



University of Passau
Faculty of Computer Science and Mathematics
Chair of Computer Networks & Communications
Prof. Dr.-Ing. Hermann de Meer

Bachelor Thesis

Improving Quality of Service for Electric Vehicle
Charging in the Low Voltage Grid using Slotted
ALOHA Protocol

Michael J. Ehrlinger

Date: xx/03/2020
Supervisors: Prof. Dr.-Ing. Hermann de Meer
??
Dominik Danner, M. Sc.

1 Grundlagen

1.1 Technische Voraussetzungen

Eine Erläuterung und Erklärung der technischen Grundlagen, der beiden zentralen, verwendeten Konzepten, das Aloha Protokoll und das Stromnetz sowie auf die Grundlagen von Elektrofahrzeugen.

1.1.1 Aloha-Protokoll

Das Aloha Protocol wurde an der Universität von Hawaii entwickelt. Ursprünglich wurde es dort für Übertragungen zwischen Funkstationen entwickelt, allerdings lässt sich das Protokoll überall dort verwenden, wo unkoordinierte Benutzer mit einem geteilten Medium arbeiten [Mis11]. Ein Vorteil des Aloha Protokolls liegt in seiner Einfachheit, die mit dem Netz verbunden Parteien senden ihre jeweiligen Datenpakete unabhängig der sonstigen Aktivität auf der Datenleitung. Die Übertragung gilt dann als erfolgreich, wenn eine Bestätigung erhalten wurde. Während der Übertragung lauscht jeder Teilnehmer auf die gesendete Information, somit bemerkt auch jeder Teilnehmer eine eventuell auftretende Kollision [Mis11]. Eine Kollision im Zusammenhang mit dem Aloha Protokoll bedeutet, dass mehr als ein Datenpaket gleichzeitig über die Datenleitung gesendet wurde. Diese Datenpakete haben sich an einem gewissen Punkt überlagert und es kann nicht festgestellt werden, welche Information zu welchem Paket gehört, weshalb alle Informationen verworfen werden und beide Pakete komplett neu gesendet werden müssen.

In der Abbildung ?? sind insgesamt neun Kästchen, sieben in grau und 2 in weiß, aufgeteilt auf die horizontalen Kanäle A bis D entlang einer unbeschrifteten Zeitachse verteilt. Die grau dargestellten Kästchen überschneiden sich immer mindestens zwei anderen grauen Paketen, diese Überschneidung entlang der Zeitachse symbolisiert eine Kollision. Diese Tatsache erklärt, warum die beiden Kästchen ganz rechts andersfarbig, weiß, dargestellt sind, diese Kästchen überschneiden sich mit keinem anderen Kästchen. Da keine Überlagerungen aufgetreten sind, wurden diese Pakete erfolgreich übertragen. Aus Abbildung ?? wird ebenfalls ersichtlich, wie im Aloha Protokoll auf Kollisionen reagiert wird, die wachsenden Abstände zwischen Paketen von A, nachdem Pakete nicht erfolgreich gesendet wurden. Da eine Kollision bedeutet, dass mehr als eine Partei Dateien senden möchten, versucht man durch

