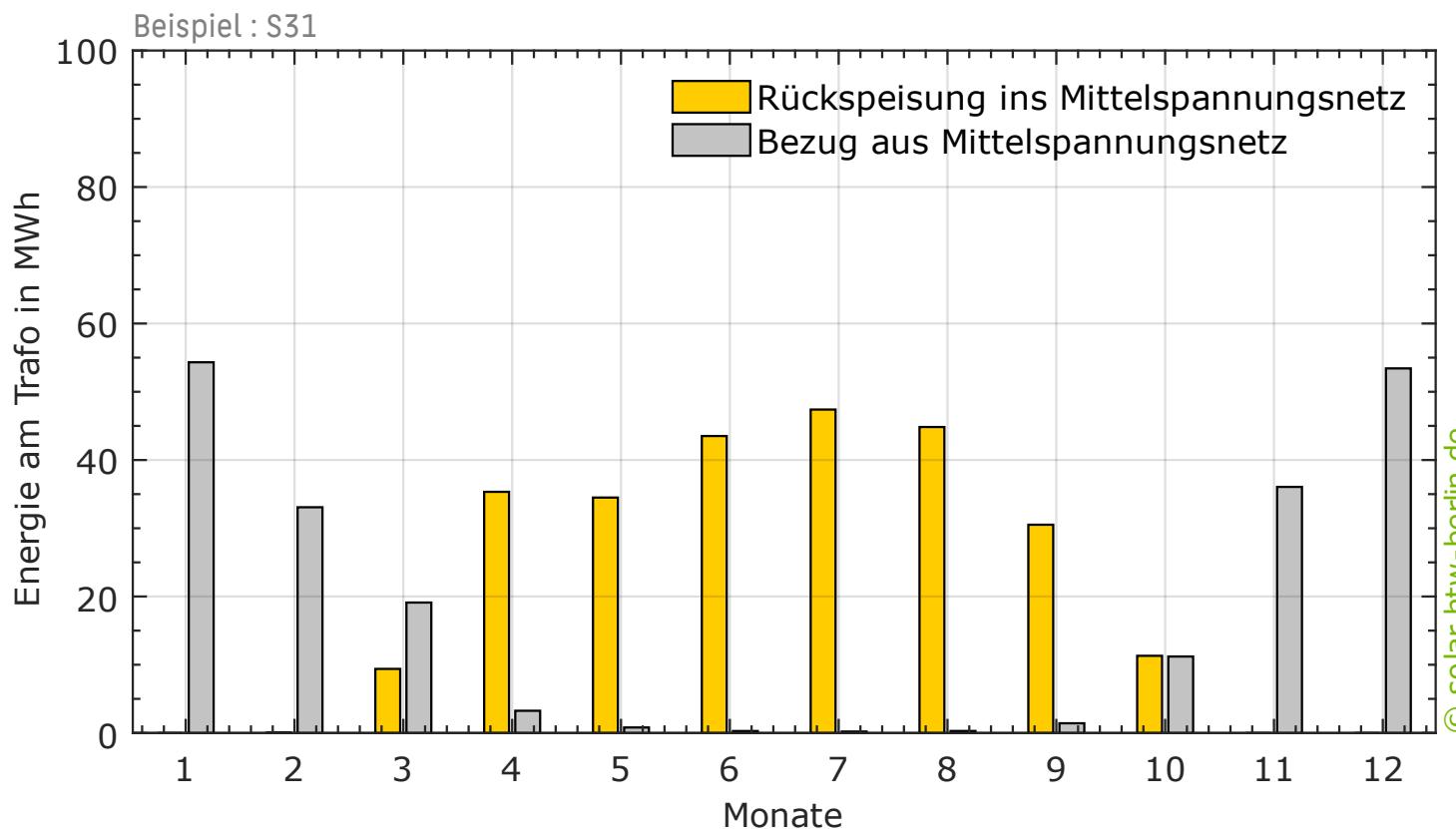
Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

Fahrzeug wartet auf Solarüberschüsse und lädt zum spät möglichsten Zeitpunkt mit maximaler Leistung vor Abfahrt.

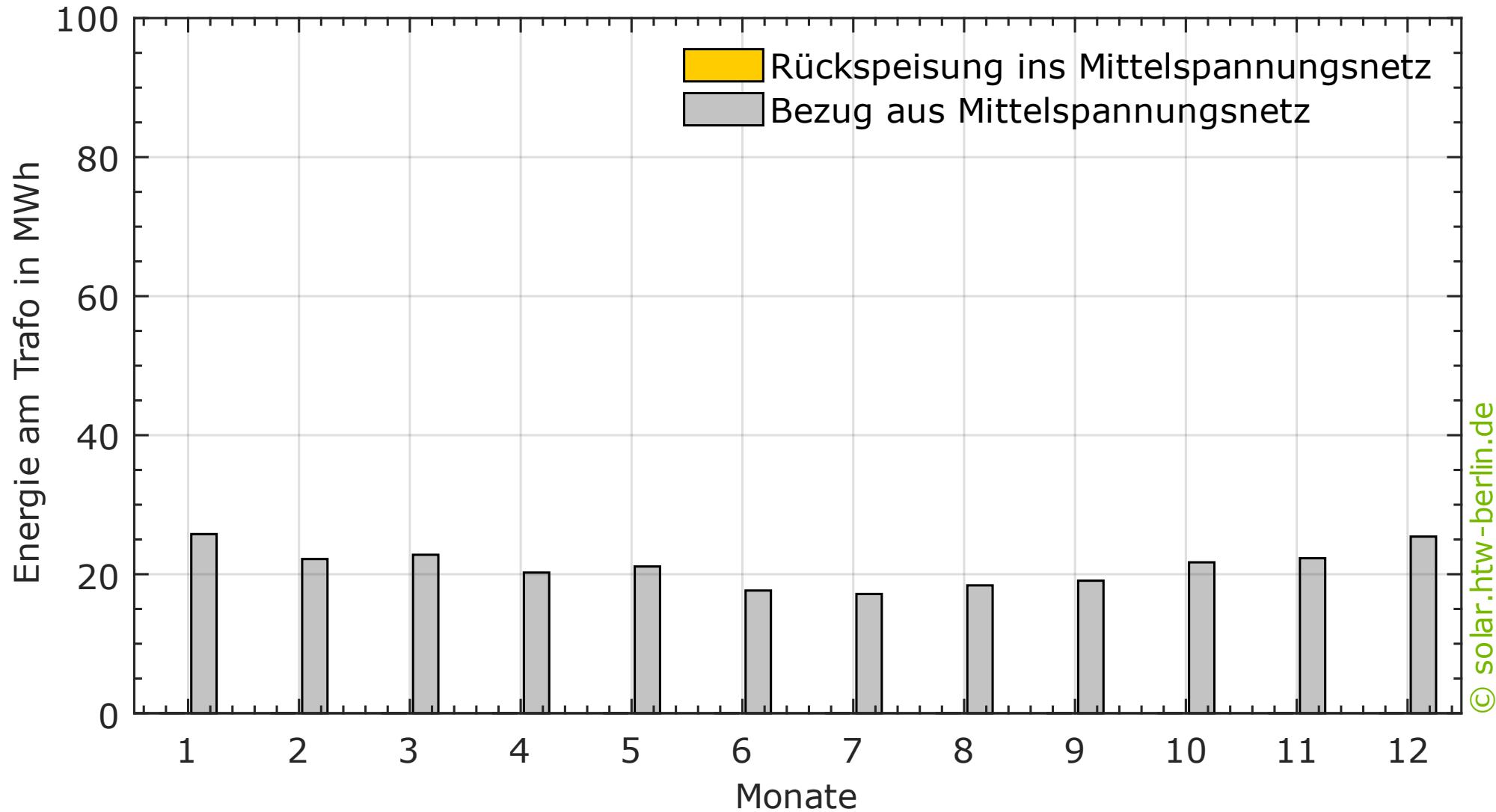
Monatliche Energiebilanz am Transformator

Erläuterung Grafiken – Monatliche Energiebilanz Trafo

- Netzaustausch mit der übergeordneten Netzebene.
- Energiebilanz am Trafo in MWh pro Monat.
- Im Sommerhalbjahr Rückspeisung und kaum Netzbezug.
- Im Winter deutlicher Netzbezug und keine Einspeisung.

