

Forschungsprojekt

Power Quality in der Elektromobilität

Auswirkungen der Ladeinfrastruktur von Elektrofahrzeugen auf die Netzqualität

Timo Thomas, B.Eng.

Prof. Dr.-Ing. Peter A. Plumhoff

Dezember 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Danksagung	1
2	Einleitung	2
3	Grundlagen	4
3.1	Netzurückwirkungen	4
3.2	Spannungsqualität nach DIN EN 50160.....	5
3.3	Bewertung von Oberschwingungsströmen nach DIN EN 61000-3-2	8
3.4	Bewertung von Oberschwingungsströmen nach DIN EN 61000-3-12	10
3.5	Bewertung von Oberschwingungsströmen nach VDN-Technische Regeln.....	14
3.6	Neutralleiterbelastung	17
3.7	Cos phi versus Leistungsfaktor	19
4	Netzurückwirkungen verschiedener E-Mobile.....	21
4.1	E-Mobil-01	22
4.2	E-Mobil-02	24
4.3	E-Mobil-03	27
4.4	E-Mobil-04	29
4.5	E-Mobil-05	31
4.5.1	E-Mobil-05a	31
4.5.2	E-Mobil-05b	33
4.6	E-Mobil-06	38
4.7	E-Mobil-07	40
4.7.1	E-Mobil-07a	40
4.7.2	E-Mobil-07b	42
4.8	E-Mobil-08	47
4.9	E-Mobil-09	49
4.10	E-Mobil-10	51
4.11	E-Mobil-11	53
4.12	E-Mobil-12	55
4.13	E-Mobil-13	59
4.14	E-Mobil-14	62
4.15	E-Mobil-15	66
4.16	E-Mobil-16	70
4.17	E-Mobil-17	75
4.18	E-Mobil-18	80
4.19	E-Mobil-19	82

4.20	E-Mobil-20	86
4.21	Neutralleiterbelastung	90
4.21.1	E-Mobil-02 und E-Mobil-03	90
4.21.2	E-Mobil-09, E-Mobil-10 und E-Mobil 15	92
5	Zusammenfassung	93
6	Formelzeichen und Abkürzungen	96
6.1	Formelzeichen	96
6.2	Indizes	97
6.3	Hochgestellte Zeichen	97
6.4	Abkürzungen	98
7	Literaturverzeichnis	99

2 Einleitung

Die Bundesregierung bekräftigte im Mai 2013 nochmals ihre Ziele zum Thema Elektromobilität. Bis zum Jahr 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen zugelassen sein. Die wachsende Abhängigkeit von Erdölimporten, das Problem der Luftverschmutzung, vor Allem in den Metropolen, und die steigende Anzahl benötigter Fahrzeuge sind Gründe für diese Zielsetzung. Zwar wird der Elektrifizierung von Fahrzeugen oft noch Zweifel zugesprochen, doch bewegte sich auch im Jahr 2013 wieder viel in Sachen Forschung und Entwicklung zum Ausbau der Elektromobilität in Deutschland. Die Themen reichen über die Integration alternativer Antriebstechnologien zu intelligenten Vernetzungsmöglichkeiten von Fahrzeugen und Ladesäulen sowie den Ausbau der Ladeinfrastruktur [1]. Letzteres wird in dieser Arbeit in den folgenden Kapiteln näher betrachtet. Auf einer hochrangig besetzten internationalen Konferenz zur Elektromobilität in Berlin erklärte die Bundeskanzlerin, dass für Deutschland unheimlich viel davon abhängt, dass die Transformation zur Elektromobilität gelingt [1]. Nicht nur in Deutschland, auch in China wird auf dieser Konferenz von Chinas Wissenschafts- und Technologieministers Wan Gang verdeutlicht, dass die Transformation zur Elektromobilität in China ein Muss sei. Bis zum Jahr 2020 sind hier zwei Millionen Fahrzeuge geplant [2]. Für diese Anzahl von E-Fahrzeugen müssen nun auch genügend Ladestationen zur Verfügung stehen. Mit der Vereinheitlichung, Anfang Februar 2013, auf den sogenannten Typ-2-Stecker als gemeinsamen Ladestecker wurde die Steckerfrage für Elektroautos und somit eine wichtige Frage zur Ladeinfrastruktur geklärt. Diese Entscheidung beendet die ständige Unsicherheit über die Wahl der korrekten Steckvorrichtung für Deutschlands Autoindustrie. Bis zum Jahr 2017 sollen alle angebotenen Fahrzeuge mit dem Typ-2-Stecker ausgestattet werden [3].

