

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 = F_{Ay} + F_{By} + F_{y1} + F_{y2}$$

$$\Rightarrow F_{Ay} = -F_{y1} - F_{y2} - F_{By}$$

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 = F_{Ax} + F_{Bx} - F_{x1} - F_{x2}$$

$$\Rightarrow F_{Ax} = F_{x1} + F_{x2} - F_{Bx}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iAy} = 0 = F_{y1} \cdot l_3 + F_{y2} \cdot (l_2 + l_3) + F_{By} \cdot l_1$$

$$\Rightarrow F_{By} = -\frac{F_{y1} \cdot l_3 + F_{y2} \cdot (l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3}$$

$$\sum_{i=1}^n M_{iAx} = 0 = -F_{x1} \cdot l_3 - F_{x2} \cdot (l_2 + l_3) + F_{Bx} \cdot l_1$$

$$\Rightarrow F_{Bx} = \frac{F_{x1} \cdot l_3 + F_{x2} \cdot (l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3}$$

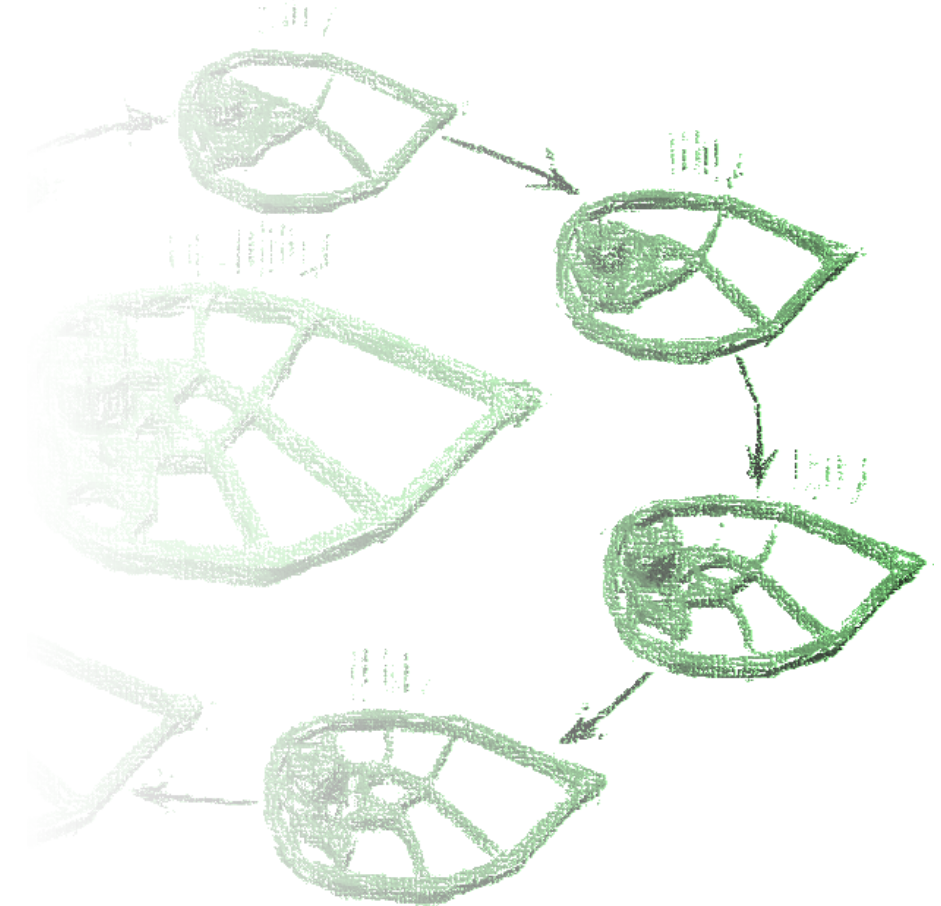
Masterarbeit

Simulationsgestützte Entwicklung eines Verteilergetriebegehäuses unter Verwendung von Methoden der Topologieoptimierung

