

# Individuelle Produktgestaltung mittels funktionsintegrierten AM-Knoten und Profilen am Beispiel eines Batteriekastens

Richard Kordaß und Christian Arved Stürmer

## Einleitung

Die Entwicklungszeiten in der Automobilindustrie werden immer kürzer, die Produktpalette deutlicher breiter und die Anforderungen an Insassen- und Fußgängerschutz immer höher. Dafür müssen aus Sicht eines Engineeringdienstleisters Konzepte bereitgestellt werden, welche gut individualisierbar sind, mit geringem Aufwand an unterschiedliche Anwendungsszenarien angepasst werden können und gleichzeitig abgesichert sind. Dies ist insbesondere für das noch junge Feld der Elektromobilität von Bedeutung. Gerade hier sind flexible Konzepte wichtig, da neben den etablierten OEM auch neue Wettbewerber erscheinen.

Für diesen Zweck wird bei EDAG ein Technologieträger einer modularen Zusatzbatterie entwickelt, welches auf einer Struktur aus Halbzeugen (Strangpressprofile) in Kombination mit individualisierbaren, funktionsintegrierten, additiv gefertigten Knoten basiert. Die Struktur der Knoten ist mittels Topologieoptimierung auf einen Crashlastfall ausgelegt und außerdem die Funktionen zur Medienverteilung, Profilanbindung, Karosserieversteifung und Halteelemente integriert.

Nachfolgend werden die für die Entwicklung dieses Bauteils nötigen Grundlagen, der aktuelle Projektstand und der Engineeringprozess beschrieben.

## Stand der Technik

An elektrische Energiespeicher im Automobilbereich werden hohe Anforderungen hinsichtlich mechanischer und elektrischer Sicherheit gestellt. Die Positionierung der Batterie im Fahrzeug und der Aufbau der Gehäusestruktur sind daher von großer Bedeutung (vgl. Justen 2017, Norm UN ECE R100-2).

In auf Verbrennerfahrzeugen (ICE) basierenden, rein elektrischen Fahrzeugen, wie dem VW E-Golf müssen in der Karosserie vorhandene Bauräume genutzt werden. Die Speicher sind daher üblicherweise im Bereich des Kardantunnels, in freien Bereichen des Mittelbodens sowie unter der zweiten Sitzreihe positioniert. Hybridfahrzeuge (PHEV) nutzen normalerweise ähnlich Bauräume. Aufgrund der geringeren Größe der Speicher ist eine Positionierung im Bereich des Kofferraums aber ebenfalls üblich. Beide Fahrzeugtypen kennzeichnen sich durch einen einfachen Batteriegehäuseaufbau.

Bei rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (BEV), deren Karosseriestruktur gezielt für die Verwendung als BEV entworfen wurden, unterscheidet sich der Aufbau. Um die Fahrzeuge durch eine große Reichweite für den Kunden attraktiv zu gestalten, sind entsprechend großvolumige Batterien erforderlich. Diese werden oft flächig unter dem Fahrzeugmittelboden unter Nutzung der gesamten Fahrzeugbreite verbaut (vgl. Jaguar I-Pace, Audi e-Tron, Mercedes EQC). Dabei sind Hersteller bemüht, die Struktur des Batteriegehäuses in die Crashstruktur des Fahrzeugs als feste Lastpfade einzubinden. Dies bedingt aufwendige Gehäusekonstruktionen, da durch die zusätzliche Batteriemasse die im Crashfall abzubauenen Energie steigen. Das Gehäuse muss steif sein, um eine Intrusion und daraus resultierenden Zellschädigungen sowie ggf. Kettenreaktionen zu verhindern. Dem stehen Anforderungen im Bereich der Insassensicherheit gegenüber, da hier hohe Kräfte und Beschleunigungen zu vermeiden sind und Strukturen entsprechend duktiler ausfallen müssen.

In der Regel sind Batterien daher fahrzeugspezifisch und Anpassungen an andere Fahrzeuge mit hohem Entwicklungsaufwand sowie werkzeugseitigen Investitionskosten verbunden. Dagegen ist eine lasttragende Einbindung standardisierter Batterien in die Fahrzeugstruktur oft nicht praktikabel. Daher wird bei der Neuentwicklung von Batteriegehäusen von Anfang an großer

Wert auf deren Skalierbarkeit gelegt, um diese in einem möglichst breiten Fahrzeugspektrum einsetzen zu können (vgl. VW i.D., Byton).

Konventionelle Gehäuse bestehen vorwiegend aus Aluminium, da sich die Leichtbau- und Korrosionseigenschaften des Werkstoffs gezielt einsetzen lassen, um den Fahrzeugmassenanstieg durch die Batterie zu reduzieren. Oftmals werden Aluminiumstrangpressprofile für die Batteriegehäusestruktur eingesetzt. Hierbei können aufwendige Querschnitte kostengünstig hergestellt werden, welche in der Lage sind, die für die Crashesicherheit nötigen Steifigkeiten bereitzustellen. Für eine zuverlässige Verbindung der einzelnen Profilbauteile nutzen einzelne Fahrzeughersteller (z. B. Audi, VW) große Verbindungsknoten aus Aluminiumdruckguss, welche allerdings kostenintensiv in der Herstellung sind und schlecht individualisiert werden können.

Eine große Herausforderung stellt das Kühlsystem der Batterie dar. Um hohe Leistungen abrufen zu können und gleichzeitig eine möglichst lange Batteriebensdauer zu erzielen, sind die einzelnen Zellen auf einer optimalen Betriebstemperatur zu halten.

