

KAPITEL 1 EINLEITUNG

1.1 Motivation

Seit einigen Jahren wird aufgrund der sich verschärfenden Umweltsituation und Klimaveränderungen im Automobilsektor über neue Fahrzeugkonzepte nachgedacht, die einen geringeren Verbrauch und einen geringeren Ausstoß von umweltbelasteten Abgasen besitzen. Auch wenn die Potenziale im Bereich der Verbrennungsmotoren und des Karosseriebaus noch nicht ausgeschöpft sind, stellen Hybrid- und Elektrofahrzeuge eine gute Ergänzung zu den konventionellen Antriebssystemen dar. Vor allem im Stadtbereich werden Umweltbelastungen deutlich stärker wahrgenommen, sodass die Einführung von Umweltzonen im innerstädtischen Bereich den Weg in Richtung CO₂-freie Stadt bereits vorgegeben hat. Ebenso stellt die Endlichkeit der Ressource Erdöl auch die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. Elektrofahrzeuge, die über regenerative Energiequellen nachgeladen und somit ressourcenunabhängig betrieben werden können, muss im Mittelpunkt der zukünftigen Betrachtungen stehen. Aktuelle Entwicklungsprojekte zeigen, dass der Weg bereits beschritten wird. Die Elektromobilität wird sich aber nur dann durchsetzen können, wenn es gelingt, Elektrofahrzeuge mit dem heutigen Stand der Technik, den konventionelle Antriebe bieten, auszustatten. Die Reichweitenproblematik und die hohen Anschaffungskosten schrecken viele potenzielle Käufer ab. Zudem dauert der Nachladevorgang von Elektrofahrzeugen deutlich länger als das Tanken von Kraftstoff, sodass der Fahrer in seiner Flexibilität eingeschränkt wird.

Das Hauptaugenmerk der Fahrzeughersteller und Zulieferer liegt heute in der Herstellung von leistungsfähigen und langlebigen Speichersystemen, die den Fahrzeugtechnologiewandel ohne Komforteinbußen ermöglichen sollen. Dabei sind die zu erwartenden Belastungsprofile von großer Bedeutung, da die Speicherdegradation maßgeblich durch die Anwendung beeinflusst wird. So altern Zellen in Hybridfahrzeugen durchaus anders, als Zellen die in Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen. Die Anforderungen an die Speicher sind unterschiedlich, woraus man schließen kann, dass es die *eine* Batterietechnologie und -topologie nicht geben wird. Zur Abschätzung der Degradation ist es daher notwendig, die unterschiedlichen Belastungsprofile der Fahrzeugvarianten exakt zu kennen. Anhand dieser Abschätzung könnten Aussagen getroffen werden, welche konkrete Belastungen den Speicher am stärksten schädigen, sodass im Energiemanagement des Fahrzeugs derartige Arbeitspunkte unterdrückt werden. Die Lebensdauer des Speichers kann so signifikant verlängert werden. Optimal wäre eine Fahrzeugsimulationsumgebung, in die die Speicherdegradation direkt eingebunden ist, um das Fahrverhalten mit

gealtertem Batteriestack analysieren zu können. Modifikationen am Energiemanagement könnten so direkt hinsichtlich ihrer Auswirkungen dargestellt werden. Nichtsdestotrotz ist eine Online-Abschätzung des Speichersystems unabdingbar, um die Reichweite und die maximale Ausgangsleistung berechnen zu können. Die Analysemethoden sollten die Parameter in den Steuergeräten direkt anpassen, um unangemessene Komforteinbußen zu eliminieren. So darf es bspw. nicht passieren, dass die Reichweite eines Elektrofahrzeugs falsch abgeschätzt wird und der Fahrer mit seinem Elektrofahrzeug stehen bleibt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Betrachtung der Elektromobilität ist die Bewertung der Auswirkungen auf das Niederspannungsnetz. Hier stellt sich nicht nur die Frage, ob die heutigen Versorgungsnetze die Leistung für die zusätzlichen Lasten bereitstellen können, sondern ebenso, welchen Anteil die Fahrzeuge zur Netzqualitätsverbesserung beitragen können. Elektrofahrzeuge und Plug-In Hybridfahrzeuge (vgl. Tabelle 1) stellen aus Netzsicht eine steuerbare Last und im Idealfall einen Speicher dar, auf den der Netzbetreiber zugreifen kann (Stichwort: Vehicle-to-Grid). Die generierbaren Erlöse über die Bereitstellung dieser Zusatzfunktionalität (Regelenergiebereitstellung) sind in Bezug zu den höheren Anschaffungskosten zu setzen. Dabei muss aber auch berücksichtigt werden, dass der Speicher durch diese Sekundärfunktion eine zusätzliche Belastung erfährt, die diesen ggf. schneller altern lässt.

