

Energieeffizienz- anforderungen in der Ladetechnik

In der Elektronik spielt die Einhaltung von Energieeffizienzstandards eine immer größere Rolle. Für „reine“ Netzteile bestehen weltweit schon seit längerer Zeit gesetzliche Vorgaben. Nun nehmen die Gesetzgeber auch Ladegeräte zunehmend in ihren Fokus. Der Artikel beschreibt die Standards zu den Energieeffizienzanforderungen in der Ladetechnik sowie schaltungstechnische Maßnahmen zu deren Einhaltung.

Rund um den Globus treffen Entwickler von Stromversorgungen auf eine Fülle an Standards zur Energieeffizienz. Neben freiwilligen Programmen zur Energieeinsparung wie etwa EnergyStar oder dem Code of Conduct (CoC) gibt es auch konkrete gesetzliche Vorgaben zur Effizienz der Geräte in lokalen Märkten. So müssen für den europäischen Markt beispielsweise die Vorgaben nach ErP (Energy related Products) eingehalten werden, damit die Produkte vertrieben werden dürfen. Für den US-amerikanischen Markt gelten dagegen die Vorgaben nach EISA (Energy Independence and Security Act), in Australien gilt MEPS (Minimum Energy Performance Standards) und im koreanischen Raum der Standard der KEMCO (Korea Energy Management Corporation). Ein aktuelles Beispiel für die ständige Verschärfung der Vorgaben findet sich in China, wo zurzeit eine gesetzliche Verpflichtung zum bisher freiwilligen China Energy Conservation Programm (CECP) in Diskussion ist.

Grundsätzlich differenzieren all diese Programme bei ihren Regulierungen in die Produktgattungen EPS (External Power Supplies) und BCS (Battery Charging Systems). Als EPS werden dabei Netzteile zur Spannungs- und Stromversorgung von externen Geräten definiert. Unter einem BCS versteht man ein Batterieladesystem, also ein Ladegerät samt angeschlossenem Akku inklusive einer Ladekontrolleinrichtung. Die Kategorie BCS umfasst auch Geräte mit fest eingebautem Akku, welche über eine Ladeeinrichtung und ein EPS geladen werden. Bei fast allen verpflichtenden Energieeffizienzstandards ist festzustellen, dass Ladesysteme derzeit ausdrücklich von den Regulierungen ausgenommen sind. So findet sich beispielsweise im Artikel 1, „Gegenstand und Anwendungsbereich“ der ErP Richtlinie 2009/125/EC in Absatz 2:

„Diese Verordnung gilt nicht für:

- a) Spannungswandler*
- b) Unterbrechungsfreie Stromversorgungen*
- c) Batterieladegeräte*
- d) Konverter für Halogenlampen*
- e) Externe Stromversorgungsgeräte für medizinische Geräte“*

Die Anforderungen der Effizienzprogramme für EPS finden sich trotzdem häufig in kundenseitigen Produktspezifikationen wieder. Meist können sie aufgrund fehlender gesetzlicher Notwendigkeit gestrichen werden; nichtsdestotrotz helfen bestehende energieeffiziente Konzepte von reinen Netzteilen aber auch bei der Einhaltung der Standards für Ladegeräte. Daher hier eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten zu beachtenden Punkte:

Zur Prüfung der Einhaltung der Effizienzstandards müssen Wirkungsgrad und Leerlaufverluste des Gerätes getestet werden. Maßgebend für die Berechnung der minimal zu erbringenden Energieeffizienz sind bei allen Standards die Angaben auf dem Typenschild des Gerätes. Bei der Prüfung ist die festgelegte Testmethode einzuhalten:

- Auswahl von drei zu testenden Geräten nach dem Zufallsprinzip.
- Anpassung der Netzspannung an die Nennspannung des Gerätes.
- Die Erfassung aller Werte erfolgt nach dreißigminütigem Betrieb.
- Prüfung der Geräte in vier Lastfällen: 25 % / 50 % / 75 % / 100 %.
- Der Mittelwert der Wirkungsgrade aller vier Lastfälle muss dem Standard entsprechen.
- Die Leerlaufverluste müssen dem Standard entsprechen.

