

Anforderungen an die Tankstelle im Jahr 2025

Bernhard Walzel¹, Mario Hirz², Helmut Brunner³

¹Institut für Fahrzeugtechnik/Technische Universität Graz, Inffeldgasse 11-2,
+43-316-873-35278, bernhard.walzel@tugraz.at, www.ftg.tugraz.at

²Institut für Fahrzeugtechnik/Technische Universität Graz, Inffeldgasse 11-2,
+43-316-873-35220, mario.hirz@tugraz.at, www.ftg.tugraz.at

³Institut für Fahrzeugtechnik/Technische Universität Graz, Inffeldgasse 11-2,
+43-316-873-35255, helmut.brunner@tugraz.at, www.ftg.tugraz.at

Kurzfassung: In der E-Mobilität stellt die ausreichende und flächendeckende Verfügbarkeit von Ladestationen einen wichtigen Faktor für die Kundenzufriedenheit und Kundenakzeptanz dar. Neben Entwicklungen zur Verbesserung der (noch) geringen Reichweiten von E-Fahrzeugen ist eine Reduktion der Dauer der Ladevorgänge ein wichtiges Forschungsziel. Schnellladestationen (z.B. Tesla-Supercharger) schaffen die Voraussetzung für vergleichsweise lange Fahrdistanzen bei kurzen Ladezeiten (250km Fahrzeugreichweite, 30min Ladedauer [1]). Kurze Ladezeiten erfordern jedoch hohe Ladeleistungen, welche sowohl die Batterietechnologie als auch die Ladeinfrastrukturen vor neue Herausforderungen stellen. Des Weiteren bestimmt das Mobilitätsverhalten der Kunden wesentlich die Anforderungen an Fahrzeuge und Infrastruktur. Somit steht die Gestaltung von hochfrequentierten Ladetankstellen (z.B. an Autobahnen oder öffentlichen Parkplätzen) vor neuen Herausforderungen, da eine Anzahl von E-Fahrzeugen möglichst schnell und komfortabel betankt, und hohe lokale Ladeleistungen bereitgestellt werden müssen.

In der eingereichten Publikation werden Anforderungen an zukünftige Ladestationen unter Berücksichtigung von Szenarien für Elektrofahrzeugflotten sowie Mobilitäts- und Ladeverhaltens erarbeitet und diskutiert. Hinsichtlich Kapazität, Betriebskonzept, Infrastruktur und Servicedienstleistungen von Ladetankstellen bieten zukünftige autonom fahrende und -parkende Elektro- und Hybridfahrzeuge zusammen mit automatisiertem Laden die Basis für neue Lösungsansätze und Möglichkeiten, welche im Zuge dieser Arbeit ebenfalls diskutiert werden.

Keywords: Ladeinfrastruktur, Ladetankstelle 2025, Schnellladung, automatisiertes Laden

1 Einleitung

Die prognostizierten Wachstumsraten im Bereich alternativ betriebener Fahrzeuge erfordern neue Lösungen für Ladeinfrastrukturen und Ladestationen. Schnellladetechniken und deren ausreichende Verteilung und breite Anwendungsmöglichkeiten eröffnen den Kunden eine langstreckentaugliche Nutzung ihrer E-Fahrzeuge. Kurze Ladezeiten erhöhen den Komfort wesentlich, und die Angst auf längeren Strecken liegen zu bleiben wird vermindert. Das Wissen des Kunden, dass in der Umgebung und auf Langstrecken jederzeit genügend und freie Ladestationen zur Verfügung stehen und das Ladevorgänge nicht bedeutend länger dauern als konventionelle Tankvorgänge, wird die Verbreitung der E-Mobilität wesentlich unterstützen. Das wiederum lässt darauf schließen: Wenn auf hochfrequentierten Autobahnen und Schnellstraßen genügend Ladestationen mit hohen Ladekapazitäten zur Verfügung stehen, rücken die Nachteile durch technologisch bedingte, relativ geringe Reichweiten von Elektrofahrzeugen in den Hintergrund.

Aus Sicht eines Tankstellenbetreibers stellt sich nun die Frage, welche Auswirkungen steigende E-Fahrzeugzahlen und deren Langstreckennutzung auf die Tankstellen-Infrastruktur haben werden, und welche Kundenfrequenzierungen und -Aufenthaltszeiten zu erwarten sind. Diesbezüglich könnte sich in Mitteleuropa ein ähnliches Szenarium wie in Norwegen ergeben. Dort wurden E-Fahrzeuge schneller verkauft als das notwendige Ladeinfrastruktur-Netz aufgebaut werden konnte. Die auf Grund der staatlichen Förderungen hohen Verkaufszahlen führen zu überlasteten Stromtankstellen und es müssen Wartezeiten einkalkuliert werden [2]. Um Langstreckfahrten für E-Fahrzeuge zu ermöglichen, sind hohe Leistungskapazitäten und Investitionen an strategisch wichtigen Punkten nötig. Ein Beispiel bezüglich der Motivation zur Durchführung der vorliegenden Arbeit zeigt Abbildung 1. Trotz des vergleichsweise dichten Ladernetzes in Norwegen kommt es aufgrund des hohen Anteiles an Elektrofahrzeugen zu Wartezeiten und Engpässen an beliebten Ladetankstellen.



Abbildung 1: Überfüllte Ladestation in Norwegen [3]

1.1 Ziel der Arbeit

Im Vordergrund der Untersuchungen stehen die Ermittlung der erforderlichen elektrischen Lade-Leistungsbereitstellung und Leistungsdimensionierung unter Berücksichtigung des Kundenfahr-, Park- und Ladeverhaltens mit Fokus auf Langstrecken-Fahrten, sowie die Beurteilung möglicher Leistungs-Engpässe und technischer Herausforderungen im Bereich der zukünftigen Schnellladung in der Nähe von Autobahnen. Die Ladedauer hat einen

besonderen Einfluss auf Prognosen von E-Mobilität, besonders auf Langstrecken. Anhand von Studien und einer Analyse von aktuellen Aufzeichnungen einer österreichischen Schnellladestation wird das aktuelle Ladeverhalten bewertet und diskutiert. Des Weiteren beinhaltet der eingereichte Beitrag eine Abschätzung von Leistungs- und Infrastruktur-Anforderungen zukünftig hochfrequentierter Schnellladestationen. Ein Ausblick auf autonomes Parken und Laden liefert Informationen für Anforderungsprofile zur Konzeption einer „Parktankanlage der Zukunft“.

1.2 Methodik

Im ersten Schritt erfolgt einer Recherche zum Stand der Technik mit Fokus auf Elektrofahrzeug-Schnellladetechniken. Analysen zum Lade- und Mobilitätsverhalten, sowie Kraftfahrzeug-Verkehrsdaten werden recherchiert und es erfolgt ein Abschätzung der erforderlichen Ladeleistung von E-Fahrzeugen auf Langstreckenabschnitten. Die Ergebnisse werden zur Ermittlung infrastruktureller Anforderungen und Technologien für E-Tankstellen unter Berücksichtigung von möglich kurzen Ladezeiten durch Schnellladestationen herangezogen.

Des Weiteren wird der Ablauf von Lade- und Tankstellenbesuchen autonom fahrender und -parkender Elektrofahrzeuge modellhaft dargestellt. Vollautomatisierte Park- und Ladevorgänge ermöglichen innovative und kundenfreundliche Service- und Dienstleistungskonzepte, welche auf Basis der modellhaften Untersuchungen diskutiert werden.

