

Neue Wege zur Bestimmung der Restwerte von elektrischen Nutzfahrzeugen

Bisherige Prognosemodelle scheitern mangels Statistik

CLAUDIUS JEHLE

Elektrofahrzeuge stellen die Leasing-Branche vor eine neue Herausforderung bei der Restwertbestimmung. Im Gegensatz zum Verbrennungsmotor entfallen wesentliche Verschleißkomponenten. Die Antriebsbatterie als preisbestimmendes Herz des E-Autos unterliegt ganz eigenen Degradationsmechanismen. Die Bestimmung ihrer Abnutzung ist Gegenstand der Forschung, und das Fehlen von Standards erschwert die Erstellung tragfähiger Statistik- und Restwertprognosemodelle. (Red.)

Die Geschichte des Elektromotors geht zurück auf das späte 19. Jahrhundert. Das erste Elektro-Fahrzeug mit wiederaufladbarer Batterie wird auf das Jahr 1881 datiert. Auf der Internationalen Elektrizitätsausstellung in Paris stellte damals der Franzose Gustave Trouvé ein zwölf Stundenkilometer schnelles Dreirad vor. Bereits im darauffolgenden Jahr präsentierte Werner Siemens auf einer Versuchsstrecke bei Berlin einen elektrisch angetriebenen Kutschenwagen, den sogenannten Elektromote. Schon bald darauf folgten weitere Entwicklungen wie die von Ferdinand Porsche mit seinem 2,5-PS-starken Lohner-Porsche-Fahrzeug um das Jahr 1900. Die Zukunft schien elektromobil

zu werden – doch mit Erfindung der Verbrennungsmotoren wurden E-Fahrzeuge seit Beginn des 20. Jahrhunderts in die Nische verbannt. Nun erfahren sie nicht nur in der weltweit ersten rein elektrischen Rennserie der Welt, der Formel E, der Formula E Championship (FIA), eine Wiederbelebung: In Deutschland ist die Zahl der E-Autos zum Januar 2018 auf 53 861 angestiegen, meldet das Kraftfahrt-Bundesamt. Damit lagen die Neuzulassungen bei Elektrofahrzeugen fast um 60 Prozent über dem Vorjahr (siehe Abbildung 1, Seite 229). Trotz dieser insgesamt positiven Entwicklungen beträgt der Anteil an den Neuzulassungen weiterhin nur wenige Promille.¹ Noch verhaltener ist das Interesse an elektrischen Lkw mit mehr als 6 Tonnen: Hier lagen die Zulassungen 2018 im einstelligen Bereich (siehe Abbildung 2, Seite 229).

Während diese Zurückhaltung gerade im privaten Pkw-Sektor in einem Flächenland wie Deutschland nachvollzogen werden kann – restriktive Reichweitenbeschränkungen bis etwa 400 bis 600 Kilometer (abhängig von der Nutzung) und ein lückenhaftes, schlecht planbares Lade-

stationsnetz, ist diese Technologie für den städtischen Personen- und Güternahverkehr allerdings geradezu prädestiniert: Reichweiten bis 200 Kilometer, erheblich gesenkte Betriebskosten (Treibstoff und insbesondere Wartungskosten), emissionsfreies Fahren und gut planbare Stopps zur Nachladung machen eine Nutzung eigentlich naheliegend. Selbst die Lärmbelastung sinkt stark, verbleibt theoretisch nur mehr das Rollgeräusch der Reifen. Noch ist der Weg zur Supermarkt-Nachtbelieferung jedoch nicht bereitet: Diverse Nebenverbraucher wie herkömmliche Luftpresser und Klimageräte müssen erst zum „Flüstern“ gebracht werden.

Die Fortschritte in der Batterieentwicklung, das heißt vorrangig in der Lithium-Ionen-Technologie, führten in den letzten 30 Jahren zusammen mit einem gesteigerten Umweltbewusstsein zu einem Umdenken. Fast jede deutsche Stadt eruiert derzeit die Nutzung elektrischer oder teil-elektrischer (hybrider) Busse für den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Etliche Städte betreiben seit Jahren erfolgreich entsprechende Fahrzeuge – als ein Beispiel wird Hamburg ab 2020 nur noch emissionsfreie Busse anschaffen. Ein Vergleich sei aber angebracht: In der chinesischen Metropole Shenzhen leisten heute 16 000 E-Busse ihren Dienst.