Leider bringt der Ausbau der Ladeinfrastruktur in häufigen Fällen eine Verschlechterung der Netzqualität, im elektrischen Energieversorgungsnetz, mit sich. Durch die in den Fahrzeugen eingesetzte Ladeelektronik kommt es zur Beeinflussung der elektrischen Energieversorgung durch Netzrückwirkungen. Dies kann erhebliche Auswirkungen auf die Verfügbarkeit weitere

3 Grundlagen

3.1 Netzurückwirkungen

In der Vergangenheit hat man sich, aufgrund der verbreiteten Verwendung von Drehstrommotoren in Sachen Netzurückwirkungen in erster Linie mit dem Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ beschäftigt. Dieser Faktor beschreibt den zeitlichen Versatz zwischen Strom und Spannung und die damit verbundene, unerwünschte Blindleistungsaufnahme. Diese Netzverhältnisse haben sich über Jahrzehnte etabliert und können nun auf einfache und sichere Art beherrscht werden. Diese Entwicklung spiegelt sich nun bei steigendem Einsatz elektronischer Komponenten im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit wieder. Im Bereich der Rundfunk- und Fernsehtechnik ist die Funkstörung bekannt geworden, welche auch nun der Bundesnetzagentur obliegt. Doch der zunehmende Einsatz leistungselektronischer Betriebsmittel und dessen Auswirkungen auf die Versorgungsnetze ist ein Gebiet, welches weniger bekannt ist. Das Thema Oberschwingungsbelastung gelangt nun in den Fokus. Aufgrund der bis heute noch nicht so weit bekannten Einflussnahme durch Oberschwingungen wird sowohl auf der Energieerzeugerseite als auch auf der Energieverbraucherseite ein Umdenken stattfinden müssen.

Derzeit gibt es drei Gruppen, die sich jetzt und in Zukunft mit diesen neuen Netzverhältnissen auseinandersetzen müssen. Zur ersten Gruppe gehören die Gerätebetreiber, die vorhandene Oberschwingungsanteile in das Netz zurückspeisen. Dies kann beispielsweise durch den Be-

3.2 Spannungsqualität nach DIN EN 50160

Auf Grundlage von Festschreibungen der Parameter der Spannungen zur Beschreibung des Istzustandes in Nieder- und Mittelspannungsnetzen, durch UNIPEDe im Jahre 1989 wurde 1993 von CENELEC eine Europäische Norm, DIN EN 50160, die die Merkmale der Spannung in öffentlichen Versorgungsnetzen beschreibt, verabschiedet. Im Februar 2011 gab es den letzten Änderungsentwurf, DIN EN 50160:2011-02, der die Norm DIN EN 50160:2008-04 ersetzte. Diese Norm gibt Angaben zu den Merkmalen der Spannung in öffentlichen Nieder-, Mittel-

3.4 Bewertung von Oberschwingungsströmen nach DIN EN 61000-3-12

Sobald der Eingangsstrom von Geräten größer als 16 A, aber kleiner gleich 75 A wird, sind die Störausendungsgrenzwerte für den Anschluss an das Niederspannungsnetz in der DIN EN 61000-3-12, VDE 0838-12, genormt. Entscheidend für diese Normung ist das Kurzschlussverhältnis R_{sce} , welches sich nach Gleichung 2.1 aus dem Verhältnis der Kurzschlussleistung $S_{k,VP}$ am Verknüpfungspunkt zur Geräteleistung $S_{r,G}$ berechnet [7] [9].