Hierbei ist zu beachten, dass die Effizienzprogramme EnergyStar und ErP bei ihren Vorgaben noch zusätzlich in Standard- und Niederspannungsgeräte unterscheiden. Die aktuellen Grenzwerte können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Grenzwerte nach ErP2 (2009/125/EC) und EnergyStar

	Standard-Netzteile	Niederspannungsnetzteile (<6V; >550mA)	
<i>Effizienz</i>			
Ausgangsleistung (Po)	ErP2	EnergyStar	ErP2 EnergyStar
$P_o \leq 1 \text{ W}$	$0,48 * P_o + 0,14$	$0,48 * P_o + 0,14$	$0,497 * P_o + 0,067$ $0,497 * P_o + 0,067$
$1 \text{ W} < P_o \leq 51 \text{ W}$	$0,063 + \ln(P_o) + 0,622$		$0,075 * \ln(P_o) + 0,0561$
$1 \text{ W} < P_o \leq 49 \text{ W}$		$0,626 + \ln(P_o) + 0,622$	$0,075 * \ln(P_o) + 0,561$
$> 51 \text{ W}$	0,87		0,86
$> 49 \text{ W}$		0,87	0,86

<i>Leistungsaufnahme bei Nulllast</i>			
Ausgangsleistung (Po)	ErP2	EnergyStar	ErP2 EnergyStar
$P_o \leq 51 \text{ W}$	$\leq 0,3$		$\leq 0,3$
$P_o > 51 \text{ W}$	$\leq 0,5$		$\leq 0,5$
$P_o < 50 \text{ W}$		$\leq 0,3$	$\leq 0,3$
$P_o \geq 50 \text{ W}$		$\leq 0,5$	$\leq 0,5$

CEC – Weltweit einziger verpflichtender Standard für Ladegeräte

Der derzeit weltweit einzige verpflichtende Standard zur Energieeffizienz für Ladegeräte ist der Titel 20 des California Code of Regulations (Absätze 1.601 bis 1.608). Aktuell umfasst dieser Titel nahezu alle elektrischen Konsumenten-Geräte, welche Schaltungen zur Akkuladung enthalten. Das Spektrum reicht dabei von Notebooks über Power Tools bis hin zu eBike-Ladern. Mit dem Jahresbeginn 2017 werden von dem Standard aber auch sämtliche Anwendungen reguliert, welche nicht dem Konsumentenbereich zuzuordnen sind.

Definiert wurde der Standard von dem Energieministerium des Staates Kalifornien, der California Energy Commission (CEC). Da diese Behörde ausschließlich für die Energiepolitik und -planung innerhalb der kalifornischen Staatsgrenzen zuständig ist, könnte man bei dem Standard auf den ersten Blick eine sehr regionale Bedeutung vermuten. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass dieser Standard für den gesamten US-amerikanischen Markt relevant ist: Unternehmen, die ihre Produkte in die USA exportieren, können den Verkauf und die Benutzung der Geräte im Staat Kalifornien in der Regel nicht ausschließen – und sollten den Standard daher von vornherein einhalten.

