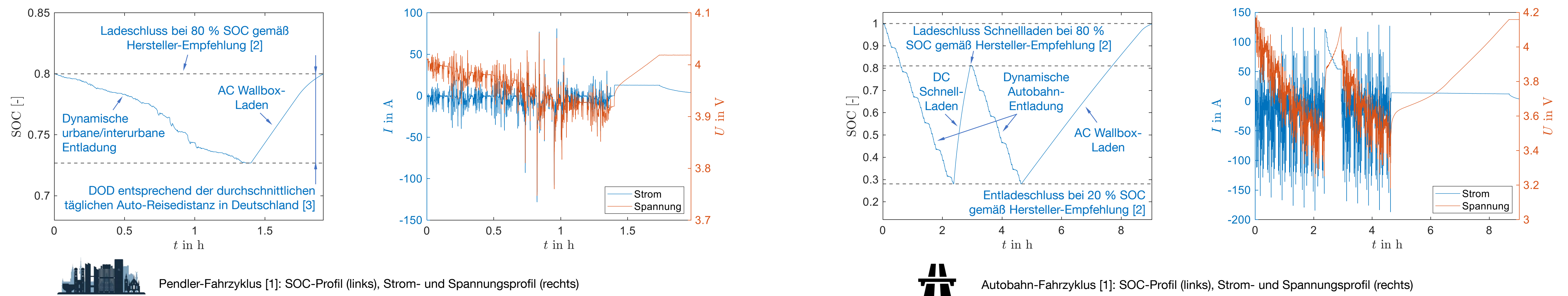


# Wie weit führt die Reise? Batteriealterung unter realen