

Bericht zu den Abkühlversuchen an Batterie / Gastank-Dummies auf dem Brandplatz Trauen im März 2021

Gründe für die Durchführung der Versuche

Durch die steigende Anzahl an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und Kraftstoffen wird es notwendig, sich auch mit den damit verbundenen Gefahren auseinander zu setzen und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Da hierbei der Schutz der Traktionsbatterie bei batterieelektrischen beziehungsweise der Schutz des Gastanks bei gasbetriebenen Fahrzeugen eine wichtige Rolle spielt, wurde die Wirksamkeit verschiedener Kühl-/Löscheinrichtungen experimentell untersucht. Neben dem Schutz der Batterie / des Gastanks vor externer Erwärmung dienen diese Versuche auch der Bewertung der Wirksamkeit der Kühlung im Falle einer Fehlfunktion der Traktionsbatterie.

Versuchsaufbau

Der Aufbau des Versuches erfolgt mithilfe eines Batterie-/Gastank Dummies, der es ermöglichte, reproduzierbare Ausgangstemperaturen herzustellen, sowie Temperaturen an unterschiedlichen Positionen zu erfassen. Zur Kühlung wurde ein, in einer Höhe von ca. 2 Metern über dem Fahrzeugdeck angebrachter (siehe auch Untersuchte Anordnungen), Sprinkler sowie das, ebenfalls im Projekt ALBERO entworfene Boundary Cooling Device (siehe auch Abschnitt Boundary Cooling Device) untersucht.

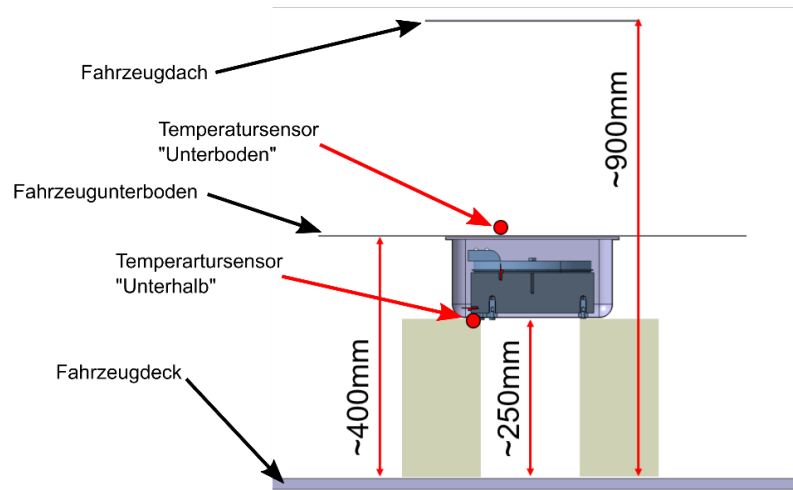


Abbildung 1: Aufbau der Fahrzeugnachbildung

Der Aufbau der Fahrzeugnachbildung ist in Abbildung 1 zu sehen. Diese besteht aus dem im folgenden beschriebenen Batterie-/Gastank-Dummy sowie mehreren Stahlplatten, die verschiedene relevante Bereiche (Dach und Unterboden) eines Fahrzeuges sowie das Fahrzeugdeck des Schiffes nachbilden. Die Erfassung der Temperaturen außerhalb dieses Dummies erfolgte mittels Thermoelementen an den zwei, in Rot eingezeichneten, Positionen.

Batterie-/Gastank-Dummy

Da der Versuchsaufbau wiederholbar genutzt werden sollte und mit der vorhandenen Energieversorgung auf dem Versuchsgelände betrieben werden muss, wurde der in Abbildung 2 zu sehende Aufbau entworfen.



Abbildung 2: Blick in den geöffneten Batterie- / Gastank-Dummy

Dieser besteht aus einem Aluminium Block (ca. 20 Kg), welcher als Wärmespeicher dient und eine ähnliche Wärmekapazität wie typische Lithium-Ionen Zellen besitzt, zwei Heizplatten mit je 2600 Watt Leistung um das System aufzuheizen, sowie einer Umhausung, die das typische Batteriegehäuse nachbildet. Durch einen Luftspalt zwischen dem Gehäuse und dem Aluminiumblock ist dieser isoliert. An nur 6 Verschraubungspunkten besteht direkter Kontakt zwischen dem Aluminium Block und dem Gehäuse wodurch eine gute Isolierung erreicht wird.

