

## MORE+

Model Order Reduction zur gezielten Analyse von Einflussparametern auf den Thermal Runaway und seine Propagation

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilitätssystem, Mobilitätssystem, Regionen & Technologien Ausschreibung 2022	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.03.2023	<b>Projektende</b>	28.02.2026
<b>Zeitraum</b>	2023 - 2026	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	MOR, ROM, Thermal Runaway, Propagation, Crash, Thermal Management, Sicherheitskonzepte		

### Projektbeschreibung

Die EU-Kommission fordert in ihrem neuen Klimaplan "Fit for 55" den Ausstoß von Kohlendioxid bis 2030 um mindestens 55 Prozent im Vergleich zu 1990 zu reduzieren. Kostensenkung, Reichweitenerhöhung, und Schnelladefähigkeit, alles auf höchstem Sicherheitsniveau, sind nötig, um die Akzeptanz der Elektrofahrzeuge und damit den Anteil von Elektromobilität weiter zu verbessern.

Insbesondere die Reichweitenerhöhung führt zu einem erhöhten Risiko eines Thermal Runaway (TR) und einer Thermal Runaway Propagation (TR-P) im Batteriepack, da sie mit einer Erhöhung der Energiedichte bei den Zellen und der Gesamtbatterie einhergeht. Durch die ständige Erhöhung der Energiedichten der Zellen muss mit jeder neuen Zellgeneration und jedem neuen Batteriedesign auch die Sicherheit neu bewertet werden. Diese ständige Neubewertung der Sicherheit von batterieelektrischen Fahrzeugen stellt Fahrzeughersteller, Systemlieferanten und Zulieferer vor große Zeit- und Kostenprobleme.

Aktuelle high-fidelity Simulationsmodelle sind für eine umfangreiche Analyse von Einflussfaktoren auf die TR-P, trotz moderner Rechnerinfrastruktur und durch die langen Rechenzeiten, im Entwicklungsprozess von Batteriesystemen nicht anwendbar.

Hauptziel von MORE+ ist die Realisierung umfangreicher Einflussparameterstudien auf Pack-Ebene. Dadurch können noch bessere und neuartige innovative TR-P Sicherheitskonzepte entwickelt werden. Dafür wird ein reduziertes kombiniertes multi-physikalisches Batteriemodell mittels geeigneter Kopplung aus den zu reduzierenden Einzelmodellen, TR, Crash, Thermal Management und Normalbetrieb aufgebaut.

Daraus werden folgende Unterziele abgeleitet:

1. Entwicklung einer Methodik zur Optimierung von Batteriepacks hinsichtlich der Verhinderung von TR und TR-P mit einem reduzierten kombinierten multi-physikalischen Batteriemodell
2. Aus einer Fiber Bragg Messung für den Fehlerfall (Temperatur und Kräfte) werden wichtige Erkenntnisse für eine potenzielle Früherkennung von TR und TR-P abgeleitet
3. Innovative Testmethoden für den Fehlerfall liefern wichtige Erkenntnisse für die Modellbedatung und dienen als Basis für mögliche Testrichtlinien für Sicherheitstests und Kalibrierversuche

Das Projekt MORE+ liefert einen wichtigen Erkenntnisgewinn hinsichtlich Einflussparameter auf die TR-P, wie er mit den

derzeitigen Modellen noch nicht möglich ist. Durch die reduzierten Modelle ergibt sich ein zukünftig großes Potential zur Verringerung von Entwicklungszeit und -kosten. Ein Thermal Runaway (TR) Test mit einer Prototypenbatterie verursacht Kosten in der Höhe von rund 100 000 € (Durchführung 45 000 € und Prototypenbatterie 55 000 €) und eine neue kleine Sicherheitsvorkehrung, wie zusätzliche Isolationsfolie rund 90 000 € für eine Stückzahl von 100 000. Hier ist großes Einsparungspotential durch die Substitution von physischen Tests durch Simulation und eine effektive Bewertungsmethode gegeben.

Mit der Möglichkeit umfangreiche Einflussanalysen auch im Entwicklungsprozess durchführen zu können, wird die gesamtheitliche Betrachtung von Sicherheitskonzepten im virtuellen Entwicklungsprozess wesentlich ausgeweitet und gestärkt. MORE+ liefert also ein Beitrag für eine zukünftig noch sicherere und von der Gesellschaft akzeptierte Elektromobilität.