Stationen

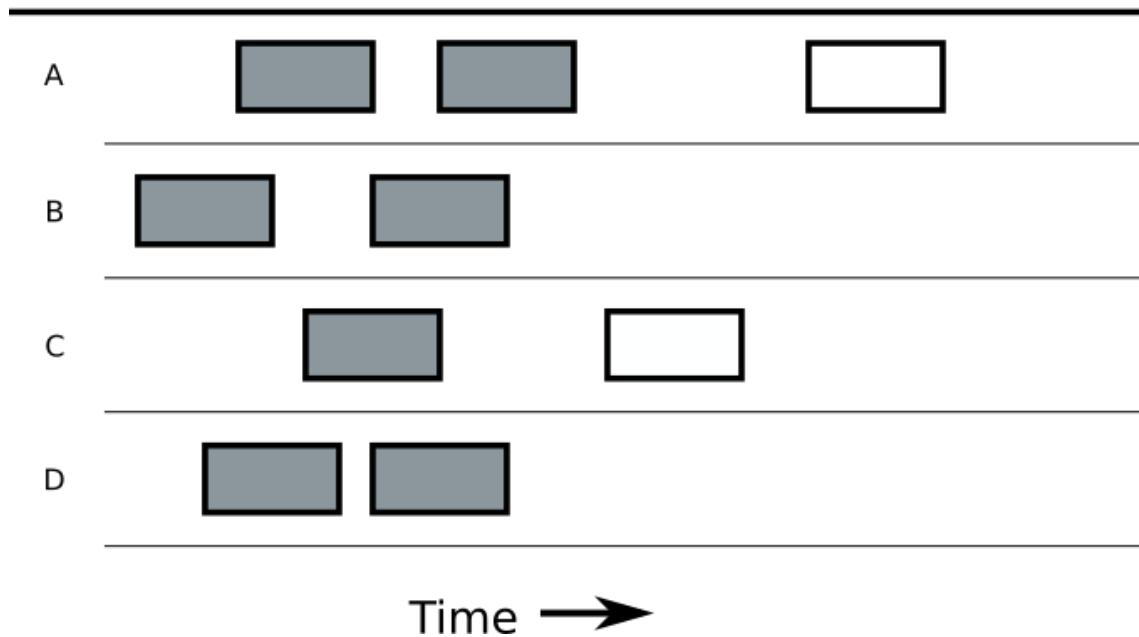


Abbildung 1.1: Datenübertragung mit Kollisionen unter Verwendung des Aloha Protokolls

eine Wartezeit zu erreichen, das bei Ablauf der Wartezeit, die anderen Parteien ihre Daten bereits übertragen haben und so bei der eigene Übertragung keine Kollision mehr auftritt.

Eine Variante des Aloha Protokolls teilt die Zeit nun Schrittweise ein. In jedem dieser Zeitschritte kann ein Datenpaket gesendet werden. Die Länge dieser Zeitschritte muss global für alle mit dem Netzwerk verbunden Parteien gleich sein. Durch die Einteilung der Zeit in feste Abschnitte ist es nun nicht mehr möglich jederzeit mit dem Senden von Daten zu beginnen, dies ist nur möglich, wenn ein auch ein Zeitabschnitt beginnt. Durch diese Einschränkungen in Zeitabschnitten und beim Beginn der Datenübertragung steigert sich die Effizienz des Protokolls und die Wahrscheinlichkeit für Kollisionen wird reduziert [Mis11].

1.1.2 Aufbau des Stromnetz

Bei dem deutschen Stromnetz handelt es sich um ein Wechselspannungsnetz mit einer Normfrequenz von 50 Hz. Das Stromnetz in Deutschland lässt sich in vier Ebenen unterteilen.

Wie man an Hand des Bildes erkennen kann, unterscheiden sich die vier Ebenen vor allem anhand der verwendeten Spannung. Die im Bild gelb dargestellten Kästchen, beinhalten die Teilnehmer am Netz, welche nur Leistung einspeisen. Aus dem Bild wird ebenfalls klar, da sich auf allen Ebenen gelbe Kästchen befinden auch in jeder

