
LASTSTEUERUNG FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT

Roland Sperr

LINZ STROM Netz GmbH, Fichtenstraße 7, A-4021 Linz, AUSTRIA

KURZFASSUNG/ABSTRACT:

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Clean Motion Offensive“ wurde eine Laststeuerung für eine zeitgesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen entwickelt und in einem Feldversuch getestet, um die durch die Ladung der Elektrofahrzeuge auftretenden Lastspitzen im elektrischen Netz zeitlich zu verschieben. Durch diese Maßnahme kann ein volkswirtschaftlich nicht sinnvoller Netzausbau für die Lastspitzen der Elektrofahrzeuge entfallen.

1 EINLEITUNG

Individuelle Elektromobilität stellt, bei Ladung mit Strom aus erneuerbaren Energien, eine sehr gute Möglichkeit zur Verbesserung der Treibhausgasbilanz und damit zur Erreichung langfristiger Klimaziele dar.

Eine breite Einführung der Elektromobilität stellt jedoch die Betreiber der elektrischen Netze zukünftig vor eine Vielzahl von Herausforderungen. Die Ladung der Elektrofahrzeuge wird vor allem in den Ortsnetzen zu zusätzlichen Belastungen führen und es kann zu Engpässen kommen. Eine Überbelastung der elektrischen Netze hätte die automatische Abschaltung zur Folge, um Schäden an den Anlagen zu verhindern.

Zur Vermeidung der Überbelastung und Abschaltung der elektrischen Netze können einerseits die Netze so ausgebaut werden, dass sie auf die - durch die Ladung der Elektrofahrzeuge entstehenden - Lastspitzen ausgelegt werden. Dies erfordert jedoch große, volkswirtschaftlich nicht sinnvolle Investitionsvolumina, da für die Zukunft anzunehmen ist, dass ein Großteil der Ladungen zu ähnlichen Zeitpunkten stattfindet und zu sehr großen Lastspitzen führen wird.

Um diese Investitionen in Zukunft zu vermeiden, besteht andererseits eine Alternative in der zeitlich gesteuerten Ladung der Elektrofahrzeuge und damit einer Vermeidung bzw. Glättung der Lastspitzen. Zu Zeitpunkten mit niedriger Netzlast, können freie Netzkapazitäten für die Ladung von Elektrofahrzeugen genutzt werden.

Bei dem Forschungsprojekt „Clean Motion Offensive“ (CMO) befassten sich über die Projektdauer von 3 Jahren Firmen und Forschungseinrichtungen aus verschiedenen Bereichen mit der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von Komponenten für die Elektromobilität. Ein Teilbereich des Forschungsprojekts CMO hatte dabei zum Ziel, die zeitlich gesteuerte Ladung von Elektrofahrzeugen zu ermöglichen.

Um diese Art der Ladung realisieren zu können, müssen verschiedene Parameter des elektrischen Netzes an verschiedenen Netzknotenpunkten erfasst und übertragen werden. Mit Hilfe dieser Daten kann anschließend die vorhandene Reserve für die Elektrofahrzeuge ermittelt werden. Es handelt sich dabei primär um die Einhaltung der Grenzen des Spannungsbandes (230 V \pm 10% bzw. 400 V \pm 10%) sowie um die Übertragungsfähigkeit (max. Strom) der einzelnen Betriebsmittel. Eine Verletzung des Spannungsbandes kann unmittelbar zu Beeinträchtigungen von Geräten in den Kundenanlagen führen, eine Überlastung der Betriebsmittel hat keine unmittelbare Auswirkung, da sich die Betriebsmittel erwärmen und es erst nach einer thermischen Zeitkonstante von ca. 15 min zur Überschreitung der maximal zulässigen Temperatur kommen kann. Die Verletzung des Spannungsbandes ist daher sehr zeitkritisch und unbedingt zu vermeiden, eine Überlastung der Betriebsmittel ist kurzfristig möglich, wenn auch nicht erwünscht, da dies die Lebensdauer der Betriebsmittel verringert.