Betriebsbedingungen

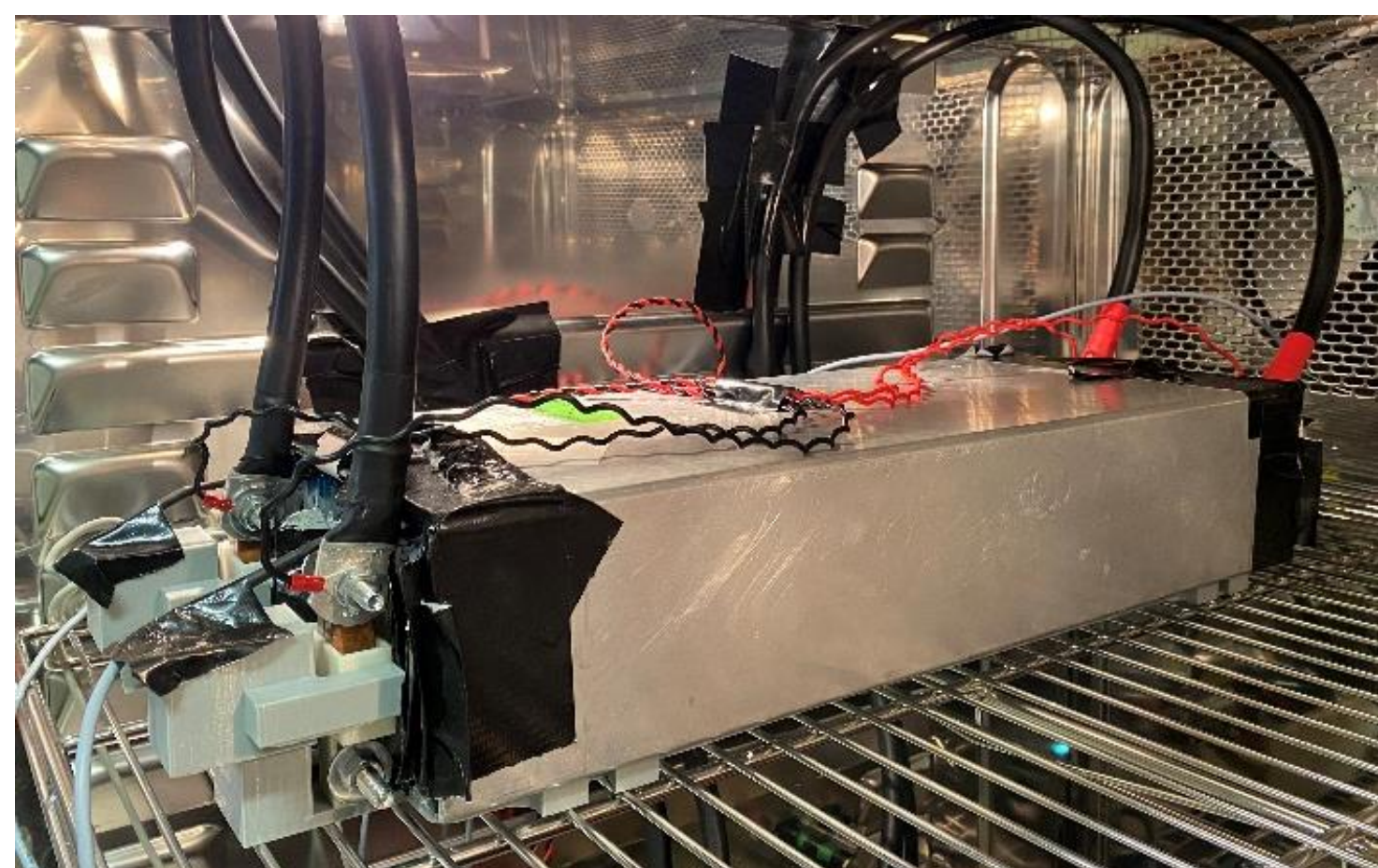
Battery Systems and Integration – Markus Schreiber