Aber welche Grenzwerte zur Energieeffizienz legt die CEC mit diesem Titel nun fest? Hier ist zunächst darauf zu achten, dass der Standard die Kategorien Großlader (Large BCS) mit einer Eingangsleistung von mehr als 2 kW und Kleinlader (Small BCS) mit einer geringeren Eingangsleistung unterscheidet. Im Folgenden soll vor allem die Regulierung für Kleinlader detaillierter betrachtet werden. Für ein besseres Verständnis der Regulierungen und der später folgenden Optimierung eines Ladegerätes sind zunächst einige wichtige Begriffe nach CEC zu klären:

- | | |
|--|--|
| <i>Active charge mode:</i> | Hauptladung bis der Akku voll geladen ist |
| <i>Battery maintenance mode (P_m):</i> | Erhaltungsladung. Der Akku ist geladen, bleibt aber am Ladegerät |
| <i>24h charge and maintenance energy (E_{24h}):</i> | Summe der vom Ladesystem innerhalb von 24 Stunden aufgenommenen Energie in Wattstunden (während Haupt- und Erhaltungsladung) |
| <i>No battery mode (P_{stby}):</i> | Reiner Standby-Betrieb ohne Akku |

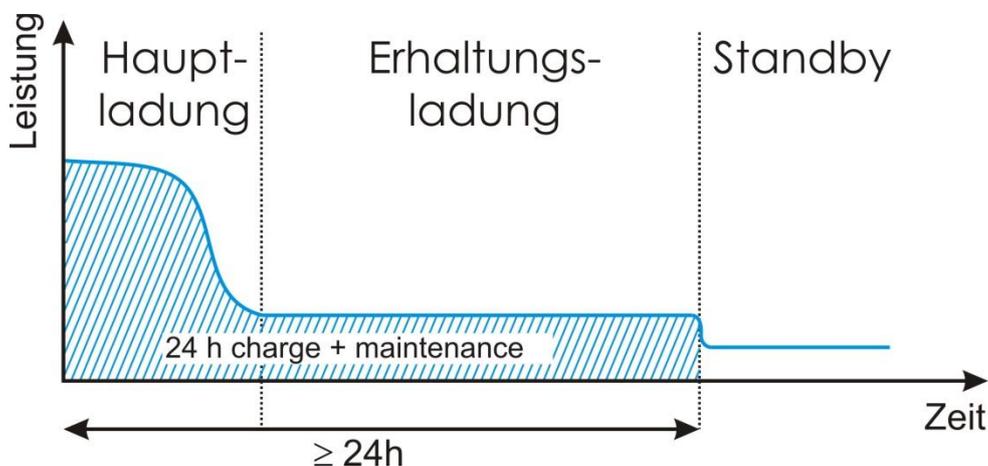


Abbildung: Energieaufnahme eines Ladegerätes nach CEC

Mit ihrem Standard legt die CEC zwei einzuhaltende Kennzahlen fest: Zum einen ein festgelegtes Maximum an Wattstunden (Wh) für die „24h charge and maintenance energy“, zum anderen einen Maximalwert für die Summe aus „battery maintenance mode“ und „no battery mode“. Mit Hilfe des Energieinhalts des eingesetzten Akkus (E_b) und der Anzahl der Ladeschächte des verwendeten Ladegerätes (N) können die einzuhaltenden Grenzwerte nach CEC berechnet werden. Die zu verwendenden Formeln hierfür finden sich in der folgenden Tabelle:

Grenzwerte nach CEC	
Maximum 24h charge and maintenance energy (E_{24h})	
Für Ladesysteme mit $E_b \leq 2,5 \text{ Wh}$	$16 * N$
Für Ladesysteme mit $E_b > 2,5 \text{ Wh}$ und $\leq 100 \text{ Wh}$	$12 * N + 1,6 E_b$
Für Ladesysteme mit $E_b > 100 \text{ Wh}$ und $\leq 1.000 \text{ Wh}$	$22 * N + 1,5 E_b$
Für Ladesysteme mit $E_b > 1.000 \text{ Wh}$	$36,4 * N + 1,486 E_b$
Maximum power for maintenance mode and no battery mode ($P_{stby} + P_m$)	
Grenzwert für die Summe aus P_m und P_{stby} in W	$N + 0,0021 * E_b$