2 Analyse des Standes der Technik (E-Tankstellennetz)

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit dem Stand der Technik, sowie aktuellen Entwicklungs- und Forschungstätigkeiten im Bereich der Ladeinfrastruktur und der Schnellladetechniken. Laut der Internetplattform Chargemap sind in Österreich 799 E-Ladestationen mit 2256 Ladeanschlüssen registriert. Bei einer Anzahl von ca. 21000 gemeldeten E- bzw. Hybridfahrzeugen entspricht dies einer Dichte von 26 Elektro- bzw. Hybridfahrzeuge pro Ladestation. Zum Vergleich sind es in Norwegen durchschnittlich 42 Fahrzeuge pro Ladestation [4], [5]. Ein Durchschnittsvergleich der Stationen-Dichte verschiedener Länder gibt jedoch nur einen unzureichenden Einblick in die tatsächliche Bedarfs- und Nutzungssituation von Ladestationen. Für eine genauere Betrachtung müssen regionale Gegebenheiten, technische Ausführungen von Stationen und Fahrzeugen, sowie das Nutzerverhalten berücksichtigt werden.

2.1 Tesla

Tesla gilt als der Vorreiter in der Entwicklung einer langstreckentauglichen Ladeinfrastruktur. Weltweit sind 445 Supercharger-Ladestationen mit je über 120 kW Ladeleistung an strategisch wichtigen Verkehrspunkten vorzufinden. Die Größe des elektrischen Energiespeichers des Tesla Model S mit bis zu 85 kWh [6] ermöglicht mehrere hundert Kilometer Reichweite, und die Verfügbarkeit der unternehmenseigenen Schnelllade-Infrastruktur versucht erfolgreich die Sorge der Fahrzeugbesitzer um die Langstreckentauglichkeit des Fahrzeuges zu entkräften. Die kostenfreie Nutzung der

Ladestationen kann als zusätzlicher Anreiz gewertet werden. Die hauptsächlich für die Versorgung auf Langstrecken gedachten Tesla-Ladestationen werden äußerst positiv angenommen, nicht nur zum Zwischenladen auf längeren Reisen. Die Verfügbarkeit eines „Superchargers“ in näherer Umgebung veranlasst auch Tesla-Besitzer, die nicht auf Langstreckenfahrt sind, ihr Fahrzeug dort, anstatt zuhause zu laden. In der Literatur finden sich bereits Berichte von zeitweiligen Engpässen, Überlastungen und Wartezeiten an Tesla-Schnellladestationen [7]. Eine Umfrage in Nordamerika mit 737 Tesla-Fahrern bezüglich deren Einschätzung der aktuellen und zukünftigen Überfüllung von Supercharger-Stationen zeigt die Sorge um die zukünftige wartezeitfreie Nutzung (siehe Abbildung 3) [8].

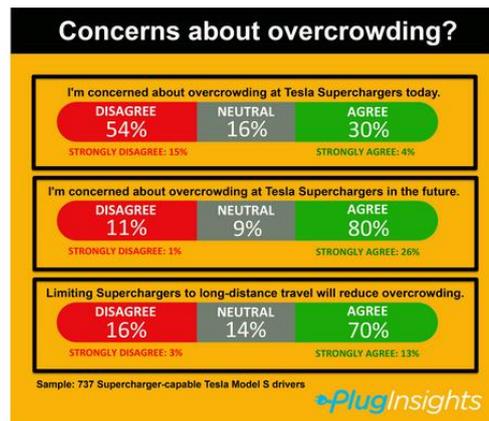


Abbildung 3: Ergebnisse einer Umfrage zur Nutzung von Tesla Supercharger-Ladestationen [8]

2.2 Villacher Ladestation

Die zurzeit größte und leistungsfähigste E-Tankstelle in Österreich befindet sich in Villach und wurde von der KELAG (Kärntner-Elektrizitäts-Aktiengesellschaft) in Zusammenarbeit mit Tesla-Motors in der Nähe des Autobahnkreuzes von A2, A10 und A11 errichtet. 16 Fahrzeuge können mit einer maximalen Leistung von 830 kW geladen werden. Für die nötige Leistungsversorgung sorgt eine eigens errichtete Trafostation mit zwei Transformatoren [9]. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der vorhandenen Universal-Schnellladestationen, Anschlussstypen und Ladeleistungen. Durch die zahlreichen umliegenden Einkaufs- und Rastmöglichkeiten kann der E-Fahrer die Lade- und Parkpausen sinnvoll nutzen.

	Anschluss/Steckertyp	Leistung	max. Leistung (Ladesäule)	max. Gesamtleistung
Ladesäule 1	Typ 2	AC 22 kW	44 kW	828 kW
	Typ 2	AC 22 kW		
Ladesäule 2	Typ 2	AC 22 kW	44 kW	
	Typ 2	AC 22 kW		
Schnellladesäule 1	Typ 2	AC 43 kW	100 kW	
	CCS	DC 50 kW		
	CHAdeMO	DC 50 kW		
Schnellladesäule 2	Typ 2	AC 43 kW	100 kW	
	CCS	DC 50 kW		
	CHAdeMO	DC 50 kW		
Tesla Supercharger	8xTesla Supercharger	DC 135 kW/Säule	540 kW	

Tabelle 1: Anschlüsse und Leistungen der Villacher E-Ladestation [10]



Abbildung 4: Ladestation in Villach [10]

2.3 Beispiele aus dem aktuellen Stand der Forschung

In Industrie und Forschung wurde die Signifikanz von Ladestationen für die Zukunft der Elektromobilität bereits erkannt. Ein Beispiel für eine (inter-)urbane Schnellladeinfrastruktur liefert die ChargeLounge (siehe Abb. 5). Das Konzept besteht aus zwei Raummodulen, in welchen die Technik für 3 Ladestationen und eine Lounge mit W-LAN und Getränkeautomaten untergebracht sind. Ein eigener Business-Bereich ermöglicht geschäftliche Treffen, sowie Telefon- und Videokonferenzen. Zum Laden werden 3 AC/DC-Multilader bereitgestellt, welche alle gängigen Ladestandards unterstützen (CCS, CHAdeMO, Tesla, Typ-2-AC). Eine Pufferbatterie ermöglicht hohe Ladeleistungen auch bei einem Standard-Stromnetzanschluss. Ein Feldtest mit 10 Prototypen ist geplant. Ziel des Projektes ist eine Verbreitung der Ladestationen in Deutschland, Schweiz und Österreich mit über 1000 ChargeLounges bis 2020 [11].

Ein weiteres deutsches Großprojekt mit welchem BMW, Daimler, Porsche und VW, sowie Energie- und Forschungsunternehmen das Schnellladenetz der Zukunft erforschen wollen, nennt sich SLAM (Schnellladenetz für Achsen und Metropolen). An den Hotspots im deutschen Verkehrsnetz sollte es zukünftig möglich sein, ein Elektrofahrzeug mit bis zu 150 kW zu laden, was eine Verdreifachung der Ladeleistung des bisherigen DC-Schnellladenetzes entspricht. Die verkürzten Ladezeiten sollen den Komfort auf Langstrecken erheblich verbessern. In den nächsten 2 Jahren werden die ersten Hochleistungs-Ladestationen aufgebaut und als Plattform für ein Forschungsschnellladenetz genutzt. Die bereitgestellte Ladeinfrastruktur soll wichtige Inputs für den zukünftigen Bedarf an Schnellladesäulen prognostizieren; unterstützt durch Simulationstools und der Entwicklung von Standortkonzepten. Des Weiteren werden die Auswirkungen des Hochleistungsladens auf das Stromnetz bezüglich des Energie- und Lastmanagements untersucht [12].



Abbildung 5: ChargeLounge des Fraunhofer-Institutes [11]

3 Entwicklung der E-Fahrzeugflotte bis 2025 – Prognosen

Die zukünftigen Anforderungen an die Ladeinfrastruktur sind maßgeblich von der Entwicklung der Fahrzeugflotte abhängig. Die Prognosen für alternativ angetriebene Fahrzeuge bezüglich Verkaufszahlen und Neuzulassungen sind sehr unterschiedlich. Beispielhaft zeigt Abbildung 6 eine Übersicht verschiedener Annahmen und Vorhersagen. Der Grund in der Diversität liegt hauptsächlich in der Vielzahl an getroffenen Annahmen und Einflussparametern, wie Energiepreisentwicklungen, politische Maßnahmen oder technische Entwicklungen. Neben visionären Zielen mit Marktpenetrationen zwischen 40 % und 80 % bis 2030 weisen Trend- und Basisszenarien einen wesentlich geringeren Anteil von 2,5 % bis 20 % Marktanteil auf (Ausnahme Becker et al.). TA-SWISS schätzt zusätzlich die maximal am Markt produzierbare Anzahl an Elektrofahrzeugen ab, um die Aussagekraft verschiedener Prognosen beurteilen zu können [13].