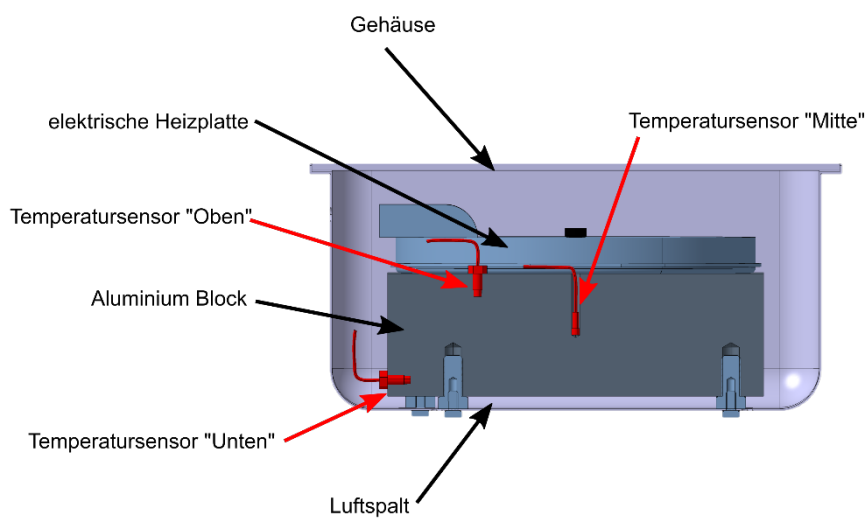


Abbildung 3: Schnittansicht des Batterie-/Gastank-Dummys

Zur Ermittlung der Temperaturen im Inneren dieses Aufbaus werden 3 Thermoelemente in den Aluminium Block verbaut. Die Positionen dieser Sensoren können Abbildung 3 entnommen werden, die eine Schnittdarstellung des aufgebauten Batterie-/Gastank-Dummys zeigt.

Boundary Cooling Device

Die Grundidee des Boundary Cooling Devices (BDC) besteht darin, den Fahrzeugunterboden, an dem sich typischerweise die Fahrzeugbatterie befindet, mit Wasser zu besprühen, um die Batterie zu kühlen sowie eine Wasserwand zwischen dem betroffenen Fahrzeug und den Umgebenden herzustellen, um eine mögliche Ausbreitung eines Feuers zu verhindern. Hierzu wurde die in Abbildung 4 zu sehenden Prototypen des Boundary Cooling Devices aufgebaut.

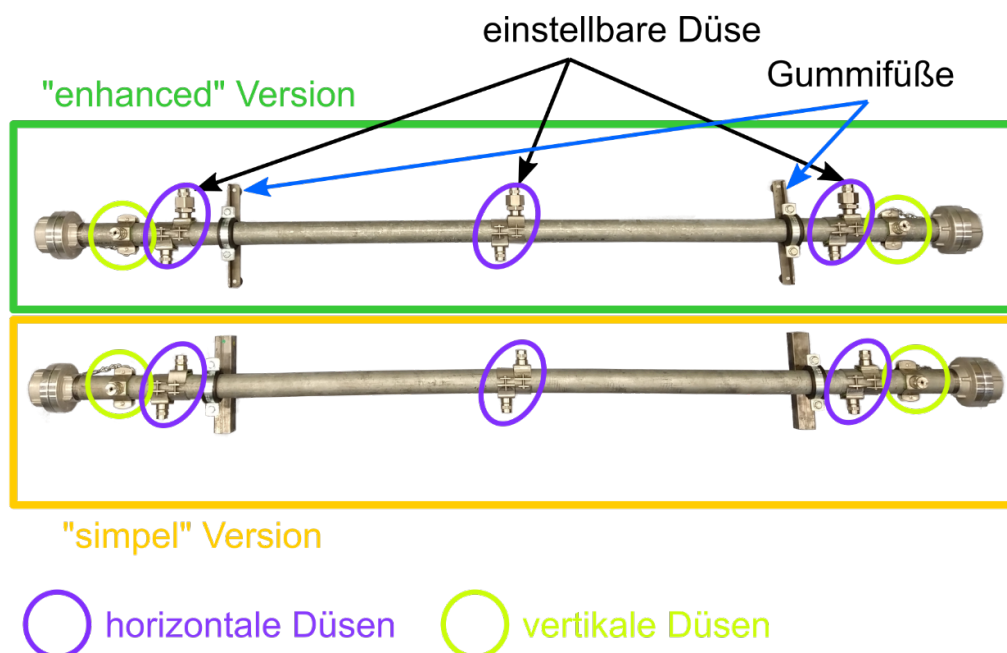


Abbildung 4: Prototypen der Boundary Cooling Device

Hierbei ist zu erkennen, dass zwei verschiedene Varianten des Boundary Cooling Devices gefertigt wurden. Diese unterscheiden sich durch die Standfüße, die bei der „enhanced“ Version flacher und mit einer Gummiauflage ausgeführt sind, sowie den drei horizontalen Düsen, die in dieser Ausführung einstellbar sind. Beide Ausführungen verfügen über 6 vertikale Düsen mit einem Sprühwinkel von 60° zur Benetzung des Fahrzeugunterbodens mit Wasser sowie 2 horizontalen Düsen die mit einem Sprühwinkel von 90° um eine schützende Wasserwand zu umgebenden Fahrzeugen zu erzeugen. Für die im folgenden beschriebenen Versuche wurde immer nur eine Düse direkt auf den Prüfaufbau ausgerichtet.