Ein möglicher Ansatz, diese Vielzahl an Herausforderungen zu lösen, ist der Einsatz additiv gefertigter Bauteile. Im Gegensatz zu konventionellen abtragenden Herstellungsverfahren werden hierbei Komponenten durch Materialauftrag erzeugt. Dadurch ist die Fertigung komplexer Geometrien ohne Verwendung von Werkzeugen möglich. Neben zunehmend verbreiteten kunststoffbasierten Verfahren gewinnt auch die additive Fertigung mit metallischen Werkstoffen an Bedeutung. Diese Fertigungsverfahren sind zeit- und somit kostenintensiv, aber aufgrund der guten mechanischen Eigenschaften der eingesetzten metallischen Werkstoffe und durch die Gestaltungsfreiheit ermöglichte Funktionsintegration zunehmend interessant für automobiler Anwendungsfelder, so auch für Strukturkomponenten.

Im Projekt wird das additive Fertigungsverfahren Laser-Strahlschmelzen (engl. Laser Beam Melting, LBM) zur Herstellung der Komponenten betrachtet. Darin entsteht das Bauteil schichtweise aus Metallpulver, welches selektiv mit einem Laser verschmolzen wird.

## Vorgehensweise

In Form von methodischem Vorgehen haben EDAG Fachexperten aus verschiedenen fachlichen Blickwinkeln (Body-in-White, Package, Elektrik/Elektronik, Batterietechnologie, CAE, Gewichtsmanagement, Produktionsplanung) erste Demonstratorkonzepte für ein additiv gefertigtes Bauteil erarbeitet. Ein integrales Energiespeicher-Halter-Konzept wurde darin favorisiert und hierzu konkrete funktionale Lastfälle abgeleitet.

Der integrale Energiespeicher-Halter soll die angespannte Package-Lage im Heckbereich von hybriden und/oder rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen durch maximale Funktionsintegration verbessern und dabei auf die sich weiterentwickelnde Batterietechnologien updaten lassen können. In Abbildung 1 sind die elektrischen Komponenten eines hybriden Fahrzeugs mit einer Batterie im Heckbereich dargestellt, welche bislang durch separate Halterysteme im Fahrzeug positioniert werden.

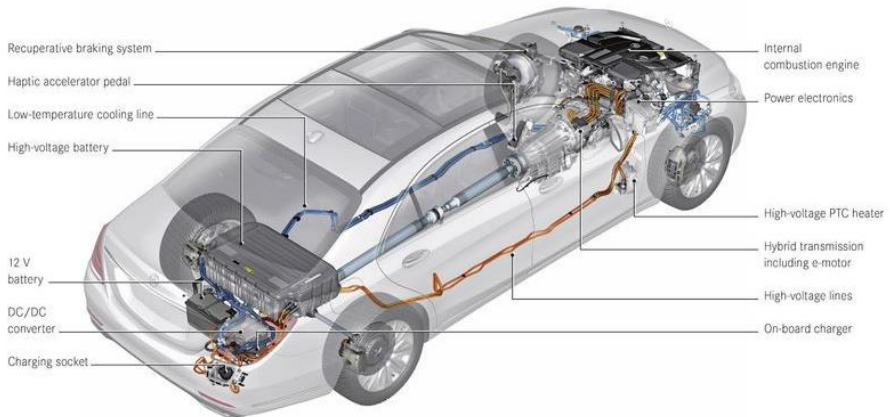


Abbildung 1: Ist-Zustand eines Hybriden Fahrzeugs in Serie 2017, als potentielles Anwendungsfeld für einen Demonstrator: Mercedes S 500 PLUG-IN HYBRID Komponenten (Green Car Congress 2014)

### Frequenz und Beschleunigung

Frequenz (in Hz)	Beschleunigung (m/s <sup>2</sup> )
7-18	10
18-30	schrittweise gesenkt von 10 auf 2
30-50	2

Tabelle 1: Durch eine Fahrzeugtraktionsbatterie zu erfüllende Betriebslast gemäß UN ECE R100-2

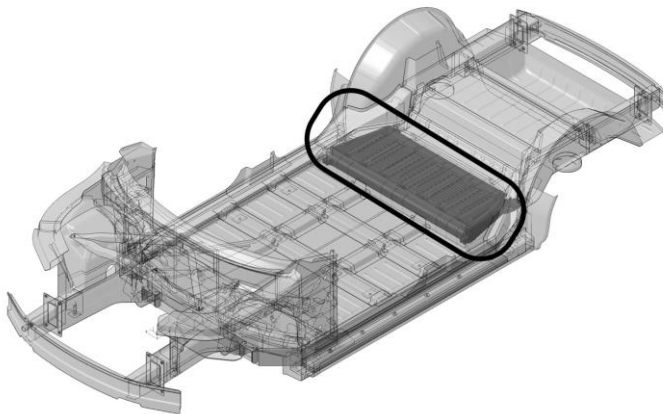


Abbildung 2: Einbaulage des Demonstrators "Rucksack-Batterieträger" (hervorgehobener Bereich) in der EDAG E-Plattform

Als auslegungsrelevante Lasten wurden für die o. g. Komponente folgende Tests aus Norm UN ECE R100-2 (Sicherheit von KFZ-Traktionsbatterien) hergeleitet. Alle Lastfälle wurden dieser Norm entnommen, um Vergleichbarkeit und Akzeptanz der möglichen späteren Anwender zu gewährleisten. Die Lastfälle lauten:

- Crashfall 1: Ersatz-Schlittentest (Beschleunigungen:  $\pm 28$  g in Fahrtrichtung,  $\pm 15$  g horizontal quer zur Fahrtrichtung, Masse:  $\sim 105$  kg)
- Crashfall 2: Absicherung im Fahrzeug (Seiten- und Heckaufprall)
- Betriebslast gemäß Tabelle 1 (entnommen aus UN ECE R100-2), Wirkrichtung vertikal quer zur Fahrtrichtung

Es wurde eine Zielapplikation eines funktionsintegrierten Batteriegehäuses entwickelt. Hierbei soll eine variantenfähige Methode geschaffen werden, bei der individualisierte, funktionsintegrierte additiv gefertigte Strukturknoten mit Standardprofilen verbunden werden, um so eine hochintegrierte und gleichzeitig für Kleinserien wirtschaftliche Anwendung zu gestalten. Als Demonstrator wurde ein Batterierucksack identifiziert, welcher sowohl als Nachrüstlösung in PHEV, als auch in Hochleistungs-BEV zum Einsatz kommen kann. In Abbildung 2 ist die beispielhafte Einbaulage in einem Fahrzeug dargestellt. Als Basis diente hierbei eine von EDAG entwickelte, auf individuelle Bedarfe skalierbare Plattform für elektrisch betriebene Fahrzeuge (EDAG E-Plattform).

Das besondere betrachtete Einsatzfeld solch eines skalierbaren Batteriekastens ist die Verwendung als Zusatzbatterie für Performancevarianten verschiedener Fahrzeuge. Die Aufgabe dabei ist es, in Spitzenlastphasen kurzzeitig Leistung bereitzustellen, Energie bei starken Bremsvorgängen aufzunehmen und dadurch die Hauptbatterie zu schonen. Konventionell eingesetzte Lithium-Ionen-Batterien sind nicht für die Abgabe und Aufnahme von Leistungsspitzen geeignet und reagieren mit Lebensdauerabnahme. Entsprechend kommen speziell auf diesen Anwendungsfall zugeschnittenen Energiespeicher im Demonstrator zur Anwendung.

Für die Entwicklung der additiv gefertigten Bauteile wurden in der gewählten Fahrzeugplattform verfügbare Bauräume ermittelt. Eine auf Grundlage der Bauräume und der relevanten Lastfälle durchgeführte Topologieoptimierung ist Basis der konstruktiven Umsetzung.

## **Aufbau**

Im Rahmen von mehreren durchgeführten Zyklen der Topologieoptimierung und Redesign (CAE und CAD) wurden schließlich die derzeitigen Arbeitsstände der so ermittelten Knoten erhalten, wie in Abbildung 3 dargestellt. Darin integriert sind sowohl Anbindungspunkte an die Standardprofile (Strangpressprofile) und die Karosserie (Anschraub- bzw. -klebeflächen), als auch die Verteilung der Kühlmedien. Im hinteren Knoten (rechts im Bild) erfolgt dabei die Beströmung der Strangpressprofile zur Kühlung der HV-Wandler und die Beströmung der Bodenplatte zur Kühlung der Batteriemo-

dule sowie die Rückführung des Kühlmittels. Im vorderen Knoten (links) erfolgt die Rückführung des Kühlmittels aus dem Boden hin zum hinteren Knoten durch das Strangpressprofil. Somit können zusätzliche Bauteile wie Schläuche, Rohre und Leitungen ersetzt und strukturintegriert ausgeführt werden. Weiterhin ist die Medienver- und -entsorgung zentral in den hinteren Knoten integriert, was eine gute Erreichbarkeit bedeutet.

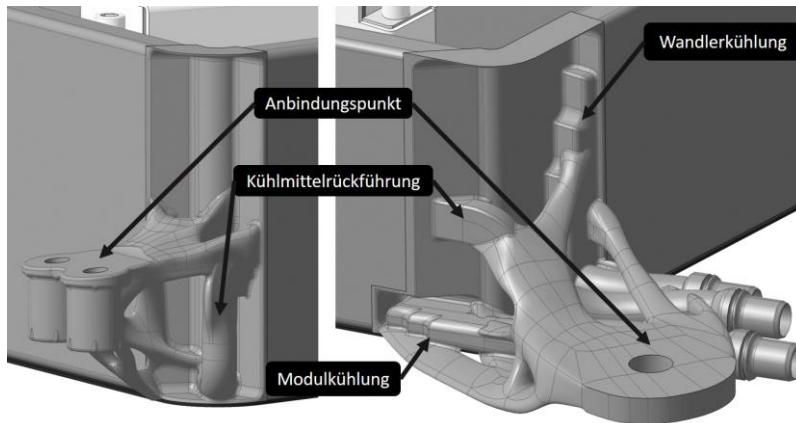


Abbildung 3: Derzeitiger Arbeitsstand der AM-Knoten: vorn (links) und hinten (rechts)

Die folgenden Funktionen sind am Demonstrator enthalten:

- Flüssigkeitsverteilung der Batteriekühlung im AM-Knoten
- Versteifung der Karosserie durch optimale Anbindung der Knoten
- Verbindung individualisierbarer AM-Knoten und standardisierter Profile, dadurch wird eine Update- und Variantenfähigkeit generiert
- Topologieoptimierung anhand Lastfall Crash

Um einen bestmöglichen Beitrag zur Karosseriesteifigkeit zu erzielen, ist der aus Strangpressprofilen aufgebaute Batteriekasten direkt an der Karosserie fixiert. Die geeignetsten Anbindungspunkte hierfür sind die vier Eckpunkte der Batterie sowie fahrzeugseitig ein Querträger an der Vorderseite und die Fahrwerksaufnahmeplätze an der Rückseite. Die Vorteile der Verwendung von Strangpressprofilen sind die niedrigen Herstellungskosten, die sehr gute