Die Aufgabe bestand somit in der Entwicklung bzw. Integration der notwendigen Komponenten für die Messung und Übertragung der relevanten Parameter des elektrischen Netzes in die Zentrale, sowie in der Programmierung einer Software zur Ermittlung der freien Netzkapazität zur Ladung für Elektrofahrzeuge anhand des Zustands des elektrischen Netzes. Zur praxisnahen Validierung des Konzepts sollte ein Feldversuch in einem dafür passenden Teilbereich des elektrischen Netzes durchgeführt werden.

2 AUSGANGSSITUATION

Die Elektromobilität für den Individualverkehr erlebt seit einigen Jahren einen Aufschwung, bedingt durch eine Vielzahl an Modellen, die neu auf den Markt gekommen sind. In vielerlei Hinsicht fehlen jedoch Standards, da es sich - trotz der Historie der ersten Elektrofahrzeuge vor über 100 Jahren - um ein relativ neues Marktsegment handelt. Beginnend von der Normung für den Ladestecker, über die Protokolle für die Datenkommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Ladestation, aber auch von der Ladestation zum dahinter gelagerten elektrischen Netz, haben sich noch keine Standards etabliert bzw. etablieren sich gerade erst. Aber auch aus gesetzlicher und regulatorischer Hinsicht ist die zeitnahe Datenerhebung teilweise nicht ohne Auflagen möglich. In diesem Umfeld wurde versucht ein System zu entwickeln, das die Anforderungen an die aktuellen Gegebenheiten erfüllt, aber auch zukunftsfähig ist.

Der Projektfokus lag hauptsächlich auf Flottenbetreibern, da vor allem Flotten durch eine Vielzahl von Elektrofahrzeugen an einem Anschlusspunkt eine erhebliche Belastung für das elektrische Netz darstellen können. Eine Ladestation besteht dabei aus mehreren Ladepunkten. Entweder sind mehrere Steckplätze direkt an der Ladestation vorhanden, oder es gibt mehrere so genannte Satelliten, die mit der zentralen Ladestation verbunden sind. D.h. eine Ladestation versorgt immer mehrere Elektrofahrzeuge gleichzeitig.

Es gibt einen Grenzwert der Belastung, der im jeweiligen Netz nicht überschritten werden darf. Abzüglich der aktuellen Belastung im Netz ergibt sich als Differenz die freie Netzkapazität, die für die Ladung der Elektrofahrzeuge zur Verfügung steht. Neben der Berechnung der aktuellen freien Netzkapazität ist die Erstellung einer Prognose der zukünftigen freien Netzkapazität ebenfalls sinnvoll, um auch zukünftige Engpässe voraussagen zu können und so die Ladung der Elektrofahrzeuge planen zu können.

Mit Projektbeginn konnten sämtliche am Markt befindlichen Elektrofahrzeuge nicht mit der Ladestation kommunizieren, wodurch der Datenaustausch zwischen Elektrofahrzeug und Ladestation entfällt. Daher wurde ein Zukunftsszenario als Endziel definiert, bei dem diese Art der Kommunikation möglich ist.

Bei Verbindung mit der Ladestation kann der Endnutzer den gewünschten Zustand des Akkumulators nach Beendigung der Ladung vorgeben. Dies kann z.B. durch Vorgabe der nächsten Fahrstrecke in Kilometer oder direkt durch Vorgabe der zu ladenden Energie in Kilowattstunden erfolgen. Des Weiteren ist für ein Handling und eine zeitgesteuerte Ladung der späteste mögliche Zeitpunkt für die Beendigung der Ladung, also der Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme des Elektrofahrzeugs, ausschlaggebend.

Auch wenn dies eine Umstellung für den Endnutzer bedeutet, ist ohne Eingabe dieser Parameter eine zeitgesteuerte Ladung nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Es ist zusätzlich die Frage zu stellen, inwiefern Sicherheitsreserven auf die Angaben des Endnutzers aufzuschlagen sind. Es kann auch zu dem Szenario kommen, dass Elektrofahrzeuge abgewiesen werden, da eine Ladung mit der gewünschten Energie innerhalb der gewünschten Zeit, nicht eingeplant werden kann und daher nicht möglich ist. Einzige Möglichkeit hier ist eine Erhöhung der Kapazitäten des elektrischen Netzes und damit die volkswirtschaftlich teuerste Variante in Form eines Netzausbaus.