Untersuchte Anordnungen

Die Anordnung der einzelnen Komponenten der unterschiedlichen Aufbauten werden im Folgenden kurz beschrieben. Hierbei wurden die folgenden Varianten unterschieden:

- Ohne zusätzliche Kühlung (Konvektion)
- Sprinkler
- Boundary Cooling Device von der Seite
- Boundary Cooling Device von Unten
- Boundary Cooling Device von Unten + Sprinkler

Ohne zusätzliche Kühlung

Als Referenz für die Versuche in denen aktiv gekühlt wird, wird der Aufbau auch ohne zusätzliche Kühlung untersucht. Hierfür wird der in Abbildung 5 zu sehende Versuchsaufbau verwendet.

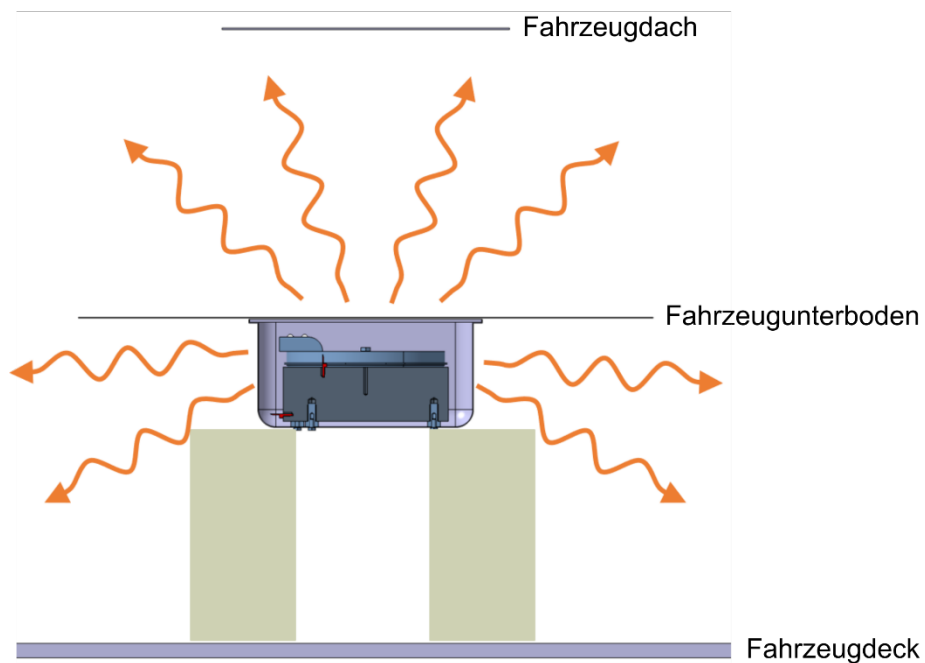


Abbildung 5: Versuchsaufbau „Ohne zusätzliche Kühlung“

Dieser besteht aus dem zuvor beschriebenen Batterie- /Gastank-Dummy, welcher auf Abstandshaltern auf dem „Fahrzeugdeck der Fähre“ steht sowie den Metallplatten die den Fahrzeugunterboden und das Fahrzeugdach simulieren.

Sprinkler

Beim Versuchsaufbau mit Sprinkler wird der in Abbildung 6 zu sehende Aufbau verwendet.

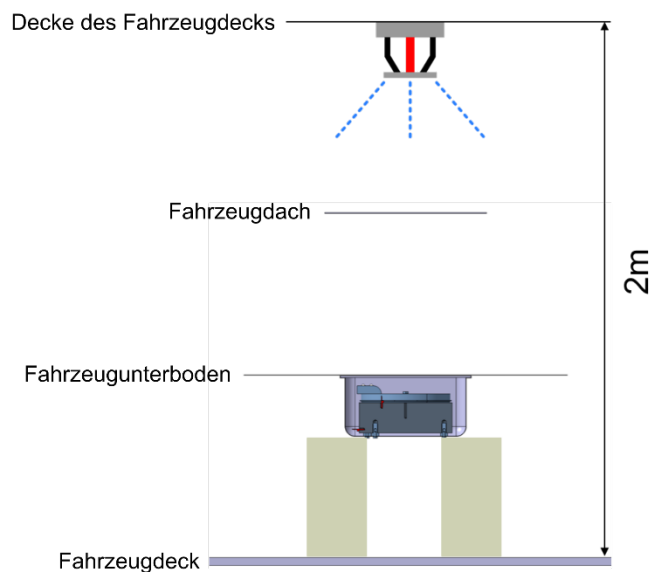
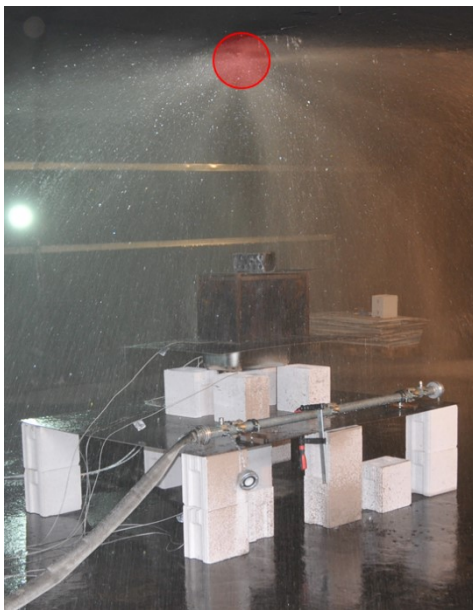