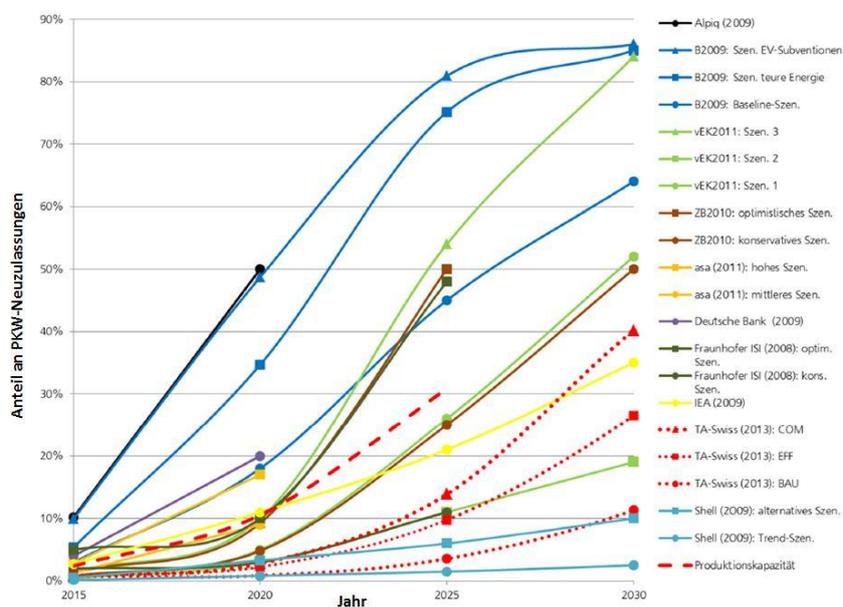


Abbildung 6: Spannweite der Marktpenetrationsszenarien [13]

Während für den Zeitraum 2030+ die Brennstoffzelle als interessantes Antriebskonzept mit hohem Marktpotenzial gilt [14], werden für die nahe Zukunft (teil-) elektrifizierte Antriebe als die vielversprechendste Alternative gesehen. Bezüglich des notwendigen Ausbaus der Infrastruktur sind die wichtigsten Konzepte – aufgrund der Möglichkeit zum Laden der Batterie an einer Steckdose - der Plug In-Hybrid (*plug in-hybrid electric vehicle*, PHEV), das reine Elektrofahrzeug (*electric vehicle*, EV) und das E-Fahrzeug mit Range Extender (*range extender electric vehicle*, REEV).

Der große Vorteil des elektrischen Antriebs ist eine hohe Gesamteffizienz von über 70%. Für den Kunden bedeutet dies relativ geringe Kosten für die zum Fahren benötigte Energie. Demgegenüber steht der in Relation zum konventionellen Fahrzeug hohe Anschaffungspreis und unsichere Restwert. Fokus der Forschung und Entwicklung zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ist folglich eine Steigerung der Reichweite bei gleichzeitiger Senkung der Kosten für den Stromspeicher [15].

3.1 Plug In-Hybridfahrzeuge

Der Antrieb eines hybridelektrischen Fahrzeugs (*hybrid electric vehicle*, HEV) ist mit Elektromotoren (EM) und einer Verbrennungskraftmaschine (VKM) ausgestattet. Je nach Drehmoment- und Leistungsanforderung des Fahrzustands, der Effizienz der jeweiligen Maschine in verschiedenen Betriebspunkten und des Ladestands des Energiespeichers interagieren die jeweiligen Antriebe. Das Ziel ist eine möglichst hohe Gesamteffizienz und Reduktion des Kraftstoffverbrauchs. Rein elektrisches Fahren ist aufgrund der geringen Kapazität des elektrischen Energiespeichers und der relativ zur VKM geringen Leistung nur bedingt und über kurze Strecken möglich. Der Haupt-Energiespeicher an Bord des Fahrzeugs ist der Kraftstofftank. Das Laden des Stromspeichers an einer Steckdose ist dabei nicht vorgesehen.

Im Plug In-Hybrid (*plug in-hybrid electric vehicle*, PHEV) finden sich neben einem leistungsfähigeren E-Antrieb eine größere Ausführung des Stromspeichers und die Integration eines Ladegeräts. Dies ermöglicht das Laden der Batterie an der Steckdose. Rein elektrisches Fahren ist über eine längere Strecke möglich. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt realisierte elektrische Reichweiten liegen bei etwa 40 km, bei einer elektrischen Speicherkapazität von rund 8 bis 12 kWh [16]. Die integrierte VKM und die damit verbundene uneingeschränkte Reichweite durch Betrieb mittels konventionellen Kraftstoffes erhöht die Attraktivität des Antriebskonzepts gegenüber einem reinen E-Fahrzeug. Demgegenüber stehen die komplexe Architektur des Antriebs, das erhöhte Gewicht und die resultierenden Kosten.

3.2 E-Fahrzeuge

Ein rein elektrischer Antrieb (*electric vehicle*, EV) besteht aus einem Ladegerät, welches den Strom aus der Steckdose zur Speicherung in der Batterie wandelt, einem relativ großen Akkumulator (übliche Kapazitäten liegen bei 16 bis 25 kWh), der Leistungselektronik zur Regelung des Motors und einem oder mehreren Elektromotor(en). Die Reichweite eines E-Fahrzeugs liegt je nach Fahrverhalten und klimatischen Bedingungen (und damit verbundener Nutzung von Nebenverbrauchern) zwischen 70 und 200 km [17], [18]. Das Tesla Model S gilt zum heutigen Stand der Technik als ein besonderer Vertreter des E-Fahrzeugs. Mit einer Speicherkapazität von bis zu 85 kWh ist auch eine gewisse Langstreckentauglichkeit gegeben. An der hauseigenen Ladeinfrastruktur (Tesla Supercharger) ist der Speicher nach 30 min zu 80 % geladen [6]. An einer herkömmlichen Haushaltssteckdose dauert dies jedoch einen Tag, wie Abbildung 7 zeigt.

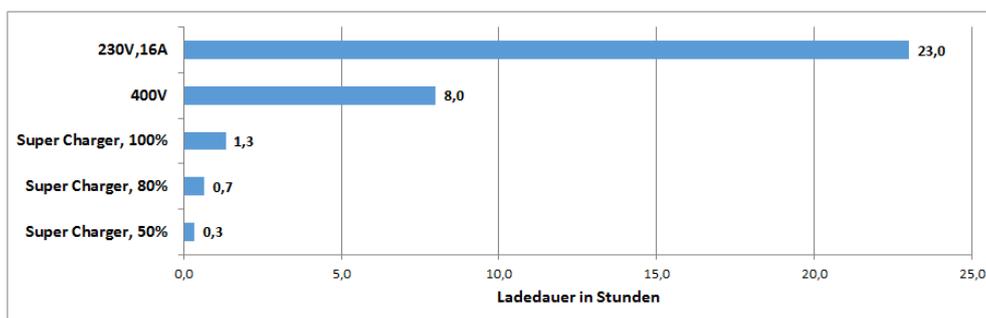


Abbildung 7: Ladezeiten des Tesla Model S p85.

Ein weiteres Antriebskonzept stellt das *range extender electric vehicle* (REEV) dar. Hier befindet sich neben dem Stromspeicher eine Verbrennungskraftmaschine als Stromgenerator, der bei leerer Hauptbatterie elektrischen Strom an Bord erzeugt und die Batterie lädt. Die VKM dient somit zur Erhöhung der Reichweite. Die Anordnung entspricht dem Konzept des seriellen Hybrids [19]. Eine mechanische Kopplung der VKM an die Antriebsräder ist dabei nicht vorgesehen.