Ausgearbeitet von Elias Oetterer

Agenda

- Motivation und Aufgabenstellung
- Durchführung
 - Anforderungen / Belastungen
 - Konstruktionsräume
 - Erste Optimierung in GTO
 - Rekonstruktion der ersten Optimierung
 - Zweite Optimierung in GTO
 - Rekonstruktion der zweiten Optimierung
- Validierung der Ergebnisse
- Fazit und Ausblick



Motivation und Aufgabenstellung

Motivation: In KMUs werden technische Bauteile wie Getriebegehäuse meist intuitiv konstruiert. Dies bedeutet, dass die Konstruktion von der individuellen Erfahrung und der Kompetenz der Konstruierenden abhängig ist. Zur Validierung werden FEM-basierte Softwares verwendet mit dem Ergebnis einer ineffektiven Materialnutzung und Verteilung.

Im Falle einer Optimierung wird die Geometrie manuell angepasst und überprüft, was zeit- und kostenintensiv ist.

Simulationsgestützte Entwicklung, insbesondere Methoden der Topologieoptimierung wenden mathematische oder empirische Modelle an, um in Bezug auf die Belastungen und den Entwurfsraum eine optimale Materialverteilung und Nutzung zu erzeugen.

Ziel: Ziel ist die simulationsgestützte Entwicklung eines Verteilergetriebegehäuses unter Verwendung von Methoden der Topologieoptimierung. Das Gehäuse soll leichter und steifer als das Vergleichsgehäuse sein. Umgesetzt wird dies mit Softwares von PTC.

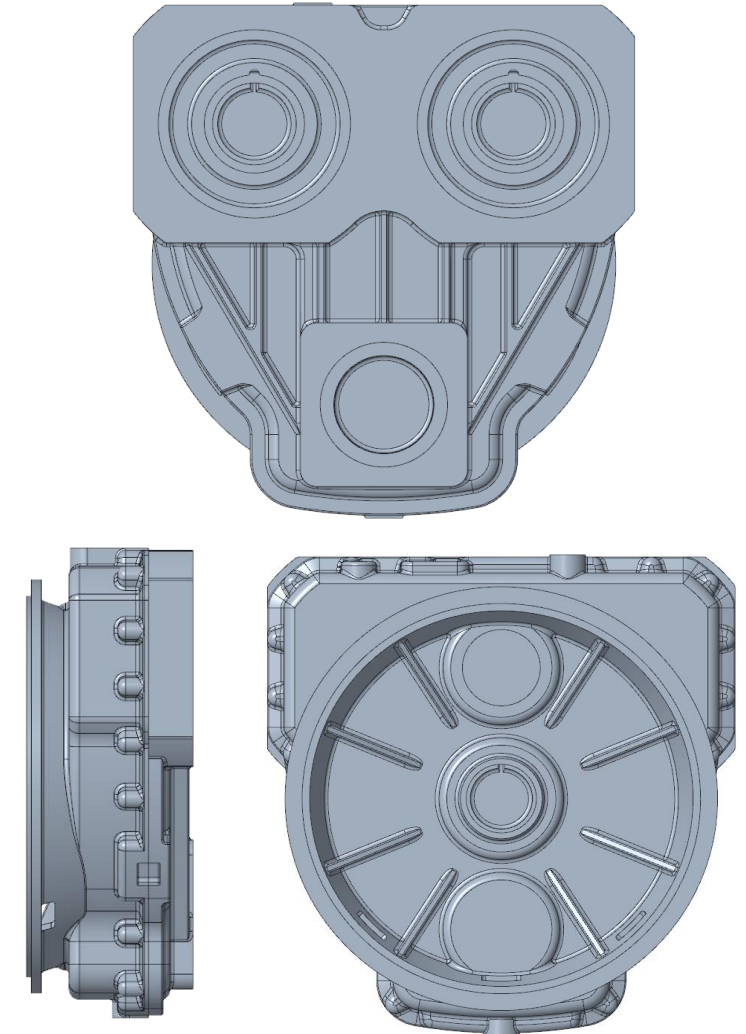


Abbildung 1: Zu optimierendes Getriebegehäuse

Durchführung: Geometrische Anforderungen

- Maximale Kantenlängen von (600x630x217) mm
- Eine Antriebswelle, 3 Abtriebswellen, eine Zwischenwelle
- Symmetrie zur xz -Ebene
- Anbindung an die Antriebseinheit mit SEA I Flansch [28]
- Abtrieb I mit SEA D Flansch [29]
- Abtrieb II & III passend zu Generatoren
- Masse geringer als 45 kg bei gleichem Werkstoff (Gussbauteil)