## Methode

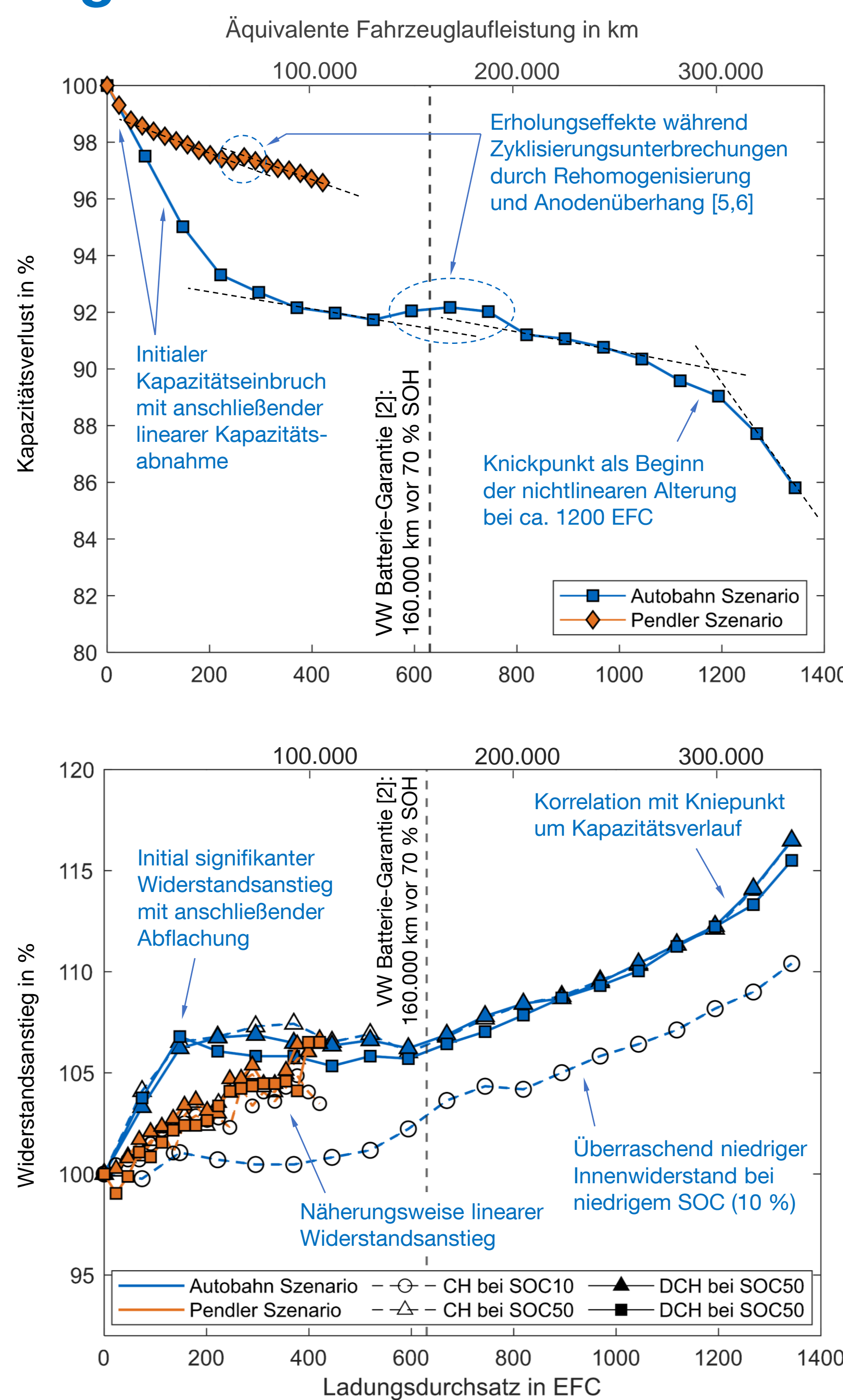


## Versuchsaufbau

- Aufzeichnung der Fahrzyklen im realen Straßenverkehr.
- Reproduktion auf dem Rollenprüfstand.
- Einzel-Zell-Testing (78 Ah, NMC/Gr) bei 20 °C Umgebungstemperatur innerhalb des Modulverbands (12s2p) zur Sicherstellung des originalen Verspanndrucks.



## Ergebnisse



### Kapazitätsverlust vs. Ladungsdurchsatz

- Pendler-Fahrzyklus: Kapazitätsverlust vorrangig durch Bildung und Wachstum der Solid Electrolyte Interphase (SEI), vermutlich überwiegend durch kalendarische Alterung [4].
- Autobahn-Fahrzyklus: zusätzliche Kapazitätsverluste und Elektrodendegradation durch zyklische Belastung.
- VW Batterie-Garantie [2]: 160.000 km vor 70 % state of health (SOH), entspricht ca. 630 äquivalenten Vollzyklen (engl. equivalent full cycles, EFC)

### Widerstandsanstieg vs. Ladungsdurchsatz

- Gute Korrelation von Widerstandsanstieg und Kapazitätsabnahme für beide Szenarien.
- Pendler-Fahrzyklus: linearer Widerstandsanstieg als Indiz für SEI-Wachstum als dominierenden Alterungsmechanismus.
- Autobahn-Fahrzyklus: nichtlinearer Verlauf deutet auf Kombination verschiedener Degradationsmechanismen hin.