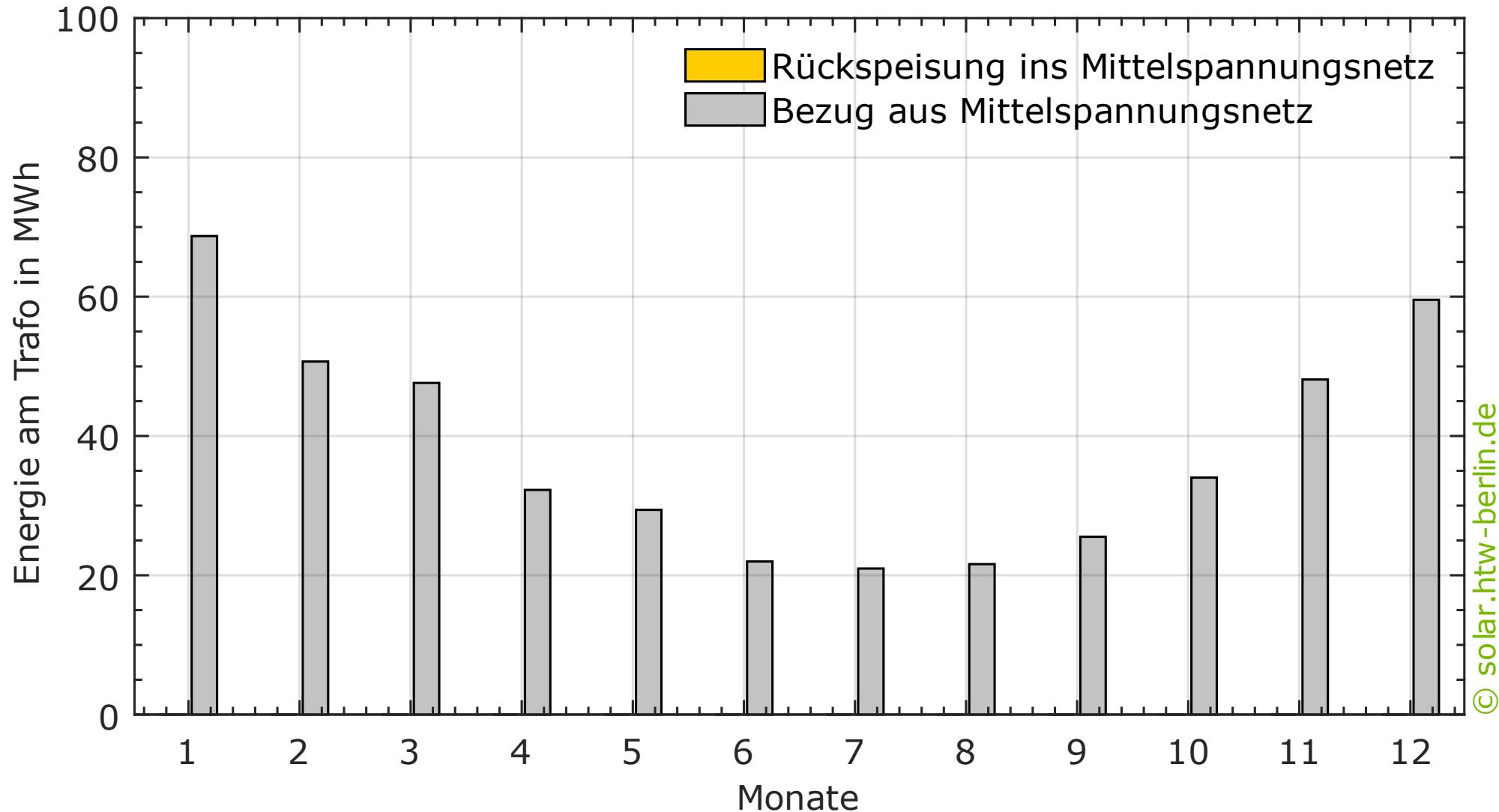


SO - HH



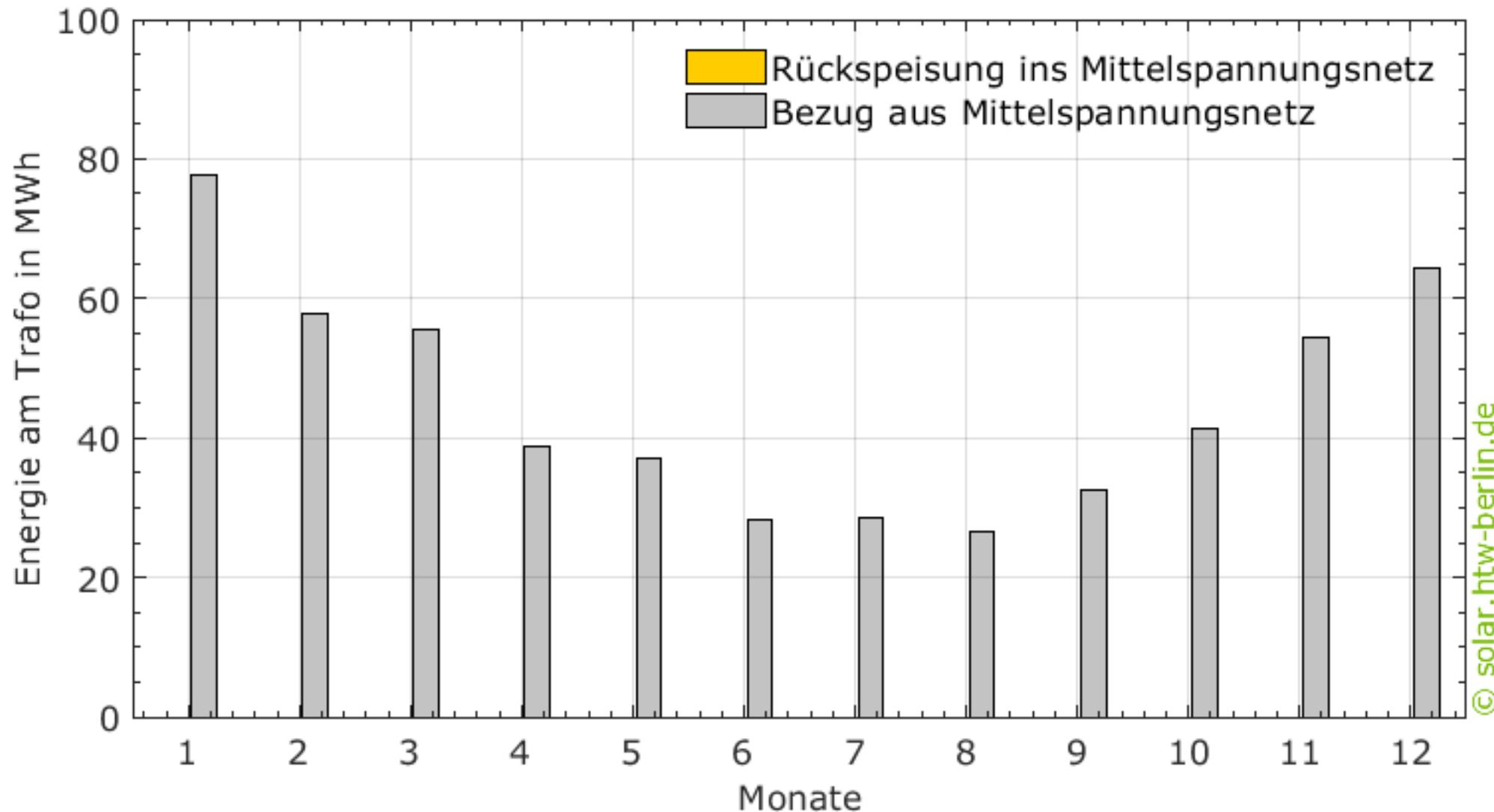
© solar.htw-berlin.de

S11 – HH + WP



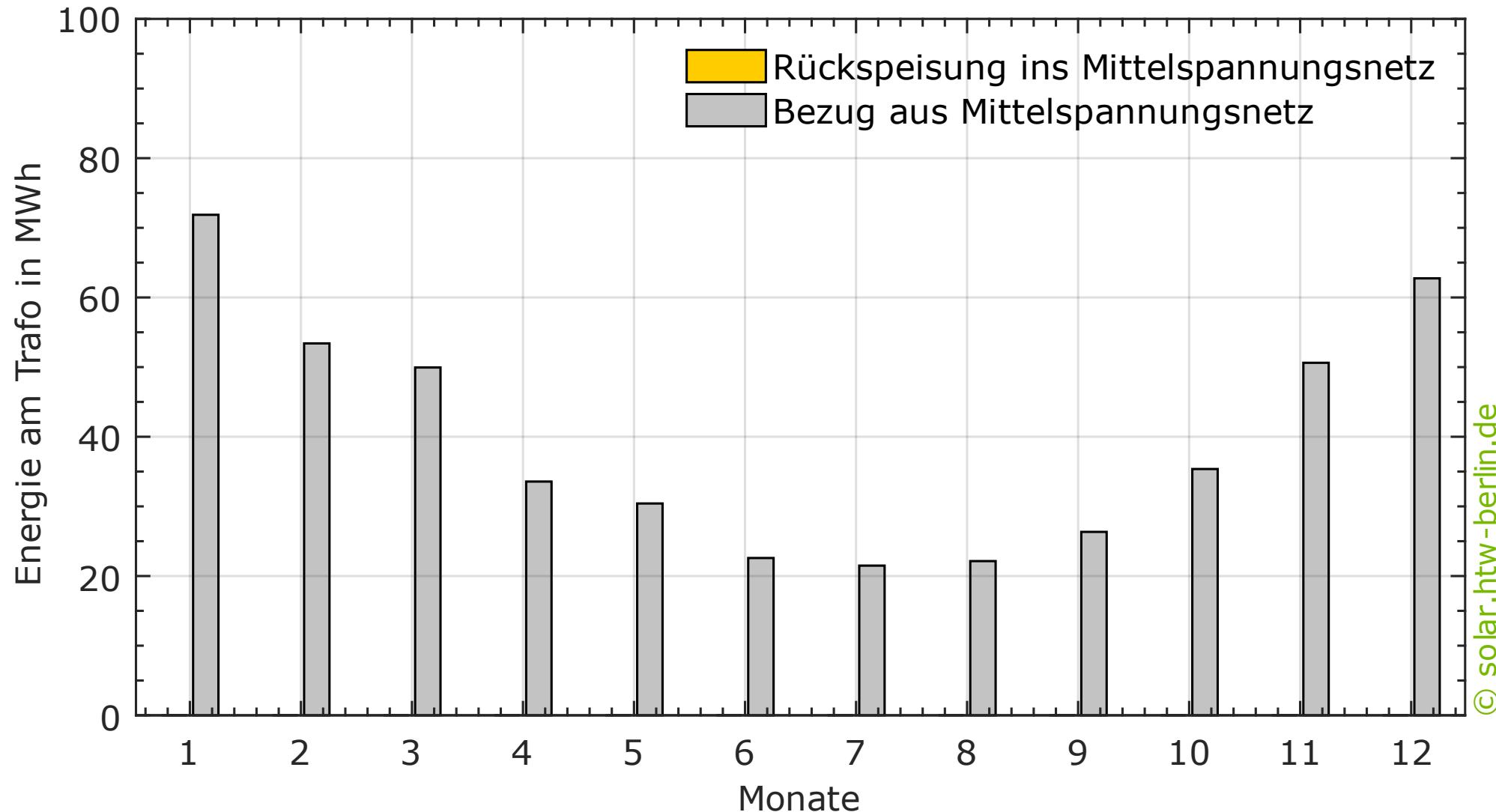
© solar.htw-berlin.de

S12 – HH + WP + EV



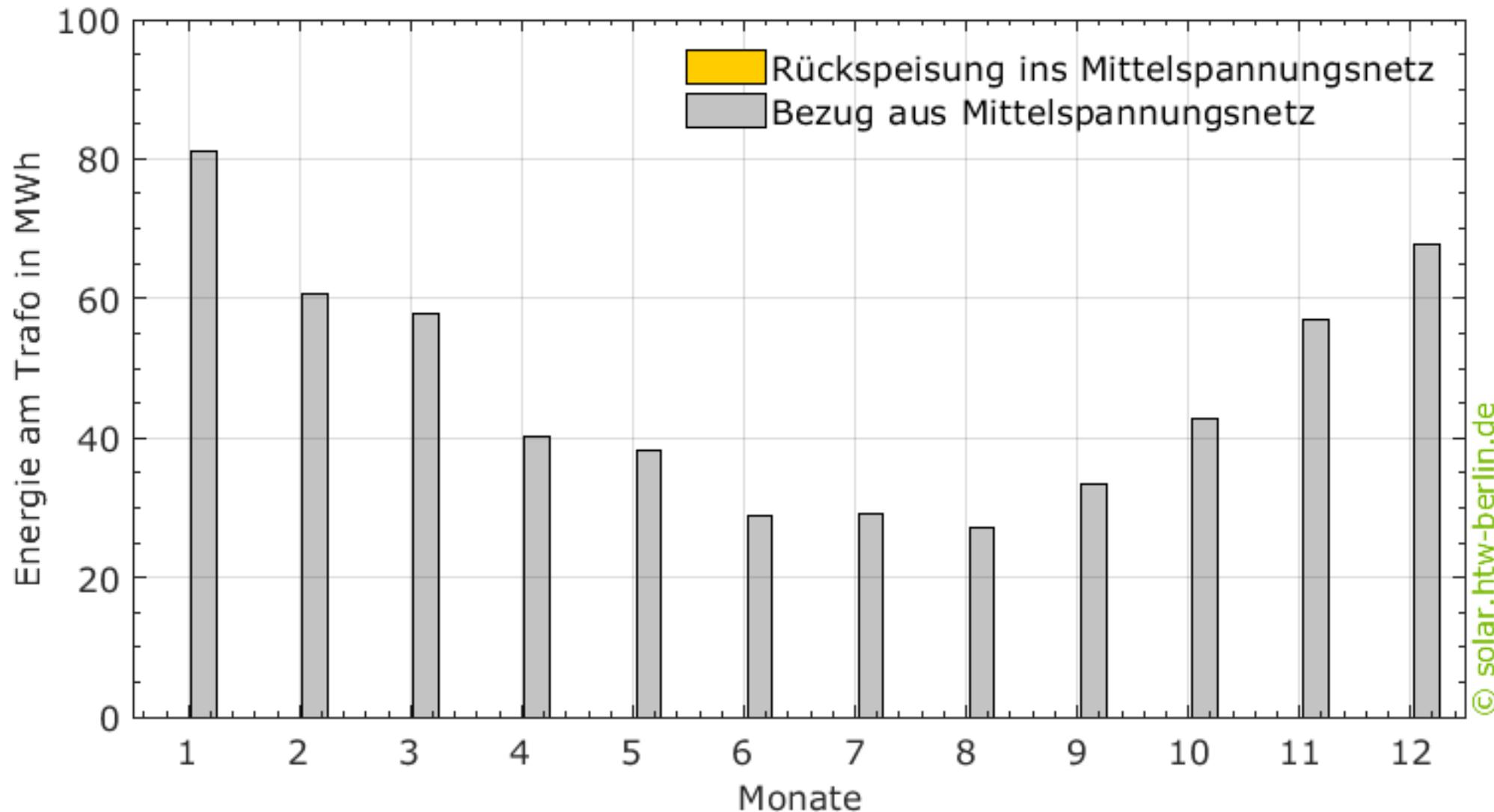