Während davon auszugehen ist, dass sich die Elektromobilität im ÖPNV-Sektor – bei rückläufiger staatlicher Förderung – langsam etablieren

DER AUTOR:

Claudius Jehle,
Dresden,

ist Gruppenleiter Energiespeichersysteme am Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI, Dresden.



Quelle: Fraunhofer IVI

E-Mail: claudius.jehle@ivi.fraunhofer.de

1) Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt: „Personenkraftwagen am 1. Januar 2018 nach ausgewählten Merkmalen“, abrufbar unter: www.kba.de.

wird, stellt sich aktuell bei den Lieferverkehren eine andere Situation dar. Gründe hierfür werden in diesem Artikel diskutiert – die Schlüsselrolle spielt die Finanzierung.

Elektromotor gilt als wartungsfrei

Grundsätzlich sind Elektrofahrzeuge technisch wesentlich einfacher aufgebaut als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Unabhängig davon, ob es sich um einen Pkw, Lkw oder Bus handelt, bestehen sie aus einer (großen) Batterie und einem Elektromotor mitsamt Steuerungs- und Leistungselektronik. Jener ist so einfach aufgebaut, dass er im Jargon als „wartungsfrei“ gilt: Gegenüber herkömmlichen Motoren ist die Anzahl drehender Teile auf ein Bruchteil reduziert, es bedarf keines Ölwechsels, keiner Lichtmaschine, keiner Dichtungen, keiner Kolben und Zylinder, keiner Riementriebe sowie keiner komplexen Einspritzung und Zündung. Ein Getriebe oder Retarder entfallen komplett. Die Bremswirkung wird in großen Teilen vom E-Motor selbst übernommen – der dabei sogar Energie rückgewinnt („Rekuperation“). Die bekannten Bremsen springen zum Schluss ein und bringen das Fahrzeug zum Stillstand – somit entfallen auch die Bremsen als teures Verschleißteil.

Gleichwohl: Die Fahrzeugbatterie, die fuhrzeugunabhängig 30 bis 40 Prozent des Neupreises ausmacht und damit eindeutig preisbestimmend ist, ist selbst ein Verschleißteil. Der Grad ihrer Abnutzung, wie beispielweise die der Bremsen, hat sich als stark nutzungsabhängig und aufgrund der komplexen elektrochemischen Vorgänge hochgradig nicht-linear, schlecht messbar und schwer vorhersagbar erwiesen. Es leuchtet ein, dass der Nutzen und damit Wert eines Fahrzeugs an die (Rest-)Qualität der Batterie geknüpft ist. Stand heute wird diese weder angezeigt oder dem Nutzer sonst zugänglich gemacht, noch kann sie hinreichend genau prognostiziert

Abbildung 1: Bestand Personenkraftwagen

Kraftstoffart	Bestand am 1. Januar 2018	Anteil in %	Veränderung gegenüber dem 1. Januar 2017 in %
Benzin	30 451 268	65,5	+ 1,6
Diesel	15 225 296	32,8	+ 0,9
Flüssiggas	421 283	0,9	- 6,0
Erdgas	75 459	0,2	- 2,2
Hybrid	236 710	0,5	+ 43,1
darunter Plug-in	44 419	0,1	+ 111,8
Elektro	53 861	0,1	+ 58,3
Gesamt	46 474 594		

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt 2018

werden. Überdies fehlen Standards und Richtlinien.

Dies hat mehrere Konsequenzen: Neben einem fast wartungsfreien Betrieb und stark verringerter Wartungs- und Treibstoffkosten werden etablierte Prognosemodelle, die ein erwartetes Betriebsregime – heute im Grunde nur durch die voraussichtliche Jahreslaufleistung charakterisiert – in einen Zusammenhang mit dem anzunehmenden Verschleiß und

damit Restwert setzen, obsolet. Es wäre geradezu fahrlässig, die bekannten Methoden ohne Anpassung an diese grundverschiedene Technologie anzuwenden.