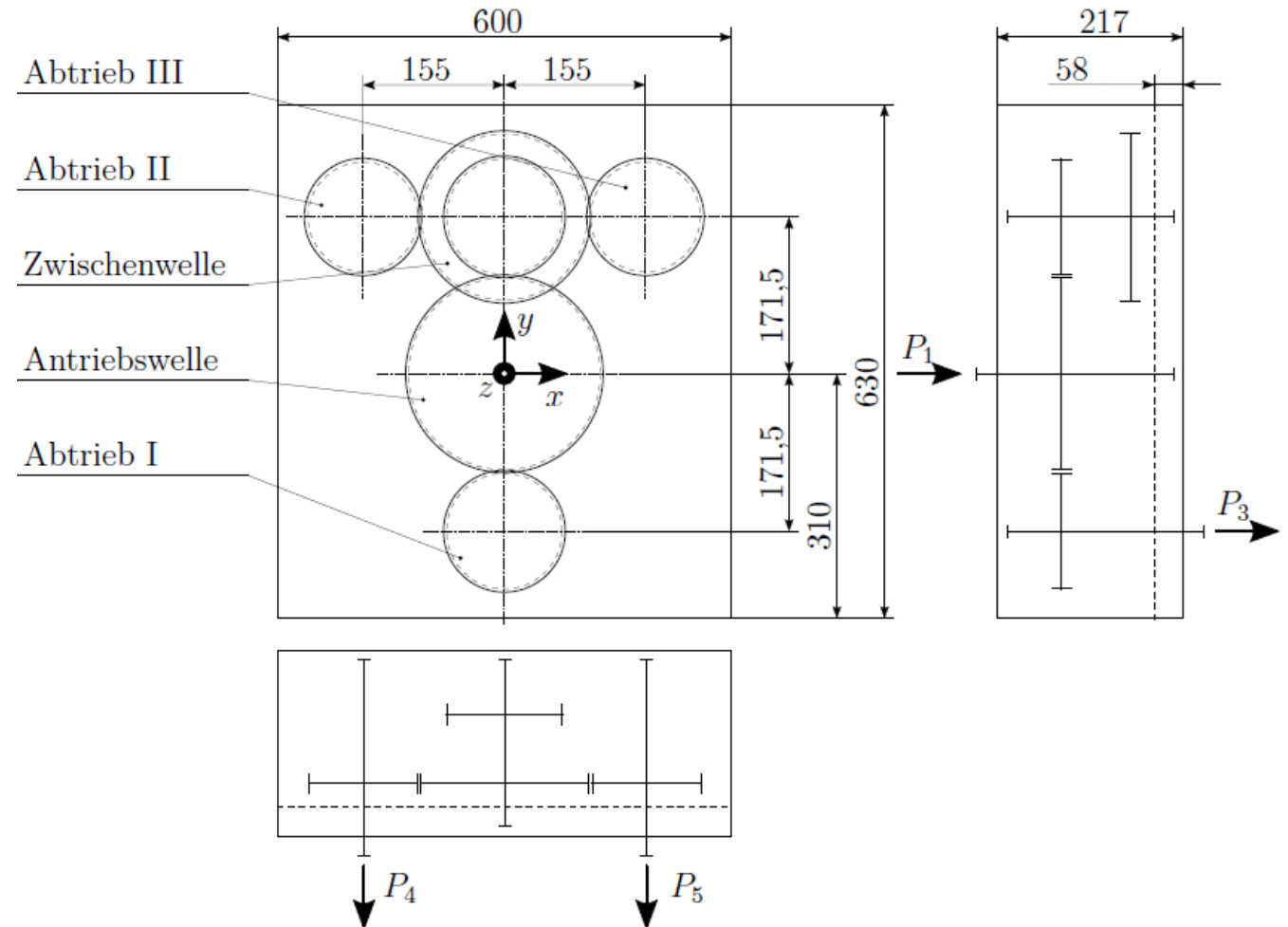


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Verteilergetriebes (Maßangaben in Millimeter)