© solar.htw-berlin.de

S21 – HH + WP + Batterie



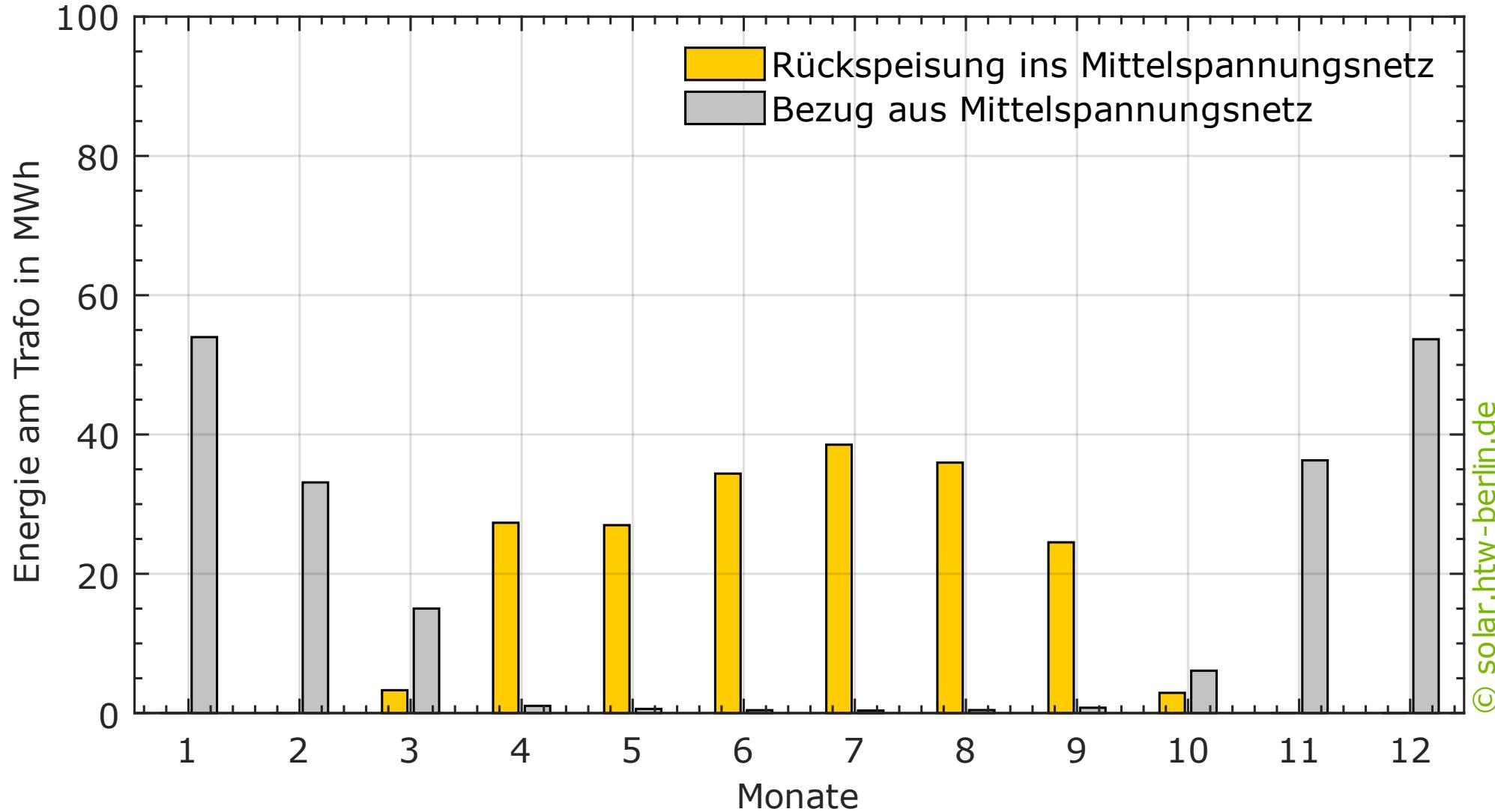
© solar.htw-berlin.de

S22 – HH + WP + Batterie + EV



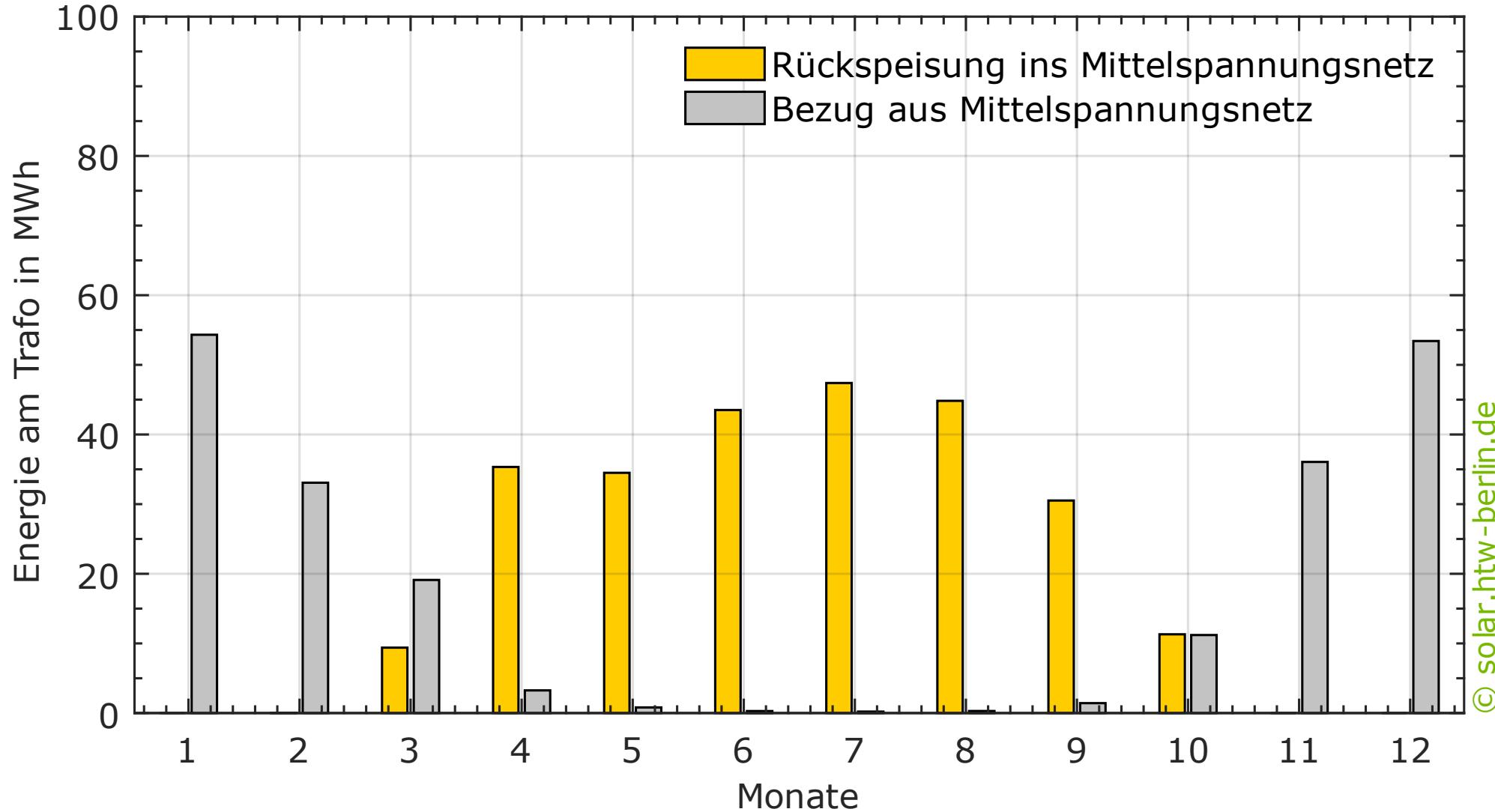
© solar.htw-berlin.de

S31 – HH + WP + Batterie + PV