3 UMSETZUNG

Eine zeitnahe Kommunikation im Millisekunden-Bereich zwischen Netz und Ladestation ist mit den aktuellen Netz-Systemen nicht möglich. Die Kommunikation erfolgt teilweise über Schmalband-Powerline (PLC) mit einer Reaktionszeit bis in den Minutenbereich. Dadurch ist es nicht möglich die freien Netzkapazität, wie im Idealfall, vollständig auszunutzen. Es sind Sicherheitsreserven zu berücksichtigen, die gewisse zeitliche Unsicherheiten abfedern können. Des Weiteren muss aber auch eine Rückfallebene existieren, falls die Kommunikation zwischen Netz und Ladestation ausfällt. Für diese Rückfallebene sind lokal - auf der Ladestation - Profile zu hinterlegen, nach denen die Ladestation in diesem Ausnahmefall autonom agieren kann. Ohne Belastungsdaten vom Netz sind dementsprechend große Sicherheitsreserven zu berücksichtigen, damit es zu keiner Grenzwertverletzung der Spannung oder Überlastung der Betriebsmittel des Netzes kommen kann.

Aus diesen Vorgaben wurde ein Messstellenkonzept und Datenübertragungskonzept erstellt. Die Messungen erfolgen an jedem Verzweigungspunkt im Ortsnetz, beginnend bei der Trafostation und endend bei der Ladestation.

Die Datenübertragung erfolgt über die Infrastruktur des Stromnetzes, um weiter unabhängig von Drittanbietern zu sein und ein höchstes Maß an Datensicherheit und -schutz gewährleisten zu können. Die Daten der einzelnen Messpunkte werden dabei in der Trafostation gesammelt und dann an die Zentrale weitergeleitet und dort verarbeitet.

Von Seiten des Netzbetreibers endet die Kommunikation bei der Ladestation, die Aufteilung der verfügbaren Leistung auf die zu ladenden Elektrofahrzeuge erfolgt durch die Ladestation selbst, aktuell noch ohne Kommunikation mit den Elektrofahrzeugen.

Für die Erstellung der Prognose der zukünftigen freien Netzkapazität wurde das Vergleichstagesverfahren als mathematische Prognosemethode verwendet und an Hand der unterschiedlichen Wochentage aber auch nach der Außentemperatur eine Prognose berechnet. Alternativ wäre auch eine Prognoseerstellung mit dem Regressionsmodell oder dem Modell der neuronalen Netze möglich gewesen. Diese Modelle erfordern jedoch vorab längere Messzeitreihen, als sie zur Verfügung standen.

Um das entwickelte System einem Feldversuch unterziehen zu können, musste ein geeigneter Standort gefunden werden. Die Anforderungen an den Standort sind vielfältig, es konnte jedoch ein Sozialbetreuungsunternehmen für Hausbetreuung als Partner für den Feldversuch gewonnen werden, das die Anforderungen erfüllt, um Netzengpässe auch im Feldversuch simulieren zu können. Es sind andere große Lasten sowohl am Kundenstandort als auch im weiteren Verteilnetz vorhanden, die Messmöglichkeiten und Kommunikationsanbindung sind vorhanden und die täglichen Wege der Mitarbeiter stimmen mit der Charakteristik der Elektrofahrzeuge überein und können daher von diesen, trotz der vergleichsweise geringeren Reichweite, bewältigt werden.

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Messstellenkonzepts für den Feldversuch. Es werden dabei Messdaten des Trafos, des Trafoabzweigs, der gesamten Kundenanlage (Hausanschluss), des Hauptverteilerabgangs der Kundenanlage in Richtung Garage, aller Ladepunkte in Summe und von jedem einzelnen Ladepunkt erfasst (Messung dunkelgrün/Ladepunkte rot dargestellt). Es wurden 5 verschiedene Elektrofahrzeuge für den Feldversuch verwendet, wobei ein Fahrzeug während des Feldversuchs ausgetauscht wurde und daher immer 4 Elektrofahrzeuge gleichzeitig in Verwendung waren. Dabei erfolgt die Ladung von 3 Elektrofahrzeugen einphasig mit bis zu ca. 3,7 kW. Ein weiteres Elektrofahrzeug, kann dreiphasig mit bis zu ca. 11 kW geladen werden wodurch sich eine kürzere Ladedauer ergibt.