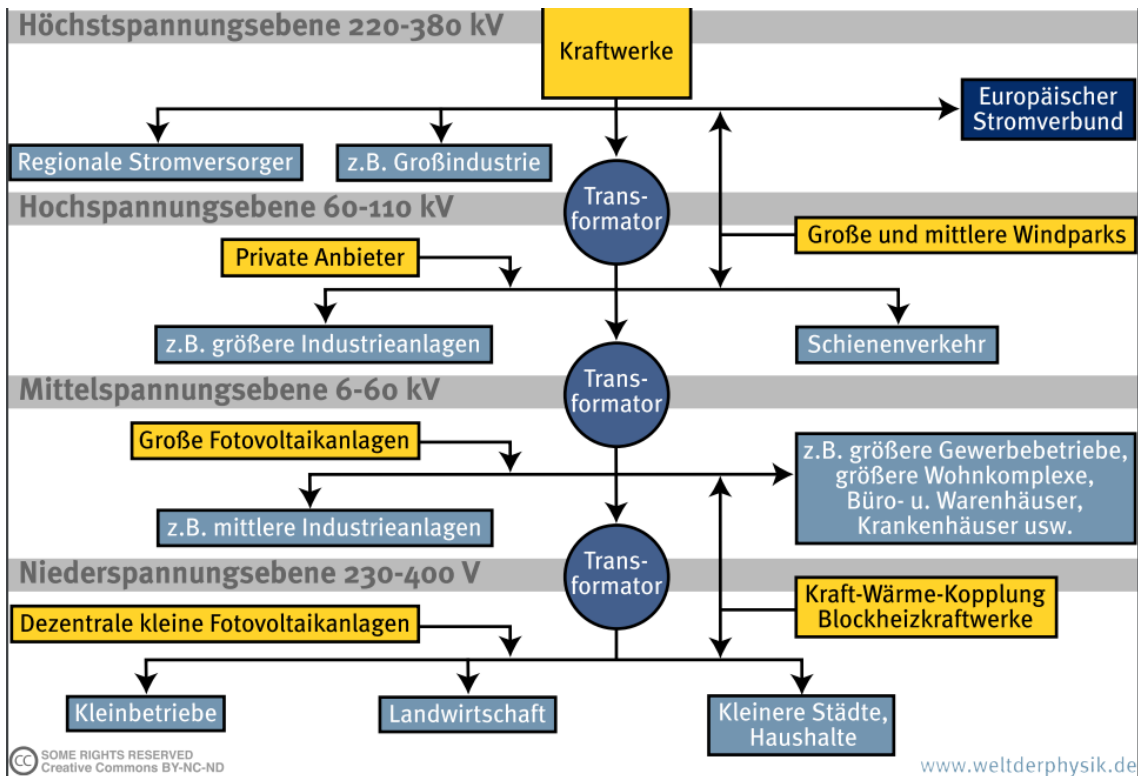


Abbildung 1.2: Aufbau des Stromnetzes

Ebene des Netzes Leistung entsprechender der jeweiligen Ebene eingespeist wird. An den drei Übergangspunkten zwischen der vier Schichten befinden sich sogenannte Transformatoren, dargestellt in blau. Diese sind in der Lage die eingehende Spannung, abhängig von der Windungszahl der in Ihnen verbauten Spulen zu erhöhen, in eine, von der Eingangsspannung verschiedene, Spannung umzuwandeln. Durch diese Fähigkeit agieren sie als Verbindungselement der verschiedenen Spannungsebenen, ebenso limitiert die Leistungsfähigkeit des Transformators die Leistungsfähigkeit des an Ihm angeschlossen Netzes bzw. Teilnetzes. Im europäischen Staatenverbund sind die Stromnetze der aneinandergrenzenden Mitgliedsländer verbunden. Aus dem Schaubild wird ersichtlich, dass diese Verbindung auf der höchsten Spannungsebene erfolgt, dargestellt in dunkelblau. Die mit dem Stromnetz verbunden Abnehmer des Stroms werden in hellblau dargestellt, je nach dem auf welcher Eben des Netzes sie angesiedelt sind unterscheidet sich ihr Leistungsbezug. Dieser Unterschied wird auch aus den Bezeichnungen deutlich (Großindustrie, größere Industrie, mittlere Industrieanlagen, Kleinbetriebe).

Eine dieser Schichten wird nun genauer betrachtet und zwar die unterste, die Niederspannungsebene. Auf dieser Ebene befinden sich unter anderem die einzelnen Haushalte, mit ihren einzelnen Anschlüssen. Niederspannungsnetze in Deutschland sind meist sternförmig aufgebaut mit dem versorgenden Transformator am Mittelpunkt des Sternes gelegen. In diesem sternförmigen Aufbau gibt es nur

einen Weg von Transformator zu einem bestimmten Verbraucher. Nur in den wenigsten Fällen wird von dem radialen Aufbau abgewichen und es erfolgt ein Mesh-artiger Aufbau des Netzes, in welchem dann auch mehr als nur ein Weg vom Transformator zu einem bestimmten Verbraucher geben kann. Die Leitungen eines Niederspannungsnetzes sind in Regel zwischen einigen 100 Metern und wenigen Kilometern lang, je nach Verteilung der Anschlüsse.