Degradation, Verschleiß und „State of Health“

Es existiert bislang keine standardisierte Definition der Batteriequalität und dementsprechend auch

Abbildung 2: Bestand Lastkraftwagen und Kraftomnibusse

Kraftstoffart	Lastkraftwagen Bestand am 1. Januar 2018	Anteil in %	Kraftomnibusse Bestand am 1. Januar 2018	Anteil in %
Benzin	124 883	4,1	94	0,12
Diesel	2 865 886	94,5	77 594	97,68
Flüssiggas	13 749	0,4	19	0,02
Erdgas	14 203	0,5	1 161	1,46
Hybrid	131	~0,01	362	0,46
darunter Plug-in	9	~0,01	1	~0,01
Elektro	11 813	0,4	183	0,23
Sonstige	474	~0,02	25	0,03
Gesamt	3 031 139		79 438	

Quelle: Jehle in Anlehnung an Kraftfahrt-Bundesamt 2018

keine einheitliche Erhebungsmethodik. „State of Health“² (SOH) ist ein Sammelbegriff, der themen- und branchenabhängig diverse Effekte subsumiert. Grundsätzlich gibt es dabei zwei dominierende Effekte, auf die sich hier beschränkt werden soll: die Abnahme der Kapazität (das heißt der maximal speicherbaren Energiemenge und damit Reichweite) und die Zunahme des Innenwiderstands (und damit die Abnahme der Leistung, das heißt abgebbare Energie pro Zeit, was Beschleunigungsverhalten und Nachladegeschwindigkeit beschränkt).

Beides ist auf einen „Verbrauch“ an sogenanntem Aktivmaterial, das heißt den energiespeichernden Bestandteilen, zurückzuführen. Sie gehen irreversible chemische Verbindungen ein (Kapazitätsabnahme), die sich im Stromflusspfad ablagern (Widerstandszunahme). Dies ist nicht zu verhindern, wird aber von externen Einflussfaktoren erheblich begünstigt und beschleunigt. Zwar differieren die unterschiedlichen Spielarten von Lithium-Ionen-Zellen teilweise stark in den zugrundeliegenden Alterungsmechanismen, aber für einen ersten Eindruck sind die einflussreichsten hierbei:

- ▶ Temperatur – Für die meisten Zellen ist der natürliche Alterungseffekt bei etwa 20 Grad Celsius minimal. Als Daumenregel gilt: Eine Erhöhung der Temperatur um 10 Grad Celsius führt zu einer Verdopplung der Alterung. Noch gravierender ist teilweise die Schädigung bei tiefen Temperaturen, also unter null Grad Celsius.
- ▶ Stromhöhe – Je höher der Strom, desto stärker werden die Komponenten beansprucht. Hohe Lade- und Entladeströme führen zu verstärkter Alterung. Der sogenannte „Bleifuß“ schadet also den Batterien.

- ▶ Mittlerer Ladezustand – Optimal ist ein mittlerer Ladezustand („State of Charge“, SOC) von 50 Prozent. Wird eine Batterie dagegen meist im oberen oder unteren Füllstandsbereich betrieben, altert sie oft schneller.
- ▶ Mikrozyklen, beziehungsweise „Depth of Discharge“ (DOD) – Selten werden Batterien, im Kfz wie im Handy, voll und leer geladen. Je nach Nutzung kommen sie am Ende des Tages bei mehr als 50 Prozent wieder an den Strom, und durch die Rekuperationsfähigkeit hat der SOC einen eher berg- und talförmigen Verlauf. Die Art dieser Hübe bestimmt die Abnutzung ebenso. Übrigens: Mitnichten lässt sich die althergebrachte Regel, Batterien müssten am besten vollständig be- und entladen werden, auf moderne Lithium-Ionen-Systeme übertragen (auch nicht im Handy): Sie mögen kleine Hübe rund um den Wohlfühl-SOC von 50 Prozent.

Trotz der knappen Darstellung dieses unerschöpflichen Themas, das eine ganze Forschungslandschaft ernährt und Herstellern schlaflose Nächte bereitet, wird die Komplexität des Problemraums deutlich: Der Verschleiß ist technologie- und nutzungsabhängig, nur mit elektrochemischem Verständnis begreifbar – was meist bei den fernöstlichen Herstellern liegt – und dennoch müssen Prognosen und Garantien über Jahre gemacht werden. Heutige Zelltechnologien sind teilweise erst zwei Jahre auf dem Markt, Hersteller sind jedoch verpflichtet, Garantien über fünf bis zu 15 Jahre zu geben. Gleiches gilt für die Restwertprognose.