Längenskalierbarkeit sowie die guten mechanischen Eigenschaften der verfügbaren Legierungen. Der modular aufgebaute HV-Wandler liegt ebenfalls im Inneren des Batteriekastens und ist fest auf dem entsprechenden Strangpressprofil montiert. Über das Strangpressprofil wird eine aktive Fluidkühlung des Wandlers realisiert. Die Zuführung des Kühlmediums und die Versorgung der in den Kastenboden integrierten Modulkühlung erfolgt über die fahrzeugseitig hinten gelegenen AM-Knoten. Die Gestaltungsfreiheit des Verfahrens ermöglicht es, die Verteilstruktur so auszulegen, dass der Druckverlust über alle parallelen Kühlschleifen konstant ist und sich eine homogene Temperaturverteilung in der Batterie ausbildet (nach Cetkin 2017). Dabei ist es wichtig, eine mediendichte Verbindung zwischen den Knoten und den kühlmittelführenden Komponenten durch ein geeignetes Fügeverfahren zu gewährleisten.

Der detaillierte für die Entwicklung dieser Knoten durchlaufene Auslegung und Konstruktionsprozess ist nachfolgend erläutert.

## **Auslegung und Konstruktion**

### Definition der Bauräume

In der als Auslegungsgrundlage verwendeten Plattform ist im Package für sowohl ein- als auch zweistöckige Batterien Raum vorgesehen. Ausgangszustand ist eine einstöckige Konfiguration der Hauptbatterie. Der dadurch verfügbare Bauraum unter der zweiten Sitzreihe wird für die Zusatzbatterie („Rucksack“) verwendet. Unter Einhaltung erforderlicher Toleranzabstände zu angrenzenden Rohbaukomponenten und zwischen einzelnen Zellpaketen, wurden unterschiedliche Zellkonfigurationen untersucht. Die effizienteste Ausnutzung des Baumraums ließ sich unter der Verwendung prismatischer Zellen in einer Konfiguration mit sechs Modulen bestehend aus je 16 Einzelzellen erreichen.

Für die grundlegende Gehäusestruktur wurden Strangpressprofile aus Aluminium, sowie ein Deckel aus Kunststoff und eine Bodenplatte mit integriertem Kühlsystem in Sandwichbauweise entworfen.



Zur Minimierung des Volumens und somit der Kosten der benötigten additiv aufgebauten Strukturen wurde eine Trapezform in einer Optimierung gewählt, vgl. Abbildung 4. Die Eckbereiche stellen darin die Designspaces dar, welche der Topologieoptimierung als Freiraum zur Verfügung gestellt wurden. Das Modell ist soweit parametrisch aufgebaut und kann für geänderte Packageanforderungen mit geringem Aufwand angepasst werden. Somit konnte auch eine weitere Möglichkeit der optimalen Anpassbarkeit an Kundenspezifika geschaffen werden

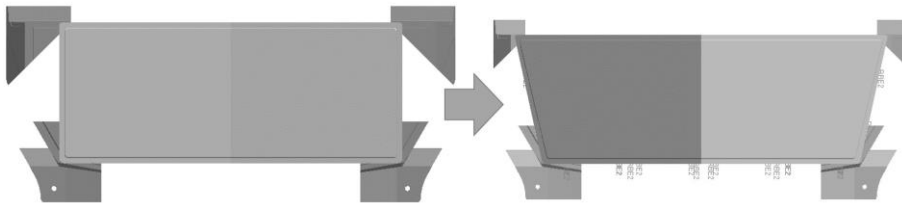


Abbildung 4: Übergang von Rechteck- zu Trapezform zur Minimierung der AM-Bauräume

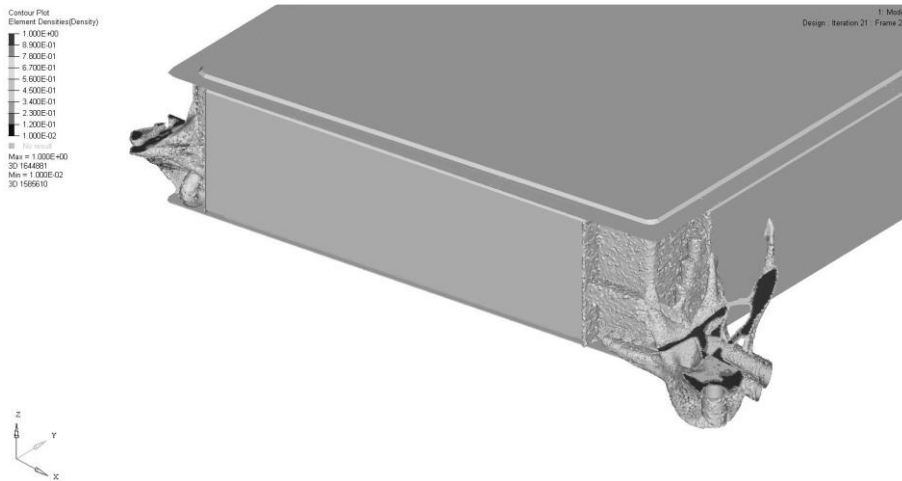


Abbildung 5: Ergebnisse der ersten Topologieoptimierung (Elemente mit einer Dichte unterhalb 60 % der Ausgangsdichte wurde in der Darstellung eliminiert)

## Topologieoptimierung

Ausgehend von den ermittelten Bauräumen wurden in Catia V5 Bauraummodelle erstellt und auf Basis der definierten Lastfälle eine Topologieoptimierung in Optistruct durchgeführt. Dabei wurden lediglich die Crashlastfälle untersucht. Der zweite Crashfall lässt sich erst im Zusammenspiel mit der gesamten Fahrzeugkarosserie zuverlässig ermitteln. Bei der Topologieoptimierung wurden die Anbindungsbereiche von Boden-Deckel und Strangpressprofilen als Kontaktflächen definiert, während die im Voraus in der Konstruktion definierten Kühlleitungen als Non-Design Space angenommen wurden. Die Verschraubungs- bzw. Klebeflächen wurden im Modell fixiert und das gesamte Modell den im ersten Crashfall definierten Beschleunigungslasten ausgesetzt.