Nachdem nun das Stromnetz vorgestellt wurde, wird nun noch auf den Strom selbst eingegangen, welcher mithilfe des Stromnetzes transportiert wird. Der Strom, bzw. der elektrische Strom, kann als sich bewegenden geladen Teilchen entlang eines Leiters verstanden werden, wobei das Stromnetz in diesem Fall als Leiter dient. Der elektrische Strom hängt von drei Faktoren ab, der verwendeten Spannung (U), Stromstärke (I) und dem vorherrschenden Widerstand (R). Diese drei Faktoren spielen eng dabei zusammen, wie viel Energie in Form von Strom übertragen werden kann. Die erste Einheit, die Spannung, steht für die Stärke, mit der der Strom transportiert wird, die Stromstärke für die Menge an geladen Teilchen, die pro Zeiteinheit transportiert werden und der Widerstand gibt an, welche Spannung nötig ist eine gewisse Stromstärke bei der Durchquerung eines Leiters aufrecht zu erhalten. (Scheinleistung/Blindleistung). [Sch20c] [Sch20a] [Sch20b]

1.1.3 Grundlagen zu Elektrofahrzeugen

Ein Fahrzeug kann dann als Elektrofahrzeug bezeichnet werden, wenn es in der Lage ist elektrische Energie für seine unmittelbare Fortbewegung zu nutzen [Hel17]. Dieses Nutzen kann auf mehrere Arten erreicht werden. Als erste zu nennen ist das batterieelektrische Fahrzeug oder Battery Electric Vehicle (BEV) [Hel17], bei dieser Art der Bauweise dient ein Akku als Energiespeicher für einen oder mehr Elektromotoren. Die Energie wird in einem Akku gespeichert. Dieser Akku wird entweder durch Rekuperation, also durch Rückumwandlung von Fortbewegungsenergie in elektrische Energie, oder durch einen Ladevorgang an einem Ladegerät geladen. Eine andere Art eines Batterieelektrischen Fahrzeuges wäre, ein batterieelektrisches Fahrzeug mit Range-Extender [Hel17]. Bei diesen kann der Akku auch mithilfe eines, im Fahrzeug verbauten, Verbrennungsmotors geladen werden. Dieser Verbrennungsmotor treibt einen Generator an, wodurch elektrischer Strom erzeugt wird, welcher dann in der Batterie gespeichert werden kann. Der Verbrennungsmotor ist aber nicht in der Lage das Fahrzeug direkt anzutreiben, wie bei der klassischen Verwendung des Verbrenners in einem Fahrzeug. Der Verbrennungsmotor ist des Weiteren nicht in der Lage die volle Leistung der verbauten Elektromotoren zu bedienen. Bei leerem Akku ist die Leistung des Fahrzeuges limitiert durch die Leistung des Verbrenners. Neben dem Konzept des batterieelektrischen Antriebes gibt auch Hybride Ansätze, wo die Leistung eines Verbrenners und einem oder mehrere Elektromotoren kombiniert wird [Hel17]. Als erstes ist hier der serielle Hybrid [Hel17] zu nennen, dieses Konzept ist vor allem von Lokomotiven und von Schiffen bekannt. Bei einem seriel-

len hybriden treibt ein Verbrennungsmotor einen Generator an, welche elektrischen Strom generiert. Dieser Strom wird in einer kleinen Batterie zwischengespeichert. Diese Batterie für sich ist allerdings nicht in der Lage viel Energie zu speichern, sie dient viel mehr der Lastregulierung. Die Batterie kann nur vom Verbrenner geladen werden und nicht von außen über ein Ladegerät. Bei einem seriellen hybriden soll der Verbrenner die Energie bereitstellen, die der oder die Elektromotoren auch benötigen. Ein anderer hybrider Ansatz ist der Mild-Hybrid[Hel17]. In einem Mild-Hybrid dienen der oder die verbauten Elektromotoren nur der Unterstützung des Verbrennungsmotors, er ist aber nicht dafür ausgelegt das Fahrzeug ohne den Verbrenner zu betreiben. Der Akku des Fahrzeuges kann bei einem Mild-Hybrid nur über das Fahrzeug, also über Motorleistung oder Rekuperation, geladen werden, nicht von einem Ladegerät. Der nächste Ansatz ist das Hybrid Electric Vehicle (HEV)[Hel17], in einem solchen Fahrzeug findet sich neben einem Elektromotor, auch ein Verbrennungsmotor, beide Motoren sind in der Lage alleine betrieben zu werden. Der Elektromotor bietet allerdings weniger Leistung als der Verbrenner, auch die Batterie speichert meist nur genug Energie für wenige Kilometer Fahrstrecke. Die Batterie kann bei einem HEV nur über Motorleistung oder über Rekuperation geladen und nicht über ein Ladegerät. Ausgehend vom HEV gibt es auch das Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)[Hel17]. Auch in einem PHEV gibt es einen Verbrennungsmotor und einen oder mehrere Elektromotoren. Anders als beim HEV ist es beim PHEV möglich die Batterie über ein Ladegerät zu laden, es ist aber auch noch möglich die Batterie über die Fahrzeugleistung oder über Rekuperation zu laden. Die Kapazität der Batterie ist bei einem PHEV meist für etwa 30 bis 40 Kilometer Fahrstrecke ausgelegt.