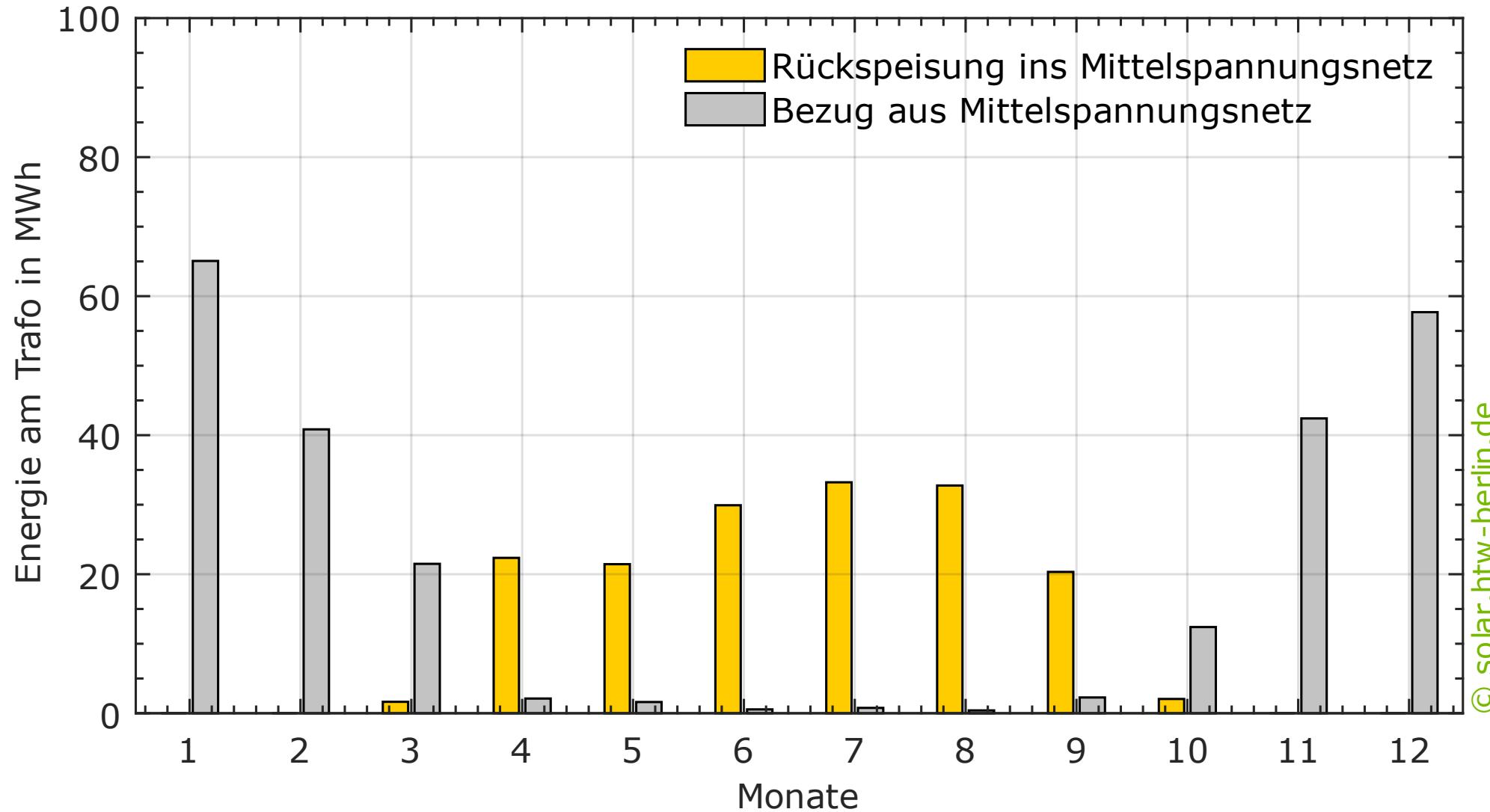
© solar.htw-berlin.de

S32 – HH + WP + Batterie + PV



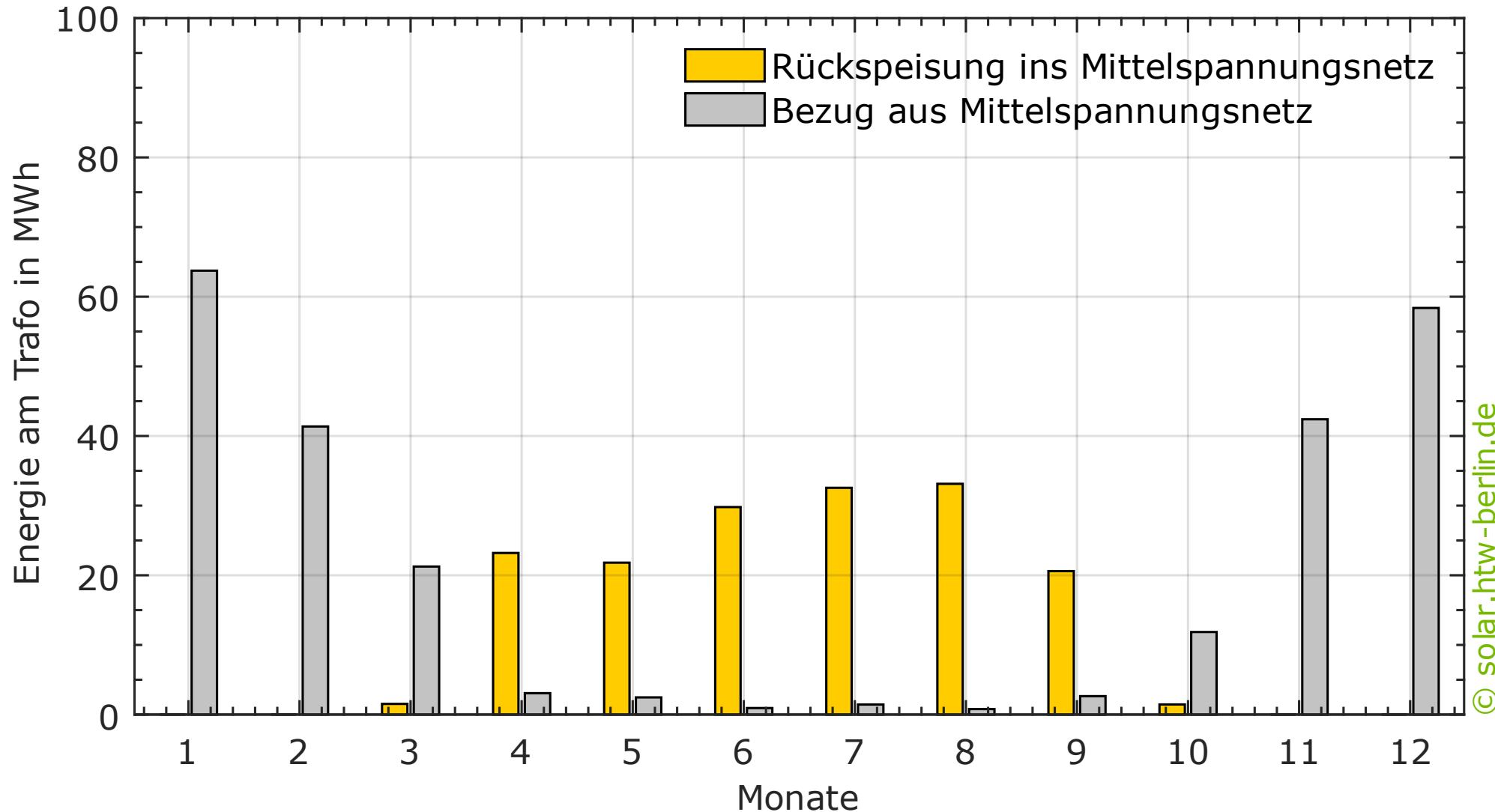
© solar.htw-berlin.de

S41 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Laden bei Ankunft)