Während sich der Widerstand durch einfache Algorithmen im Fahrzeug ermitteln lässt, ist die Restkapazitätserhebung strenggenommen nur durch vollständiges Entleeren unter kontrollierten Bedingungen zweifelsfrei festzustellen. Dies ist im Realbetrieb undenkbar. Somit verwenden Hersteller wie Forschungseinrichtungen eine Vielzahl von Schätzverfahren,

die diese oder eine mit ihr verknüpfte Größe anhand sekundärer Messgrößen abbilden kann. Mangels einheitlicher Definition fehlen auch standardisierte und vor allem transparente, herstellerunabhängige Verfahrensvorschriften. Noch komplexer als die Erhebung des Ist-Zustandes ist die Abgabe von Prognosen, entweder vor Beginn der Nutzung – und damit eines Leasing-, Miet- oder Service-Vertrags – oder währenddessen.

So obliegt es bis heute dem Produzenten, geeignete Verfahren für sich zu entwickeln und die erhobenen Werte transparent für beispielsweise eine Preisverhandlung oder für die so dringend benötigte Statistikerstellung zur Verfügung zu stellen. Derzeitiger Stand ist es, dass dem Nutzer und Halter diese Informationen nicht nur vorenthalten, sondern dass immer weniger relevante (Batterie-)Information über die etablierten Schnittstellen (beispielsweise OBD³) zur Verfügung gestellt werden. Somit wird eine übergreifende, unabhängige Auswertung und Aufbereitung erschwert.

Nicht nur hier sind die Hersteller spielbestimmend. Natürlich werden sie größtmögliche Sorge dafür tragen, dass eine Batterie im „Wohlfühlzustand“ betrieben wird; wirklich Einfluss nehmen können sie hierbei aber nur auf die Temperatur, die durch teure und energiefressende Kühleinrichtungen steuerbar ist. In vielen E-Bus- und E-Lkw-Anwendungen entfällt sogar dies. Fahrerverhalten (Stromhöhe) und Betriebsregime (mittlerer SOC und Mikrozyklen, bestimmt durch Tourengebiete, Nachladetechnik und Schichtplanung) sind nur bedingt beeinflussbar.

Sicherlich wird auch die Forschung und Entwicklung die Stabilität erhöhen. Bis heute geht jedoch oft eine Verbesserung an einer mit einer Verschlechterung an einer anderen Stelle einher: Erhöht man die Stabilität, so sinkt der Energieinhalt. Erhöht man Leistungsdichte, so vermindert sich die Eigensicherheit und

2) „State of Health“, deutsch: „Gesundheitszustand“

3) „On-Board-Diagnose“-Schnittstelle – bislang in allen (Verbrenner-)Fahrzeugen eingerichtete Schnittstelle, mit der Werkstätten und unabhängige Werkzeuge wichtige Systemdiagnose-Werte auslesen können.

so weiter. Insbesondere bei der Energiedichte, das heißt bei der gewichtsbezogenen Reichweite, sind in den nächsten zehn Jahren keine Revolutionen mehr zu erwarten. Sie sollte um einige Procente steigen, aber verdoppeln wird sie sich nicht. Nachfolgetechnologien wie Lithium-Schwefel sind vielversprechend, aber nicht binnen eines Jahrzehnts marktreif.

Die Erhöhung der effektiven Reichweite wird beispielweise durch häufigere, regelmäßige Hochleistungsnachladung darstellbar sein, wie es heute schon bei E-Bussen Stand der Technik ist.⁴ Solche Verfahren werden derzeit für E-Lkw und E-Pkw in die Marktreife überführt⁵ und sollen mittelfristig Ladezeiten von unter zehn Minuten ermöglichen.

Der Batterie-Restwert im Leasing

Es wurde eingehend beleuchtet, was die Batterien schädigt und welche Problematiken sich bei der Erhebung und standardisierten Feststellung des Zustandes ergeben. Aber welche Konsequenzen erwachsen daraus für die Leasing-Branche?