In einem seriellen Hybriden wie er bisher vorgestellt wurde, generiert ein Verbrennungsmotor, welcher dann einen Generator antreibt, den elektrischen Strom. Es gibt allerdings auch Fahrzeuge, welche zu den seriellen Hybriden gezählt werden, aber nicht über einen Verbrennungsmotor verfügen. Solche Fahrzeuge verwenden eine Brennstoffzelle[Hel17], in welcher durch eine chemische Reaktion elektrische Energie frei wird. Aufgrund der unterschiedlichen Erzeugung der elektrischen Energie, von einer Brennstoffzelle und einem Verbrennungsmotor mit Generator, wird dieser Ansatz anders behandelt.

Innerhalb dieser Arbeit werden jene Arten von Elektrofahrzeugen betrachtet, deren Batterie mithilfe eines Ladegerätes zu laden. Zu dieser Art zählen die Battery Electric Vehicles (BEV), BEV mit Range-Extender und Plug-In-Hybrid Electric Vehicles. Alle anderen vorgestellten Elektrofahrzeuge können die verbaute Batterie nicht über ein externes Ladegerät laden.

1.2 Verfügbare Daten

Nun wird die Herkunft der für die nächsten Kapitel elementaren Daten erläutert. Ein Elektrofahrzeug verfügt über folgende Daten, die Ankunftszeit an der Ladestation

für den aktuellen Ladezyklus, die Abfahrtszeit, wenn diese erreicht ist endet der aktuelle Ladezyklus. Ebenso gibt jedes Fahrzeug für sich an, ob es gerade verfügbar ist, sprich mit einer Ladestation verbunden ist, welchen Ladezustand der im Fahrzeug verbaute Akku aktuell hat, sowie die aktuell mögliche Ladeleistung. Die Ladegeräte wissen jeweils welche Leistung sie gerade an das mit ihnen verbunden Elektrofahrzeug abgeben, sofern den ein Elektrofahrzeug mit ihnen verbunden ist. Einige Daten sind auch aus dem Stromnetz an sich bekannt, so ist die Leistungsabgabe des Transformators ans Stromnetz bekannt, sowie für jeden betrachten Hausanschluss, das dort aktuell vorherrschende Spannungslevel.

1.3 VDE-Controller

Die aktuell im Stromnetz vorliegende Situation, wird durch die Verwendung des Anschlusses ans Stromnetz gemäß der Technischen Anschlussregel Niederspannung(VDE-AR-N 4100) simuliert. Die Anschlussregel gibt vor, wie sich die aktuell anliegende Spannung auf den möglichen Leistungsbezug des Anschlusses auswirkt.