Durch die Wahl geeigneter Optimierungsparameter führte die Topologieoptimierung zu verwertbaren Ergebnissen. Die in Abbildung 5 dargestellten Resultate zeigen eindeutige Lastpfade in den einzelnen Knoten, die es konstruktiv umzusetzen galt.

## Konstruktion

Zur Umsetzung der Topologieoptimierung in Konstruktionsdaten, wurden die Ergebnisdateien in die CAD Umgebung als STL importiert. Zur weiteren Verarbeitung der Geometrien wurden diese in der Flächenrekonstruktionsumgebung in bearbeitbare Freiformflächen überführt. Für einfache Geometrie ließ sich dies zuverlässig mit geringen Zeitaufwand realisieren. Bei komplexen Geometrien, insbesondere beim hinteren Knoten, war ein hohes Maß händischer Anpassungen erforderlich, vgl. Abbildung 6. Entsprechend wurde bei weiteren Iterationen die Geometrie in der Freiformumgebung ohne Rückführung der Flächen umgesetzt. Das Ergebnismodell der Topologieoptimierung dient dabei lediglich als Referenz.

Die Konstruktion der Anbindungs- und Kontaktflächen zu den an den Knoten angrenzenden Komponenten, ebenso wie die Kühlmittelleitungen, erfolgte als konventionelles parametrisches Flächenmodell. Dadurch lassen sich Änderungen an angrenzenden Gehäusekomponenten mit geringem Aufwand

auf die Anbindungsflächen übertragen. Durch Verschnitt der Anbindungsbe-  
reiche mit den frei modellierten Lastpfaden ergibt sich die endgültige Bau-  
teilgeometrie.

Neben der konstruktiven Umsetzung der Lastpfade erfolgte ebenfalls eine  
Anpassung der Kühlleitungsverläufe, um diese gezielter in die Lastpfade ein-  
zubinden. Das Modell durchlief mehrere Iterationsschleifen mit zunehmend  
detaillierter aufgelösten Optimierungsrechnungen.

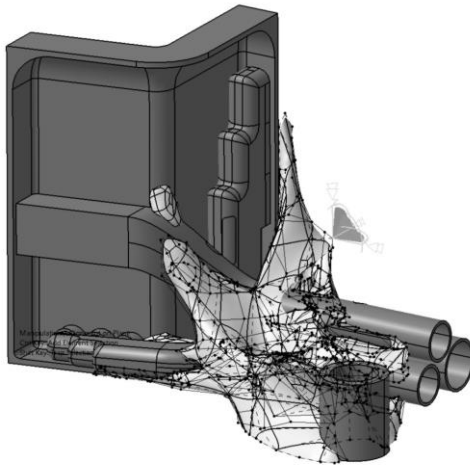


Abbildung 6: Konstruktive Umsetzung der Topologieoptimierung in CAD-Umgebung mit  
parametrisch modellierten Bauteilbereichen und rekonstruierten Freiformflächen

## Crashbewertung

Der auskonstruierte Entwurf des Batteriekastens ließ sich anschließend un-  
ter dem zweiten Crashlastfall bewerten. Für die Untersuchung wurde das  
vollständige Batteriekastenmodell in ein bestehendes CAE-Modell der Fahr-  
zeugplattform eingebunden und einer dynamischen Crashsimulation in LS-  
Dyna unterzogen. Als Materialdaten dienten Kennwerte des speziell für den  
LBM-Prozess entwickelten Werkstoffs Scalmalloy®. Neben einer dynami-  
schen Crashsimulation erfolgte auch eine Validierung der statischen Ausle-  
gungslasten.

Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die Knoten der Belastung standhalten und auch unter Crascheinwirkung den Batteriekasten sicher in Position fixieren. Lokal traten jedoch plastische Deformationen auf. Um diese Effekte besser in der Struktur des Knotens zu berücksichtigen, wurden aus der Crashrechnung Schnittlasten an einzelnen Knoten abgeleitet und als weitere Randbedingung in die Topologieoptimierung aufgenommen. Für einzelne Belastungsrichtungen betragen die maximalen Schnittlasten und -momente 21,1 kN und 513 Nm, während die restlichen Maximalwerte um 12 kN und 200 Nm lagen. Auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse erfolgte eine erneute Reduzierung des Design Spaces (vgl. Abbildung 7).

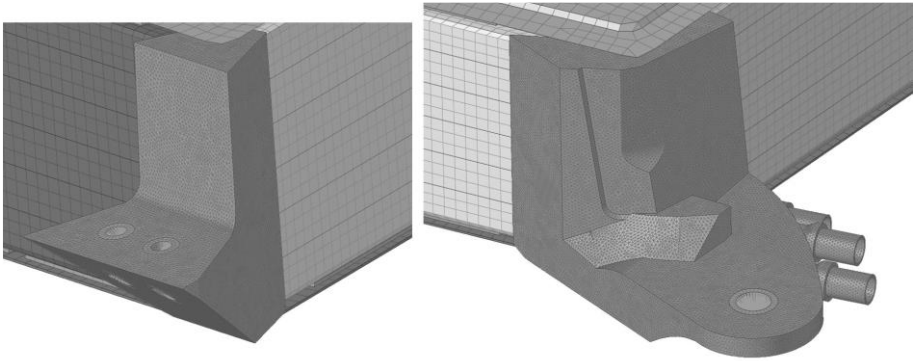


Abbildung 7: Reduzierte Design Spaces des vorderen (links) und hinteren Knotens (rechts)

In den Ergebnissen der Topologieoptimierung ließen sich erneut eindeutige Lastpfade identifizieren, wie in Abbildung 8 dargestellt.