Beispielsweise ergeben sich somit für ein typisches eBike-Ladesystem mit einem einzelnen Ladeschacht ($N = 1$) und einem Akku mit 36 V und 11 A ($E_b = 36 * 11 = 396$) folgende Grenzwerte zur Einhaltung:

- (1) $E_{24h} = 22 * 1 + 1,5 * 396 = 616 \text{ Wh}$
- (2) $P_{stby} + P_m = 1 + 0,0021 * 396 = 1,83 \text{ W}$

Im Bereich Power Tools könnte ein typisches Ladesystem beispielsweise so aussehen: Ein Ladeschacht ($N = 1$), zugehöriger Akku 18 V / 2,6 Ah ($E_b = 18 * 2,6 = 46,8$). Nach CEC ergeben sich hier folgende Grenzwerte:

- (3) $E_{24h} = 12 * 1 + 1,6 * 46,8 \text{ Wh} = 86,88 \text{ Wh}$
- (4) $P_{stby} + P_m = 1 + 0,0021 * 46,8 \text{ W} = 1,09 \text{ W}$

Besondere Testanforderungen stellt CEC an Multilader, welche Akkus mit unterschiedlichen Spannungen und Kapazitäten laden können. Hier werden die Ladevorgänge von drei vordefinierten Akkutypen geprüft, die jeweils die Grenzwerte einhalten müssen damit das Gesamtsystem den Standard erfüllt. Folgende Akkutypen müssen geprüft werden:

- 1.) Niedrigste Spannung / niedrigste Kapazität
- 2.) Höchste Spannung / niedrigste Kapazität
- 3.) Größter Energieinhalt

Bei der Auswahl der Akkus wird dabei nicht zwischen verschiedenen Zellchemien unterschieden.

Schaltungen zur Optimierung der Energieeffizienz

Werden die von der CEC definierten Grenzwerte vom bestehenden Ladesystem nicht eingehalten, muss das Ladegerät optimiert werden. Hier gibt es mehrere geeignete Ansatzpunkte zur Erfüllung der Werte. Für die Einhaltung des Grenzwertes E_{24h} ist der Wirkungsgrad des Leistungsteils entscheidend. Ein sehr guter Wirkungsgrad lässt sich vor allem durch die Wahl einer effizienten Topologie, z.B. LLC, flankiert durch weitere Maßnahmen wie einer Synchrongleichrichtung, erreichen. Erweist sich dagegen das Einhalten des Grenzwertes $(P_{stby} + P_m)$ als problematisch, müssen die Leerlaufverluste verringert werden. Hier wäre ein Hilfsnetzteil empfehlenswert.