Per Definition wird von einer Normspannung von 230 Volt ausgegangen. Aus der

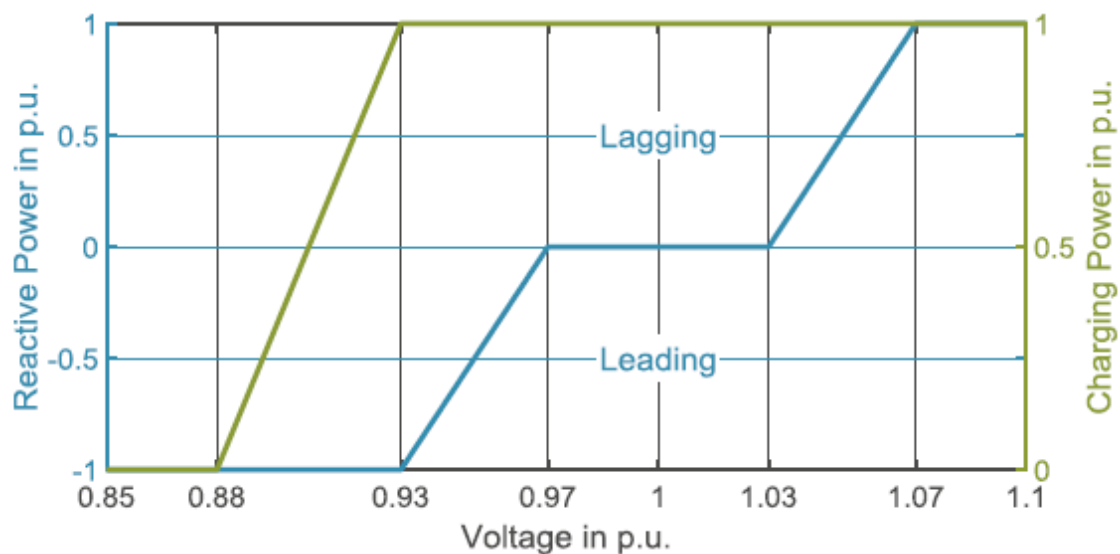


Abbildung 1.3: Spannungs zu Leistungsverhältnis nach VDE-AR-N 4100(grün)

Abbildung 1.3 ist erkennbar, dass wenn weniger als 93% dieser Normspannung vorliegen, wird die Leistung linear reduziert, wenn der Wert der anliegenden Spannung unter 88% der Normspannung fällt, wird der Leistungsbezug komplett eingestellt, bis die Spannung wieder auf mindestens 88% der Normspannung von 230 Volt steigt. Bei einer Spannung zwischen 93% und 88% der Normspannung wird der mögliche Leistungsbezug, in diesem Fall die Ladeleistung, linear von voller geforderter Leistung bis zur Abschaltung reduziert.

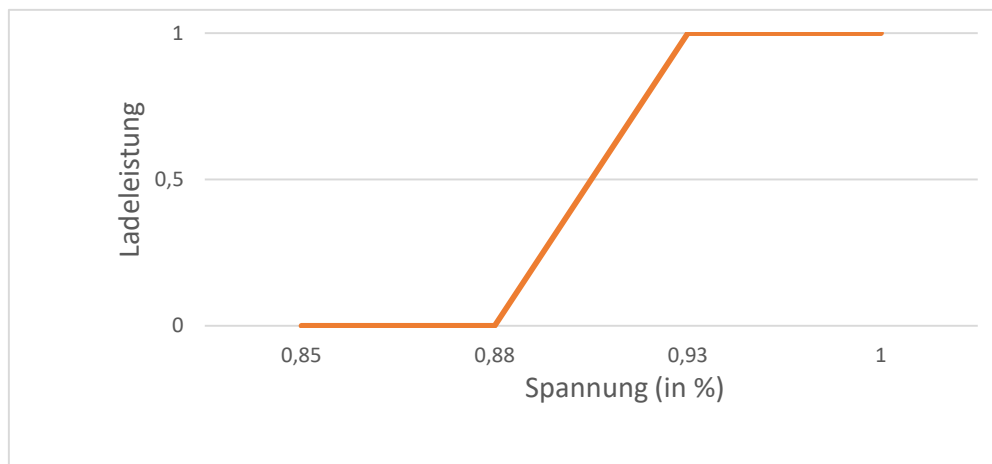


Abbildung 1.4: Spannungs zu Leistungsverhältnis nach VDE-AR-N 4100(grün)

Bis auf die Leistungsreduktion werden von dieser Anschlussregel keine weiteren Maßnahmen getroffen um die Spannung im Netz stabil zu halten. Neben der Leistungsreduktion ist es ebenfalls möglich Blindleistung wieder in Stromnetz einzuspeisen um Das Spannungslevel zu erhöhen(Siehe Abbildung 1.3, blaue Kurve), diese Möglichkeit wird aber nicht weiter betrachtet.