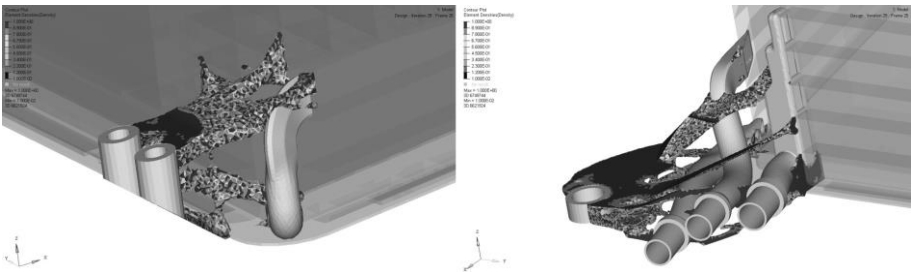


Abbildung 8: Ergebnisse der zweiten Iteration der Topologieoptimierung des vorderen (links) und hinteren Knotens (rechts), Element mit einer Dichte unterhalb 80 % der ursprünglichen Dichte wurden in der Darstellung verworfen

Die Ergebnisse wurden auf die CAD-Modelle übertragen. Da die Resultate des vorderen Knotens kaum von der bisherigen Struktur abwichen, erfolgte lediglich eine Anpassung des entsprechenden CAD-Modells. Die Abweichung der Ergebnisse des hinteren Knotens war ausgeprägter, sodass das bestehende Modell zu großen Teilen verworfen wurde und eine Neumodellierung erforderlich war.

### Berücksichtigung der Baurichtung

Da die Aufbaurichtung bei additiv gefertigten Bauteilen sowohl Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile als auch auf fertigmögliche Geometrien, benötigte Stützstrukturen und entstehende Oberflächeneigenschaften (Adam 2015) hat, ist es sinnvoll die Aufbaurichtung bereits als zusätzliche Randbedingung in die Topologieoptimierung einfließen zu lassen. Ein hierfür entwickeltes Skript wurde hinsichtlich der Nutzbarkeit untersucht (vgl. Abbildung 9, Abbildung 10).

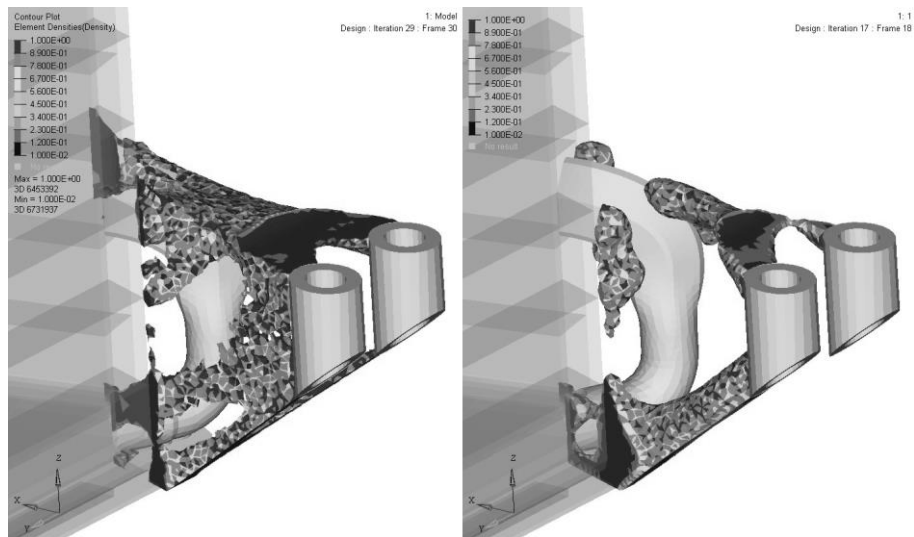


Abbildung 9: Anwendung des Baurichtungskonstraints in der Topologieoptimierung auf den vorderen Knoten (links original, rechts mit Baurichtung)

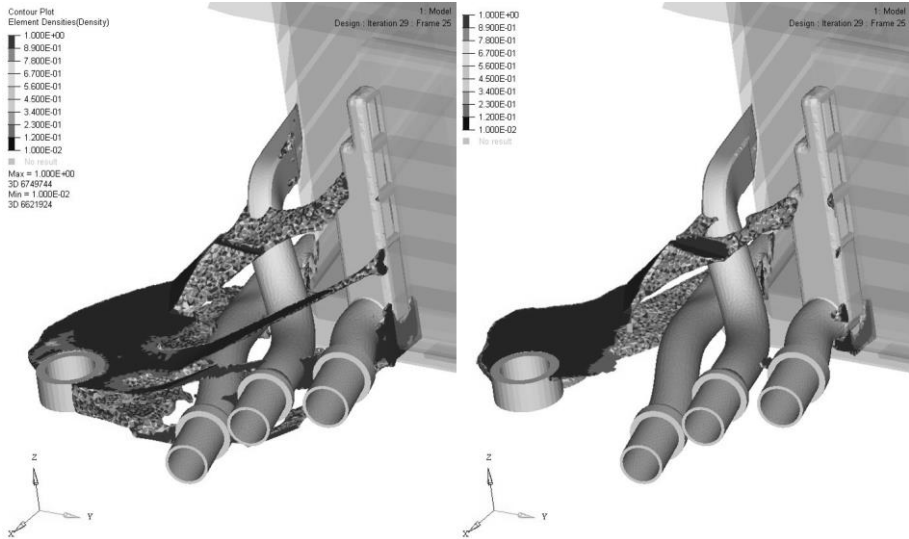


Abbildung 10: Anwendung des Baurichtungsconstraints in der Topologieoptimierung auf den hinteren Knoten (links original, rechts mit Baurichtung)