3.3 Energieverbrauch (teil-) elektrisch betriebener Fahrzeuge

Tabelle 2 zeigt gemittelte Energieverbräuche einer synthetischen, typischen Flotte an Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb. Bis 2020 kann laut dem Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU) von einer Effizienzsteigerung der elektrisch betriebenen Fahrzeuge von 1,2 %/p.a. ausgegangen werden [20]. Ein wesentlicher zusätzlicher Einfluss auf den Energiebedarf elektrisch betriebener Fahrzeuge, der hier nicht berücksichtigt wird, ist die Nutzung von Nebenverbrauchern wie Heizung und Klimatisierung. Eine durchschnittliche tägliche Fahrleistung im Pendlerverkehr von knapp 50 km [21] führt demnach zu einem elektrischen Energieverbrauch von etwa 8,5 kWh. Auf Langstrecken ist bei Stopps in einem Intervall von 200 km mit einem Energiebedarf von 68 kWh pro Tankstelle zu rechnen, sofern die Kapazität des Stromspeichers dies ermöglicht. Für PHEV und REEV werden in dieser Abschätzung aufgrund der in etwa selben Effizienz des Antriebsstrangs im elektrischen Betriebsmodus dieselben Verbrauchswerte definiert.

Energieverbrauch (kWh/100km)	Anmerkungen
17	Urbaner Verkehr, 20°C
34	Autobahn, 20°C

Tabelle 2: Energieverbrauch des elektrischen Antriebs verschiedener Fahrzeugkonzepte.
Berechneter Durchschnitt einer typischen Fahrzeugflotte [17], [16], [14], [22]

3.4 Technische Aspekte des Ladens

Neben dem Verbrauch des E-Fahrzeuges im Betrieb sind Verluste während des Ladens und Entladens der Batterie wichtige Faktoren in der Gesamtenergiebilanz. 2012 ergaben Praxistests einer synthetischen E-Fahrzeugflotte gemittelte Ladeverluste inkl. Laderegulierung (12V-Netz) von 17,5 % und Entladeverluste von 7,3 % [17]. Die Verluste variieren nach Fahrzeugtyp sehr stark, in Zukunft ist von einer wesentlichen Verbesserung der Batterie- und Ladetechnik auszugehen. Die Effizienz des Ladens beeinflusst weiter die Dauer des Ladevorgangs, wie auch die Lebensdauer der Akkumulatoren. Eine geforderte Batterie-Lebensdauer von 10 - 15 Jahren erfordert die Auslegung der Speicher für 3000 – 5000 Ladezyklen, und das ohne wesentliche Parametereinbußen bezüglich Speicherkapazität, Leistungsdichte und Lade- bez. Entladewirkungsgrade. Die Verbesserung des Schnellladeverhaltens für PHEV- und EV-Batterien zur Reduktion der Ladezeiten ist somit als wesentliche Herausforderung zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von E-Fahrzeugen anzusehen.

Abbildung 8 zeigt die mögliche Fahrdistanz bei einer Stunde Ladezeit sowie die Ladedauer für 100 km Fahrstrecke bei konstanter Fahrt mit 100 km/h, basierend auf den verschiedenen Ladetechniken und dem durchschnittlichen Energieverbrauch von E-Fahrzeugen in

Praxistests [17]. Die Lade- und Entladeverluste wurden mit 10 % kalkuliert. Durch die Nutzung von hohen Ladeleistungen von bis zu 170 kW zeigt sich eine signifikante Verkürzung der Ladedauer [23].

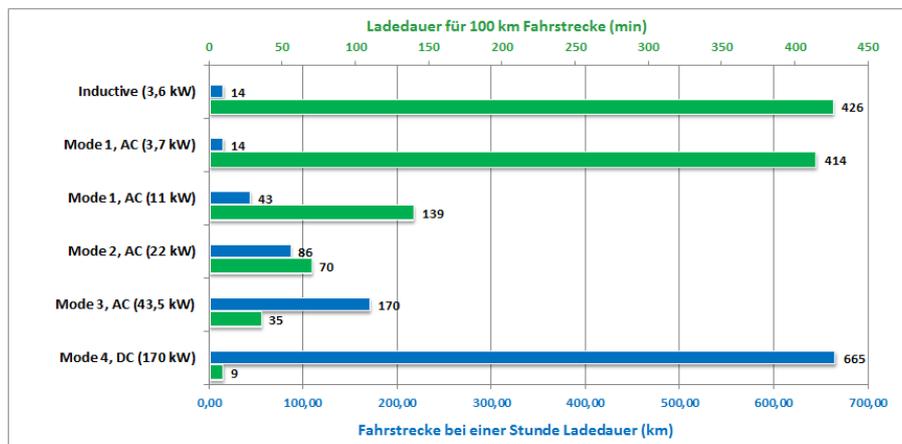


Abbildung 8: Vergleich der verschiedenen Ladesysteme

4 Mobilitäts- und Ladeverhalten

Das Mobilitäts- und Ladeverhalten hat einen Einfluss auf die infrastrukturellen Anforderungen und die Nutzung des Lade-Netzes. Hat der Tankvorgang bei konventionell betriebenen Fahrzeugen eine vergleichsweise geringe zeitliche Einflussnahme auf das Park- und Pausenverhalten - vor allem bei Langstreckenfahrten - müssen bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen auf Grund der limitierten Reichweite und der Ladezeiten Einschränkungen in Kauf genommen werden. Die lange Ladedauer und die aktuell noch geringe Verfügbarkeit von E-Tankstellen werden von vielen Interessenten der Elektromobilität als Einschränkung empfunden [24]. Ein uneingeschränkter Zugang zu Schnellladestationen in Verbindung mit langstreckentauglichen Fahrzeugreichweiten könnte die Langstreckenmobilität zukünftig stark beeinflussen und fördern. Eine Auswahl von zukünftig nötigen Verhaltensänderungen von E-Mobilität-Nutzern zeigt Abbildung 9 [25]. Die Einflüsse auf Verhaltensänderungen bei den Fahrzeug-Anschaffungskosten sowie den laufenden Kosten wurden vom Autor nicht näher beschrieben. Besonders auf Langtrecken wird der Ladevorgang mit Fahrpausen kombiniert werden (müssen). Die wesentlichen Kriterien aus Sicht eines Tankstellenbetreibers sind die Lade- und Parkdauer, sowie die erforderlichen Ladeleistungen zur raschen Füllung des elektrischen Energiespeichers. Des Weiteren ergibt sich die Fragestellung, wie die Wartezeit für Kunden sinnvoll und für den Betreiber lukrativ überbrückt werden kann.

Behavioral Change Needed for Electrification	
Conventional Vehicle	Battery Electric Vehicle
Get in the car and go	→ Plan ahead and be reasonable
Refuel when you stop	→ Recharge while you park
One size fits all	→ A car specifically tailored for the job
Get what you pay for	→ Pay more, get less...
Low upfront cost	→ High(er) initial / low(er) reoccurring cost
Start engine, warm it up	→ Push button and go
High power = low mpg	→ High power + low guilt
Sound as feedback / style	→ Silent driving
Jerkiness from shifting	→ Shift-free driving
Pay for infrastructure	→ HOV-lane access, preferred parking, low tax
Go to gas station every week	→ Charge every night, car is always full

Abbildung 9: Verhaltensänderungen für die E-Mobilität [25]

Nachdem oftmals die geringe Reichweite bei E-Fahrzeugen als Kaufhindernis gesehen wird, zeigt bspw. eine Studie des Fraunhofer-Institutes, dass eine ausreichend vorhandene Ladeinfrastruktur und möglichst schnelle Ladezeiten wichtiger sind als die technische Reichweite des Fahrzeuges. In der Untersuchung wurden mehrere kurze Ladepausen gegenüber wenigen, dafür deutlich längeren Pausen präferiert [26]. Tabelle 3 zeigt eine Sammlung akzeptabler Ladezeiten als Ergebnis einer umfassenden Literaturrecherche. Nach einer Umfrage wollen Fahrer von E-Fahrzeugen auch unterwegs tanken und es wird die Wichtigkeit kurzer Ladezeiten beschrieben. Sehr gerne werden hierbei Schnellladestationen aufgesucht, um schnellstmöglich die Batterien zu laden [27]. Zum Ladeverhalten von E-Fahrzeugen in urbanen Bereichen und der nahen Umgebung gibt es zahlreiche Untersuchungen (siehe Tab. 4). Eine Übersicht der Häufigkeitsverteilung der Nutzung von verschiedenen Ladetypen zeigt Abbildung 10, welche Ergebnisse einer Studie, die mit Probanden in England durchgeführt wurde, darstellt [28]. Während für das Laden zuhause oder am Arbeitsplatz Stoßzeiten festgestellt werden können, gilt für Ladestellen im öffentlichen Raum eine relativ konstante Nutzung über den Tagesverlauf.