Mehr als 100 Jahre Nutzungserfahrung bei Diesel- und Benzinfahrzeugen, verknüpft mit regelmäßigen Preis- und Qualitätsmeldungen bei Fahrzeugverkäufen (heute vor allem Fahrzeugalter, Gesamtleistung und Ausstattung) an Wertprognose-Unternehmen, gestatten derzeit die Risikoabschätzung bei einer Leasing-Ratenbestimmung.

Mit einer einheitlich erhobenen und vor allem bereitgestellten Batteriequalitätsanzeige und dem Einbezug dieser Größe bei Preismeldungen und Statistiken ließe eine deutlich verbesserte kurz- und mittelfristige

Restwertprognose der Batterie und damit maßgeblich des Gesamtfahrzeugs zu. Eine heute konservative Risikoabschätzung für einen Weiterverkauf führt zu (wohl unnötig) hohen Leasing-Raten, einer weiter gehemten Verbreitungsdynamik und damit wiederum zu mangelnder Statistik und Bereitschaft bei den Herstellern.

Deutschlandweit geht es derzeit um weniger als ein Dutzend Nutzfahrzeuge. Es wird jedoch – und dafür muss man nicht nach China, sondern nur ins europäische Ausland blicken – gerade im Innenstadtbereich wirtschaftliche Anwendungsfelder geben. Deren Verbreitung kann durch politische oder juristische Entscheidungen (Einfahrverbote) eine „ungewollt“ rasante Dynamik entwickeln. Die herstellerunabhängigen Stakeholder in der Finanzierungs- und Leasing-Branche müssen sich aktiv in den Prozess einbringen, um nicht vor vollendete Tatsachen gestellt beziehungsweise von externen Faktoren übervorteilt zu werden, insbesondere was Informationszugang oder -hoheit und herstellerübergreifende Standards angeht.

Auch Innovation kann dabei helfen: Bereits heute beginnen Batteriesystemhersteller, ihre Batterien selbst zu vermieten oder zu verleasen – unabhängig vom Restfahrzeug (getrennte Finanzierung). Trifft dies aktuell vorrangig auf Sonder- und Nutzfahrzeuge wie Flurförderzeuge

und Bahnen zu, ist mit einer Verbreitung auch im Kfz-Bereich zu rechnen. Für den Endkunden liegt der Vorteil auf der Hand, insbesondere in Verbindung mit Full-Service-Verträgen: Er profitiert von den vorteilhaften Betriebs- und Wartungskosten und umgeht hohe Investitionen. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, bei technischen Neuerungen auf eine neuere Technologie bei gleichem Basisfahrzeug zu wechseln.

Derjenige Finanzierer, der sich frühzeitig mit alternativen Geschäftsmodellen, nutzungsabhängiger oder abnutzungsschonender Vergütung, innovativen Vertragsmodellen und der Nachnutzung von Tauschsystemen auseinandersetzt, wird einen strategischen Wettbewerbsvorteil haben.

Das Fraunhofer IVI arbeitet seit vielen Jahren an einheitlichen, datengetriebenen Alterungsdiagnose- und -prognosemodellen für elektrische Fahrzeuge. Durch die Verbreitung von belastbaren und bezahlbaren Telematik- und Datenübertragungssystemen sowie der Nutzung moderner Datenauswertungsverfahren (maschinelles Lernen, Big-Data-Verfahren) werden Alterungsmodelle aus einer großen Menge an Felddaten trainiert und damit eine solide Prognosebasis geschaffen. Gemeinsam mit Partnerinstituten und -unternehmen wird die Technologie zur Marktreife geführt, und im jeweiligen Bereich werden Beratungs- und Trainingsprogramme angeboten. ◀

Bleiben Sie immer auf dem neuesten Stand!

Ihre Kreditwesen-Redaktion informiert nun auch täglich in der Rubrik „Tagesmeldungen“. Folgen Sie uns auf



oder besuchen Sie uns unter

www.kreditwesen.de/tagesmeldungen

4) Vgl. dazu www.edda-bus.de.

5) Vgl. dazu Unterbodenladesysteme, Informationen unter: www.ivi.fraunhofer.de/de/forschungsfelder.