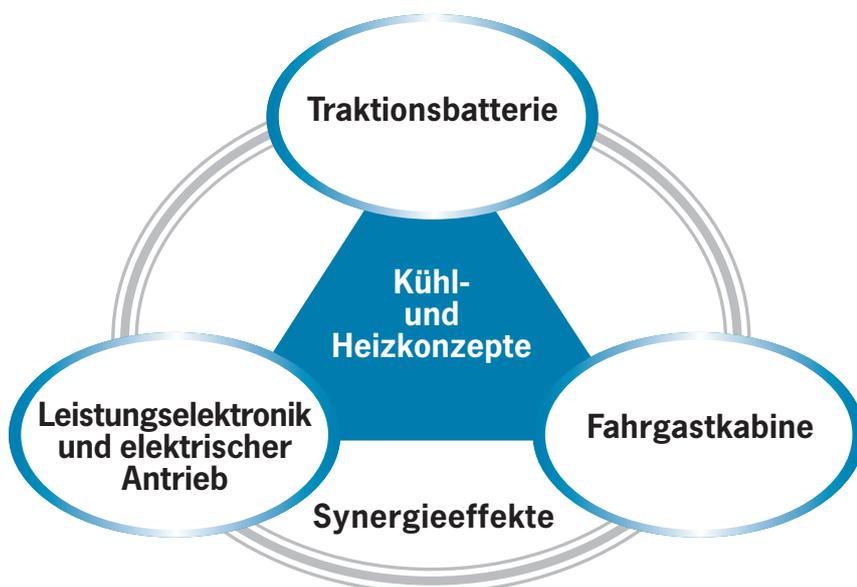


## Wärmemanagement von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs stellt die Thermodynamik-Spezialisten von Porsche Engineering vor neue, spannende Herausforderungen.



Bisher bestand die Aufgabe für die Porsche-Thermodynamiker unter anderem darin, die Abwärme von Verbrennungsmotoren mit hoher Motorleistung effizient abzuführen, die thermische Stabilität und Funktion über ein optimiertes Kühlsystem in allen relevanten Betriebspunkten sicherzustellen und mittels ausgeklügelten Thermomanagementstrategien den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Darüber hinaus galt es, die Kühlung, Belüftung sowie Hitzeschutzmaßnahmen für Bauteile, Nebenaggregate oder das Getriebe zu gewährleisten.

Bei elektrifizierten Fahrzeugen verändert sich diese Aufgabenstellung. Neben der Temperierung von Traktionsbatterien und der Kühlung von Leistungs-

elektronik, E-Maschine und Range-Extender steht speziell auch die energetisch sinnvolle Verknüpfung dieser Kühlungsaufgaben sowie die effiziente Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums im Fokus.

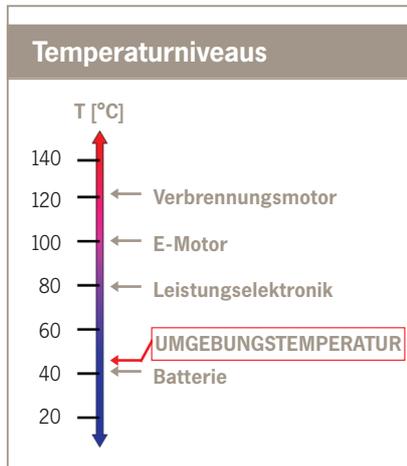
Da die derzeit noch eingeschränkte Kapazität der Traktionsbatterie von E-Mobilen zu einer im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen deutlich geringeren Reichweite führt, steht neben der Gewährleistung der Betriebsfunktion und von Komfortaspekten die Energieeffizienz aller technischen Maßnahmen im Vordergrund, zumal diese begrenzte Reichweite durch Nebenverbraucher, wie zum Beispiel Heiz- und Klimageräte, noch einmal drastisch reduziert werden kann.

### Kühlung der Batterie, Leistungselektronik und E-Maschine

Aus thermischer Sicht sind beim Einsatz von Lithium-Ionen-Akkus in Elektrofahrzeugen drei Hauptaspekte zu berücksichtigen: Bei Temperaturen unter null Grad Celsius sinkt die Leistungsfähigkeit der Batterie und somit die Reichweite aufgrund nachlassender chemischer Reaktionen deutlich. Bei Temperaturen über 30 Grad Celsius nimmt die Alterung der Batterie exponentiell zu und bei Temperaturen über 40 Grad Celsius kann es zu einer irreversiblen Schädigung der Batterie kommen.

Die Idealtemperatur für eine Lithium-Ionen-Traktionsbatterie gleicht in etwa der Temperatur, bei der sich auch der Mensch wohlfühlt. Um eine maximale elektrische Leistung und eine lange Lebensdauer zu erzielen, ist die Einhaltung eines Temperaturfensters von 20 bis 30 Grad Celsius von großer Bedeutung. Dabei ist zum einen das absolute Temperaturniveau, zum anderen aber auch eine ausreichend gute Homogenität der Temperaturverteilung in der Batteriezelle sicherzustellen.