$$R_{sce} = \frac{S_{k,VP}}{S_{r,G}} \quad (2.1)$$

3.5 Bewertung von Oberschwingungsströmen nach VDN-Technische Regeln

Mit der Bewertung nach den VDN-Technischen Regeln werden alle in einer Anlage relevanten Oberschwingungserzeuger bezüglich der am gemeinsamen Netzanschlusspunkt zu erwartenden Emissionen zusammengefasst. Dabei werden zum einen die einzelnen Oberschwingungsströme als auch die Gesamtheit aller Stromharmonischen im Rahmen dieser Bewertung betrachtet. Für die relativen Oberschwingungsströme i_v sind nach den VDN-Technischen Regeln, Grenzwerte nach folgender Gleichung einzuhalten [7].

$$i_v = \frac{I_v}{I_A} \leq \frac{p_v}{1000} \cdot \sqrt{\frac{S_{k,VP}}{S_A}} \quad (2.6)$$

4 Netzurückwirkungen verschiedener E-Mobile

Um die Qualität des Energieversorgungsnetzes in Bezug auf Netzurückwirkungen beim Laden von Elektrofahrzeugen beurteilen zu können, wurden der Fachhochschule Bingen in dem einjährigen Forschungszeitraum zwanzig verschiedene Elektrofahrzeuge für festgelegte Zeiträume überlassen. Über unterschiedliche Ladezeiträume wurde deren Ladeverhalten am Netzanschluss der fachhochschulinternen Ladesäule überprüft. Zur Durchführung der Netzqualitätsanalyse diente der mobile Netzanalysator PQ-Box 100 von der Firma A. Eberle GmbH & Co.

4.1 E-Mobil-01

Das Elektrofahrzeug 01 wird einphasig mit einem Ladestrom von 9,7 A an einer Schutzkontakt-Steckdose geladen. Zu Beginn der Ladung sind in den ersten Sekunden transiente Einschaltströme, die auf die Elektronik im Fahrzeug zurückzuführen sind, deutlich zu erkennen. Danach wird der Effektivwert auf den Sollwert von 9,7 A geregelt. Bild 3.1 und 3.2 zeigen den Ladestrom direkt nach dem Einschalten in den ersten 600 ms in Augenblickswerten (Bild 3.1) und den ersten 20 s in 10-ms-Effektivwerten (Bild 3.2).

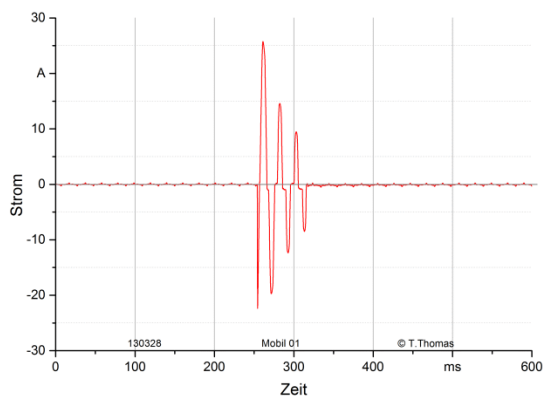


Bild 3.1: Einschaltstrom E-Mobil-01 in Augenblickswerten

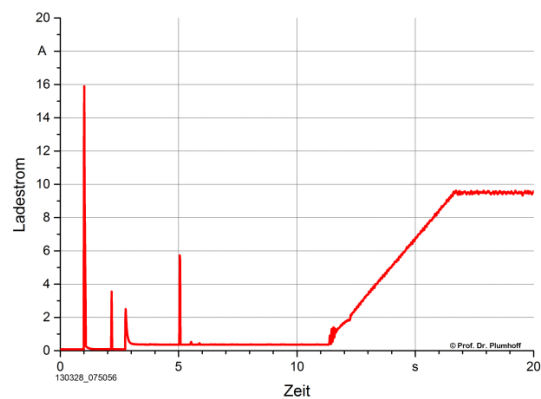


Bild 3.2: Einschaltstrom E-Mobil-01, 10-ms-Effektivwert

Gegen Ende der Ladung wird der Stromfluss auf etwa 2,5 A effektiv heruntergeregelt und da-