Durchführung: Belastungen

Die Randbedingungen und Belastungen des Gehäuses bestehen aus:

Verzahnungskräfte
wirkend auf die Lagersitze

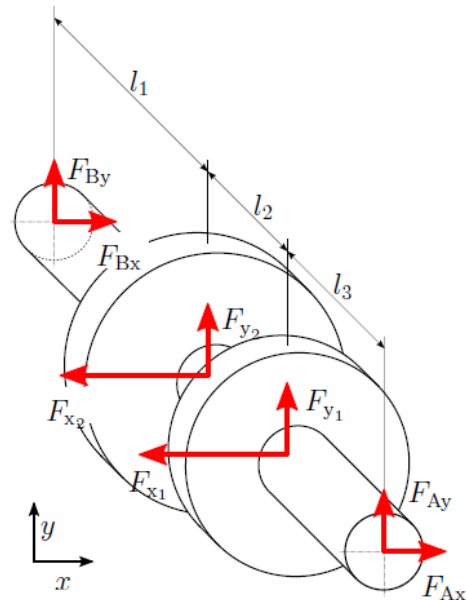


Abbildung 3: Lagerreaktionen

Momente wirkend auf die
Abtriebsflächen

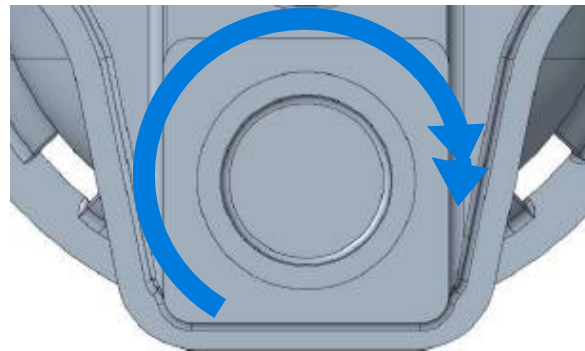


Abbildung 4: Abtriebsmoment

Beschleunigung der Massen [grav]:
 $a_x = 3$; $a_y = -2$; $a_z = 1,5$

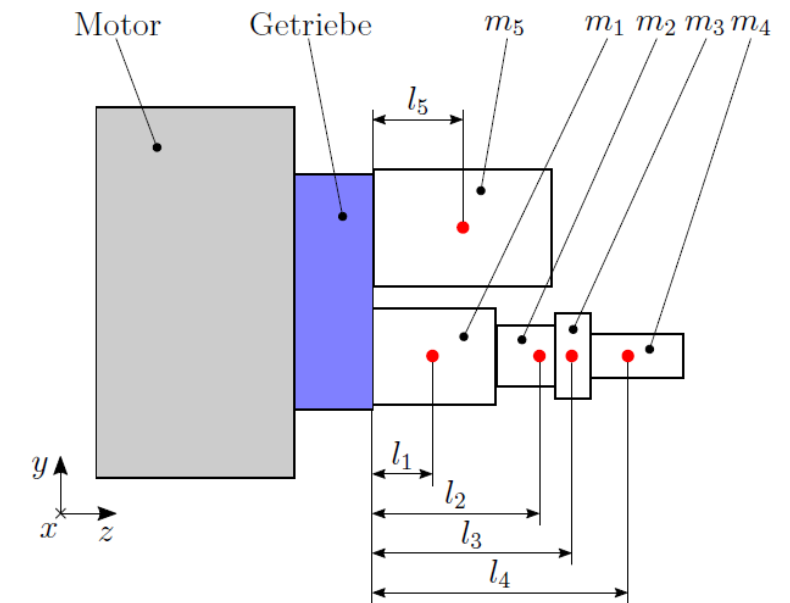


Abbildung 5: Abtriebsaggregate

Durchführung: Konstruktionsräume

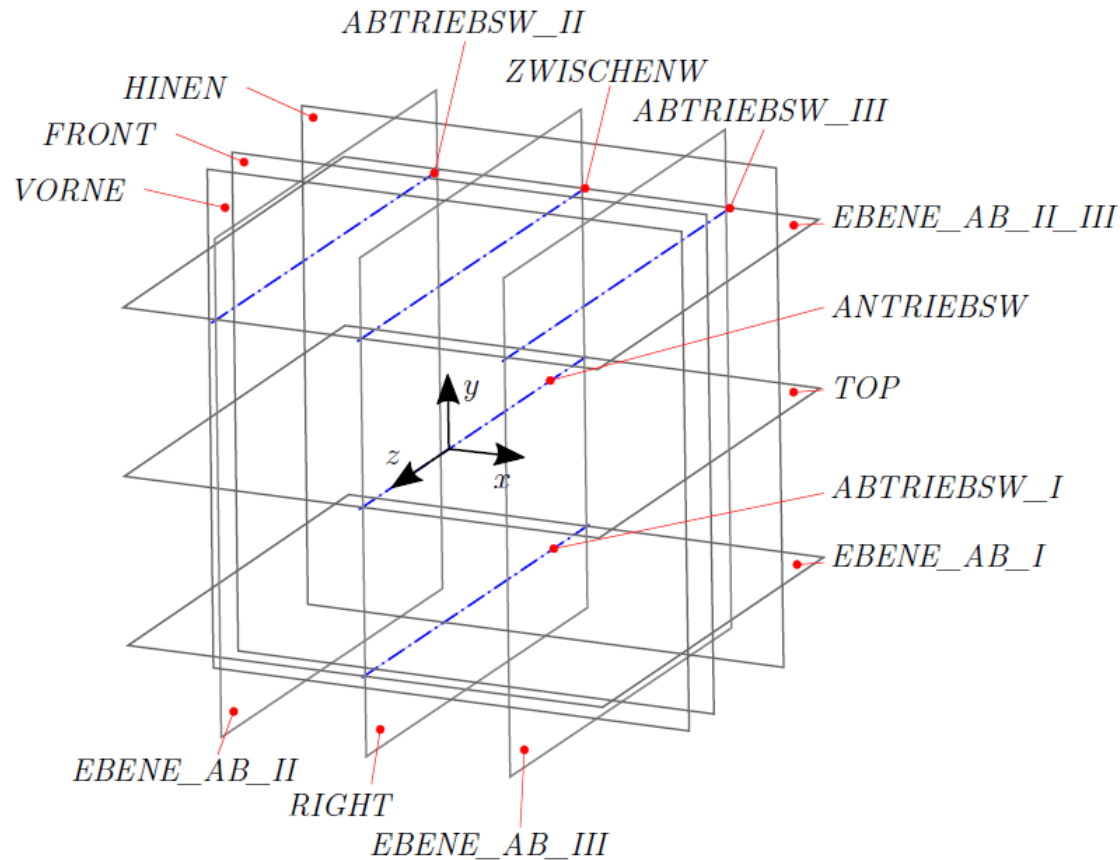


Abbildung 6: Achsen und Ebenen des Modells

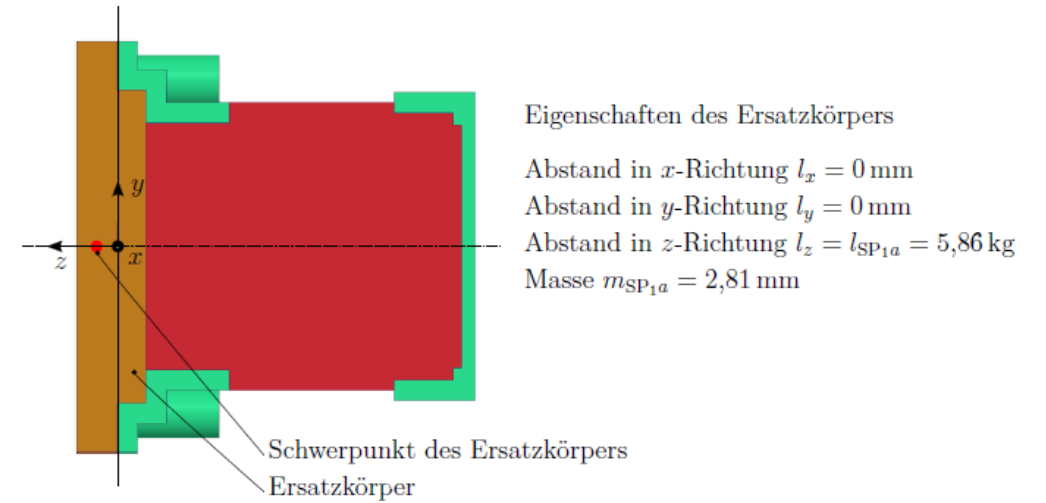