## **Abstract**

In its new climate plan "Fit for 55", the EU Commission calls for carbon dioxide emissions to be reduced by at least 55 percent by 2030 compared to 1990. Cost reduction, range increase, and fast charging capability, all at the highest safety level, are necessary to further improve the acceptance of electric vehicles and thus the share of electromobility.

The range increase in particular leads to an increased risk of thermal runaway (TR) and thermal runaway propagation (TR-P) in the battery pack, as it is accompanied by an increase in the energy density of the cells and the overall battery. Due to the constant increase in the energy densities of the cells, safety must also be re-evaluated with each new cell generation and each new battery design. This constant re-evaluation of the safety of battery electric vehicles poses major time and cost problems for vehicle manufacturers, system suppliers and subcontractors.

Current high-fidelity simulation models are not applicable for a comprehensive analysis of influencing factors on TR-P, despite modern computer infrastructure and due to the long computing times in the development process of battery systems.

The main goal of MORE+ is the realisation of extensive influence parameter studies at pack level. This will enable even better and novel innovative TR-P safety concepts to be developed. For this purpose, a reduced combined multi-physical battery model is built with appropriate coupling from the individual models to be reduced, TR, crash, thermal management and normal operation.

The following sub-objectives are derived from this:

1. Develop a methodology to optimise battery packs with respect to the prevention of TR and TR-P using a reduced combined multi-physical battery model
2. To derive important findings for a potential early detection of TR and TR-P from a Fibre Bragg measurement (temperature and forces) for the error case
3. Innovative test methods for the fault case provide important insights for the model design and serve as a basis for possible test guidelines for safety tests and calibration tests

The MORE+ project provides an important gain in knowledge regarding influencing parameters on the TR-P, which is not yet possible with the current models. The reduced models offer great potential for reducing development time and costs in the future. A Thermal Runaway (TR) test with a prototype battery causes costs in the amount of about 100 000 € (implementation 45 000 € and prototype battery 55 000 €) and a small new safety precaution, such as additional insulation foil about 90 000 € for a quantity of 100 000. There is great potential for savings here by substituting physical tests with simulation and an effective evaluation method.

With the possibility to carry out extensive influence analyses also in the development process, the holistic consideration of safety concepts in the virtual development process is significantly expanded and strengthened. MORE+ thus contributes to even safer electromobility in the future that is accepted by society.

## **Endberichtkurzfassung**

Im Projekt MORE+ wurden umfangreiche Einflussparameterstudien auf Batteriepack-Ebene erfolgreich durchgeführt. Ein zentrales Ergebnis ist die Entwicklung einer Methodik zur Optimierung von Batteriesystemen im Hinblick auf die Vermeidung von Thermal Runaway (TR) und Thermal Runaway Propagation (TR-P). Dafür wurden bestehende hochauflösende Modelle weiterentwickelt, reduzierte Einzelmodelle aufgebaut und zu einer konsistenten multiphysikalischen Simulationskette gekoppelt. Auf dieser Basis konnte eine multiojektive Optimierungsumgebung etabliert und ein Safe-by-Design-Ansatz für Fahrzeugbatteriesysteme demonstriert werden.

Darüber hinaus wurden innovative experimentelle Methoden für Regel- und Fehlerfälle entwickelt und erfolgreich angewendet. Dazu zählen neue Testaufbauten für TR-Untersuchungen mit integrierter kalorimetrischer Wärmemengenmessung, Kalibrier- und Validierungstests auf Zell- und Modulniveau sowie Mini-Module für unterschiedliche Zellformate. Fiber-Bragg-Grating-Messungen lieferten wichtige Erkenntnisse zur möglichen Früherkennung kritischer Zustände anhand von Temperatursignalen. Ergänzend wurden belastbare Randbedingungen für gekoppelte Simulationen, etwa zu Hotspots, Kühlbedingungen und Ventgasen, abgeleitet. Die wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse spiegelt sich in mehreren bereits veröffentlichten Beiträgen sowie weiteren Publikationen in Ausarbeitung wider.

## **Projektkoordinator**

- Virtual Vehicle Research GmbH

## **Projektpartner**

- Technische Universität Graz
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik GmbH & Co KG
- Voltfactory GmbH