Auch unter Berücksichtigung der Baurichtungs-Randbedingung bilden sich eindeutige Lastpfade aus, die ebenfalls in Richtung der bisherigen Resultate liegen. Bestehende Lastpfade, die die Baurichtungsrandbedingung verletzen, entfallen vollständig, während verbleibende Lastpfade verstärkt werden. Es zeigt sich jedoch auch, dass Lastpfade, die bereits mit kleinen Stützstrukturen umsetzbar wären, entfallen und die Stützwirkung der Kühlmittleitungen vernachlässigt wird. Dies führt dazu, dass die Steifigkeit der Bauteile durch eine einseitige Lastpfadausprägung deutlich sinkt. Da das Skript lediglich eine Baurichtung als Eingangsparameter zulässt, wurden die Qualität der Berechnungsergebnisse und die Berechnungsdauer negativ beeinflusst. Entsprechend ist jeder Knoten einzeln zu optimieren und Symmetriebedingungen können nicht berücksichtigt werden.

Aufgrund der genannten Einschränkungen wird von einer konstruktiven Umsetzung der Berechnungsergebnisse abgesehen, bis das Skript den nötigen Reifegrad erreicht. Eine Berücksichtigung der Baurichtung erfolgt stattdessen durch eine konventionelle Entformschrägenanalyse in der CAD-Umgebung. Bereiche, die die Fertigungsrandbedingungen verletzen, werden entweder geändert oder, sofern praktikabel, mit dauerhaft am

Bauteil verbleibenden Stützstrukturen versehen, um eine manuelle Nacharbeit der Knoten so gering wie möglich zu halten.

Die durch die Knoten verlaufenden Kühlmittleitungen sind dreidimensional verlaufende geschlossene Strukturen, die umdrückt werden müssen. Aufgrund der Ausdehnung ihres dreidimensionalen Verlaufs erfordert diese unabhängig der gewählten Baurichtung Stützstrukturen. Eine nachträgliche Entfernung von Stützstrukturen aus den geschlossenen Kanälen ist nur unter hohem Aufwand möglich. Entsprechend wurden alternativen Ansätze verfolgt, um Stützstrukturen a-priori zu vermeiden. Die Geometrie der Kanäle wurde beispielsweise so angepasst, dass diese in Baurichtung mit einem fertigmachen Winkel spitz zulaufen und keine Stützstrukturen mehr erforderlich sind. Die angepasste Geometrie ist in Abbildung 11 dargestellt.

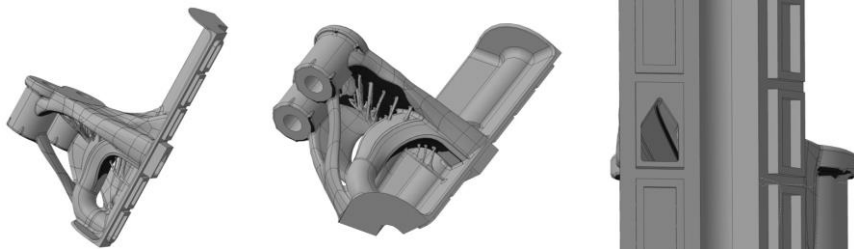


Abbildung 11: Entformungsschrägenanalyse auf vorderem Knoten (dunkle Bereiche verletzen bei der gewählten Baurichtung den zulässigen Überhangwinkel) sowie beispielhafter Verlauf der Kühlkanäle (rechts)

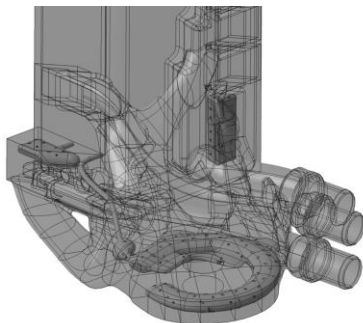


Abbildung 12: Eingeführte Hohlräume und Entpulverungskanäle im hinteren Knoten zur weiteren Masseinsparung

Das Vorsehen innerer Hohlräume ermöglicht weitere Masseneinsparungen. Aus diesen muss jedoch das unverschmolzene Metallpulver entfernt werden können, somit sind Entpulverungskanäle vorzusehen. Um eine Ansammlung von Verschmutzungen insbesondere durch Wassereintritt aus dem äußeren der Batterie (Nassbereich) zu vermeiden, enden diese im Batterieinnenraum (Trockenbereich). Die entworfenen Hohlräume und Entpulverungskanäle sind in Abbildung 12 ersichtlich.

### Verbindungstechnik

Die Verbindung der Knoten zu den Strangpressprofilen und dem Sandwichboden erfolgt durch Laserschweißen, da hier der Wärmeeintrag und damit der Verzug des Gehäuses gering gehalten werden kann und es ein flexibles Verfahren ist. Gleichzeitig können auch innenliegende Schweißnähte mittels Durchschweißen erzeugt werden.