Auf Grund der vorhandenen Möglichkeiten wurden für den Feldversuch einige Vereinfachungen getroffen. Die verschiedenen Messdaten werden viertelstündlich erfasst und an die Trafostation weitergeleitet. Die Datenübertragung erfolgt über das „Open Charge Point Protocol“ (OCPP). Das OCPP ist eine internationale Initiative zur Entwicklung eines offenen Standards für die

Kommunikation zwischen Ladestation und den Systemen des Netzbetreibers (z.B. in der Trafostation). Von dort gelangen die gesammelten Daten täglich mittels ftps-Übertragung an die Zentrale, wo sie weiterverarbeitet werden. Ergebnis der Berechnung ist eine Prognose in Form einer 15 min Zeitreihe für die nächsten 3 Tage, die täglich an die Ladestation übertragen wird. Die alten Daten werden dabei überschrieben. Die 3 Tage garantieren auch einen Betrieb, sollte es zu einem Ausfall der Kommunikation kommen und ermöglichen eine Prognoseberechnung der Ladung.

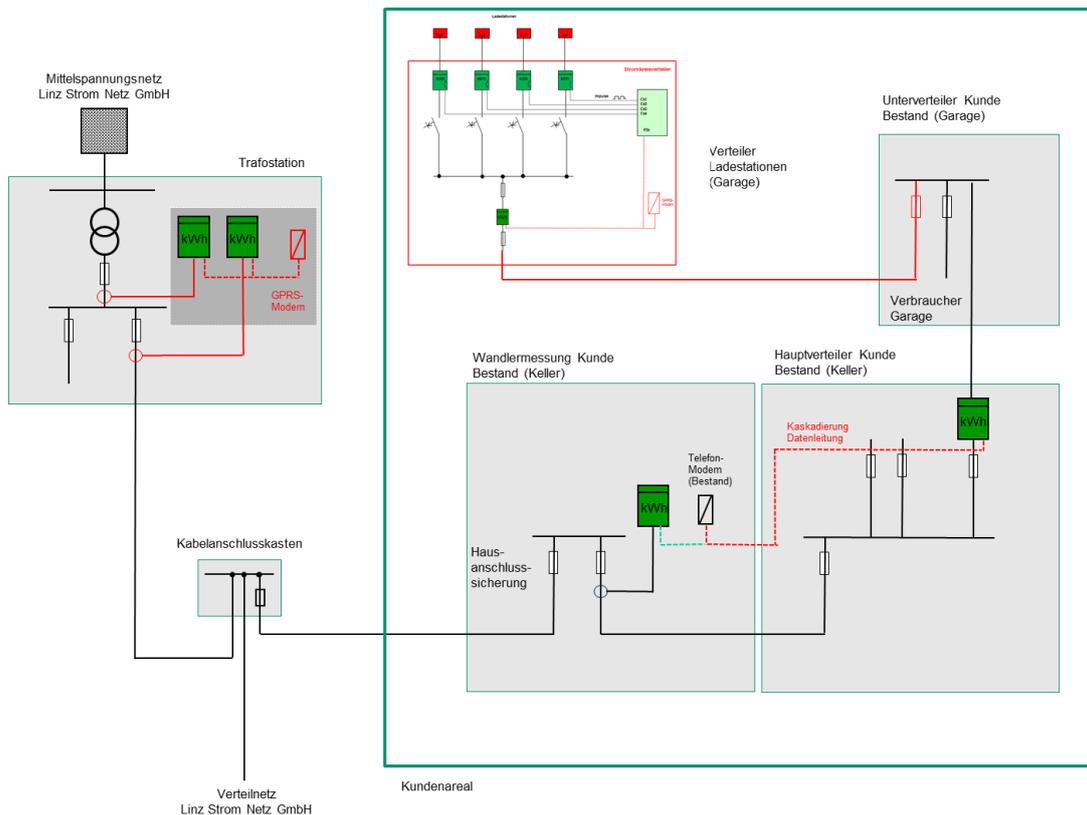


Abbildung 1. Messstellenkonzept Feldversuch

4 ERGEBNISSE

Die Messergebnisse in **Abbildung 2** zeigen den Wirkleistungsbezug der verschiedenen Messstellen über die Dauer von mehr als einem Monat. Gelb hinterlegt sind Zeitpunkte, an denen die Ladeleistung 5,5 kW überschreitet, was auf die gleichzeitige Ladung von zumindest 2 einphasigen Elektrofahrzeugen oder vom dreiphasigen Elektrofahrzeug schließen lässt. Hellblau ist die Trafolast, grün der Trafoabzweig, dunkelblau der Hausanschluss und rot sind die Elektrofahrzeuge dargestellt.

