

Autonomes Parken und Laden von E-Fahrzeugen

Bernhard Walzel, Helmut Brunner, Mario Hirz

Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz

Kurzfassung: Das automatisierte Parken stellt eine vielversprechende Anwendung von autonomen Fahrfunktionen dar. Neben einer Verbesserung von Komfort und Sicherheit sowie der optimierten Flächennutzung von Parkanlagen ermöglicht die Technologie zusätzliche Servicefunktionen, wie z.B. das vollautomatische Aufladen von Elektrofahrzeugen. Dieses ist neben einer Erhöhung der (noch) geringen Reichweiten von E-Fahrzeugen ein wichtiges Forschungsziel zur Verbesserung von Ladedauer und Komfort. Die vorliegende Veröffentlichung enthält Auszüge aus den Ergebnissen eines vom Österreichischen Verein für Kraftfahrzeugtechnik geförderten Projekts mit dem Titel „Neue Fahrzeugkonzepte und Technologien, welche die Parksituation verbessern“. Auf Basis einer Feldstudie wurde das Konzept für eine Parkanlage eines Einkaufszentrums erarbeitet, welches neben dem optimierten autonomen Parkvorgang auch eine robotergesteuerte elektrische Ladestation beinhaltet. Als Grundlage für die prototypische Darstellung der Ladestation wurde ein kamerabasiertes Sensorkonzept für den automatischen Ladevorgang entwickelt. Im Anschluss erfolgte die Konzeption des Roboter-basierten Ladesystems für standardisierte Ladestecker, die Entwicklung eines Datenschnittstellenkonzepts basierend auf bestehenden Standards und die Darstellung eines durchgängigen Ladeprozesses. Die Arbeiten dienen als eine Grundlage für den Aufbau einer Prototypenladestation in einem Folgeprojekt, um im Rahmen von Testreihen mit verschiedenen Fahrzeugen wertvolle Erfahrungen für die Weiterentwicklung zukünftiger automatisierter Ladestationen zu sammeln.

1 Einleitung

Die prognostizierten Wachstumsraten für elektrisch angetriebene Fahrzeuge erfordern neue Lösungen für E-Infrastruktur und E-Ladeanlagen. Eine wichtige Rolle spielen dabei öffentlich zugängliche Ladestationen, welche mit Hilfe von Schnellladetechnologien eine komfortable und langstreckentaugliche Nutzung der E-Fahrzeuge ermöglichen. Eine wichtige Anforderung an die Ladeinfrastruktur ist dabei, genügend Stationen zur Verfügung zu stellen und die Dauer der Ladevorgänge zu reduzieren. In diesem Zusammenhang sind die steigenden Zulassungszahlen von E-Fahrzeugen in Kombination mit dem Nutzerverhalten hinsichtlich Frequentierung und Aufenthaltszeiten an den Ladestationen zu berücksichtigen. Dabei könnten sich ähnliche Szenarien ergeben, wie sie in Norwegen auftraten. Dort stiegen die Zulassungszahlen von E-Fahrzeugen schneller, als das Ladeinfrastruktur-Netz aufgebaut werden konnte. Die hohen Verkaufszahlen führten bzw. führen zu überlasteten Stromtankstellen [1]. Somit kommt es trotz des vergleichsweise dichten E-Ladernetzes in Norwegen aufgrund des hohen Anteiles an Elektrofahrzeugen zu Wartezeiten und Engpässen an beliebten Ladetankstellen, siehe Abbildung 1.

Bezüglich der Ladetechnologien kann grundsätzlich zwischen induktiven Systemen, induktiven Technologien und Batterie-Wechselsystemen unterschieden werden. In dem vorliegenden Forschungsprojekt wurde aus zwei Gründen auf induktive Ladesysteme mit standardisierten Ladesteckern fokussiert. Zum einen bieten induktive Systeme höhere Potenziale bezüglich der Ladeleistung, was für Schnellladeprozesse eine wichtige Grundlage

darstellt. Zum anderen wurde die Anwendung von standardisierten Stecker-Verbindungen verfolgt, um eine breite, OEM-unabhängige Einsetzbarkeit der Technologien zu gewährleisten.



Abb. 1: Überfüllte Ladestation in Norwegen [2]

Abbildung 2 zeigt einen Vergleich der Leistungsfähigkeit ausgewählter Ladetechnologien. In dem Diagramm wird die mögliche Fahrdistanz bei einer Ladedauer von 1 Stunde, bzw. die Ladedauer für 100 km Fahrstrecke dargestellt. Für die Berechnung der Reichweiten wurden durchschnittliche Energieverbräuche von E-Fahrzeugen in Real-Driving-Cycles herangezogen [3]. In der vereinfachten Simulation wurden die Lade- und Entladeverluste mit pauschal 10 % berücksichtigt [4].