© solar.htw-berlin.de

S42 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Solar)

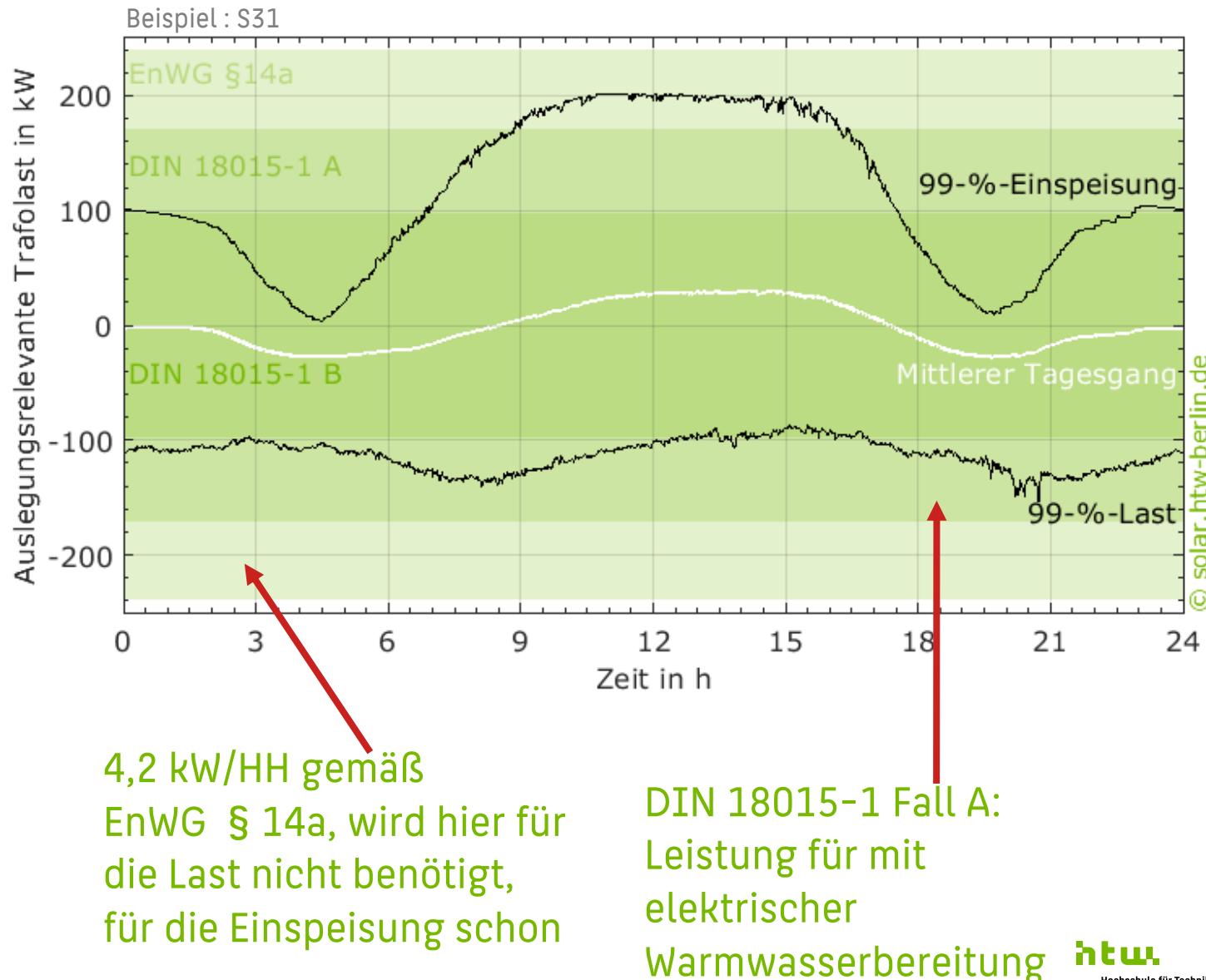


© solar.htw-berlin.de

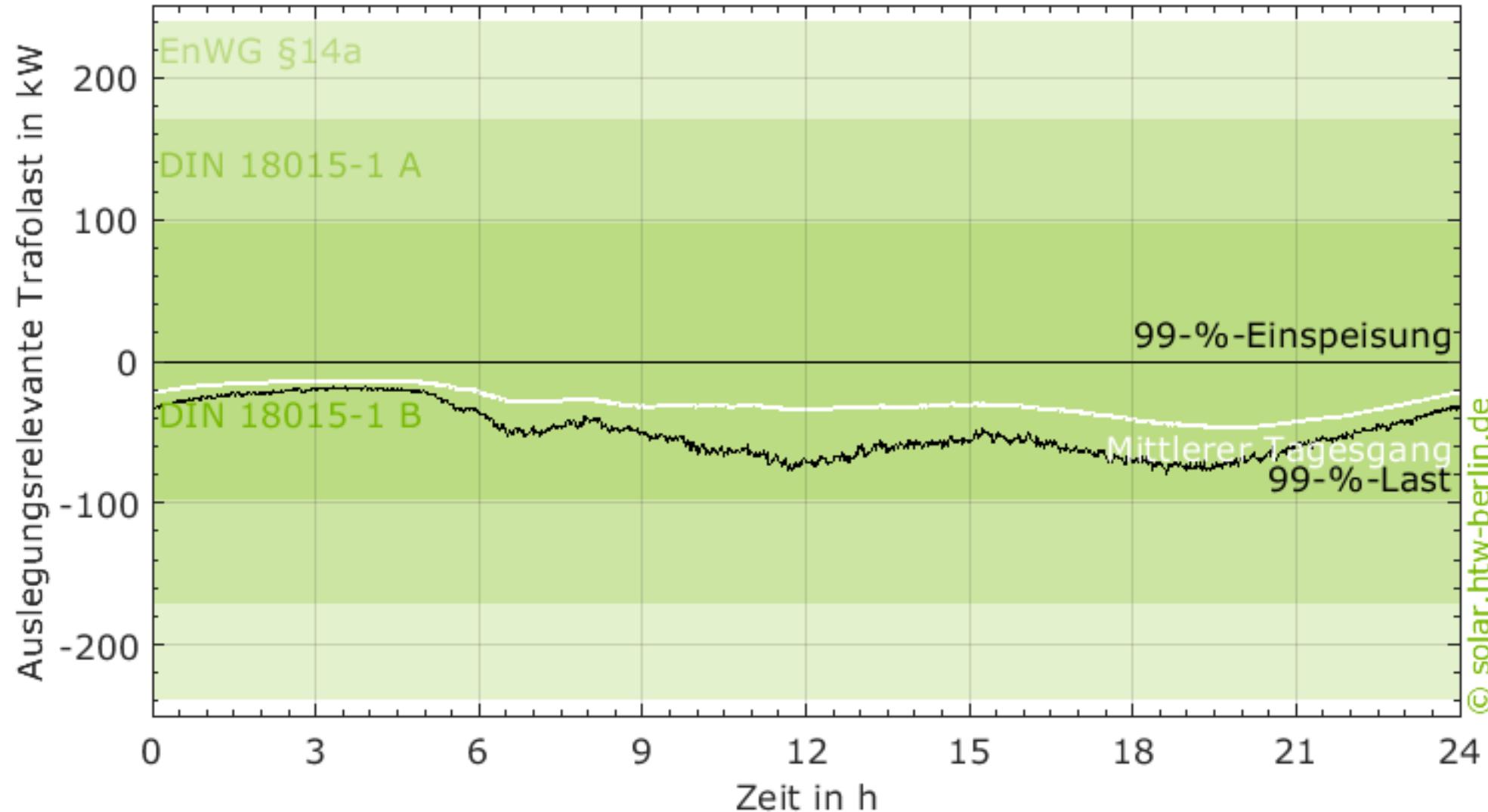
Auslegungsrelevanter Tagesgang am Transformator