Quelle	Jahr	Akzeptable Ladezeit	Anmerkung
[26]	2015	40 min	Maximum (20 min werden als nicht störend empfunden)
[29]	2013	15-30 min	Mobilitätsbedürfnisse Highway
[30]	2012	30 min	Für 15 % der Befragten; 36 % ist der Meinung das der Ladevorgang nicht mehr als 2 Stunden beanspruchen darf

Tabelle 3: Übersicht einer Untersuchung zur Dauer von Ladevorgängen [26], [30], [29]

Quelle	Ortsbezug	Laden zuhause	Laden öffentlich	Anmerkung
Smart und Schey 2012	USA	82 %	18 %	347.222 Ladevorgänge und 1,05 Ladevorgänge pro Fahrzeug am Tag
Franke und Krens 2013	DE	83,7 %	17,3 %	3,1 Ladevorgänge pro Fahrzeug in der Woche
Robinson et al. 2013	GB	70 %	30 %	-
NPE 2012	DE	80 %	20 %	

Tabelle 4: Untersuchungen zum Ladeverhalten [13]

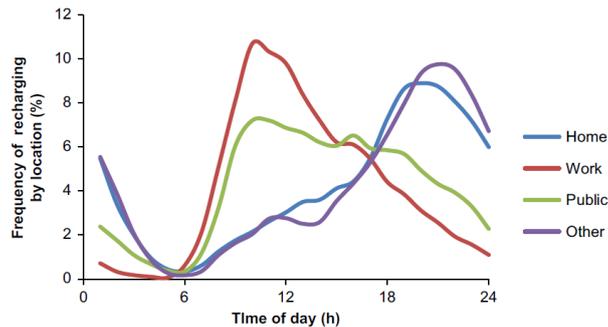


Abbildung 10: Häufigkeitsverteilung von Ladevorgängen je nach Ladetyp [28]

4.1 Langstrecken-Mobilitätsverhalten

Durch die zu erwartende Verkehrszunahme und den Ausbau des Straßennetzes wird in Österreich bis 2025 eine gesamte PKW-Fahrleistung von 30,026 Mrd. Kilometer auf Autobahnen und Schnellstraßen prognostiziert [31]. Zum Langstrecken-Mobilitätsverhalten gibt Abbildung 11 einen Überblick über die durchschnittlichen Fahrleistungen an einem Tag. Nur 10 % der Befragten fahren täglich eine Strecke von über 100 km; Distanzen über 250 km legen lediglich 1,2 % der befragten Nutzer zurück. Strecken von mehr als 500 km werden jährlich nur 5-mal absolviert gefahren [32]. Trotz dieser Tatsachen stellen Kunden hohe Anforderungen an die Langstreckentauglichkeit von PKW. Sollten sich die Reichweiten in den nächsten Jahren erheblich verbessern, werden auch die Langstreckenkilometerleistungen mit E-Fahrzeugen stark zunehmen, was eine stärkere Auslastung der Schnellladenetze mit sich bringen könnte. In den Szenarien, wo E-Fahrzeuge konventionell-betriebene Fahrzeuge ersetzen können steigt auch die Nachfrage an Schnellladestationen in der Nähe von hochfrequentierten Straßen stark an.

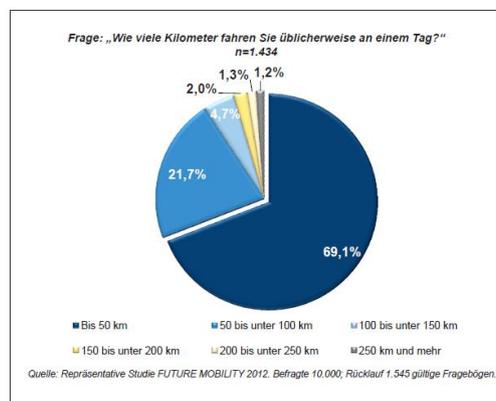


Abbildung 2: Durchschnittliche Fahrleistung an einem Tag

Abbildung 11 : Fahrleistungen an einem Tag, Studie mit 1545 Befragten PKW Nutzern [32]

4.2 Untersuchungen zum Ladeverhalten

Anhand der Studien des US-Departements of Energy zum Laden von Elektrofahrzeugen aus den Jahren 2012 und 2013 wurde die Nutzung von 3,6 kW Typ-2 Ladestationen und 22 kW Schnellladestationen analysiert. 2012 wurden 1,82 % der gesamten Ladeenergie von 3,2 GWh über Schnellladestationen entnommen; 2013 waren es bereits 4,82 %. Der Anteil der öffentlichen Typ-2 Ladestationen blieb in der betrachteten Region annähernd gleich (2012: 9,5 % und 2013: 9,6 %). Die durchschnittlichen täglichen Ladevorgänge an

Schnellladezapfsäulen stiegen in einem Jahr von 1,86 auf 3,78; bei öffentlichen Typ-2 Ladesäulen konnte keine steigende Nutzung festgestellt werden. Die durchschnittliche Ladedauer an Schnellladern betrug in beiden Jahren 20 min. Dieses Ergebnis deckt sich mit den von Kunden als akzeptabel angegebenen Ladezeiten (siehe Tab. 3).

Um genauere Aussagen zum Ladeverhalten zu erarbeiten, wurden Aufzeichnungen an der E-Tankstelle in Villach analysiert. Im beobachteten Zeitraum wurden bei 981 Ladevorgängen 8,2 MWh entnommen, wovon 93,44 % an den 6 Schnellladern (43,5 kW und 50 kW) und nur 6,56 % an den 4 Typ-2 Ladestationen (22 kW) bereitgestellt wurden. Ein CHAdeMO-, CCS- oder Typ-2 43,5 kW-Anschluss könnte somit am selben Standort bis zu 9 Typ-2 22 kW-Anschlüsse ersetzen. Auch die tägliche Nutzung der schwächeren Ladestationen viel vergleichsweise gering aus. Die durchschnittliche Ladedauer der Schnelllader über 43,5 kW liegt zwischen 15 und 23 min; beim „Langsamlader“ liegt dieser Wert bei etwa einer Stunde. Für zukünftige Prognosen über den Leistungsbedarf für Spitzenlasten spielt der Ladezeitpunkt eine wesentliche Rolle. Abbildung 14 zeigt die tägliche Nutzung der betrachteten 87 öffentlichen Schnellladestationen des US-Departements of Energy von 2013. Zwischen 7 Uhr morgens und 20 Uhr abends ist eine annähernd gleiche Nachfrage zu verzeichnen. Dieses Ladeverhalten deckt sich mit der Auswertung der 10 Ladestationen der E-Tankstelle in Villach (siehe Abb. 15).