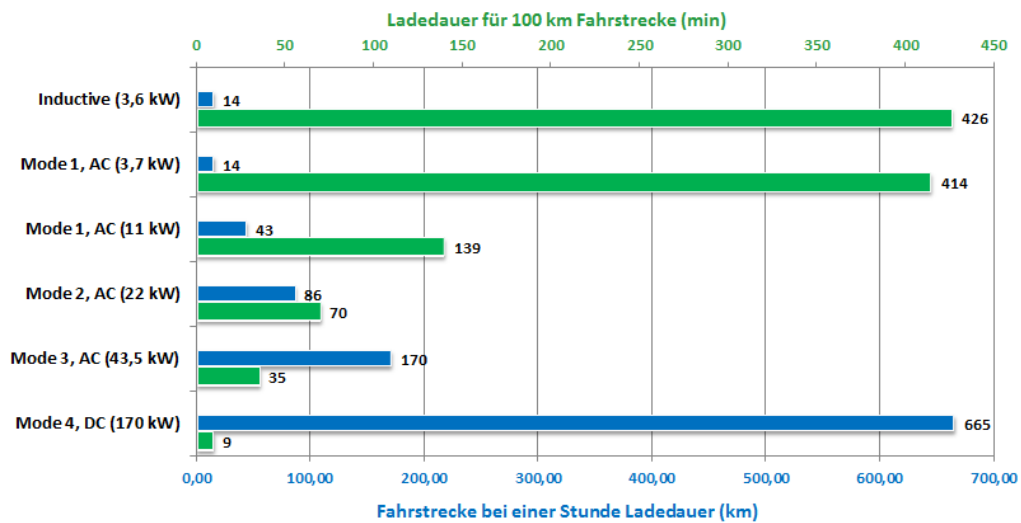


Abb. 2: Vergleich der Leistungsfähigkeit ausgewählter Ladetechnologien

Um die Verbreitung der Elektromobilität zu unterstützen, stellt die Bereitstellung einer komfortablen Ladeinfrastruktur einen wichtigen Faktor dar. Allerdings werden die verschiedenen grundsätzlich möglichen Ladetechnologien heute nur zum Teil umgesetzt. So wird beispielsweise der größte Teil der E-Fahrzeuge an privaten Ladestationen, oftmals in der eigenen Garage oder am Arbeitsplatz geladen. Um die Ladeinfrastruktur zu verbessern ist es wichtig, die Bedürfnisse der E-Fahrzeugnutzer bzw. den Kundenbedarf zu ermitteln und daraus Use-Cases abzuleiten. Ein wichtiges Mittel stellt dafür die Befragung von E-Fahrzeugbesitzern und potenziellen zukünftigen Nutzern dar. Des Weiteren können Simulationsrechnungen von Fahrzeugflotten in urbanen Gebieten durchgeführt werden, welche bestimmte Anteile an E-Fahrzeugen berücksichtigen. Schließlich können anhand von Verkehrsflussanalysen mit Hilfe von Videoaufzeichnungen die Verhaltensmuster der Fahrzeugnutzer ermittelt werden. Aus einer Analyse der erhaltenen Daten können

Anforderungsmuster abgeleitet werden. In der Folge wird auf einen ausgewählten, speziell für den urbanen Bereich relevanten Use-Case näher eingegangen: das Aufladen von E-Fahrzeugen in Parkanlagen oder Einkaufszentren.

2 Automatisierte Parktechnologien

Das Mobilitäts- und Ladeverhalten der Kunden hat einen signifikanten Einfluss auf die infrastrukturellen Anforderungen und die Nutzung des Lade-Netzes. Hat der Tankvorgang bei konventionell betriebenen Fahrzeugen einen vergleichsweise geringen zeitlichen Einfluss auf das Park- und Pausenverhalten, müssen bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen auf Grund der limitierten Reichweite und der (noch) deutlich höheren Ladezeiten Einschränkungen in Kauf genommen werden. Die (noch) langen Ladezeiten und die aktuell zu geringe Verfügbarkeit von E-Tankstellen werden von vielen Interessenten der Elektromobilität als Einschränkung empfunden [5]. Neben dem Laden in privaten Garagen und Abstellplätzen und dem Schnellladen im Einzugsbereich von Autobahnen bieten Einrichtungen, welche prinzipiell Abstellmöglichkeiten für PKW bereitstellen, einen interessanten Anwendungsfall für das automatisierte Laden. So könnten E-Fahrzeuge beispielsweise in Einkaufszentren oder innerstädtischen Parkhäusern geladen werden. Besonders großes Potenzial hinsichtlich Komfort für die Nutzer stellt dabei die Kombination von automatisiertem Parken und Laden dar. Abbildung 3 zeigt einen Überblick der Entwicklungsstufen von Technologien zum automatisierten Parken von PKW.

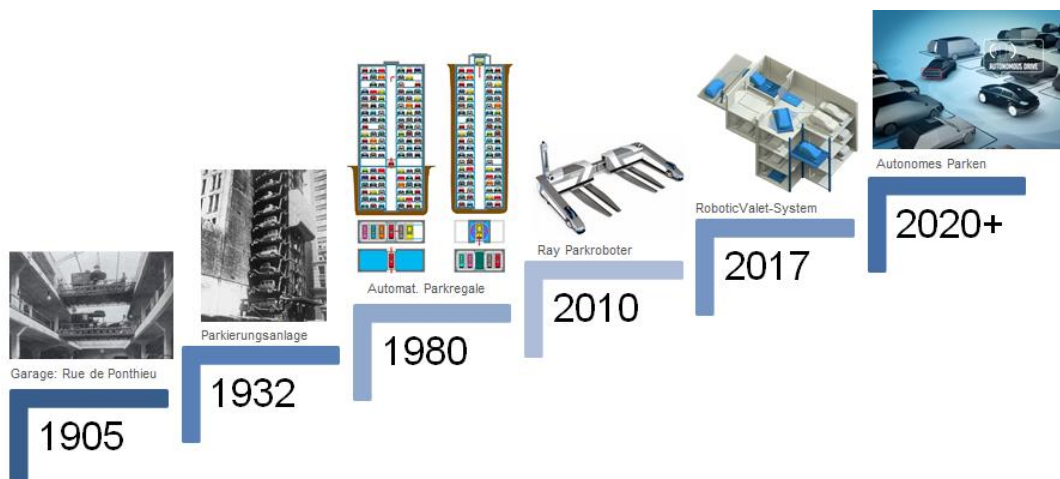


Abb. 3: Entwicklungsstufen des automatisierten Parkens von PKW [6], [7], [8], [9], [10], [11]