Erläuterung Grafiken – Auslegungsrelevanter Tagesgang Trafo

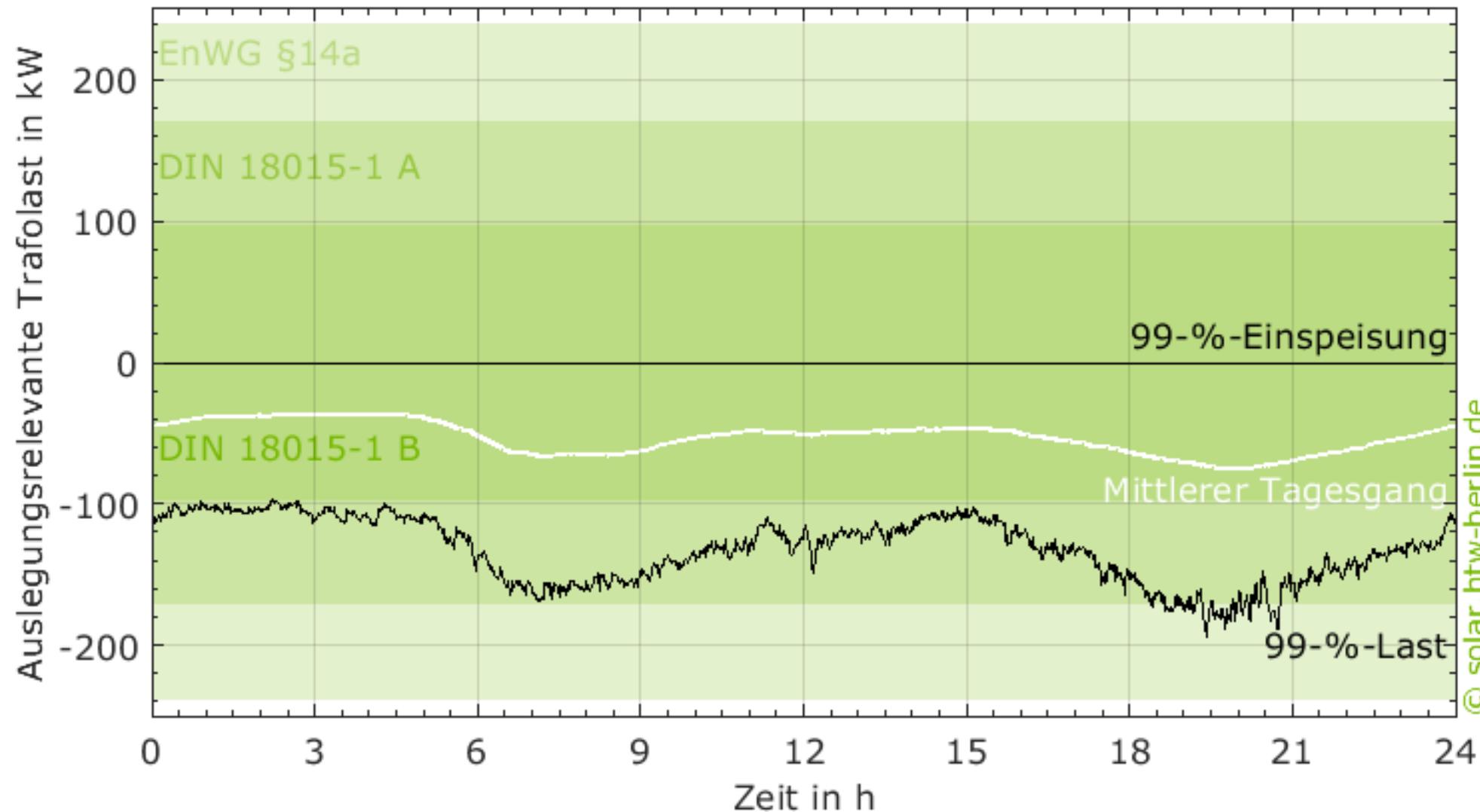
- Netzaustausch mit übergeordneter Netzebene.
- Einspeisung oben, Bezug unten.
- In Weiß mittlerer Tagesgang.
- 99 %-Einspeisung bzw. 99 %-Last: 1% der Einspeisungen / Lasten zur jeweiligen Uhrzeit war höher alle anderen Leistungen liegen darunter.