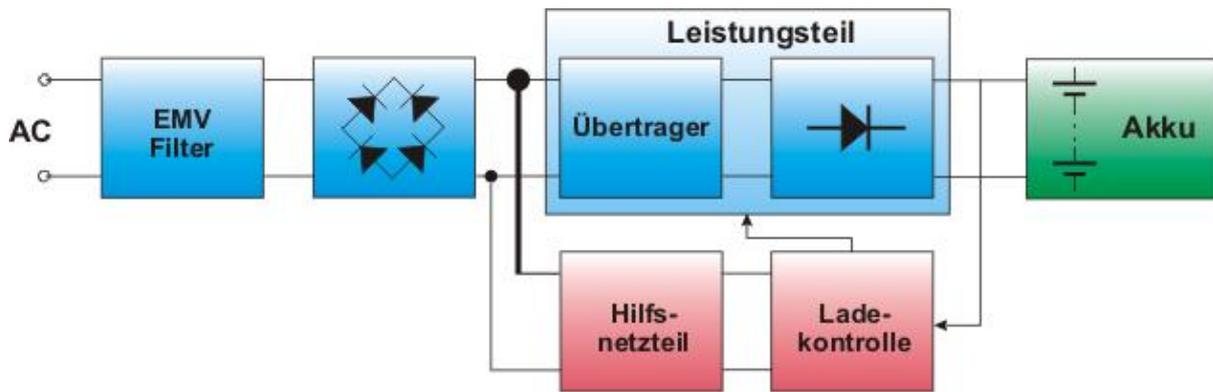


Abbildung: Aufbau eines Ladesystems

Effizienz durch LLC-Topologie

Die LLC-Topologie ermöglicht gegenüber dem in klassischen Ladegeräten meist angewandten Sperrwandler-Konzept höhere Wirkungsgrade. Der Vorteil liegt dabei im spannungslosen Schalten der MOSFETs, dem sogenannten Zero Voltage Switching (ZVS). Im Vergleich zum herkömmlichen Schalten lassen sich Schaltverluste durch ZVS wesentlich reduzieren, was zu einem höheren Wirkungsgrad des Gesamtsystems führt.

Ein weiterer Vorteil ist das weiche Schalten. Dabei werden die Schaltstörungen minimiert, was wiederum den Einsatz eines kleineren EMV-Filters ermöglicht und zu weniger Verlusten im Filterkreis führt. LLC steht außerdem für eine geringere Spannungsbelastung der primärseitigen MOSFETs sowie der sekundärseitigen Gleichrichter. Dies erlaubt die Verwendung leistungstärkerer Halbleiter, wodurch Verluste noch weiter minimiert werden können.

Effizienz durch Synchrongleichrichter

Bei Ladegeräten wird ein Großteil der Verlustleistungen durch Gleichrichter in der Ausgangsstufe verursacht. Hierbei gilt die Regel: Je höher der Ausgangsstrom, desto größer die Verluste. Gerade in der heutigen Zeit spielen hohe Ausgangsströme und damit kurze Ladezeiten aber eine immer bedeutendere Rolle: Radfahrer wollen mit ihren eBikes keine unnötig langen Pausen einlegen, Handwerker wollen ihre Werkzeuge nach kürzester Ladezeit wieder einsetzen können.

Um trotz hoher Ausgangsströme die Grenzwerte nach CEC einhalten zu können, müssen diese Verlustleistungen möglichst weit eingegrenzt werden. Dabei hilft eine Synchrongleichrichtung: Hier wird der Gleichrichter aus dem klassischen Ladegerätekonzept – typischerweise eine Diode – durch einen geschalteten FET ersetzt. Der Vorteil des MOSFETs ist dabei ein wesentlich niedrigerer Spannungsabfall bei hohen Ausgangsströmen.

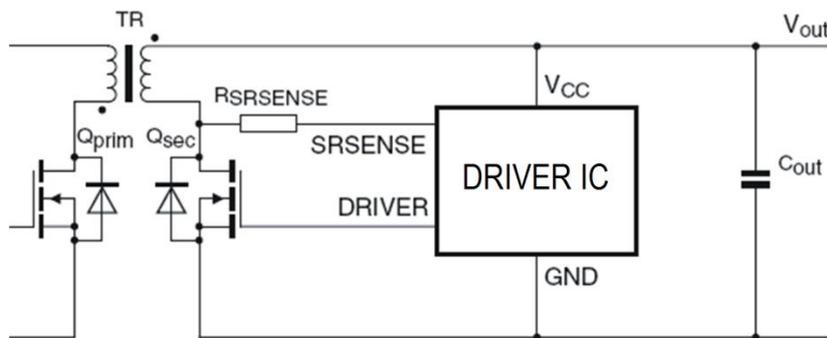


Abbildung: Schaltbild einer Synchrongleichrichtung

Effizienz durch ein Hilfsnetzteil

Auch wenn die Grenzwerte gemäß CEC für E_{24h} eingehalten werden, kann sich die Einhaltung von $(P_{stby} + P_m)$ als problematisch erweisen. Die Leistungsaufnahme während des „Battery maintenance mode“ P_m kann vom Ladegerät kaum oder gar nicht beeinflusst werden, da hier starke Abhängigkeiten zu anderen Faktoren, z.B. Akkuchemie oder dauerhafte Anzeigen im Akku, bestehen. Zur Erfüllung des Grenzwertes $(P_{stby} + P_m)$ ist also vor allem die Optimierung der Standby-Verluste entscheidend. Generell lässt sich festhalten: Je geringer die Akkukapazität ist, desto wichtiger wird das Thema Standby zur Einhaltung des CEC-Standards (vgl. Tabelle 2).