Mit der Einführung der Fließbandproduktion Anfang des letzten Jahrhunderts wurden Autos für die breite Masse erschwinglich, was eine rasche Zunahme an Fahrzeugen zur Folge hatte. Aus diesem Grund wurden bereits im frühen 20. Jahrhundert erste Lösungen für effizientes Parken in Ballungsgebieten entwickelt. Zum Beispiel wurde die weltweit erste Hochgarage nahe dem Piccadilly Circus am 5. Mai 1901 in London eröffnet [12]. Diese erstreckte sich über sieben Etagen und gilt als das erste Parkhaus. Das erste teilweise mechanische Parkhaus - die Garage Rue de Ponthieu – wurde im Jahre 1905 in Paris eröffnet [6]. Dabei wurden die Fahrzeuge mit Hebebühnen in das jeweilige Stockwerk gehoben und dort mittels Drehtischen an ihren Platz gebracht. Zum Positionieren und Einlagern der Fahrzeuge waren Mitarbeiter nötig. Ab 1920 wurde die Entwicklung von automatisierten Parksyste-men vor allem in den USA stark vorangetrieben. Vorreiter war Milton A. Kent: er baute 1929 ein 15-stöckiges Parkhaus, welches 1000 Fahrzeugen Platz bot. Diese wurden mit einem Hub- und Rollensystem per Knopfdruck an einen freien Platz gefahren, jedoch ohne intelligente Steuerung [8]. In den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts begann man auch in Europa und Asien mit dem Bau und dem

Betrieb automatischer Parkhäuser. Das älteste noch betriebene Parkhaus steht in Düsseldorf. Es wurde 1960 gebaut und 1989 auf eine moderne Computersteuerung umgerüstet, welche die jeweiligen Einzeltvorgänge koordiniert [13]. Aktuell gibt es zahlreiche Parkhausvarianten und Parksysteeme, die teilweise automatisiert oder bereits mit roboterunterstützten Systemen ausgestattet sind, z.B. [8], [9], [14]. Besonders die Digitalisierung der Anlagen führte zu einer wesentlichen Verbesserung von Effizienz und Handhabung der Parksysteeme. Fahrzeuge können somit nicht nur an ihren Standort befördert, sondern beispielsweise auch nach Größe oder festgelegter Parkdauer sortiert werden. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde eine Anzahl an Konzepten erarbeitet, um das automatisierte Parken bzw. platzsparende Stapeln von PKW zu optimieren, siehe Abbildung 4. Neben verschiedenen Ansätzen zum raumeffizienten Parken der Fahrzeuge wurden die Kinematik und Kräftesituation der Anlagen simuliert und Potenziale bezüglich einer Optimierung der Parkprozesse erarbeitet.

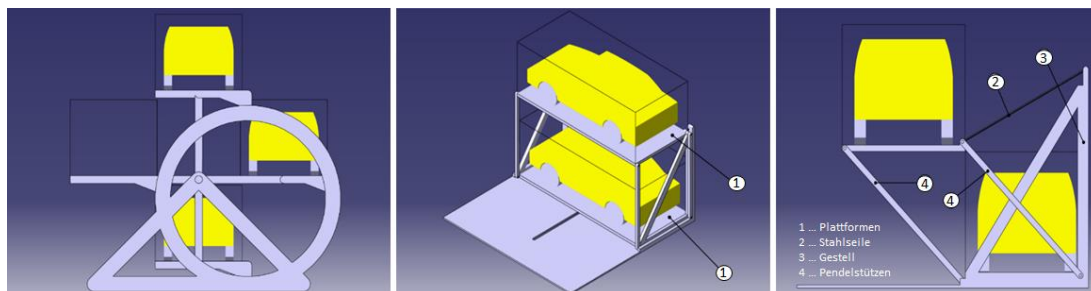


Abb. 4: Ausgewählte Konzepte zum automatisierten Stapeln von PKW [15]

Bringen derzeit automatisierte Systeme, wie autonome Plattformen oder Stapler das Fahrzeug an den entsprechenden Parkplatz, können zukünftig PKW mit autonomen Fahrfunktionen diese Vorgänge selbständig erledigen. Pilotiertes oder autonomes Parken wird auf diese Weise komfortables und platzsparendes Parken ermöglichen. Durch die Technologie des autonomen Fahrens werden PKW in der Lage sein, selbständig den Weg zu einem Stellplatz zu finden. Dies ermöglicht dem Fahrer am gewünschten Zielort das Fahrzeug zu verlassen, woraufhin dieses von allein bis zum nächsten freien Parkstand fährt und dort einparkt. Wird das System mit dem Smartphone verknüpft, kann beispielsweise das Fahrzeug über eine Applikation für den Abholvorgang angefordert werden.