Abbildung 6: Versuchsaufbau "Sprinkler"

Dieser baut auf dem Aufbau der Versuche ohne zusätzliche Kühlung auf, es ist jedoch zusätzlich ein Sprinkler in einer Höhe von 2 Metern mittig über dem Versuchsaufbau angebracht.

BDC von der Seite

Der Aufbau des Versuches mit dem Boundary Cooling Device von der Seite ist in Abbildung 8 dargestellt.

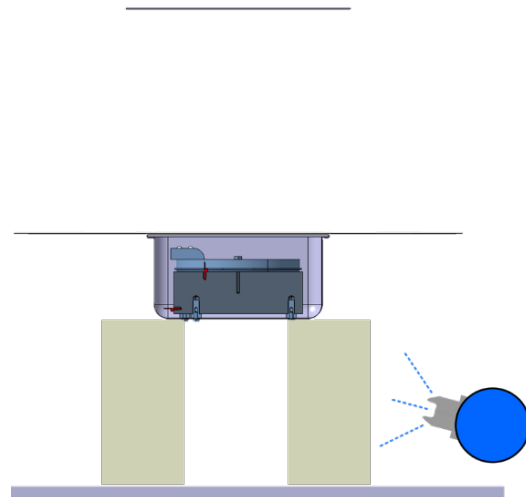
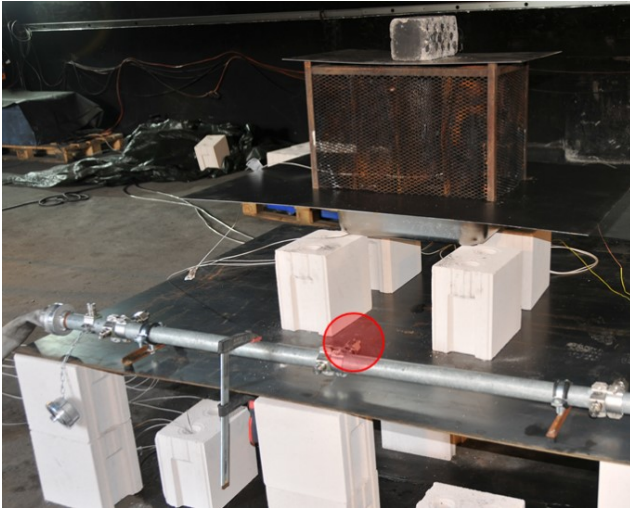


Abbildung 7: Versuchsaufbau "BDC von der Seite"

Hierbei wird die mittlere Düse des Boundary Cooling Devices verwendet, welche einen Sprühwinkel von 60° besitzt. In diesem Versuchsaufbau wurden die nicht benötigten Düsen trotzdem mit Wasser versorgt.

BDC von Unten

Abbildung 8 zeigt den Aufbau des Versuches mit dem Boundary Cooling Device unter dem Batterie-/Gastank-Dummy.