1.4 Slotted Aloha, Wartezeit nur über Teilnehmer

Diese Art der Verwendung des Slotted ALOHA Protokolls, definiert eine Kollision, wenn der aktuell vorliegende Spannungswert unter 93% der Normspannung von 230 Volt fällt. Tritt eine Kollision auf, wird die aktuell anliegende Leistung auf Null reduziert und eine Wartezeit bestimmt, in welcher keine Leistung aus dem Netz bezogen wird. Die Wartezeit wird per Zufall bestimmt, sie wird aus einem Intervall gezogen. Dieses Intervall beginnt bei Null und wird nach oben von der aktuell Anzahl an Fahrzeugen begrenzt, welche aktuell mit einer beliebigen im Netz installierten Ladestation verbunden sind. Nach dem Ablauf der Wartezeit wird wieder Leistung aus dem Netz bezogen, bis entweder keine Leistung mehr benötigt wird oder wieder eine Kollision auftritt. Bei dieser Art der Bestimmung der Wartezeit wird weder der

1 Grundlagen

aktuelle Ladezustand, noch die verbleibende Zeit des Fahrzeuges am Ladegerät bis zur nächsten Abfahrt berücksichtigt. Lediglich die Zahl der aktuell mit dem Netz verbunden Fahrzeuge, egal ob ladend, wartend oder bereits fertig geladen, wird berücksichtigt.

2 Related Work

2.1 Smartgrid Konzepte mit ähnlichem Ziel, aber anderer Umsetzung

Die Bemühungen das bestehende Stromnetz auf die Zukunft vorzubereiten und dafür mehr Intelligenz in das Netz zu integrieren sind nicht nur auf die in dieser Arbeit beschränkt.

S. Sangob und S. Sirisumrannukul (**author?**) [SS19] haben in Ihrer Arbeit ebenfalls das Ziel das Spannungslevel auch bei mehreren Ladevorgängen stabil zu halten, und so das Netz bestmöglich zu nutzen. Dieses Ziel versuchen sie über eine Partikelschwarmoptimierung zu erreichen, welche auf allen drei Phasen eins 120V Netzes agiert. Das Ergebnis dieser Optimierung ist eine etwa 15% Reduktion der Spannungsverluste, was in einer höheren Leistungsabgabe des Transformator resultiert. Die von Ihnen angestrebte Optimierung greift am Transformator des Niederspannungsnetzes, sowie den mit dem Transformator verbunden Kondensatoren an, also an anderer Stelle, als die in dieser Arbeit thematisierte Lösung, welche am Hausanschluss bzw. erst am Ladegerät selbst ansetzt. Dieser Unterschied beeinflusst auch, an welchem Punkt des Netzes die Spannungswerte gemessen werden, welche von Ihnen nur am Transformator erfasst werden, während die Werte in dieser Arbeit an allen Anschlusspunkten berücksichtigt werden, was die Übertragungsverluste und die Netztopologie mehr berücksichtigt.

Einen Ansatz ähnlicher zu dem Ansatz hier verfolgen M. Nour, S. M. Said, A. Ali und C. Farkas in Ihrer Arbeit mit dem Titel "Smart Charging of Electric Vehicles According to Electric Price" [NSAF19]. In Ihrer Arbeit stellen Sie einen Ansatz vor, indem Stromanbieter einen Zweipreistarif anbieten, ein höherer Preis für Zeiten mit höherer Last und ein zweiter, niedrigerer preis, bei geringerer Last, bestimmt wird diese Auslastung am Transformator des Stromnetzes. Dieses Tarifsysteem macht das laden außerhalb von Lastzeiten wirtschaftlich attraktiver, was dazu führen soll, das Halter von Elektrofahrzeugen diese Zeiten zum Laden nutzen und eben nicht die Zeiten, wo auch ohne Ladevorgänge schon eine hohe Last auf dem Netz liegt. Diese Zeitsteuerung wird in einen Fuzzy-Controller integriert, welcher neben dem Preis auch den Ladezustand des Fahrzeugs berücksichtigt und so die mögliche Ladeleistung des Fahrzeuges bestimmt. Jedoch steht anders als in dieser Arbeit nicht der Quality of Service Aspekt, einer möglichst zeitnahen, dem nächsten Abfahrtszeitpunkt entsprechende Ladung im Vordergrund, sonder eher der wirtschaftliche Aspekt, mit der Verwendung von möglichst günstig zur verfügbaren Elektri-

zität. Anders als in dieser Arbeit, welche Fahrzeugdaten sowie Netzauslastungsdaten verwendet, die durch Statistiken und Umfragen erhoben wurden, werden hier teils Daten verwendet, welche in der Arbeit einmalig festgelegt wurden und nur für die Netzauslastung wurden statistisch erhobene Daten herangezogen.