Indem sich die Fahrzeuge autonom bewegen, kann Fläche eingespart werden. Sie können präziser manövrieren als manuell gesteuerte PKW, weshalb die Fahrgassen weniger breit als auf gewöhnlichen Parkplätzen oder in Parkhäusern ausgeführt werden können. Außerdem entfällt der Raum, welcher zum Öffnen der Türen benötigt wird, da die Insassen das Fahrzeug schon vorher verlassen. Stellplätze können in Breite und Länge kleiner bemessen werden. Ein weiterer Vorteil ist die Umsetzbarkeit von gefangenen Parkständen (Kolonnenparken, Blockparken). Dieses platzsparende Prinzip beruht auf Stellplätzen, die nur erreichbar werden, wenn die davor oder dahinterliegenden Parklücken frei sind. Die Steuerungsfunktion kann für autonom parkende Fahrzeuge von einer intelligenten zentralen Steuerung übernommen werden. Des Weiteren kann die Technologie eine platzsparende Gestaltung der Parkhäuser ermöglichen. Beispielsweise kann die Anzahl an Aufzügen, Treppen und Gehwege für Fußgänger reduziert und die lichte Raumhöhe an die Fahrzeuge verringert werden. Studien zeigen eine mögliche Erweiterung des nutzbaren Parkraums von bis zu 60 % bei Ausnutzung der Potenziale des autonomen Parkens, z.B. [16]. Für den Fahrer bedeutet autonomes Parken vor allem einen gesteigerten Komfort. Das Fahrzeug kann am Übergabeort komfortabel verlassen werden, ohne Parkplatzsuche, Ein- und Ausparken, Aus- und Einsteigen in engen Parklücken, sowie die Wege vom Fahrzeug zur eigentlichen Destination. Schließlich bietet das

Parken auf Basis von autonomen Fahrfunktionen ein großes Potenzial zur Optimierung der Parkvorgänge, wie etwa durch automatisierte Leitsysteme. Aus den dargestellten Gründen wird das Thema des automatisierten Parkens intensiv beforscht, z.B. von AUDI und VW [16], [17].

3 Untersuchung des Nutzerverhaltens beim Parken

Um das Nutzerverhalten in Einkaufszentren zu erfassen und hinsichtlich des Potenzials für autonomes Parken und Laden zu bewerten, wurde eine detaillierte Studie bezüglich der Fahrzeug- und Kunden-Bewegungsmuster in mehreren österreichischen Einkaufszentren durchgeführt [18]. Die Verhaltensprofile wurden in Abhängigkeit von der Größe des Einkaufszentrums sowie vom Wochentag und der Tageszeit erarbeitet. Beispielsweise ist die Aufenthaltsdauer in einem großen Verbrauchermarkt durchschnittlich 20 bis 40 Minuten, während die Aufenthaltsdauer in einem größeren Einkaufszentrum ca. 60 Minuten bis zu mehreren Stunden beträgt. Im Zuge des Projekts wurde anhand des Parkplatzes eines ausgewählten Einkaufszentrums in Graz das Nutzerverhalten mittels Videoaufzeichnungen erfasst. Anschließend wurden mit Hilfe einer Simulationssoftware [19] eine Analyse der Verkehrsflüsse durchgeführt und Konzepte für autonomes Parken und Laden von E-Fahrzeugen erarbeitet. Dazu wurde der Parkvorgang bzw. die Aufenthaltszeit in die Abschnitte „Einfahrt Parkplatz bis zum Abstellen des Motors am Parkplatz“, „Aussteigen aus dem Fahrzeug und Gehweg bis zum Eingangstor des Einkaufszentrums“, „Zeit für Aufenthalt im Einkaufszentrum“, „Rückkehr vom Einkaufszentrum bis zum Fahrzeug“, „Rückgabe des Einkaufswagens und Rückweg zum Fahrzeug“ und „Start des Motors und Fahrt bis zur Ausfahrt“ unterteilt. Für alle Prozessschritte wurden mit Hilfe statistischer Methoden Normalverteilungen erarbeitet. Auf diese Weise konnten Verhaltensmuster erarbeitet werden, welche eine Grundlage für die Konzeption von automatisiert ablaufenden Parkvorgängen darstellten.



Abb. 5: Simulationsmodell des untersuchten Parkplatzes am Einkaufszentrum Murpark in Graz

Die entwickelten autonomen Parkprozesse basierten auf einem sequenziellen Ablauf, welcher mit der manuellen Einfahrt in den Parkplatzbereich gestartet wurde. Im Anschluss wurden die Fahrzeuge in einer Übergabestation in der Nähe des Haupteingangs des Einkaufszentrums abgestellt, um den Fahrer und die Passagiere aussteigen zu lassen. Von diesem Zeitpunkt an wurde das Fahrzeug im Simulationsmodell autonom bewegt. Im ersten Schritt wurde mittels Datenaustausch mit einem zentralen Server ein Parkplatz zugewiesen, auf welchen sich das Fahrzeug selbständig manövrierte und dort parkte. Nach Beendigung des Aufenthalts im Einkaufszentrum konnte das Fahrzeug vom Fahrer über eine Smartphone-Funktion angefordert werden. Im letzten Prozess-Schritt fuhr das Fahrzeug autonom vom Parkplatz zur Übergabestation und der Fahrer sowie die Passagiere konnten wieder einsteigen. Danach übernahm der Fahrer die manuelle Steuerung des Fahrzeugs.