Um eine sichere Kühlmittelführung über die Strangpressprofile zu ermöglichen, soll die Verbindung zwischen Strangpressprofil und Knoten durch Laserschweißen mediendicht erfolgen. Für eine Gewährleistung der Zugänglichkeit wurden die Anbindungsflächen abgeschrägt und die Verläufe der Lastpfade entsprechend angepasst. Für ein sicheres Verbinden der Kühlmittelinlässe der Bodenplatte mit der Verteilstruktur des hinteren Knotens muss dieser Bereich des Knotens über die Beschnittfläche hinausragen. Dies erfordert einen dreidimensionalen Beschnitt des Strangpressprofils. Die resultierende Struktur ist Abbildung 13 zu entnehmen.

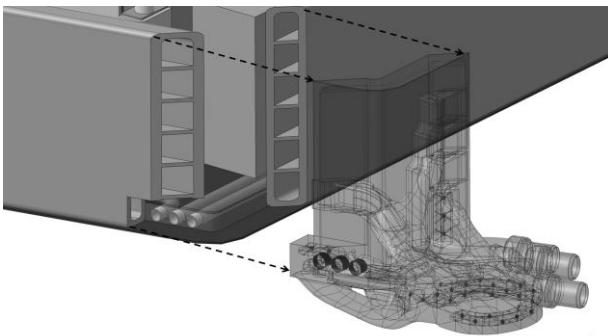


Abbildung 13: Schnittmodell des hinteren Knotens zur Optimierung der Fügegeometrie



Die fluiddichte Verbindung der Kühlleitungen im Sandwichboden mit den Knoten erfolgt durch das Einspritzen von Klebstoff. Durch die eingeschränkte Zugänglichkeit und die vorliegende Geometrie ist dies gegenüber anderen Verfahren zu präferieren.

## Zusammenfassung

Als mögliches Anwendungsfeld für additiv gefertigte Strukturkomponenten im Automotive-Bereich bieten sich Anbindungselemente skalierbarer Traktionsbatterien an. Hervorzuheben sind die große Variantenvielfalt solcher Bauteile und das hohe Potential für Funktionsintegration, welche noch weit über die gezeigten Konzepte hinausgehen kann. Ein auf den Anforderungen zur crashtsicheren Auslegung basierender Konzeptentwurf wurde numerisch bewertet. Das Modell durchlief mehrere Optimierungsschleifen mit entsprechenden Anpassungen des CAD-Modells. Aufgrund kurzer Lastpfade zwischen Batteriegehäuse und Karosserie bilden sich kompakte Knotenstrukturen aus. Eine Verfeinerung des Modells und eine gezielte Definition von Non-Design Spaces bewirkten ein Ausbilden ausgeprägter Lastpfade, die die integrierten Komponenten einbinden. In der konstruktiven Umsetzung konnte die Gesamtmasse des Gehäuses gegenüber dem Ausgangsmodell um ca. 25 % auf 14 kg reduziert werden. Bereiche des Knotens niedrigerer Belastung bestehen aus Gitterstrukturen, um die Masse gering zu halten und gleichzeitig die manuelle Nacharbeit (Entfernung von Supportstrukturen) zu minimieren. Die Kühlmittelversorgung konnte funktionsintegriert und gleichzeitig lasttragend ausgeführt werden. Die mechanische Funktionalität wurde durch numerische Berechnung erfolgreich für statische sowie kritische Crashfälle erfolgreich validiert. Auch erste Betriebsfestigkeitsbewertungen verliefen erfolgreich, werden weiterführend aber noch vertieft. Gegenüber einer konventionellen Anbindung in Stahlbauweise bieten die entworfenen Knoten bei geringerer Komponentenmasse, Kosten- und weitere Masseneinsparungen durch den Entfall von Kühlkomponenten und eine große Anpassbarkeit. Die schlussendliche Wirtschaftlichkeit unter Inbezugnahme der additiv gefertigten Knoten steht allerdings noch aus. Für eine kundenindividuelle Umsetzung können die Knoten an erforderliche Bauräume, Lastfälle und weitere zu integrierende Funktionen angepasst werden.

## Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), welches das Projekt „BadgeB“ (FKZ 02P15B155) mit einer anteiligen Förderung unterstützt.

## Literaturverzeichnis

- Adam, Guido. 2015: Systematische Erarbeitung von Konstruktionsregeln für die additiven Fertigungsverfahren Lasersintern, Laserschmelzen und Fused Deposition Modeling. Paderborn: Universität Paderborn
- Cetkin, Erdal. 2017: Constructal Microdevice Manifold Design With Uniform Flow Rate Distribution by Consideration of the Tree-Branching Rule of Leonardo da Vinci and Hess–Murray Rule. In: Journal of Heat Transfer, 139(8)
- Green Car Congress. 2014: Beitrag im Internet. [tps://www.greencarcongress.com/2014/09/20140915-s500phev.html](https://www.greencarcongress.com/2014/09/20140915-s500phev.html), veröffentlicht 15.9.2014, abgerufen am 10.2.2018
- Justen, Rainer. 2017. Requirements and Approaches for Li-Ion Batteries regarding Vehicle Safety. In: Advanced Automotive Battery Conference Europe, 31.01.2017, Mainz, Germany

## Kontakt

Richard Kordaß  
EDAG Engineering GmbH  
Reesbergstraße 1  
36039 Fulda  
[richard.kordass@edag.com](mailto:richard.kordass@edag.com)

Christian Arved Stürmer  
EDAG Engineering GmbH  
Gottlieb-Daimler-Str. 40  
74172 Neckarsulm  
[christian.arved.stuermer@edag.com](mailto:christian.arved.stuermer@edag.com)