Abbildung 7: Erstellen der Aggregatersatzkörper

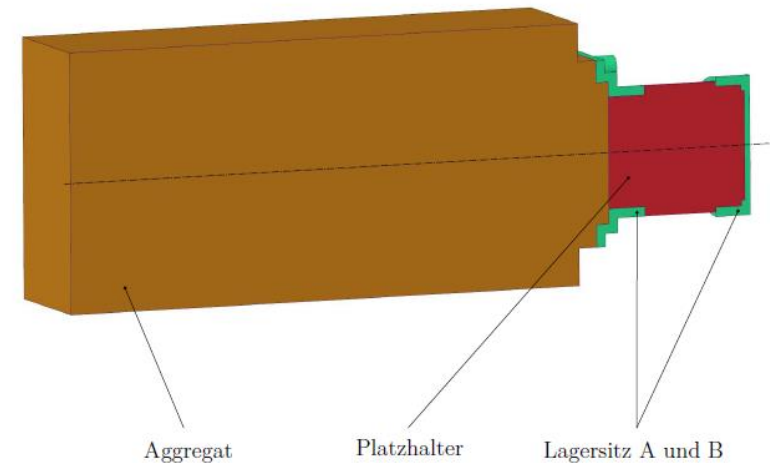


Abbildung 8: Aggregatersatzkörper von Abtrieb I im Schnitt

Erste Optimierung in GTO

- Zuweisen der Konstruktionsräume
- Erstellen der 5 Belastungsfälle
- Zuweisen der Materialeigenschaften
- Festlegen der:
 - maximalen Masse: 24,3 kg (Ziel)
 - Symmetrie: xz-Ebene
 - Elementgröße: 8 mm (462199 Elemente)
 - Maximalen Iterationen: 800

Bezeichnung	Wert	Einheit
Dichte	2,68	kg/dm ³
Symmetrie	isotrop	-
Querkontraktion	0,35	-
Elastizitätsmodul	74000	MPa
Zug-Streckgrenze	220	MPa
Zugspannung	180	MPa