Mit Hilfe der Simulationsrechnungen konnte gezeigt werden, dass durch autonomes Parken Zeit und Wege der Kunden eingespart werden können. Die Fahrzeugwege und CO₂-Emissionen sowie deren Einsparungspotential hängen dabei stark von der Größe der Parkanlagenkonzepte ab [18]. Durch den Einsatz modellbasierter Verkehrsflussanalysen der Parkvorgänge ließen sich Abschätzungen zur Tauglichkeit von neuen, automatisierten Parkkonzepten realisieren. Neben der möglichen Zeitersparnis konnte auch gezeigt werden, dass verschiedene automatisierte Parktechnologien ein großes Potenzial für Effizienz- und Komfortsteigerung bieten. Des Weiteren konnte dargestellt werden, dass bereits auf dem relativ kleinen Parkplatz des betrachteten Einkaufszentrums eine Verbesserung der Parkprozesse durch autonom parkende Fahrzeuge möglich ist. Um die Potenziale heben zu können, sind für das autonome Parken optimierte Fahrwege und Anordnungen der Parkplätze notwendig. Des Weiteren zeigten die Simulationsergebnisse einen wesentlichen Einfluss der Gestaltung der Übergabestationen für das Ein- und Aussteigen von Fahrer und Passagieren.

Zusätzlich durchgeführte Untersuchungen des Nutzerverhaltens beim Laden von E-Fahrzeugen an öffentlichen Ladestationen zeigten, dass bei der Auswahl der Ladetechnologie die Schnellladestationen bevorzugt werden. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer an der Ladestation beträgt dabei ca. 20 min [20]. Auf Grund der steigenden Zulassungszahlen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen stieg der Energiebedarf an öffentlichen Ladestationen in den letzten Jahren stark an. Während dabei der Bedarf an Schnellladestationen stetig zunahm, konnte kein steigender Bedarf an öffentlichen Typ-2 Ladesäulen mit geringer Ladeleistung (3,6 kW) festgestellt werden [21]. Des Weiteren konnte aus Nutzerbefragungen eruiert werden, dass die Kunden das Laden ihrer E-Fahrzeuge während einer Kaffeepause oder im Zuge eines Einkaufs bevorzugen [20]. Somit stellt die Kombination von autonomen Parkfunktionen und automatisiertem Aufladen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen einen interessanten Ansatz dar.

4 Konzept für automatisiertes Parken und Laden von E-Fahrzeugen

Zukünftig verfügbare autonome Fahrfunktionen in Kombination mit Kommunikationstechnologien, welche eine Vernetzung von Fahrer, Fahrzeug und Infrastruktur ermöglichen, bereiten den Weg für neue Dienstleistungsangebote. Beispielsweise dienen automatisierte Parkfunktionen nicht nur der Effizienzsteigerung von PKW-Abstellprozessen und einer Verbesserung des Nutzerkomforts; diese Technologien können zusätzlich mit erweiterten Servicefunktionen kombiniert werden, wie etwa dem vollautomatisierten Ladevorgang für elektrisch angetriebene Fahrzeuge.



Abb. 6: Konzept eines zukünftigen Einkaufszentrums mit automatisierten Servicedienstleistungen

Abbildung 6 zeigt einen Vorschlag für ein zukünftiges Einkaufszentrum mit innovativen Service-Konzepten. Bei der Planung der Anlage wurden optimierte Fahrstrecken für autonom parkende Fahrzeuge, sowie die Anforderungen von automatisiertem elektrischen Laden bzw. Tanken und die Möglichkeiten weiterer Servicedienstleistungen berücksichtigt. Basierend auf den Erkenntnissen aus der Untersuchung des Nutzerverhaltens in einem Einkaufszentrum (Kapitel 3) wurde das Anlagenkonzept dahingehend gestaltet, dass die Fahrzeuge ohne Eingreifen der Fahrer verschiedene Prozesse autonom anfahren bzw. durchführen können.

Anhand des Anlagenkonzeptes in Abbildung 6 wäre beispielsweise folgendes Szenario denkbar: Der Kunde parkt manuell vor dem Haupteingang des Einkaufszentrums auf einer Übergabefläche und beauftragt das Fahrzeug, bestimmte Serviceaktionen durchführen zu lassen. Dies könnte das elektrische Laden der Energiespeicher und eine Fahrzeugwäsche betreffen. Nachdem der Fahrer und die Passagiere das Fahrzeug verlassen haben, fährt es autonom zum einem freien Parkplatz und meldet sich über eine standardisierte Datenschnittstelle bei der Servicestation für die gewünschten Dienstleistungen an. Bei freierwerdender Ladestation wird das Fahrzeug über einen zentralen Server informiert, worauf es autonom in die Ladestation einfährt und von einem robotergesteuerten Schnell-Ladesystem aufgeladen wird. Ein ähnlicher Prozess wird für die Autowäsche ausgeführt. Nach Beendigung der Serviceleistungen fährt das Fahrzeug auf einen freien Parkplatz zurück. Der Fahrer wird durch eine Smartphone-Funktion über den Status der Prozesse und den Standort des Fahrzeugs informiert und kann es nach Abschluss seines Aufenthalts im Einkaufszentrum zur Übergabestation rufen. Von der Übergabestation weg wird das Fahrzeug manuell in den gemischten öffentlichen Verkehr gesteuert. Um robuste Abläufe und eine hohe Sicherheit der selbständigen Park- und Serviceprozesse zu gewährleisten, bewegen sich die Fahrzeuge im autonomen Fahrmodus mit relativ geringer Fahrgeschwindigkeit. Des Weiteren sind die Park- und Serviceanlagen nicht für die Öffentlichkeit zugänglich, was der Kundensicherheit dient und die in Kapitel 3 dargestellten Vorteile bezüglich effizienter Raumausnutzung ermöglicht. Werden raumsparende Parkkonzepte benötigt, beispielsweise in Innenstadtbereichen, können die autonom zugänglichen Abstellbereiche mit automatisierten Park- bzw. Fahrzeugstapeltechnologien kombiniert werden, siehe Kapitel 2.