1.2 Vorgehensweise

Die vorangestellten Aspekte sollen im Rahmen der Arbeit betrachtet und diskutiert werden, woraus sich die folgende Gliederung ergibt.

Zu Beginn wird in Kapitel 2 eine kurze Darstellung der verschiedenen Hybridvarianten, der aktuellen Speichertechnologien und der Speicheranforderungen in Abhängigkeit vom Elektrifizierungsgrad erfolgen.

In Kapitel 3 werden grundlegende Begriffsdefinitionen vorgestellt und das elektrische Verhalten der im Rahmen der Arbeit untersuchten Lithium-Ionen Zelltechnologie aufgezeigt. Zusätzlich werden der Aufbau und die Funktionsweise einer derartigen Zelle beschrieben.

Auf Basis dieser Kenntnisse wird in Kapitel 4 auf die theoretischen Alterungsmechanismen und deren Auswirkungen eingegangen. Es wird deutlich gemacht, welche Alterungsmechanismen die gravierendsten Veränderungen hervorrufen, wobei vor dem Hintergrund der Fahrzeuganwendung eine Unterteilung in kalendarische und zyklische Alterung erforderlich ist. Die theoretischen Betrachtungen werden durch experimentell ermittelte Daten belegt und in Abhängigkeit ihrer Einflussgrößen als funktionale Zusammenhänge dargestellt. Der Kapazitätsverlust und die Innenwiderstandserhöhung durch die Nutzung können so analytisch auf Basis einer Belastungsvorgabe berechnet werden.

Die hierfür notwendigen Modellierungsansätze für die Online-Zustandsabschätzung sowie für die Degradationsabschätzung vor Aufbau eines Fahrzeugs werden in Kapitel 5 vorgestellt. Es resultiert ein Alterungsmodell basierend auf Messdaten der untersuchten Hochleistungszelle, mit der die Degradation bestimmt werden kann.

In Kapitel 6 stehen die zu erwartenden Belastungsprofile im Fokus, die die Eingangsgrößen des Modells bilden. Bevor die Profildaten verwendet werden können, sind sie hinsichtlich ihrer Ereignisse zu klassifizieren, welches durch eine Lastkollektivanalyse realisiert werden kann. Es bieten sich die aus der Betriebsfestigkeitslehre bekannten und bewährten Zählverfahren für die Analyse an. Die Zählverfahren sollen auf Profildaten von Hybrid- und Elektrofahrzeugen angewendet werden, sodass in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp und Fahrscenario Häufigkeiten der Lastspiele bestimmt werden können. Ebenso sind die zu erwartenden Speicherbelastungen durch Netzqualitätsverbesserungsmaßnahmen zu bewerten.

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse der Lastkollektivanalyse auf die Degradationsabschätzung angewendet. Es wird verdeutlicht, welche Restkapazität und welcher Innenwiderstand nach einer definierten Betriebszeit in einem bestimmten Fahrscenario zu erwarten sind.

Die Frage bzgl. der Wirtschaftlichkeit bei der Bereitstellung von Regelenergie mit Elektro- und Hybridfahrzeugen wird in Kapitel 8 aufgegriffen. Auch hier gilt es verschiedene Szenarien hinsichtlich Fahrzeugverfügbarkeit, Speichergröße, Speicherkosten und Ladeverfahren zu bewerten. Es wird aufgezeigt, mit welchen zusätzlichen Erlösen und Gewinne ein Fahrzeugeigentümer rechnen kann, wenn er sein V2G-fähiges Fahrzeug dem Niederspannungsnetz bzw. dem Netzbetreiber zur Verfügung stellt.