Bedingt durch das Fahr- und Ladeverhalten der Mitarbeiter des Sozialbetreuungsunternehmens kommt es zu Zeiten großer Netzbelastungen auch zu Ladungen der Elektrofahrzeuge. Auch wenn die Änderungen für den Trafo durch die 4 Elektrofahrzeuge vernachlässigbar klein sind, ist ersichtlich, wie sich eine große Durchdringung von Elektrofahrzeugen ohne Ladesteuerung mit ähnlichem Ladeverhalten hinsichtlich Leistungsspitzen und damit zu Problemen für das Netz auswirken kann.

Für den Feldversuch wurden die Belastungsgrenzen reduziert angenommen, damit es in der Realität zu keinen Problemen für das Netz kommen kann. Über die Dauer von ungefähr einem

Monat wurde der Feldversuch mit den 4 Ladepunkten durchgeführt und die Messdaten aufgezeichnet. Zunächst wurden über mehrere Tage ausschließlich Messdaten erfasst, bevor eine erste Prognose zur Steuerung erstellt werden konnte.

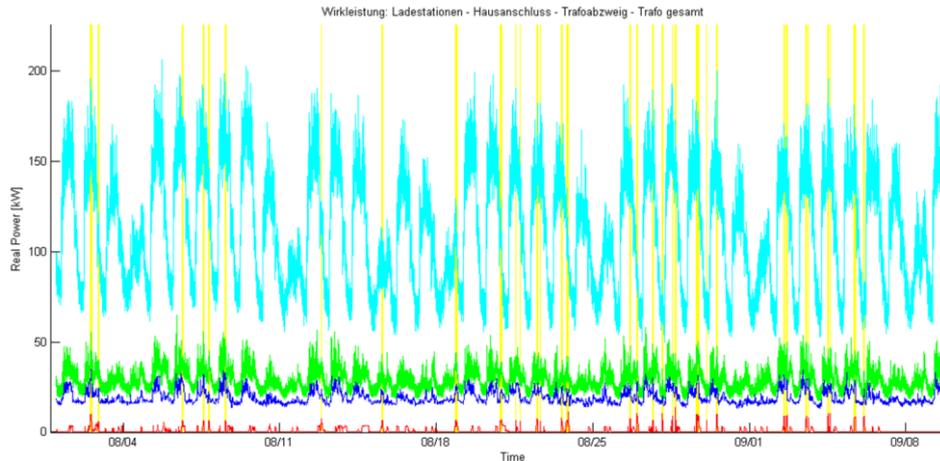


Abbildung 2. Wirkleistungsbezug der verschiedenen Messstellen in kW

Beispielhaft zeigt **Abbildung 3** den Verlauf eine Zeitreihe der Prognose der freien Netzkapazität und damit der für die Ladung der Elektrofahrzeuge zur Verfügung stehenden Leistung.