5 Automatisiertes induktives Laden von E-Fahrzeugen

Eine wichtige Komponente zur Realisierung des im vorhergehenden Kapitel gezeigten Konzepts für automatisiertes Parken und Aufladen von E-Fahrzeugen stellt der automatisierte Ladevorgang dar. Im Rahmen des diesem Bericht zugrundeliegenden Projekts wurden grundsätzliche Untersuchungen zur Entwicklung automatisierter induktiver Schnellladestationen erarbeitet. Dies beinhaltete die Evaluierung von Sensortechnologien zur Erfassung und Identifikation von Fahrzeugen in der Ladestation sowie zur Positionsbestimmung der Ladesteckdose am Fahrzeug. Des Weiteren wurden Anforderungen an die Roboterkinematik erarbeitet und die Anordnungen von Fahrzeugen, Laderoboter und Sensorik mit Hilfe eines 3D-CAD Systems dargestellt und optimiert. Schließlich wurde ein Datenkommunikationskonzept entwickelt, welches den Austausch der für den Ladeprozess benötigten Informationen zwischen Fahrer, Fahrzeug, Ladestation und einem zentralen Webserver beinhaltet.

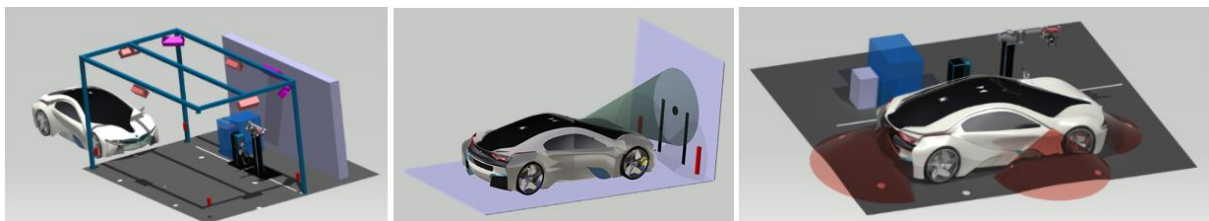


Abb. 7: Ausgewählte Konzepte für die Anordnung von Sensoren und Laderoboter

Abbildung 7 zeigt eine Auswahl an Entwürfen für die Anordnung bzw. Nutzung von fahrzeug-interner und -externer Sensorik zur Positionserfassung sowie Packagingkonzepte für die Systeme in der Ladestation. Eine besondere Herausforderung in dem Projekt stellte die Auswahl und Integration der Sensortechnologie zur exakten Lageerkennung von Fahrzeug und Ladebuchse dar. Ziel der Forschungstätigkeiten war es, die Sensortechnologie und den Laderoboter so auszulegen, dass auch bei Verwendung unterschiedlicher Fahrzeugtypen und -Positionen keine speziellen Adaptionen am Fahrzeug erforderlich waren. Diese Aufgabenstellung stellte hohe Anforderungen an die Vorgehensweise zur Entwicklung eines komplexen mechatronischen Systems bestehend aus Sensortechnologie, Roboterkinematik und Robotersteuerung. Des Weiteren waren bei der Auswahl der Technologien Kostenaspekte zu berücksichtigen, was schlussendlich zur Entwicklung eines kamerabasierten Positionsdetektionsprozesses führte. Dazu wurde zur Lageerfassung der Buchse ein formbasiertes CAD-Modell des zu suchenden Objektes erzeugt, welches im Zuge des Ladeprozesses in einer Szene, erstellt durch die Kamerabilder, vom System mittels 3D-Matching-Verfahren identifiziert werden konnte. Sensor- und Robotersystem wurden entsprechend der Parameter Objektabstand, Objektgröße und Robustheit der Buchsen-Lage aufeinander abgestimmt. Dadurch war es möglich, die Ladebuchsen-Positionen verschiedener Fahrzeuge in unterschiedlichen Parkpositionen zu detektieren.