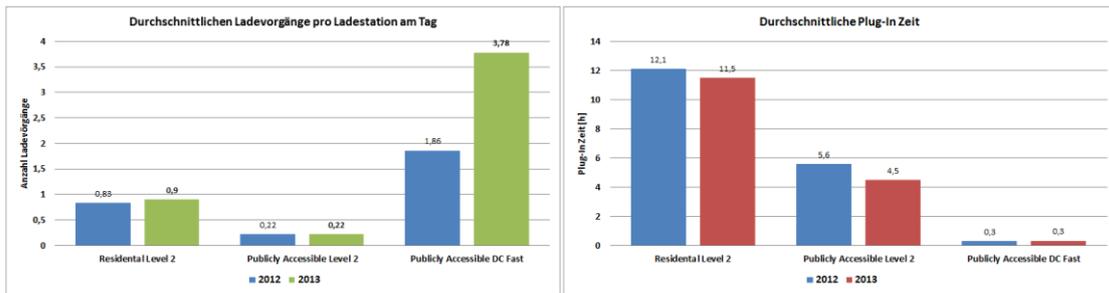


Abbildung 12: Durchschnittliche Ladevorgänge pro Ladesäule und Plug-In-Zeit pro Ladevorgang in den Jahren 2012 und 2013 [33]

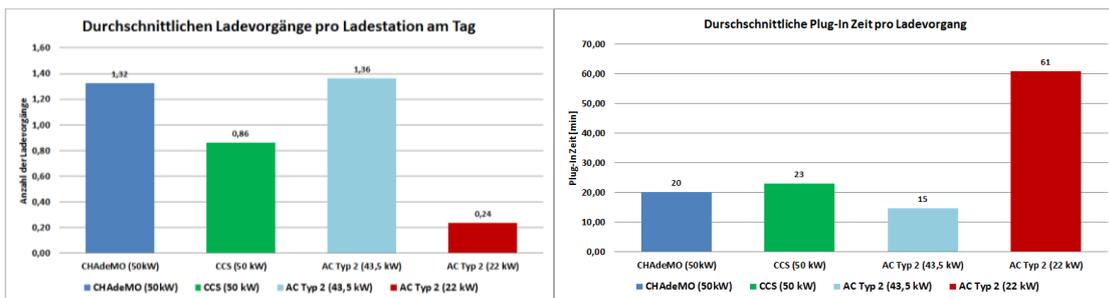


Abbildung 13: Durchschnittliche Ladevorgänge pro Ladestation und Plug-In-Zeiten pro Ladevorgang

Charging Availability: Range of Percent of Charging Units with a Vehicle Connected versus Time of Day³

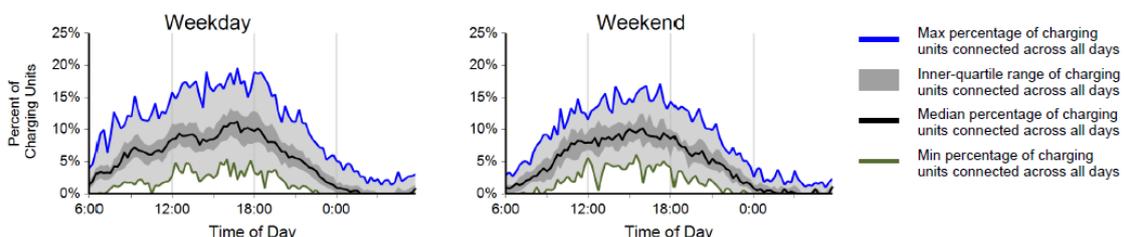


Abbildung 14: Verteilung der Ladevorgänge über den Tag [33]

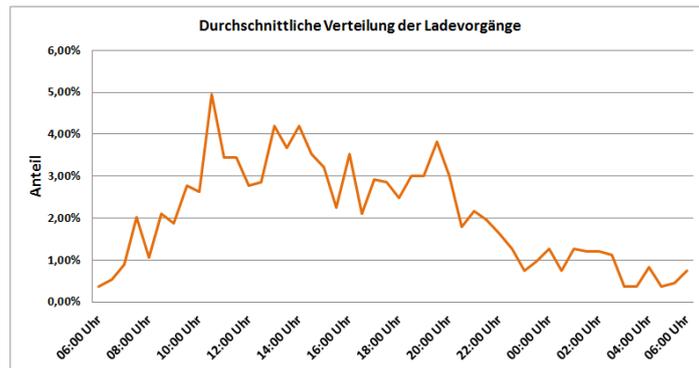


Abbildung 15: Verteilung der Ladevorgänge auf Villacher Ladestation

4.3 Beobachtungen an einer Supercharger Ladestation

Vom Fahrzeughersteller ist es so vorgesehen, dass die Tesla-Supercharger vorwiegend für das Zwischenladen auf Langstrecken genutzt werden sollten; deshalb befinden sich diese auch hauptsächlich in Autobahnnähe. In Österreich sind 9 Tesla Stationen mit insgesamt 49 Lade-Anschlüssen vorhanden. Auf Basis der aktuellen Anmeldestatistik von 684 Tesla-Fahrzeugen (0.01% des gesamten Fahrzeugbestandes in Österreich) fallen durchschnittlich 76 Fahrzeuge auf eine E-Ladestation und 14 Fahrzeuge auf einen E-Ladeanschluss [6], [34]. Um weitere Informationen zum Schnellladeverhalten von Tesla Kunden in Erfahrung zu bringen, wurden Beobachtungen an einer Supercharger-Station durchgeführt. Untersuchungen an einer Grazer Tesla-Station zeigten, dass an einem Wochentag zwischen 12 Uhr und 14 Uhr eine hohe Auslastung der 4 Ladesäulen vorhanden ist. Die zum Aufladen geparkten Fahrzeuge stammten größtenteils aus fernerer Umgebung, was auf eine längere Fahrstrecke vor Ladebeginn schließen lässt. Der längste Ladevorgang wurde mit 1h 25 min und der Kürzeste mit 15 min dokumentiert. Abbildung 1 zeigt die Schnellladestation im beobachteten Zeitraum.



Abbildung 16: Supercharger-Schnellladestation

5 Die Tankstelle der Zukunft – Anforderungen und Konzepte für die Infrastruktur 2025

Die Recherchen und Analysen zeigen eine erhöhte Nachfrage an Schnelllade-Stationen. Studien über das Langstreckenverhalten sind auf Grund der begrenzten Verfügbarkeit entsprechender E-Fahrzeuge mit hoher Reichweite noch rar. Erkenntnisse aus einer Fraunhofer Studie [26] zeigen aber, dass auch E-Fahrzeuge durchaus für die Langstrecke, unter der Einhaltung von gewissen Pausenobergrenzen, nutzbar sein können. Steigen die Reichweiten der E-Fahrzeuge auf ein langstreckentaugliches Maß, und sind die Ladezeiten mit jenen eines konventionellen Tank- und Pausenvorganges zu vergleichen, werden sich E-

Fahrzeuge auch auf Langstrecken durchsetzen können. Um den Kundenwunsch nach kurzen Ladezeiten (< 30 min) erfüllen zu können, müssen zukünftige E-Tankstellen entsprechende Ladeleistungen und eine ausreichende Anzahl an Ladestationen anbieten. Durch Einsatz von 150 kW Schnellladestationen ist es möglich, in einer halben Stunde ausreichend Energie für eine Fahrstrecke von 200 km zu "betanken" (angenommener Verbrauch bei Autobahnfahrt: 34 kWh/100km, 10% Ladeverluste). Dies entspricht einer akzeptablen Wartezeit bei ausreichend langer Fahrtstrecke. Wächst das Angebot an langstreckentauglichen E-Fahrzeugen, kann der Bedarf an Schnellladestationen in den nächsten Jahren sehr stark ansteigen; vor allem für Fahrten auf Autobahnen, wo nur kurze Ladezeiten akzeptiert werden. Um viele Fahrzeuge an einem Standort gleichzeitig möglichst schnell betanken zu können, sind hohe Ladeleistungen notwendig, welche vom Leistungsnetz bereitgestellt werden müssen. Um ortsspezifische Prognosen des Leistungsbedarfes für eine E-Tankstelle durchführen zu können, ist eine Analyse der Fahrzeugladefrequenzen, sowie des Mobilitätsverhaltens nötig; des Weiteren bedarf es einer genaueren lokalen Analyse der beschriebenen Einflussfaktoren.