Die thermischen Einflüsse auf eine Batterie, wie Eigenwärme bedingt durch den Batterieinnenwiderstand, Außentemperatur, Sonneneinstrahlung und Wärmeverluste müssen daher durch geeignete Temperierungsmaßnahmen, also je nach Bedarf durch Heizen oder Kühlen, kontrolliert und geregelt werden. Dies garantiert eine einwandfreie Funktion im kundenrelevanten Temperaturbereich von -20 bis +45 Grad Celsius.



Je nach Fahrzeugtyp (zum Beispiel Mild-Hybrid, Vollhybrid, Plug-in-Hybrid, vollelektrisches Fahrzeug), Anforderungsprofil, Batterietyp, Zellchemie und Zellgeometrie können verschiedene Kühlmedien und -methoden zum Einsatz kommen. Man unterscheidet hier zum Beispiel Luftkühlung, Kühlmittelkühlung oder Kältemittelkühlung sowie direkte Kühlung oder Sekundärkühlung.

Bei letzter Kühlungsvariante wird die Batterie über einen externen Nieder-temperaturkühler gekühlt und nur nach Bedarf, also bei sehr hohen Außentemperaturen, kommt ein zusätzlicher Wärmeüberträger (Chiller) zum Einsatz, der die niedrige Temperatur des verdampfenden Kältemittels aus dem Klimakreislauf auf den Batteriekühlkreislauf überträgt.

Neben der Traktionsbatterie gilt es beim Elektrofahrzeug aber auch noch weitere Komponenten wie Elektromotor(en), Leistungselektronik und gegebenenfalls Range-Extender zu berücksichtigen.

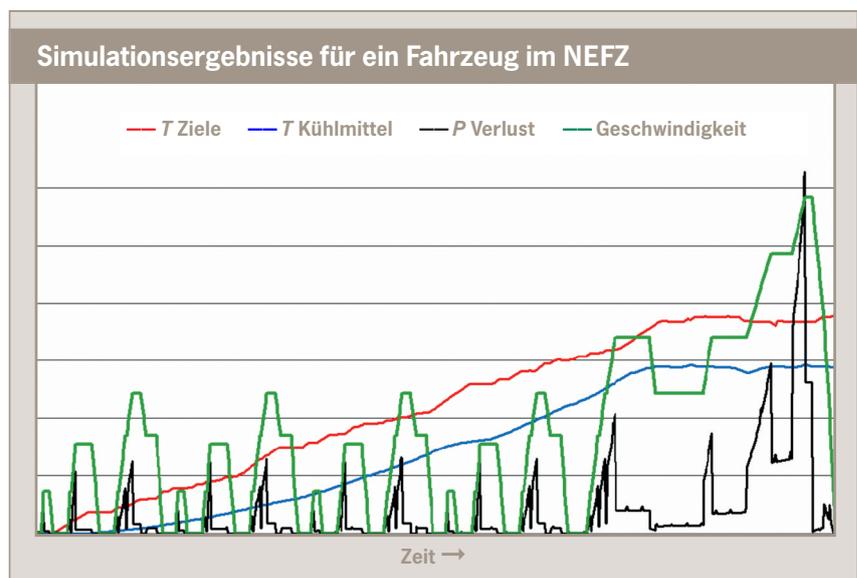
Da diese Systeme alle mit unterschiedlichen Temperaturniveaus betrieben und gekühlt werden müssen (siehe Abbildung links), ist man bestrebt, Synergieeffekte durch die Abstimmung der verschiedenen Kühl- und Heizkreisläufe aufeinander zu erzielen (siehe Abbildung gegenüberliegende Seite). Durch eine Harmonisierung der Temperaturniveaus kann die Anzahl der unterschiedlichen Kühlkreisläufe reduziert und somit Gewicht und Kosten eingespart sowie zusätzlicher Packageraum gewonnen werden.

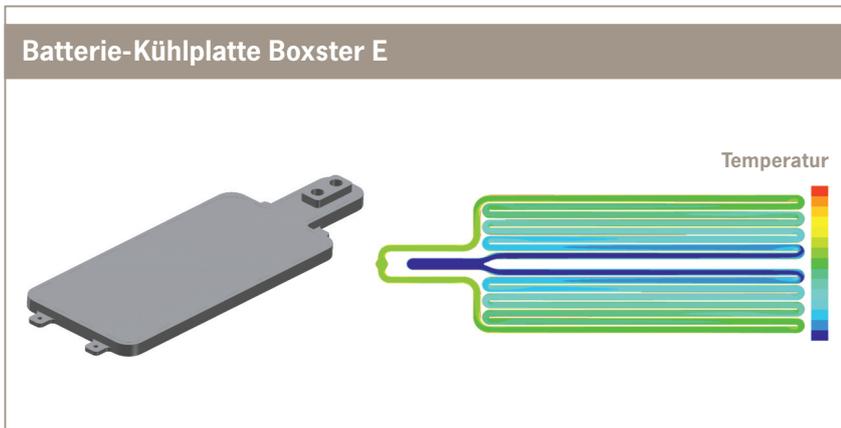
Bereits in der Konzeptphase entscheiden die Ingenieurinnen und Ingenieure von Porsche Engineering, mit welchem Kühlmedium und auf welche Art und Weise gekühlt werden soll. Hierzu hat Porsche Engineering eigens ein Thermal-Simulationstool entwickelt und durch Versuche validiert. Damit kann bei vorgegebenen Leistungsdaten und Fahrprofilanforderungen bereits in einem frühen Stadium der Fahrzeugentwicklung das

optimale Kühl- und Heizkonzept erarbeitet und festgelegt werden.