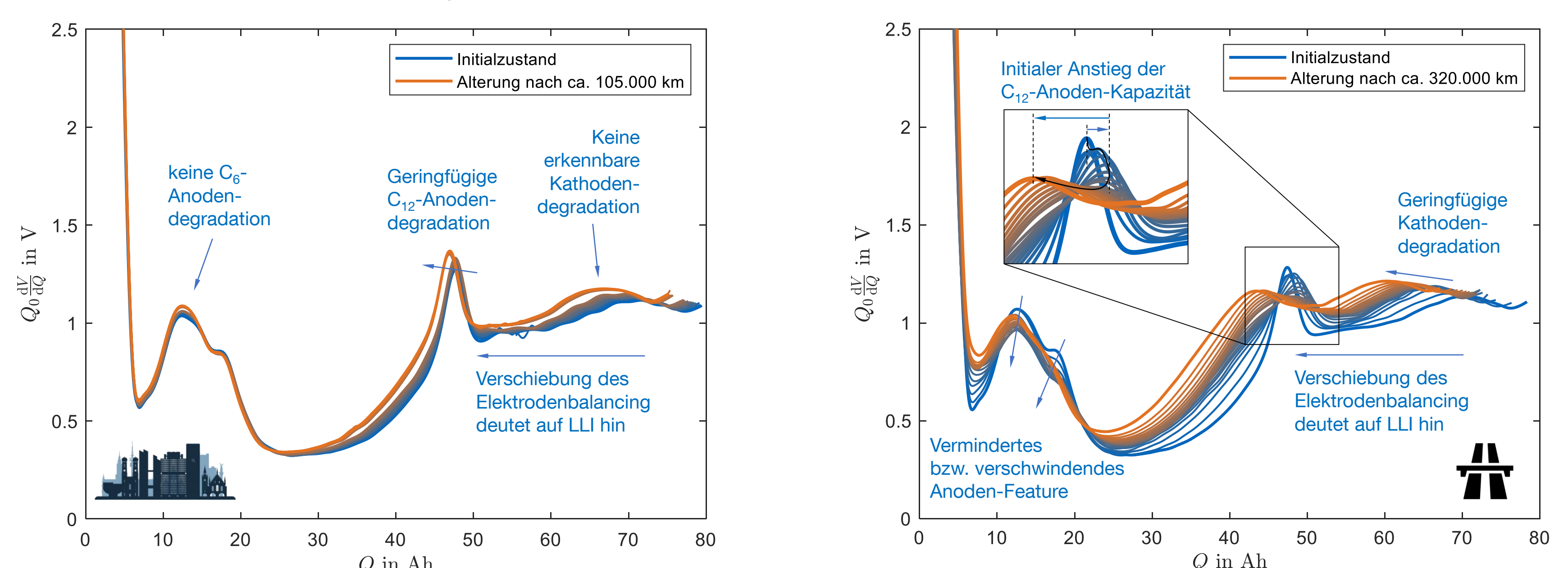
## Résumé

- Die getestete state of the art Fahrzeugzelle **übersteigt gegenwärtige Hersteller-Garantien** erheblich.
- Nach **mehr als 160.000 km** und 450 Schnellladezyklen weist die Zelle noch **über 90 % der initialen Kapazität** auf.
- Nach **über 320.000 km** und 900 Schnellladezyklen liegt die Zelle mit rund **85 % SOH** noch **deutlich über end of life (EOL)**.
- Stadtpendler- und Autobahnzyklus rufen **signifikant unterschiedliche Alterungseffekte** hinsichtlich Kapazität und Innenwiderstand sowie der zugrunde liegenden Degradationsmoden hervor.
- Zyklisierungspausen verursachen **beträchtliche Kapazitätserholungen** der Zelle [5, 6].

## Ausblick

- Identifikation dominierender Degradationsmoden unter verschiedenen Betriebsbedingungen.
- Untersuchung des Einflusses von Pausenzeiten auf das Erholungsverhalten.
- Analyse des kalendarischen Alterungsverhaltens.

### Differentielle Spannungsanalyse (DVA): Pendler-Fahrzyklus links, Autobahn-Fahrzyklus rechts



» Verlust freier Ladungsträger (loss of lithium inventory, LLI) infolge von SEI-Bildung und -Wachstum dominiert das Degradationsverhalten.

» Komplexes und vielfältiges Degradationsverhalten aufgrund der hohen DODs und C-Raten: Anoden- und Kathodendegradation sowie Ladungsträgerverlust.

### Quellen:

- [1] Wassiliadis et al., „Quantifying the state of the art of electric powertrains in battery electric vehicles: Range, efficiency, and lifetime from component to system level of the Volkswagen ID.3“ Journal of eTransportation, vol. 12, 2022.
- [2] <https://www.volkswagen.de/de/elektrofahrzeuge/id-technologie/batteriegarantie-und-pflege.html>.
- [3] Mobilität in Deutschland - MID 2017 Ergebnisbericht.
- [4] Käbitz et al., „Cycle and calendar life study of a graphite/LiNi<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> Li-ion high energy system. Part A: Full cell characterization“, Journal of Power Sources, vol. 239, 2013.
- [5] Lewerenz et al., „Irreversible calendar aging and quantification of the reversible capacity loss caused by anode overhang“, Journal of Energy Storage, vol. 18, 2018.
- [6] Epling et al., „Investigation of significant capacity recovery effects due to long rest periods during high current cyclic aging tests in automotive lithium ion cells and their influence on lifetime“, Journal of Energy Storage, vol. 22, 2019.