Neben den genannten Herausforderungen entstehen für den Tankstellenbetreiber auch neue Chancen und Möglichkeiten, indem sich neue Märkte und Geschäftsideen verwirklichen lassen. Der Elektrofahrzeug-Fahrer wird eine längere Fahrt vorab planen und sich während der Ladepausen mit den zusätzlichen Angeboten der Tankstelle beschäftigen; somit wird die E-Mobilität die Tankstelle der Zukunft auch in der Richtung der Servicedienstleistungsangebote verändern.

Die eigenständige Parkplatzsuche gehört mit 66,3% Zustimmung aller Befragten aus einer Studie für Konsumentenforschung zu den wichtigsten Funktionen, welche sich Kunden in der Zukunft von Fahrzeugen erwarten [35]. Durch die zukünftige vernetzte Kommunikation von Fahrer, Fahrzeug und Infrastruktur könnte auch der Ladevorgang mit Hilfe des selbstfahrenden und -parkenden Autos automatisiert werden. Konduktive DC-Schnelllader können hohe Leistungen bereitstellen, erfordern aber neue Technologien und Ansätze für einen automatisierten Ladeprozess. Abbildung 18 zeigt ein an der Technischen Universität Graz entwickeltes Konzeptvorschlag zur automatisierten Aufladung von Elektrofahrzeugen, unabhängig vom Fahrzeugtyp [36]. Mit Hilfe eines portalkran-ähnlichen Systems kann ein Roboterarm eine Anzahl von geparkten Fahrzeugen bedienen. Anhand eines Tankstellenkonzeptes für das Jahr 2025 (siehe Abb. 17) wäre folgendes Szenario denkbar: Der Kunde parkt sein Fahrzeug vor dem Einkaufszentrum, das Fahrzeug fährt autonom zum nächsten freien Parkplatz, oder direkt zur Lade- und Tankstation. Nach der erfolgreichen automatisierten Betankung (elektrisch oder fossil) kann der Fahrer nach seiner Shopping Tour, Nutzung des Restaurants oder der WLAN-Lounge über eine Handy-App sein Fahrzeug zum Eingang rufen. Weitere Fahrzeug-Dienstleistungen, wie Fahrzeugwäsche oder Fahrzeugservice, etc. können nach dem automatisierten Tankvorgang durchgeführt werden. Der Kunde kann in Ruhe seinen Tätigkeiten nachgehen und bei Bedarf das Fahrzeug über sein Handy verfolgen. Parkplatzsuche, Wege zum Fahrzeug, sowie der gesamte Tankvorgang und Servicedienstleistungen am Fahrzeug werden automatisiert durchgeführt.

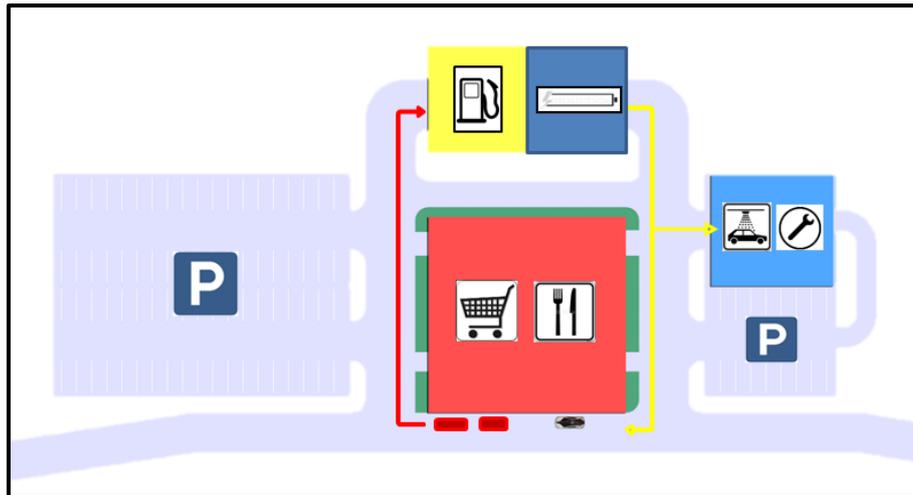


Abbildung 17: Schematische Darstellung einer Tankstelle 2025

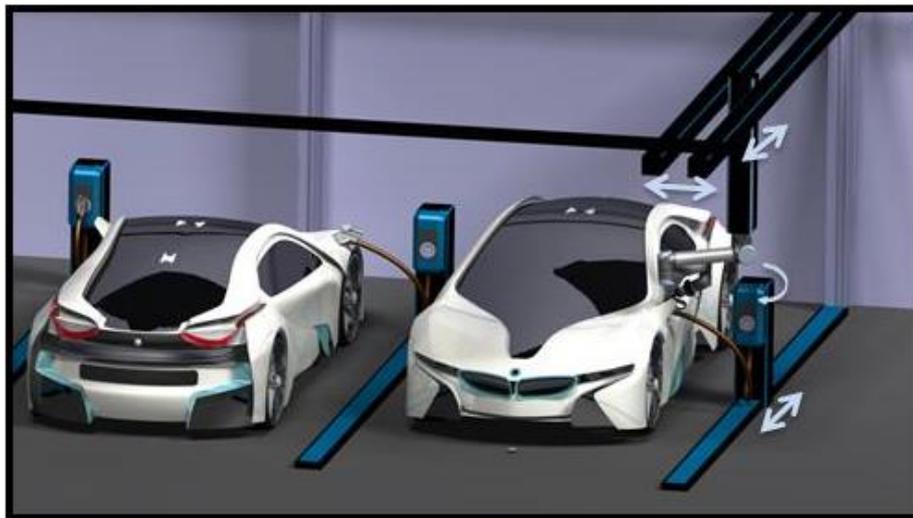


Abbildung 18: Konzept für automatisiertes Laden von verschiedenen E-Fahrzeugtypen [36]

6 Zusammenfassung

Untersuchungen zeigen, dass Kunden an öffentlichen Tankstellen für E-Fahrzeuge Schnellladestationen bevorzugen und im Durchschnitt ca. 20 min für den Ladevorgang aufwenden. Innerhalb von nur einem Jahr verdoppelte sich der Energiebedarf an öffentlichen Schnellladestationen; an Typ-2 Ladesäulen mit nur 3,6 kW Ladeleistung konnte kein steigender Bedarf festgestellt werden. Ein Trend zeigt, dass Nutzer von E-Fahrzeugen ihr Fahrzeug gerne während einer Kaffeepause oder eines Shopping-Aufenthaltes betanken, und weniger zuhause aufladen.

In den letzten Jahren schritt die technische Entwicklung bei E-Fahrzeugen und der Ladetechnik stark voran; somit kann das E-Fahrzeug nicht mehr als ein Fahrzeugkonzept für rein urbane Nutzung betrachtet werden. Dass auch Langstreckenfahrten mit E-Fahrzeugen unter den richtigen Voraussetzungen möglich sind, zeigt Tesla. Es ist abzuwarten, ob weiteren E-Fahrzeugkonzepte in den nächsten Jahren auf den Markt kommen werden, welche durchaus Langstreckentauglichkeit aufweisen. Sollten diese Fahrzeuge auf Grund ihrer Leistungsdaten konventionell angetriebene Fahrzeuge ersetzen können, wird auch die Nachfrage an Schnellladestationen rasant zunehmen. Vergleicht man den geringen Anteil an

Fahrzeugen der Marke Tesla mit deren Nutzung der Schnellladesäulen, ist in Zukunft mit einer erhöhten Nachfrage dieser Technik besonders an Autobahnen und Schnellstraßen zu rechnen.