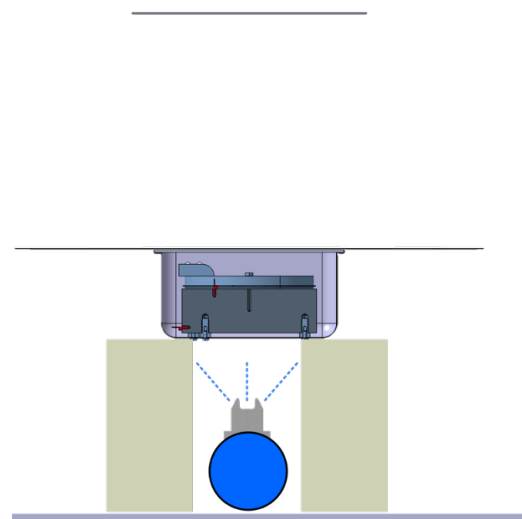
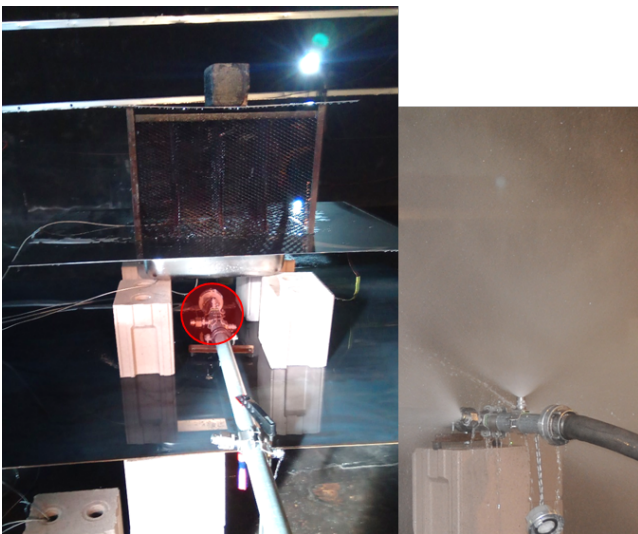


Abbildung 8: Versuchsaufbau "BDC von Unten"

Auch hierbei wurden alle Düsen eines Rohres des BCD mit Wasser versorgt. Zur Beaufschlagung des Batterie-/Gastank-Dummys wurde die vordere, senkrechte Düse des BCD verwendet. Diese besitzt einen Sprühwinkel von 90° .

Sprinkler und BDC von Unten

Für die Untersuchung des kombinierten Einsatzes des BDC und eines Sprinklers wurde der in Abbildung 9 zu sehende Aufbau verwendet.

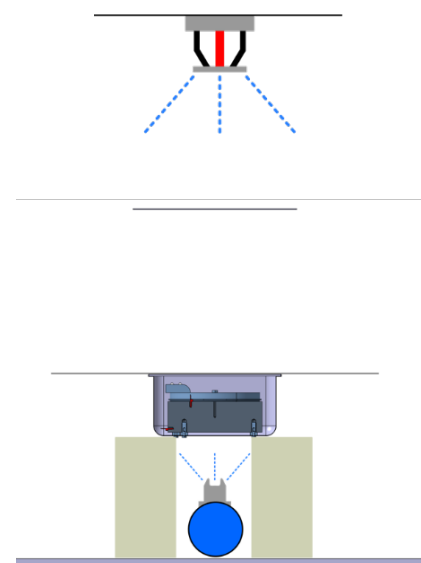


Abbildung 9: Versuchsaufbau „BDC von Unten + Sprinkler“

Die Positionierungen der einzelnen Komponenten sind identisch zu den Einzelversuchen.

Versuchsablauf und Messergebnisse

Versuchsablauf

Nach der Positionierung aller notwendigen Komponenten für den zu betrachtenden Versuchsaufbau erfolgte der Start der Heizphase. Diese startete mit der vollen Heizleistung der beiden elektrischen Herdplatten (ca. 5200W Gesamtleistung), verringerte sich jedoch nach dem Erreichen einer Temperatur von 450°C oberhalb der Herdplatten auf eine Leistung von ca. 3000W. Diese Heizphase wurde beim Überschreiten einer Temperatur von 373°C an der mittleren Temperaturmessstelle des Batterie-/Gastank Dummies durch die Unterbrechung der Stromzufuhr gestoppt. Um immer vergleichbare Ausgangsbedingungen für alle Versuche zu erreichen, erfolgte eine Abkühlphase ohne zusätzliche Kühlung bis zum Erreichen der Versuchs-Starttemperatur, welche auf 371°C festgelegt wurde. Nach dem Erreichen dieser Temperatur wurde die zu untersuchende Kühleinrichtung aktiviert und die Messzeit gestartet. Gemessen wurde für 15 bzw. 30 Minuten, nach deren Ablauf wurde die Kühleinrichtung abgestellt und zur Durchführung weiterer Versuche wieder mit der Heizphase durch das Einschalten der Heizung begonnen. Für jeden Versuchsaufbau wurden zwei Messungen durchgeführt.

Messergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt anhand der Temperaturverläufe an den unterschiedlichen Messpositionen. Hierzu werden die Messdaten der jeweils zweiten Messungen als Volllinie dargestellt, zur besseren Vergleichbarkeit ist zusätzlich für die jeweiligen Aufbauten eine Ausgleichsgerade als gestrichelt Linie eingezeichnet. Abbildung 10 zeigt die Temperaturverläufe für die Messstelle in der Mitte des Aluminiumblocks.