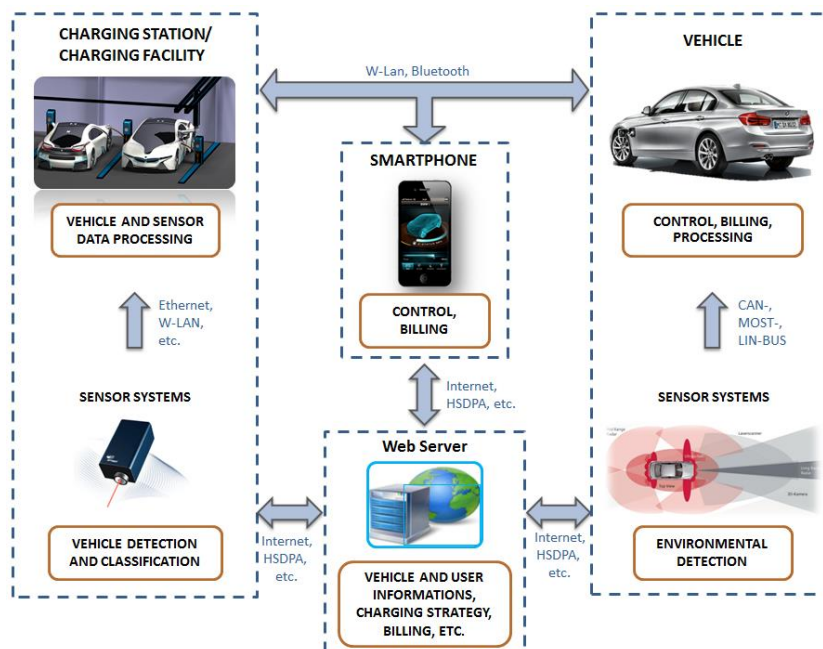


Abb. 8: Kommunikationskonzept des automatisierten Ladevorgangs

Abbildung 8 stellt das Kommunikationskonzept des automatisierten Ladevorgangs dar. Basierend auf vorhandenen Kommunikationsstandards, wie der ISO 15118 [22], wurde ein Prozess zum Datenaustausch zwischen Fahrzeug, Ladestation und Server erarbeitet. Der Fahrer ist dabei über eine Smartphone-Funktion eingebunden. Das Kommunikationskonzept umfasst den gesamten Ablauf inkl. Anmelden und Identifikation des Fahrzeugs, Leiten des Fahrzeugs in die Ladestation, den Ansteck- Auflade- und Absteckprozess, sowie die Beendigung des Prozesses, die Verrechnung der Kosten und die Information des Kunden.

In einer Erweiterung des dargestellten Forschungsprojekts wurde in einem Folgeprojekt [23] eine robotergestützte E-Ladestation prototypisch aufgebaut, um anhand von Testreihen mit verschiedenen Fahrzeugen wertvolle Erkenntnisse zur Verifikation und Optimierung der bislang virtuellen Untersuchungen erarbeiten zu können. Neben den beschriebenen Sensortechnologien kam ein universell einsetzbarer, kollaborierender Roboter zum Einsatz

[24], welcher mit einem standardisierten CCS-Typ2-Ladeadapter versehen wurde. Die Testreihen umfassten den gesamten automatisierten Ladevorgang, inkl. Einfahren des Fahrzeugs in die Station, Erkennen der Ladebuchse durch das Vision-System, das Anstecken und Abstecken des Ladekabels, das Schließen der Abdeckklappe der Ladebuchse am Fahrzeug, sowie das Ausfahren des Fahrzeugs aus der Station und die Einnahme der Ruheposition des Laderoboters. Es wurde eine Vielzahl an Testreihen unter Variation verschiedener Einflussparameter durchgeführt, um Erkenntnisse für eine Weiterentwicklung der automatisierten induktiven Ladetechnologie zu erhalten. Abbildung 9 zeigt beispielhaft Ausschnitte der Anstecksequenz des Laderoboters.



Abb. 9: Anstecksequenz des Laderoboters

6 Zusammenfassung

Die fortschreitende Motorisierung und damit verbundene Zunahme der Verkehrsleistungen bedingt nicht nur eine Optimierung der Straßeninfrastrukturen und Verkehrsflüsse, sondern fordert, vor allem in Bereichen mit einem begrenzten Angebot an Platz, intelligente Lösungen für das Parken von Fahrzeugen. Darüber hinaus erfordern prognostizierte Wachstumsraten für elektrisch angetriebene Fahrzeuge neue Lösungen zur Energieversorgung. Eine wichtige Rolle spielen dabei öffentlich zugängliche Ladestationen, beispielsweise in Einkaufszentren oder innerstädtischen Parkhäusern. Ladeinfrastrukturbetreiber und Fahrzeughersteller sind in diesem Zusammenhang gefordert, genügend Stationen zur Verfügung zu stellen und die Dauer der Ladevorgänge zu reduzieren.

Der Einsatz von automatisierten und roboterbasierten Technologien kann zu einer Weiterentwicklung der Themenfelder „Parken“ und „Laden“ beitragen. Zur Verbesserung der Parkplatzeffizienz können Fahrzeuge automatisiert an ihren Standort befördert und nach Größe oder festgelegter Parkdauer sortiert werden. Werden die Fahrzeuge heute mit Hilfe automatisierter Systeme, z.B. durch Plattformen oder Parkroboter zum Abstellplatz bewegt, können in Zukunft autonome Fahrfunktionen diese Vorgänge übernehmen. Neben der optimierten Flächennutzung von Parkanlagen können die autonomen Park- bzw. Fahrfunktionen den vollautomatischen Ladeprozess von Elektrofahrzeugen unterstützen. Die Verbindung des autonomen Parkens mit dem automatisierten Laden von E-Fahrzeugen bietet dabei ein hohes Maß an Komfort für die Kunden und kann darüber hinaus zur optimalen Nutzung und Auslastung der Ladeinfrastruktur beitragen. So können die Fahrzeuge beispielsweise nach Beendigung des (Schnell-) Ladevorgangs die Ladestation verlassen und für das nächste Fahrzeug Platz machen.

Die vorliegende Veröffentlichung enthält Auszüge aus den Ergebnissen eines vom Österreichischen Verein für Kraftfahrzeugtechnik geförderten Projekts mit dem Titel „Neue Fahrzeugkonzepte und Technologien, welche die Parksituation verbessern“. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde eine Anzahl an Konzepten erarbeitet, um das automatisierte Parken von PKW zu optimieren. Darüber hinaus wurden verschiedene Untersuchungen zum Nutzerverhalten bezüglich des Parkens und Ladens von E-Fahrzeugen durchgeführt. Das in

der Arbeit modellhaft dargestellte automatisierte Park- und Ladekonzept für ein Einkaufszentrum zeigt die Potenziale der Technologien auf. Abschließend wurden grundsätzliche Untersuchungen zur Entwicklung einer robotergestützten Ladestation vorgestellt. Im präsentierten Ansatz wird der gesamte An- und Absteckvorgang des Ladekabels mit einem Roboterarm durchgeführt, was in Kombination mit der verwendeten Sensorik einen vollständig autonomen Ladevorgang ermöglicht. Ein wesentliches Ziel der Forschungstätigkeiten war es, die Sensortechnologie und den Laderoboter so auszulegen, dass auch bei Verwendung unterschiedlicher Fahrzeugtypen und Fahrzeugpositionen keine Adaptionen am Fahrzeug selbst notwendig sind.