Schnellladestationen bieten die Möglichkeit, in entsprechend kurzer Zeit genügend Leistung für die nächste Fahrt, bzw. Weiterfahrt zur Verfügung zu stellen. Hinsichtlich des Langstreckenverhaltens konnten auf Grund der zurzeit noch relativ geringen Anzahl von E-Fahrzeugnutzern nur begrenzte Aussagen getroffen werden. Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine Sammlung von Kennzahlen, welche auf Studien beruhen, die in Nordamerika und Mitteleuropa durchgeführt wurden. Des Weiteren wurden am Institut für Fahrzeugtechnik verschiedene Untersuchungen zum Nutzerverhalten von E-Fahrzeugbesitzern durchgeführt. Um die Qualität der Prognosen zu verbessern, bedarf es weiterer Forschungstätigkeiten, welche auf eine ausreichende Anzahl an E-Fahrzeugen mit entsprechender Reichweite aufbauen.

Das in der Arbeit modellhaft dargestellte Tankstellenkonzept für das Jahr 2025 inklusive automatisiertes Laden weist auf die Möglichkeiten von autonomem Parken und Laden hin und liefert weitere Anforderungen zur Konzeption einer „Parktankanlage der Zukunft“. So ist es durchaus denkbar, dass in wenigen Jahren die Nutzer von E-Fahrzeugen die Wartezeit zum automatisierten Betanken, Säubern und Durchführen von Servicedienstleistungen sowie fürs Essen, den Einkauf oder eine Kaffeepause nutzen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] D. Witt: „Telsa Motors Presentation,“ 2013, Tesla-Motors, online unter: <http://www.advancedenergy.org/portal/>, heruntergeladen am: 25.01.2016
- [2] 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: 25.01.2016
- [3] 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
- [4] Chargemap: „Chargemap Statistiken“, 2015, online unter: <https://de.chargemap.com/stats>, letzter Zugriff am: 29.01.2016
- [5] EV NORWAY: „Elektrofahrzeugbestand Norwegen“, 2016, online unter: <http://www.evnorway.no/#/now>, letzter Zugriff am: 25.01.2016
- [6] Tesla-Motors: „Tesla Motors Technische Fahrzeugdaten“, 2016, online unter: https://www.teslamotors.com/de_AT/models, letzter Zugriff am: 30.01.2016
- [7] Autobild: „Ärger wegen der Supercharger“, 2015, online unter: <http://www.autobild.de/artikel/tesla-supercharger-6028561.html>, letzter Zugriff am: 30.12.2015
- [8] PlugShare, „Superchargers Restricted to Long Trips? Tesla Drivers Weigh In“, 2015, online unter: <http://company.plugshare.com>, letzter Zugriff am 27.01.2016
- [9] KELAG: „Kelag und Tesla: Die größte und leistungsfähigste E-Tankstelle in Österreich“, 2015, online unter: <http://www.ots.at>, letzter Zugriff am: 15.01. 2016
- [10] G. Habich: „KELAG-Kärntner Elektrizitäts Aktiengesellschaft: Villacher E-Tankstelle“, 2016, Villach
- [11] Das Fraunhofer Institut: „Chargelounge: schnelles Laden neu erfunden!“, 2014, http://www.chargelounge.de/download/chargelounge_presetexte.zip, heruntergeladen am: 20.01.2016
- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: „Schnellladenetz für Achsen und Metropolen – SLAM rüstet sich für Hochleistungs-Schnellladen mit bis zu 150kW.“, 2015, Presseinformation, online unter: http://www.slam-projekt.de/pdfs/2015-07-20_PM_SLAM.pdf, heruntergeladen am: 10.01.2016
- [13] A. Siegrist, P. Schnabl: „Elektromobilität - Studie Ladeinfrastruktur Region Basel“, 2014, Zürich, online unter: <https://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/>, heruntergeladen am: 15.01.2016
- [14] R. HAAS: „Entwicklung von Szenarien der Verbreitung von PKW mit teil- und vollelektrifiziertem Antriebsstrang unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen“, 2009, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft

Wien, TU Wien

- [15] Horvath und Partners: „Durchschnittliche Reichweite von Elektrofahrzeugen durchbricht 200-Kilometer-Grenze“, Pressemitteilung, 2015, online unter: <http://www.horvath-partners.com/de/presse/>, letzter Zugriff am: 20.12.2015
- [16] B. Geringer, W. Tober: „Plug-In Hybridfahrzeuge in der Praxis“, 2015, Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik und ÖAMTC, Wien
- [17] B. Geringer, W. Tober: „Batterieelektrische Fahrzeuge in der Praxis“, 2012, Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik und ÖAMTC, Wien
- [18] Renault: „Technische Daten des Renault Zoe“, 2016, online unter: <https://www.renault.at/media/>, heruntergeladen am: 30.01.2016
- [19] H. Wallentowitz: „Strategien zur Elektrifizierung des Antriebsstranges“, 2011, Vieweg+Teubner, 2. überarbeitete Auflage, Wiesbaden, ISBN 978-3-8348-1412-8
- [20] G. Plötz, T. Gnann: „Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge“, 2013, Karlsruhe, online unter: <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/>, heruntergeladen am: 15.01.2016
- [21] Abteilung 7 der Landes- und Gemeindeentwicklung: „Registerzählung 2011 – Erwerbstätige und Pendler“, 2014, online unter: <http://www.statistik.steiermark.at/cms/dokumente/>, heruntergeladen am: 29.01.2016
- [22] H. Brunner: „Neugestaltung der Automobile - Urbaner Personenverkehr: Rahmenbedingungen für neue Fahrzeugkonzepte“, Zwischenbericht 2012, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, Graz
- [23] A. Karle: „Elektromobilität - Grundlagen und Praxis“, 2015, München, Carl Hanser Verlag München, 2015, ISBN: 978-3-446-44339-6
- [24] ADAC: „Repräsentative Mitgliederbefragung“, 2011
- [25] S. Beiker: „Mobility Behaviour vs. Vehicle Specifications“, Center for Automotive Research at Stanford, online unter: <http://web.stanford.edu/group/peec/cgi-bin/docs/events/2013/5-31-13%20Beiker.pdf>, heruntergeladen am: 15.01.2016
- [26] C. Brünglinghaus: „Sind Elektrofahrzeuge langstreckentauglich?“ 2015, unter: <http://www.springerprofessional.de/sind-elektrofahrzeuge-langstreckentauglich/5842358.html>, letzter Zugriff am: 30.12.2015
- [27] Klöckner: „Studie zu E-Tankstellen: Es muss schnell gehen“, online unter: <http://green.wiwo.de/studie-zu-e-tankstellen-es-muss-schnell-gehen/>, letzter Zugriff am: 29.12.2015
- [28] A. P. Robinson: „Analysis of electric vehicle driver recharging demand profiles and subsequent impacts on the carbon content of electric vehicle trips“, 2013
- [29] C. Busch: „DC-Schnellladetechnologie - Schlüssel für eine optimierte und effiziente

- Ladeinfrastruktur im öffentlichen Raum“, 2013, ABB GROUP, online unter: https://www.kim.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/kim/konferenz_2013/, heruntergeladen am: 30.01.2016
- [30] Commerz Finanz: „Europa Automobilbarometer 2012“, 2012, online unter: http://www.automobilbarometer.com/Automobilbarometer_2012.pdf, heruntergeladen am: 25.01.2016
- [31] Autorenteam VPÖ 2025+: „Verkehrsprognose Österreich 2025 - Gesamtverkehr“, 2009, online unter: <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/>, heruntergeladen am: 36.01.2016
- [32] K. Bozem, A. Nagl: „Elektromobilität: Kundensicht, Strategien, Geschäftsmodelle“, 2013, Springer Verlag, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-02627-1
- [33] 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
- [34] Statistik Austria: „Fahrzeugbestand Dezember 2015“, 2015, online unter: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/index.html, letzter Zugriff: 30.01.2016
- [35] Statista: „Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Funktionen beim Autokauf der Zukunft?“, 2014, online unter: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/>, letzter Zugriff: 29.01.2016
- [36] B. Walzel, „Neue Fahrzeugkonzepte und Technologien welche die Parksituation verbessern“, Zwischenbericht, 2015, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Graz, Graz