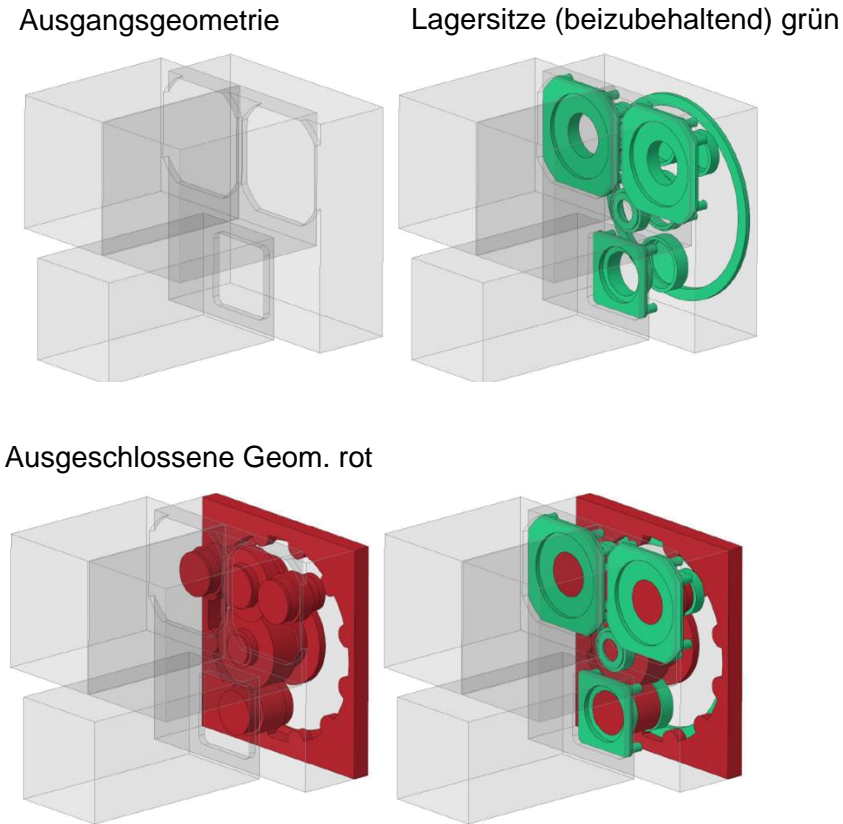


Abbildung 9: Fertig modellierte Konstruktionsräume in verschiedenen Zuständen

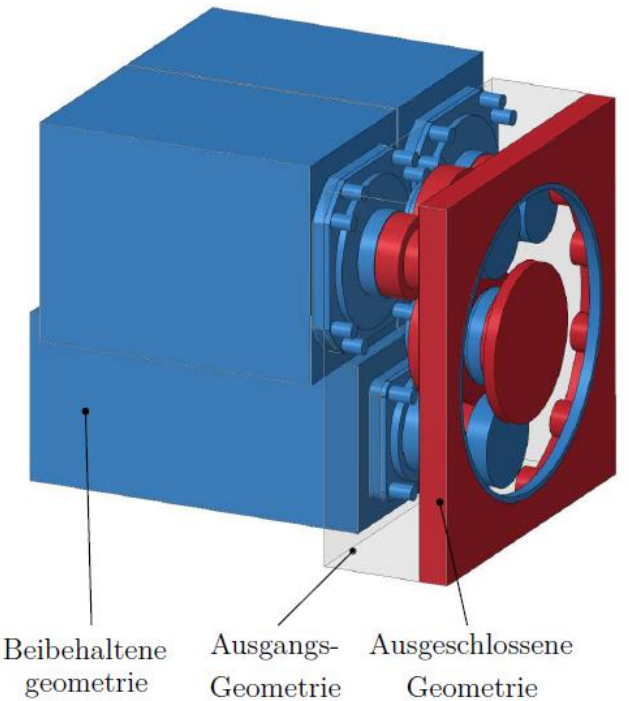