7 Referenzen

- [1] N. Doll: „Der Kampf gegen das E-Auto-Paradoxon“, 2015, online unter: <http://www.welt.de/wirtschaft/article142246687/Der-Kampf-gegen-das-deutsche-E-Auto-Paradoxon.html>, letzter Zugriff am: 25. 10. 2017
- [2] T. Norbeck: „Input to the national strategy for EV charging infrastructure“, 2013, online unter: <http://www.transnova.no/wp-content/uploads/>, heruntergeladen am 20. 01. 2016
- [3] B. Geringer, W. Tober: „Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis“, 2012, Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik und ÖAMTC, Wien
- [4] A. Karle: „Elektromobilität - Grundlagen und Praxis“, 2015, München, Carl Hanser Verlag München, 2015, ISBN: 978-3-446-44339-6
- [5] ADAC: „Repräsentative Mitgliederbefragung“, 2011
- [6] M. Kreuz: „Das erste mehrstöckige Parkhaus Europas stand in Paris – die Garage Ponthieu“, 2016, online unter: http://www.vorkriegs-peugeot.de/berichte/peugeot-geschichte/381-garage_ponthieu.html, letzter Zugriff am: 10. 06. 2017
- [7] W. Moser: „A Chicago Car Elevator Mystery and the Man Who Invented Dialectical Materialism“, 13. 04. 2012, online unter: <http://www.chicagomag.com>, letzter Zugriff am: 20. 01. 2018
- [8] Gesellschaft für Innovative VerkehrsTechnologien mbH: „Mechan. & automat. Parksysteme“, 2015, online unter: <http://www.givt.de>, letzter Zugriff am: 20. 01. 2018
- [9] Serva Transport Systems GmbH: „Serva Parkenbroschüre“, 2018, online unter: <http://serva-ts.com/de/parken/>, heruntergeladen am: 25. 03. 2018
- [10] CNN: „Robot garage parks your car“, 31. 05. 2013, online unter: <http://outfront.blogs.cnn.com/2013/05/31/robot-garage-parks-your-car>, letzter Zugriff am: 20. 01. 2018
- [11] VOLVO CAR AUSTRIA: „Kein lästiges Parkplatzsuchen mehr: Volvo stellt das selbstparkende Auto vor“, Juni 2013, online unter: <https://www.media.volvocars.com>, letzter Zugriff am: 25. 03. 2018
- [12] NTV: „125 Jahre Automobil - Geschichte des Parkhauses“, online unter: <https://www.ntv.de/auto/Geschichte-des-Parkhauses-article2816161.html>, letzter Zugriff am: 29. 03. 2018
- [13] J. Bornwasser: „Der fliegende Parkplatz“, 2009, online unter: <http://www.rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/der-fliegende-parkplatz-aid-1.1131697>, letzter Zugriff am: 25. 04. 2016
- [14] Park Plus Inc.: „AGV - SELF CHARGED ROBOTIC VEHICLE TRANSFER SYSTEM“, 2018, online unter: <http://www.parkplusinc.com/products/automated/>, letzter Zugriff am: 25. 03. 2018.
- [15] B. Walzel: „Smart Parking – Neue Fahrzeugkonzepte und Technologien, welche die Parksituation verbessern“, Zwischenbericht 2016, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, Graz

- [16] Audi AG: „Reduction of Space in parking garage“, 2015, online unter: <http://audi-urban-future-initiative.com/facts/somerville-boston-deutsch/7344>, letzter Zugriff am: 24. 06. 2015
- [17] Volkswagen: „V-Charge: Volkswagen forciert das automatisierte Parken und Aufladen von E-Fahrzeugen“, 2015, online unter: <http://www.volkswagenag.com>, letzter Zugriff am: 01. 08. 2016
- [18] B. Walzel: „Smart Parking – Neue Fahrzeugkonzepte und Technologien, welche die Parksituation verbessern“, Zwischenbericht, 2018, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, Graz
- [19] PTV-Group: „PTV Vissim Verkehrssimulationssoftware“, 2018, online unter: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/de/produkte/ptv-vissim>
- [20] B. Walzel, M. Hirz, H. Brunner: „Anforderungen an die Tankstelle im Jahr 2025“, 2015, 14. Symposium Energieinnovation, Graz
- [21] US Department of Energy: „EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report“, 2013, online unter: <http://energy.gov/sites/prod/files/>, heruntergeladen am: 15. 01. 2016
- [22] International Organization for Standardization: „ISO 15118: Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface“, 2013, online unter: <https://www.iso.org/standard/55365.html>, letzter Zugriff am: 20. 03. 2018
- [23] Forschungsprojekt KoMoT: „KoMoT – Komfortable Mobilität mittels Technologieintegration“, 2016 - 2018, gefördert von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft, Projektpartner: BMW Group München, Magna Steyr Engineering Graz, KEBA AG Linz, Institut für Fahrzeugtechnik der Technische Universität Graz
- [24] UNIVERSAL ROBOTS: „Universal Robot UR10“, 2018, online unter: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>, letzter Zugriff am: 01. 02. 2018