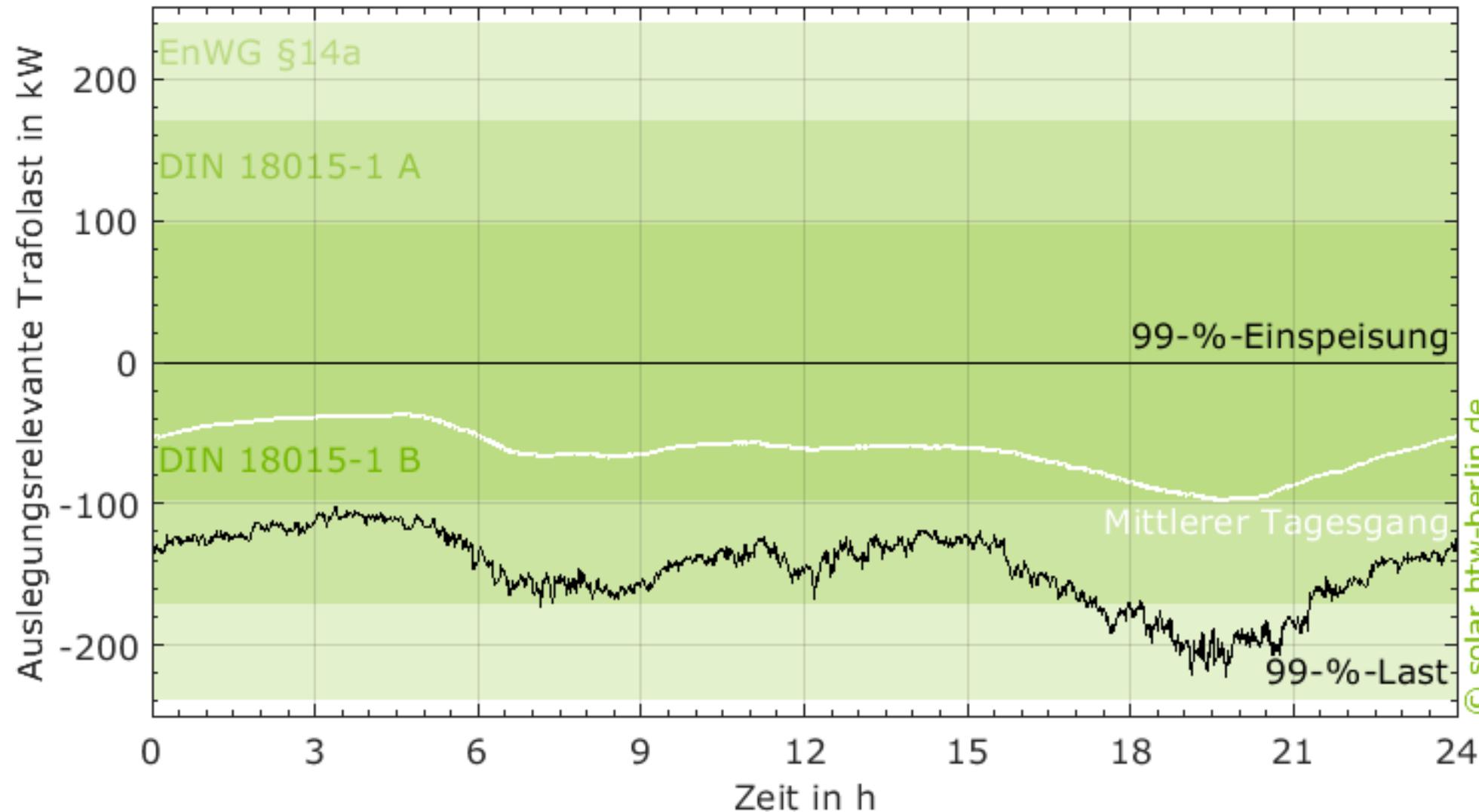
SO - HH



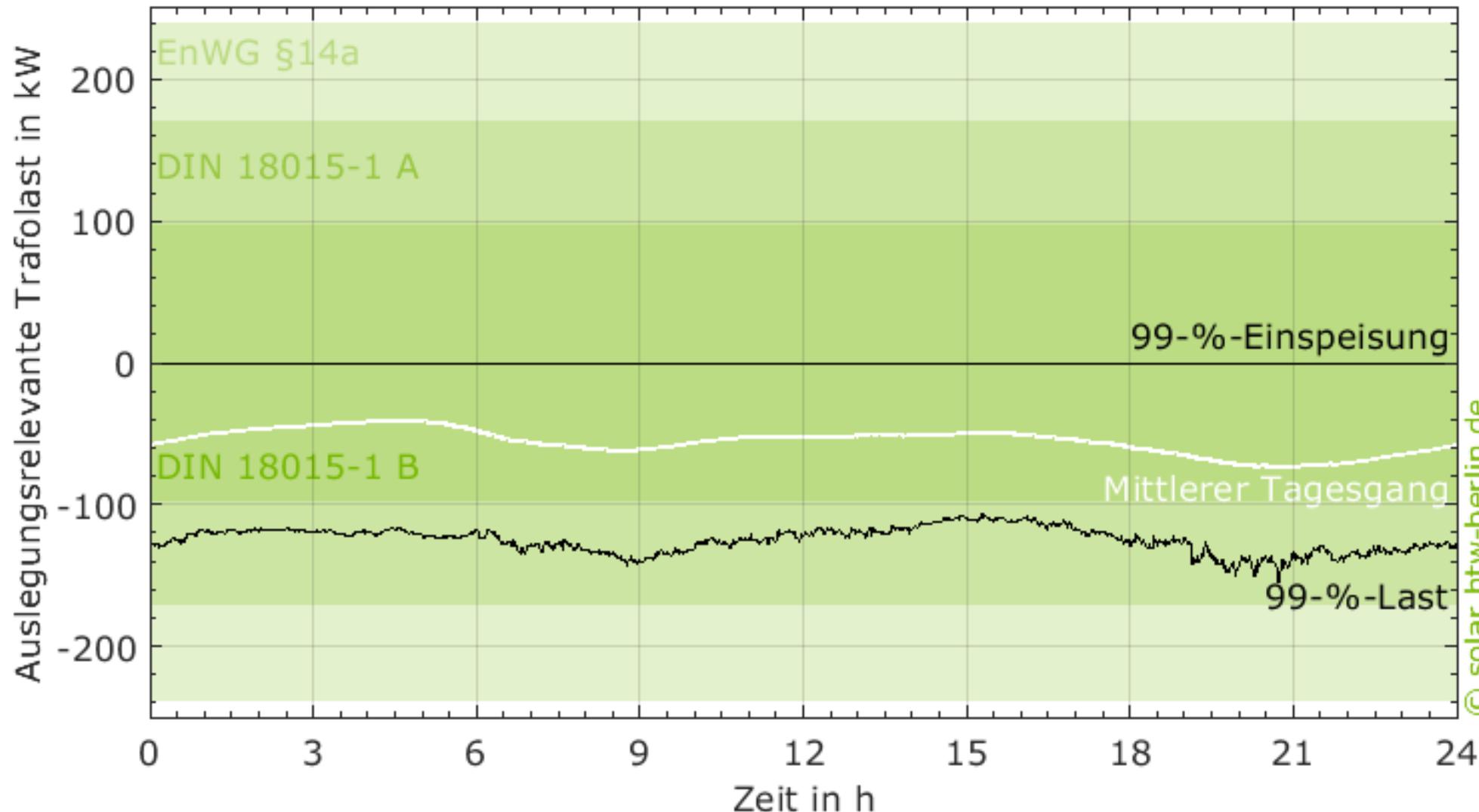
S11 - HH + WP



S12 – HH + WP + EV



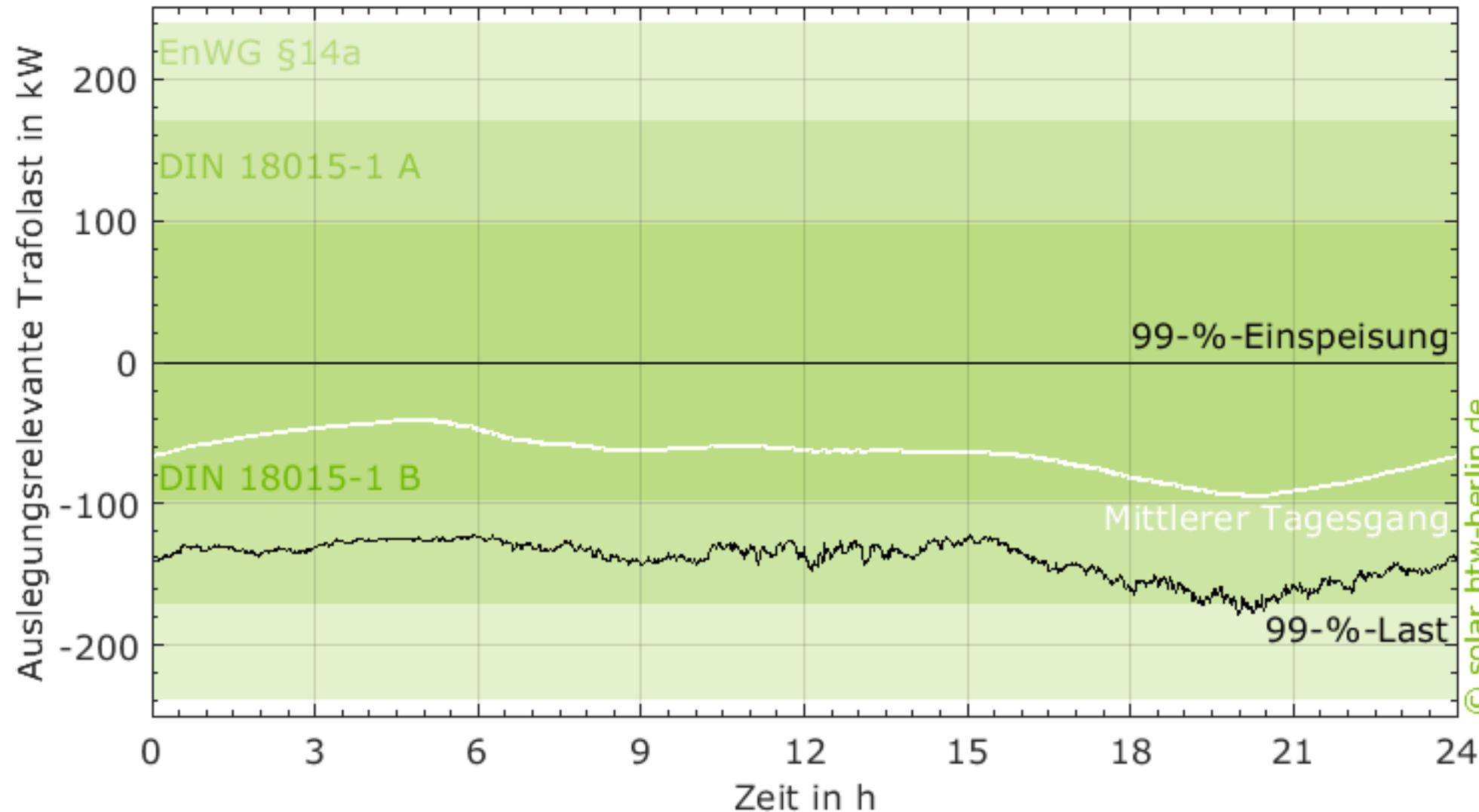
S21 – HH + WP + Batterie



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

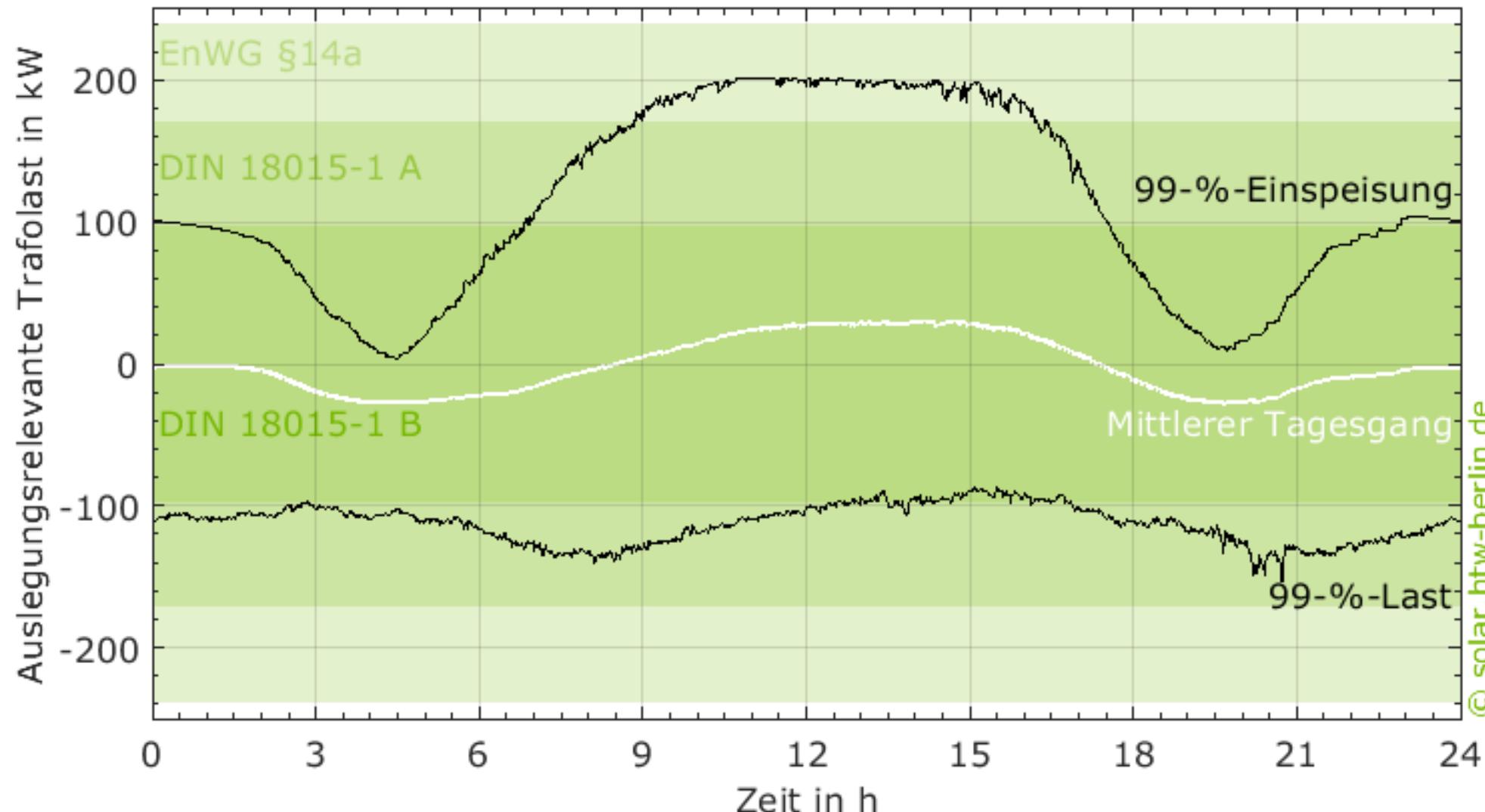
S22 – HH + WP + Batterie + EV



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW.