Abbildung 10: Zugeteilte Konstruktionsräume in GTO

Erste Optimierung in GTO

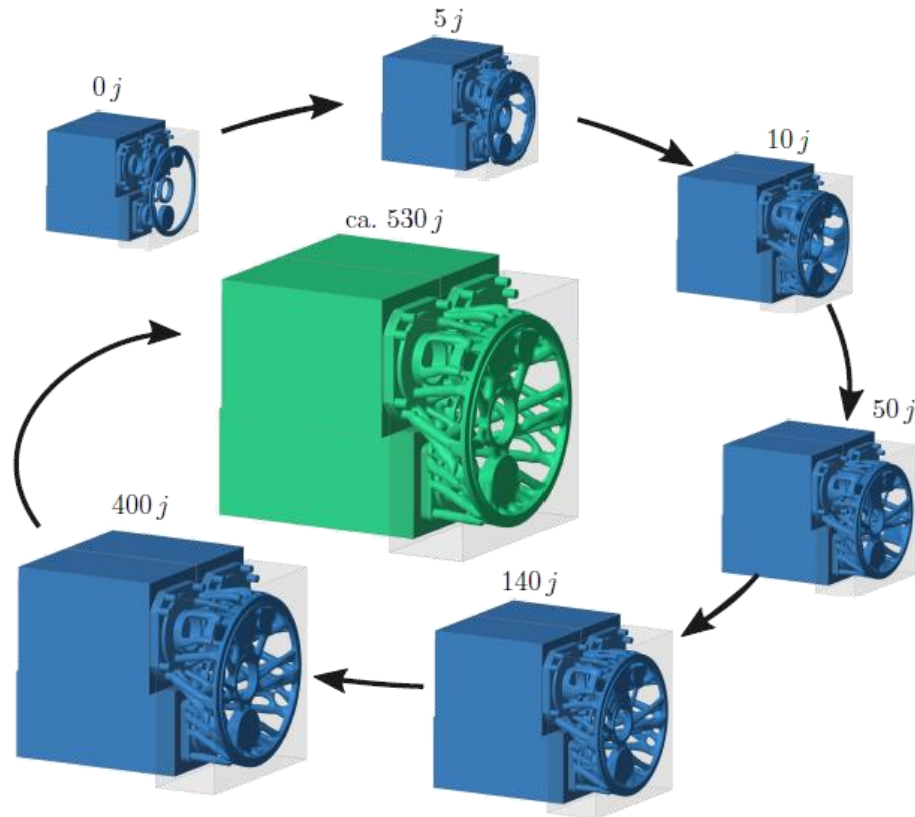
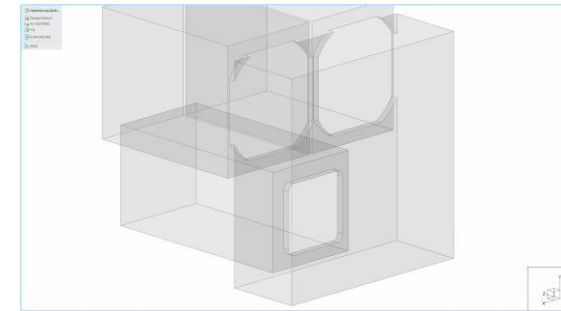