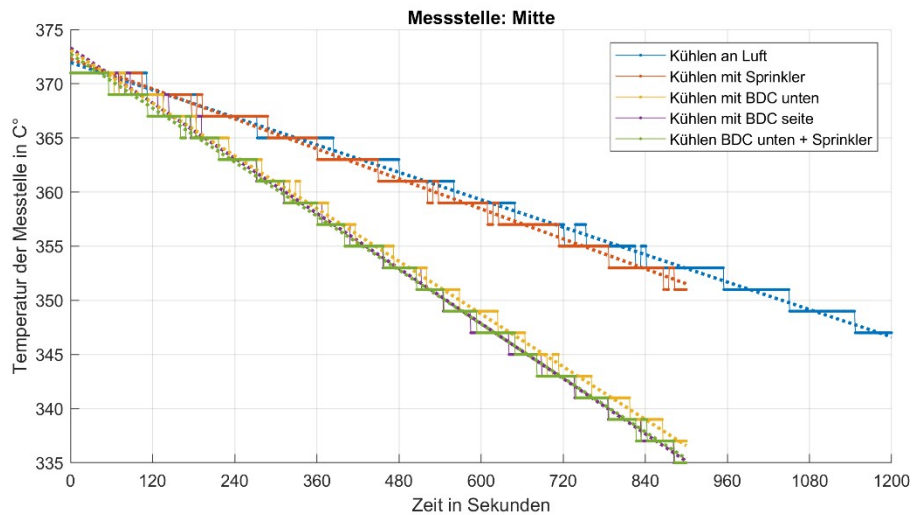


Abbildung 10: Temperaturverläufe der Messposition "Mitte" für die untersuchten Versuchskonfigurationen

In diesem Diagramm ist zu erkennen, dass der Einsatz des Sprinklers im Vergleich zur Referenz Abkühlkurve (Keine Zusätzliche Kühlung / Nur Konvektion) keine deutliche Beschleunigung der Abkühlung bewirkt. Dies lässt sich damit begründen, dass nur sehr geringe Mengen an Wasser durch ein Rückprallen von der unteren Platte auf das Gehäuse treffen und sich eine Änderung der Abkühlkurve hauptsächlich durch die Verringerung der Umgebungstemperatur einstellt. Weiter lässt sich feststellen, dass die Versuchsaufbauten BDC von Unten, BDC von der Seite sowie BDC von Unten + Sprinkler zu einer beschleunigten Abkühlung des Aluminiumblocks führen. Diese drei Versuchsaufbauten führen zu sehr ähnlichen Abkühlkurven.

Zur Bewertung der abgeführten Leistung wird mithilfe der Temperaturänderung dieser Messstelle über den Versuchszeitraum eine mittlere abgeführte Leistung berechnet. Diese ist für die fünf Aufbauten in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Abgeführte Leistung der einzelnen Versuchsaufbauten

Versuchsaufbau	Abgeführte Leistung	Änderung im Bezug zur Referenz
Keine zusätzliche Kühlung (Referenz)	374 W	-
Sprinkler	418 W	+ 12%
BDC von der Seite	792 W	+ 112%
BDC von Unten	748 W	+ 100%
BDC + Sprinkler	792 W	+ 112%

Werden die abgeführten Leistungen genauer betrachtet, fallen die insgesamt niedrigen Leistungen auf. So kann durch die zusätzlichen Maßnahmen zwar eine prozentuale Steigerung der abgeführten Leistung von bis zu 112% erreicht werden, trotzdem fällt die gesamte Kühlleistung geringer aus als erwartet.

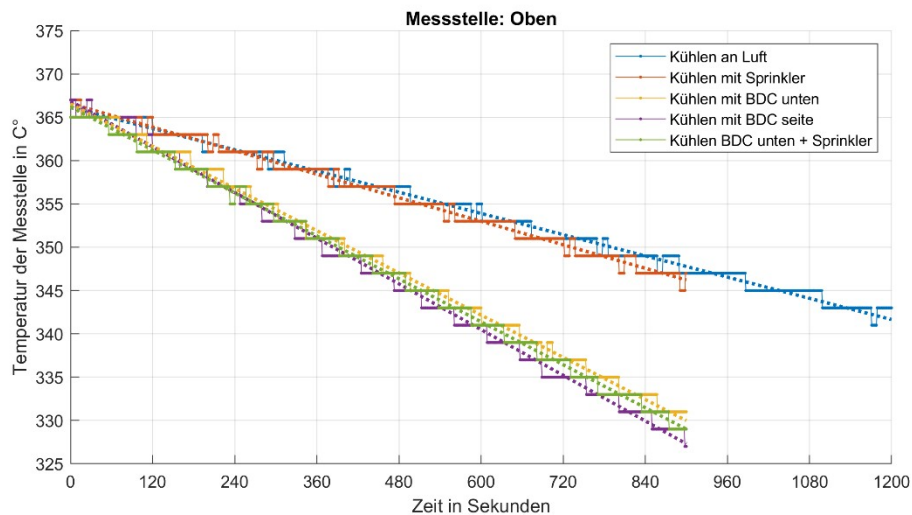


Abbildung 11: Temperaturverläufe der Messstelle „Oben“ für die untersuchten Versuchskonfigurationen