In der unteren Abbildung sind beispielhaft Ergebnisse einer Simulation der Batteriekühlung für den Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) dargestellt. Basierend auf der errechneten Verlustleistung kann sowohl die Temperaturerhöhung der Komponenten bestimmt, als auch der Kühlbedarf ermittelt werden. Des Weiteren kann der Energiebedarf für verschiedene Kühlkonzepte ausgegeben und somit das aus Gesamtfahrzeugsicht energetisch optimale Konzept ausgewählt werden.

Je nach Kundenwunsch konzipieren, entwickeln und optimieren die Thermodynamiker von Porsche Engineering das Gesamtfahrzeugkühlsystem, einzelne Kühl- und Heizkreisläufe oder auch Einzelbauteile. Ein Beispiel dafür ist die auf der nächsten Seite gezeigte Kühlplatte aus der Traktionsbatterie des Boxster E. Basierend auf einer





analytischen Grundauslegung mit dem erwähnten Thermalmodell wurde die Kühlplatte geometrisch konzipiert und mit numerischer Strömungssimulation (CFD) optimiert. Das Ergebnis ist ein optimal auf das Batteriepaket angepasster, hocheffizienter Wärmetauscher mit geringem Druckverlust, hoher Kühlleistung und sehr homogener Temperaturverteilung bei gleichzeitig optimiertem Gewicht.

### Innenraumklimatisierung

Eine weitere Herausforderung bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist die Bereitstellung von Heiz- und Kühlleistung für den Innenraumkomfort sowie für sicherheitsrelevante Aspekte wie die Beschlagfreihaltung der Scheiben oder die Scheibenenteisung (Defrost-Funktion). Die vom konventionellen Fahrzeug gewohnte und von den Kunden erwartete Innenraumklimatisierung benötigt an heißen und feuchten Tagen einen Energiebedarf von bis zu 3 kW und zum Heizen im Winter bis zu 7 kW. Da die Abwärme vom Verbrennungsmotor jedoch fehlt, wird dieser Energiebedarf meist aus der Traktionsbatterie gedeckt, zum

Beispiel durch den Einsatz eines Hochvolt-PTC-Zuheizers.

Wie Berechnungen zeigen, können solche Heizkonzepte genauso viel Leistung wie das eigentliche Fahren benötigen und damit die Reichweite um bis zu 50 Prozent reduzieren. Damit der Endkunde nicht vor die Frage „Frieren oder fahren?“ gestellt wird, entwickelt man bei Porsche Engineering neue und innovative Ansätze. Bedarfsgerecht, je nach Fahrzeugtyp und Anforderungsprofil, können Zuheizkonzepte basierend auf regenerativen Kraftstoffen oder Kombinationen aus Wärmepumpe, Latentwärmespeicher und luft- sowie wasserseitigen Zuheizern zusammengestellt und integriert werden.

Da die Porsche-Entwicklerinnen und -Entwickler stets auch das gesamte Fahrzeug im Auge haben, werden im Rahmen von Wärmemanagementoptimierungen auch Sekundärmaßnahmen betrachtet und auf Effizienz und Umsetzbarkeit hin überprüft. So kann der Einsatz von innovativen (Dämm-) Materialien und Konzepten zur Innenraum- und Bauteilisolierung zielführend sein, um Wärme-

leitung bewusst zu fördern oder gezielt einzudämmen.

### Fazit: Herausforderungen und Lösungen

Bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen fällt die konventionelle verbrennungsmotorische Kühlung ganz oder zumindest teilweise weg. Durch den Entfall der Motorabwärme sowie der Möglichkeit, über den Verbrennungsmotor Nebenaggregate anzutreiben, müssen sowohl aus thermischer als auch aus energetischer Sicht neue Lösungen entwickelt werden.

Dies führt zu einem komplexen Wärmemanagement auf unterschiedlichen Temperaturniveaus für die Kühlung der Batterie, der E-Maschine, der Leistungselektronik und gegebenenfalls eines Range-Extenders. Auch die Innenraumklimatisierung wird technisch anspruchsvoller.

Diesen Herausforderungen begegnen die Ingenieurinnen und Ingenieure von Porsche Engineering mit der Thermomanagementkompetenz aus dem klassischen Sportwagenbau sowie den Erfahrungen aus Eigenentwicklungen im Bereich der Elektromobilität.

Unter Einbeziehung sämtlicher Entwicklungswerkzeuge, von der Simulation und Berechnung über den klassischen Komponentenversuch am Prüfstand bis zum Gesamtfahrzeugversuch auf der Teststrecke, entwickelt Porsche Engineering Bauteile, Module und Gesamtsysteme zur thermischen Absicherung und Optimierung von Fahrzeugen und Produkten aller Art.