S31 – HH + WP + Batterie + PV

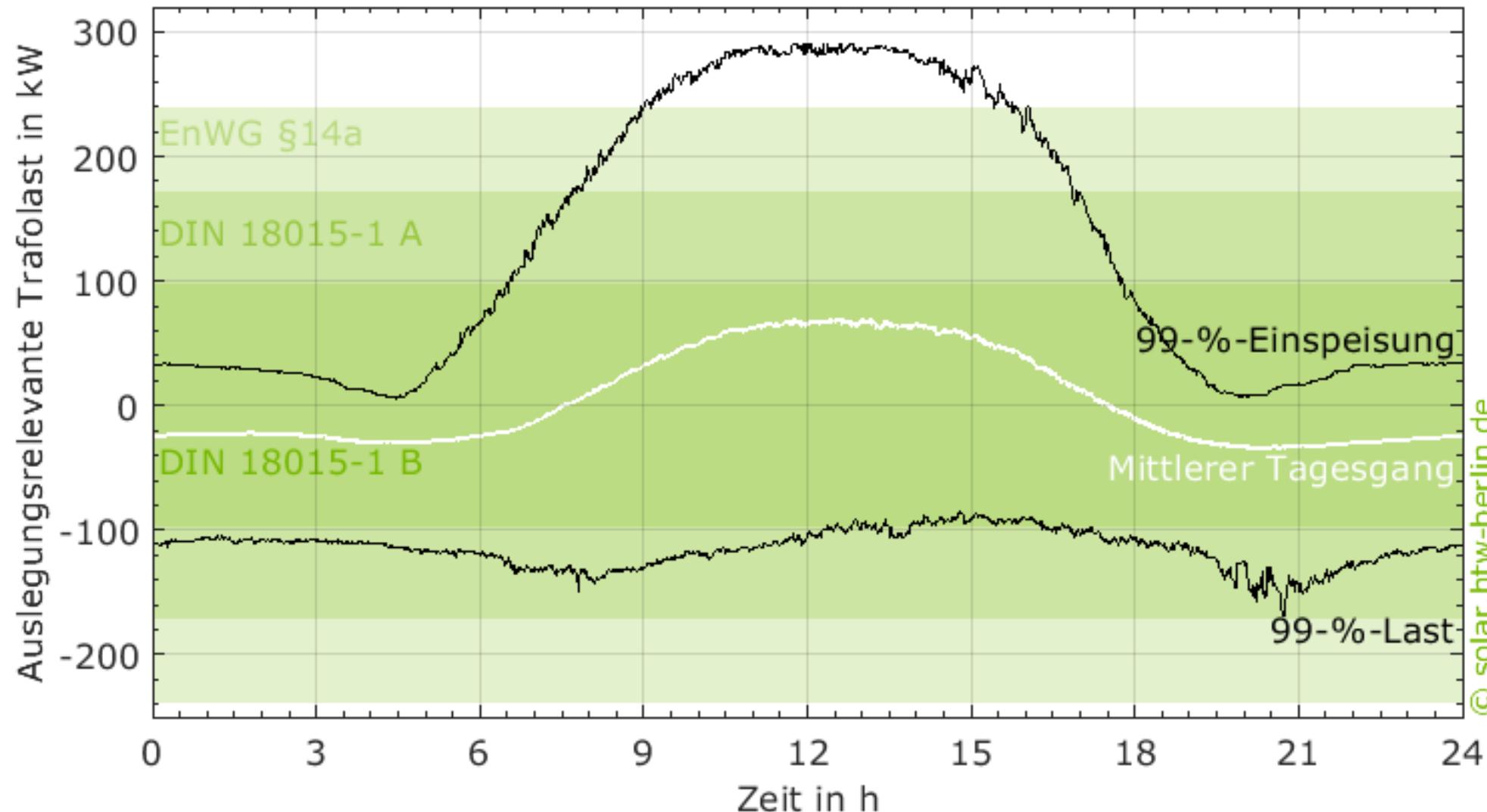


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S32 – HH + WP + Batterie + PV

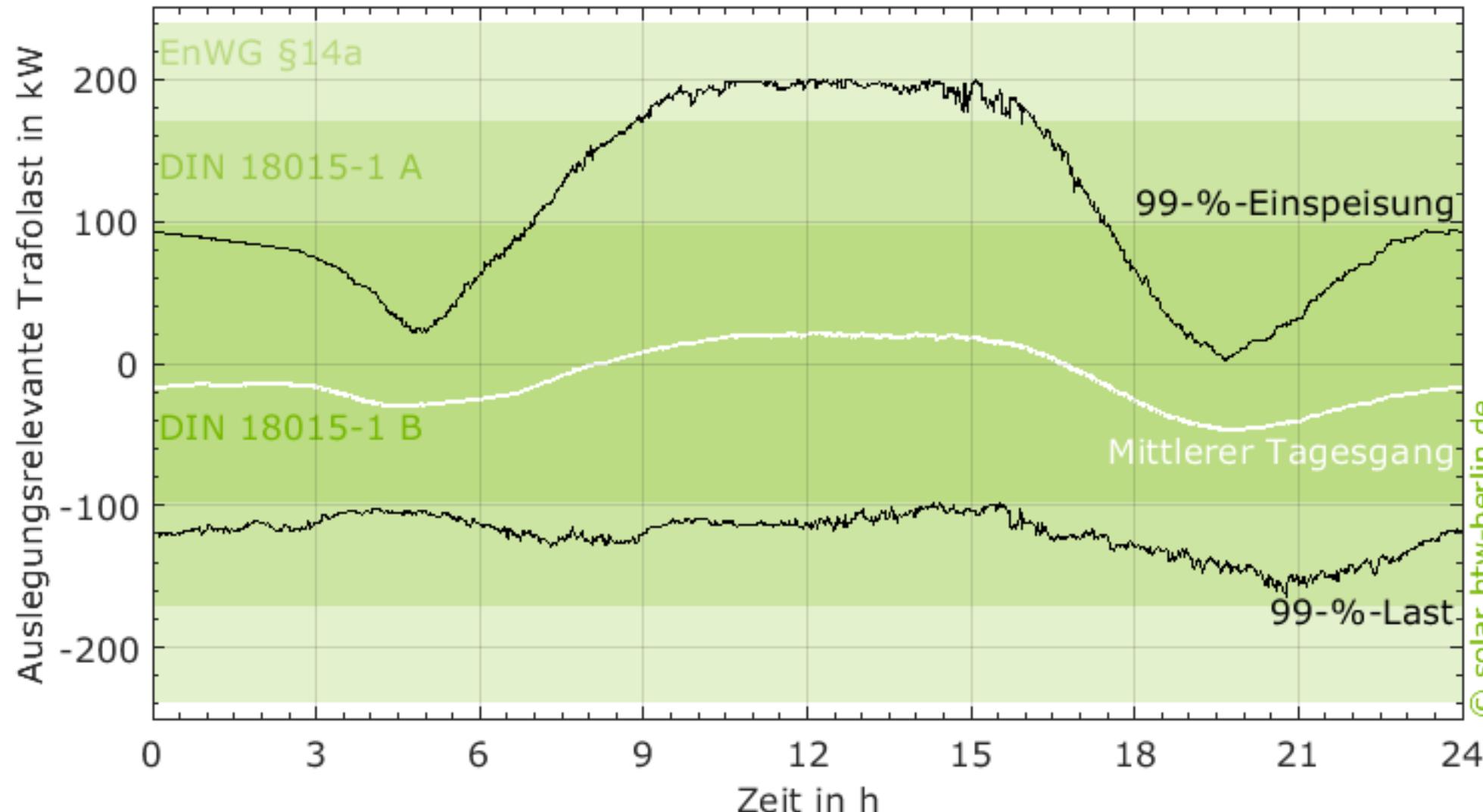


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S41 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Laden bei Ankunft)

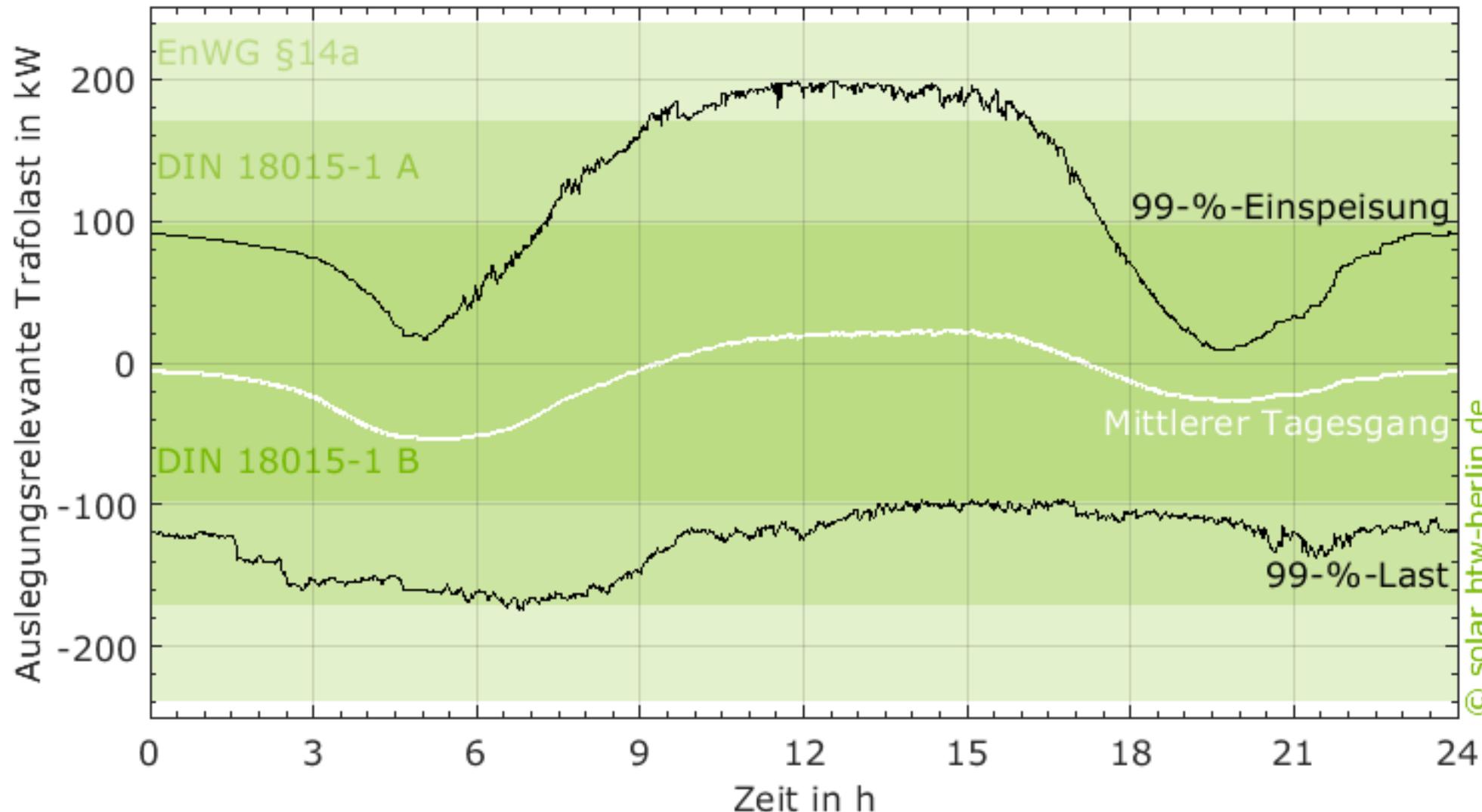


ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp.

S42 – HH + WP + Batterie + PV + EV (Solar)



ANMERKUNG:

Batterie begrenzt Bezug auf 2 kW,

Abregelung von Prognosefehlern zur Einhaltung des Einspeisefahrplans, maximale Einspeisegrenze 0,6 kW/kWp,

Fahrzeug wartet auf Solarüberschüsse und lädt zum spät möglichsten Zeitpunkt mit maximaler Leistung vor Abfahrt.