Abbildung 11 zeigt die Temperaturverläufe der Messstelle „Oben“. Auch hier lässt sich erkennen, dass der Einsatz eines Sprinklersystems keine oder nur sehr geringe Änderungen der Temperatur an dieser Messposition zur Folge hat. Die Temperaturverläufe sind denen der Messstelle „Mitte“ ähnlich.

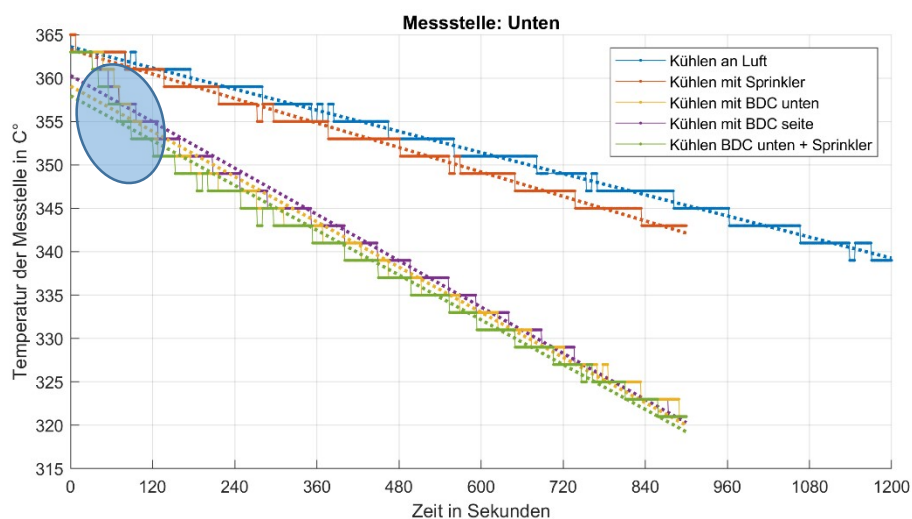


Abbildung 12: Temperaturverläufe der Messstelle „Unten“ für die untersuchten Versuchskonfigurationen

Durch die Positionierung der Messstelle „Unten“ in der Nähe eines Befestigungspunktes zwischen dem Aluminiumblocks und dem Gehäuse ist hier bei den Versuchen mit direkter Benetzung des Gehäuses auch ein Temperatursprung zu sehen.

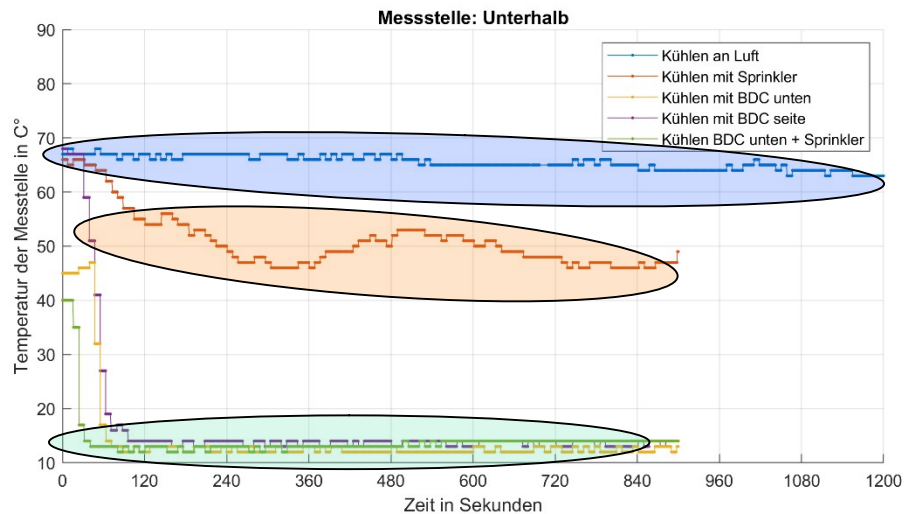


Abbildung 13: Temperaturverläufe der Messstelle "Unterhalb" für die untersuchten Versuchskonfigurationen