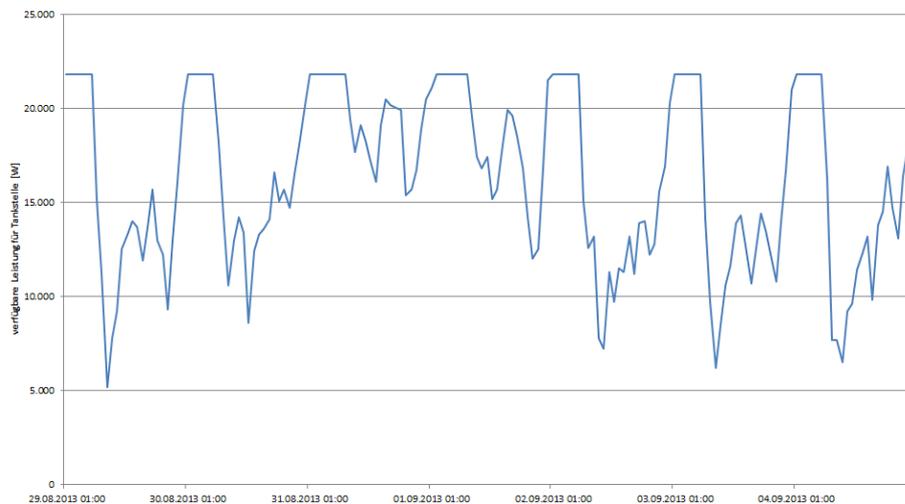


Abbildung 3. Zeitreihe der Prognose für die freie Netzkapazität

Wie in **Abbildung 4** ersichtlich, stimmt die Prognose sehr gut mit dem tatsächlichem Verbrauch überein. Die Kurve für die Prognose ist blau dargestellt, der tatsächliche Verbrauch schwarz und die Temperatur rot. Trotz der kleinen Datenbasis für die erstmalige Prognoseerstellung ergibt sich eine Standardabweichung von lediglich 3,7%.

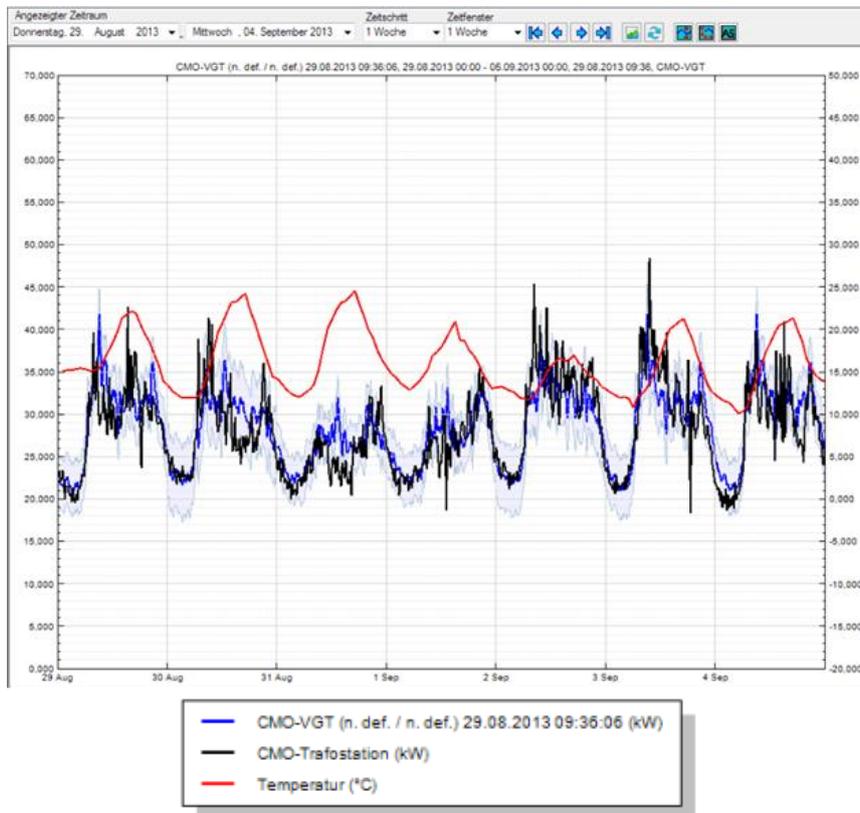


Abbildung 4. Prognosewert und tatsächlicher Verbrauchswert (exkl. Elektrofahrzeuge) sowie Temperatur