Ein Lösungsansatz kann hier ein Hilfsnetzteil sein. Mit einem auf niedrige Leistungen abgestimmten Netzteil kann das Leistungsteil eines Ladegerätes aktiv abgeschaltet werden, was die Leerlaufverluste eines Ladesystems deutlich verringert. Dabei können Ladegeräteentwickler von bereits bestehenden Schaltungskonzepten sehr effizienter Kleinleistungsnetzteile nach ErP/EnergyStar-Vorgaben profitieren.

Einreichen und Kennzeichnen nach CEC

Soll das Ladesystem für den US-Staat Kalifornien zugelassen werden, muss der Nachweis über die Erfüllung der Grenzwerte in einer von der CEC zertifizierten Testeinrichtung erbracht werden. Diese geben die Testergebnisse zur direkten Prüfung an die CEC weiter. Werden die Ergebnisse für gut befunden, haben die Hersteller im Rahmen einer Selbstzertifizierung für die Kennzeichnung ihrer Ladesysteme Sorge zu tragen. Dazu muss jedes zugelassene Ladesystem mit dem Prüfzeichen „BC“ gekennzeichnet werden, was wahlweise auf dem Typenschild des Gerätes oder aber auf der Einzelverpackung und der Bedienungsanleitung erfolgen kann.



Die CEC führt eine Datenbank aller zugelassenen Geräte, welche online öffentlich einsehbar ist:

<http://www.appliances.energy.ca.gov/QuickSearch.aspx>

Standards für Ladesysteme in der Zukunft

Auf Grund der Abgrenzungsproblematik zwischen dem lokalen kalifornischen und dem gesamtamerikanischen Markt ist es wohl nur eine Frage der Zeit, bis der Standard nach CEC für die gesamte USA verpflichtend übernommen wird. Die Standards bereits heute provisorisch einzuhalten, ist daher mehr als empfehlenswert.

Über CEC als verpflichtenden Standard hinaus gibt es für Batterieladegeräte den freiwilligen Effizienzstandard EnergyStar der Environmental Protection Agency (EPA). Ursprünglich war für dieses Programm die Einführung neuer Grenzwerte im Rahmen von EnergyStar 2.0 geplant, da mit CEC jedoch eine strengere Richtlinie bereits in Kraft getreten ist und darüber hinaus keine weiteren Einsparpotentiale gesehen werden, wurde dies verworfen. Dementsprechend liegt der Beschluss der EPA vor, wonach das EnergyStar-Programm für Ladesysteme zum 31. Dezember 2014 auslaufen wird.

Auch für den europäischen Markt sind Energieeffizienzvorgaben für Ladegeräte aktuell in Diskussion. Hier soll die ErP-Richtlinie, von welcher Ladegeräte derzeit noch ausgenommen sind, auf diesen Bereich erweitert werden. Zwar sind bislang keine konkreten Vorschläge für die Grenzwerte bekannt, im Zuge der Globalisierung ist aber davon auszugehen, dass die ErP-Richtlinie sich mit ihren Vorgaben stark an der CEC orientieren wird.



Dipl. Ing. Arno Reinhard

studierte Elektrotechnik an der Ruhruniversität Bochum. Er begann 1995 bei FRIWO in der Schaltnetzteilentwicklung und wechselte 1999 in die Vorentwicklung. Seit 2002 leitet er die Entwicklungsgruppe Ladegeräte mit Fokus auf kundenspezifische Lösungen.