Werden die Daten aus Abbildung 13 betrachtet, welche die Temperaturen der Messstelle „Unterhalb“ darstellen, kann der Einfluss der Benetzung der Gehäuseoberfläche mit Wasser erkannt werden. Da diese Temperatur der Oberflächentemperatur des Versuchsaufbaus in Näherung entspricht, kann die Messstelle genutzt werden, um die Wirksamkeit für einen Gastank zu untersuchen. So lässt sich erkennen, dass die Temperaturen ohne zusätzliche Kühlmaßnahme nur sehr langsam sinken, die Aktivierung des Sprinklers führt zu einer geringen Senkung der Temperatur des Gehäuses. Die Versuchsaufbauten mit dem BDC unterhalb, dem BDC seitlich sowie dem BDC unterhalb mit aktiviertem Sprinkler führen zu einer deutlichen Reduzierung der Temperatur dieser Messstelle. Daraus lässt sich schließen, dass mithilfe der direkt benetzenden Maßnahmen (BDC unterhalb / BDC seitlich / BDC unterhalb + Sprinkler) ein Gastank schnell und effektiv gekühlt werden könnte.

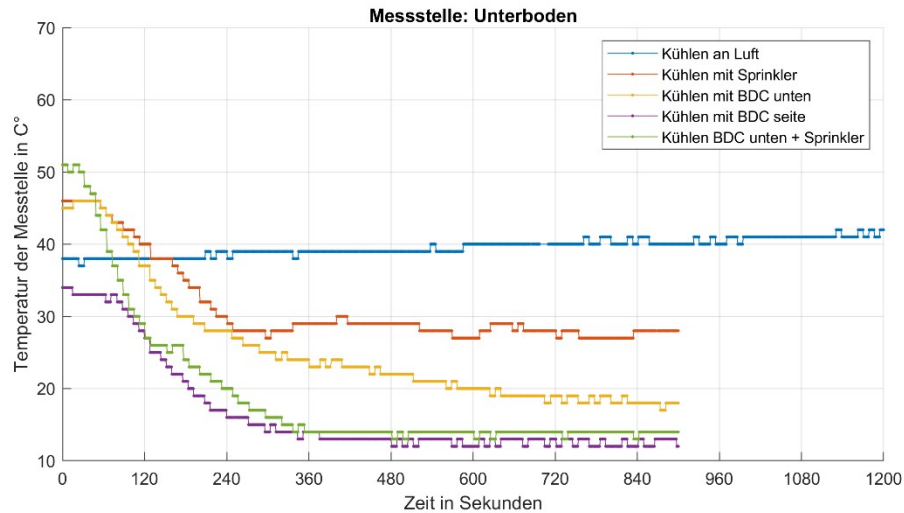


Abbildung 14: Temperaturverläufe der Messstelle "Unterboden" für die untersuchten Versuchskonfigurationen

Die in Abbildung 14 zu sehenden Temperaturverläufe zeigen die erreichten Temperaturen über dem Gehäuse des Batterie- / Gastank-Dummys. Durch die unterschiedlichen Bedingungen vor den Versuchen (Wasser auf der Unterbodenplatte, Haltezeit der Temperatur) starten die Versuche mit verschiedenen Temperaturen, es kann anhand der Verläufe jedoch erkannt werden wie viel Wasser in den jeweiligen Aufbauten an die Oberseite der Fahrzeugunterbodenplatte gelangt.

Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass durch den Einsatz geeigneter Kühleinrichtungen die Wärmeabfuhr eines Batterie Systems bzw. eines Gastanks verbessert werden kann. Zusätzlich kann festgestellt werden, dass der Einsatz eines Sprinkler-Systems nur sehr geringe Auswirkungen auf ein, unter dem Fahrzeug montiertes, Energiespeichersystem hat. Trotz dieser geringen Kühlwirkung sollte ein vorhandenes Sprinkler-System dennoch aktiviert werden, um die Ausbreitung eines möglicherweise im Verlauf eines Schadens auftretenden Brandes zu verhindern. Betrachtet man die Temperaturverläufe des Temperatursensors unterhalb des Versuchsaufbaus, welcher vergleichbaren Bedingungen wie ein Gastank ausgesetzt ist, lässt sich daraus schließen, dass sich die Temperatur eines Gastanks durch den Einsatz des BCD deutlich verringern lässt, da dieser typischerweise nicht isoliert verbaut wird. Wird jedoch der Temperaturverlauf der Messstelle im Inneren des Aluminiumklotzes, sowie die daraus berechnete abgeführte Wärmeenergie betrachtet wird klar, dass die Wärmeabfuhr verbessert werden kann, durch die Luftspaltisolierung im Verhältnis zur gespeicherten Energie jedoch immer noch sehr gering ist. Da dieses Verhalten stark von der thermischen Anbindung des Aluminiumklotzes (Batterien) an das Gehäuse abhängt und diese im verwendeten Versuchsaufbau sehr gering ist, sollten weitere Versuche mit einer höheren thermischen Anbindung durchgeführt werden, da auch in realen Fahrzeugen unterschiedliche Kühl- und Isolierungskonzepte zum Einsatz kommen.