Vormittags bis 12:00 Uhr mittags werden in der Garage der Kundenanlage Kochgeräte verwendet, die die Zuleitung vom Verteiler zur Garage annähernd auslasten. Daher wurde vorab für diese Zeit die Ladung der Elektrofahrzeuge ausgeschlossen. **Abbildung 5** zeigt die Summenkennlinie der Ladung aller Elektrofahrzeuge in blau, den Bereich der Ausschlusszeit in rot und die freie Netzkapazität in schwarz punktiert. Zwischen 12:00 Uhr und 13:00 Uhr ist die freie Netzkapazität mit ca. 8,5 kW begrenzt, wodurch das dreiphasige Elektrofahrzeug mit 11 kW Ladeleistung nicht laden kann. Ab 13:00 Uhr ist die Ladung möglich. Zu einem späteren Zeitpunkt lädt noch ein einphasiges Elektrofahrzeug mit 3,7 kW.

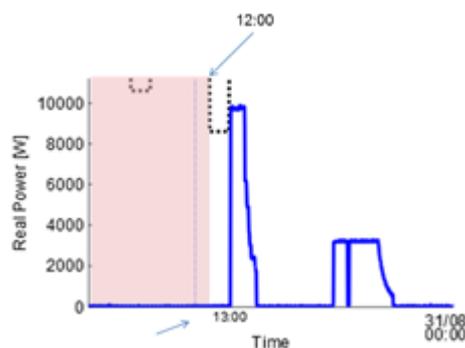


Abbildung 5. Detail 1 Ladeverhalten

Abbildung 6 zeigt schließlich ein weiteres Detail für einen Netzengpass. Oben ist die freie Netzkapazität schwarz punktiert dargestellt, darunter die Summenladeleistung grün punktiert bzw. schwarz punktiert.

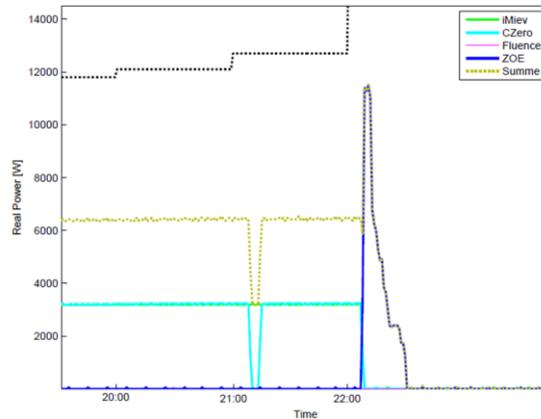


Abbildung 6. Detail 2 Ladeverhalten

Es laden 2 einphasige Elektrofahrzeuge mit jeweils 3,7 kW. Das dreiphasige Elektrofahrzeug mit 11 kW möchte ebenfalls laden, kann dies auf Grund der zu geringen freien Netzkapazität jedoch nicht. Nach 21:00 Uhr unterbricht ein einphasiges Elektrofahrzeug die Ladung, jedoch nur kurzzeitig um sie nach ein paar Minuten wieder fortzusetzen. In dieser Zeit reicht die freie Netzkapazität ebenfalls nicht aus, um eine Ladung des dreiphasigen Elektrofahrzeugs zu ermöglichen. Erst nach Beendigung der Ladung der einphasigen Elektrofahrzeuge ist eine Ladung des dreiphasigen Elektrofahrzeugs möglich.

5 AUSBLICK

Durch die gesteuerte Ladung ergeben sich bei großer Durchdringung von Elektromobilität Chancen der Vermeidung von Investitionen in das elektrische Netz. In diesem Projekt wurden erste Erfahrungen mit gesteuerter Ladung gesammelt, für einen großflächigen Einsatz sind jedoch noch Fragen bezüglich Normung von Hardware und Software wie auch rechtliche Fragestellungen zu klären. Des Weiteren kann eine längere Messdatenerfassung die Qualität der Prognose verbessern bzw. ermöglicht eine längere Messdatenreihe auch die Verwendung anderer mathematischer Prognosemethoden um diese Methoden anschließend, hinsichtlich Qualität, untereinander vergleichen zu können. Verbesserungsmöglichkeiten ergeben sich auch durch eine relativ zeitnahe Datenübertragung, wodurch Sicherheitsreserven bei der Berechnung der freien Netzkapazität verkleinert werden können.