2.2 Smartgrid Konzepte mit ähnlichem Ziel, welche ebenfalls anderweitig bekannte Techniken abwandeln

Anders als die bisher vorgestellten Konzepte, welche zwar ein ähnliches oder das selbe Ziel haben, wie diese Arbeit, aber einen anderen Weg eingeschlagen haben um dieses zu erreichen, gibt es auch Ansätze, welche sich Ideen und Konzepten der Netzwerktechnik bedienen und diese auf das Stromnetz anwenden.

In Ihrer Arbeit mit dem Titel "Design of a TCP-like Smart Charging Controller for Power Quality in Electrical Distribution Systems" [AdM19] legen Ammar Alyousef und Hermann de Meer ein Konzept dar, für einen Kontrollmechanismus, welcher dezentral an den Anschlüssen der jeweiligen Ladegeräte ansetzt. Der Kontrollmechanismus überprüft die Einhaltung der Grenzwerte für die Last am Transformator sowie der Spannung an den einzelnen Anschlüssen. Die Zustände der gemessenen Werte werden anhand eines Ampelschemas eingeteilt, wobei grün keinen Anlass zu Veränderungen anzeigt, gelb eine leichte Änderung und rot eine drastische Änderung, um die Werte innerhalb der jeweils zulässigen Bereiche zu halten. Sollten die Werte nun einen Anlass vermitteln, welcher eine Änderung notwendig macht, verwendet man hier das Prinzip des TCP-Slow Starts, welches aus der Netzwerktechnik stammt. Der Aufbau des verwendeten Netzes sowie die bereits anliegenden Lasten, ohne die Ladegeräte, wurden aus der Realität übernommen. Es werden insgesamt vier verschiedene Szenarien getestet, kein Ladegerät am Netz, alle Ladegeräte unter Vollast am Netz, sowie zwei verschiedene Smart Charging Ansätze, einmal der in der Arbeit selbst vorgestellte und ein Ansatz, der einen endlichen Automaten verwendet und aus vorhandener Literatur herausgenommen wurde, als Vergleichsinstanz. Das Ergebnis zeigt, dass sich die Verwendung der beiden Smart Charging Ansätze, vor allem in der Qualität der zur Verfügung stehenden Elektrizität auszahlt, aber auch bei der Menge der transportierten Energie. Jedoch stellt sich dar, dass der Smart Charging Ansatz, welcher den TCP-Slow Start verwendet, fairer ist bei der Verteilung zwischen den Ladestationen. Die Anordnung der Ladestationen unterscheidet sich allerdings dahingehend von der Verteilung in dieser Arbeit, da hier davon ausgegangen wird, dass sich die Ladestationen stärker im Netz verteilen, da mehr von Ihnen angeschlossen wurden.

Literaturverzeichnis

- [AdM19] Ammar Alyousef and Hermann de Meer. Design of a tcp-like smart charging controller for power quality in electrical distribution systems. In *Proceedings of the Tenth ACM International Conference on Future Energy Systems*, e-Energy '19, page 128–138, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [Hel17] Michael Held. Arten von Elektrofahrzeugen, Nov 2017.
- [Mis11] A. A. Mishra. Enhanced slotted aloha. In *2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, volume 5, pages 278–282, April 2011.
- [NSAF19] M. Nour, S. M. Said, A. Ali, and C. Farkas. Smart charging of electric vehicles according to electricity price. In *2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*, pages 432–437, Feb 2019.
- [Sch20a] Patrick Schnabel. Elektrische Spannung U, Jan 2020.
- [Sch20b] Patrick Schnabel. Elektrischer Strom / Elektrische Stromstärke I, Jan 2020.
- [Sch20c] Patrick Schnabel. Elektrischer Widerstand R, Jan 2020.
- [SS19] S. Sangob and S. Sirisumrannukul. Volt/Var Control with Electric Vehicle Loads in Distribution Network by Particle Swarm Optimization. In *2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia)*, pages 304–309, March 2019.