dungsgrenzwerten nach DIN EN 61000-3-2 für die Geräteklasse A dar. Die gemessenen Oberschwingungspegel sind zwar vorhanden, liegen aber deutlich unter dem Grenzwert nach DIN EN 61000-3-2. In Bild 3.6 ist auch zu erkennen, dass der Neutraleiterstrom aufgrund der einphasigen Belastung das gleiche Oberschwingungsspektrum wie der Außenleiter L1 aufweist.

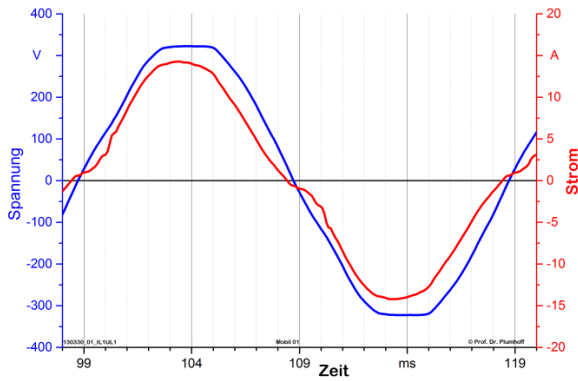


Bild 3.5: Strom und Spannung von E-Mobil-01 in Augenblickswerten

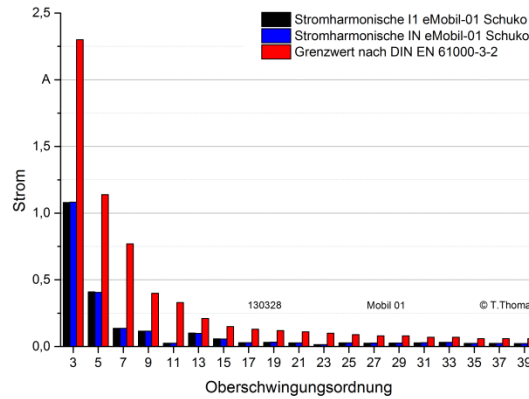


Bild 3.6: Oberschwingungsspektrum der Stromharmonischen von E-Mobil-01

In Tabelle 3.1 sind die Größen der ersten sechs nennenswerten Oberschwingungsströme in Amperen, von E-Mobil-01, im Vergleich zu den Grenzwerten nach DIN EN 61000-3-2 aufgelistet.

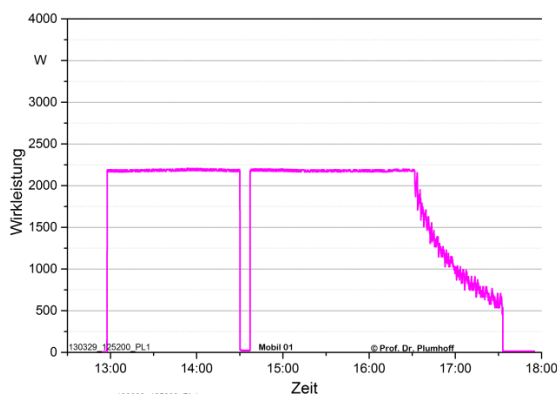


Bild 3.7: Ladeleistung E-Mobil-01 in 1s-Mittelwerten

Tabelle 3.1: Oberschwingungsströme E-Mobil-01

Harmonische	Strom in A DIN EN 61000-3-2	Strom in A E-Mobil-01
3	2,3	1,08
5	1,14	0,41
7	0,77	0,14
9	0,4	0,12
11	0,33	0,03
13	0,21	0,1

Während des Ladezeitraums wird das Fahrzeug mit einer Ladeleistung von 2,2 kW geladen (Bild 3.7). Dabei kam es während einer Dauer von 5 – 15 Minuten zu einer vollen Unterbrechung des Leistungsflusses. Woher diese Unterbrechung kommt, konnte leider nicht festgestellt werden.