Abbildung 11: Iterationsschritte der ersten Getriebeoptimierung

- Dauer 2:34:55 h
- Ergebnis 26,05 kg (inkl. aller beizubehaltenden Bereiche)
- Maximale Vergleichsspannung in GTO: 18,6 MPa (angestrebt wird Wert kleiner 25 MPa)
- Gehäuse ist offen und erfüllt somit nicht die Anforderungen



Zeitraffer der ersten Optimierung

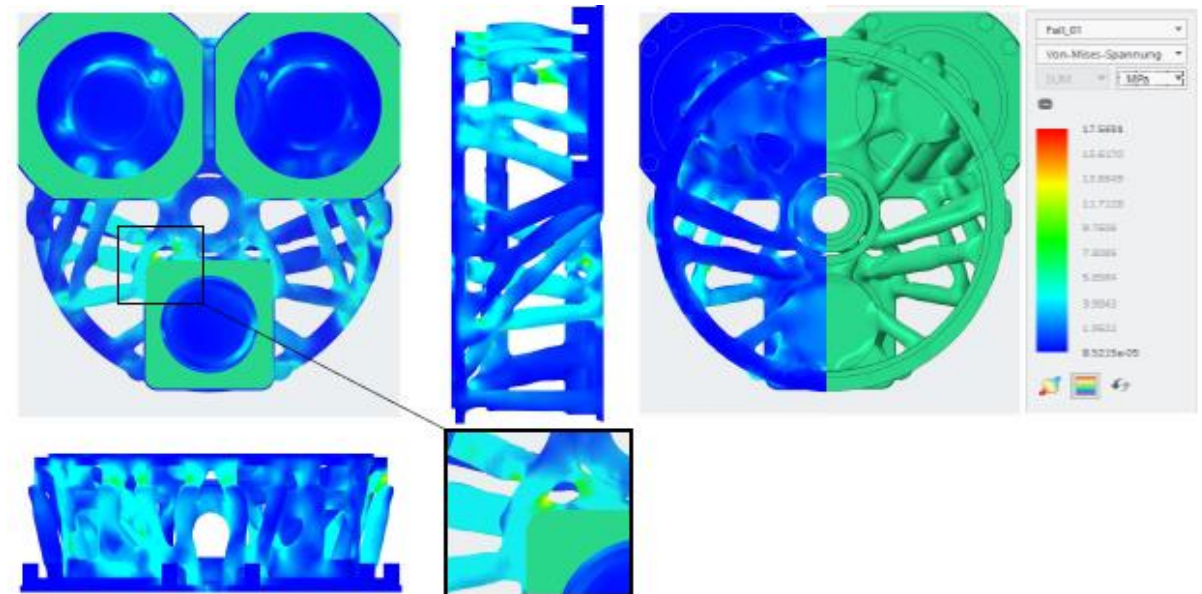


Abbildung 12: Spannungsverlauf der Optimierung in GTO

Rekonstruktion der ersten Optimierung

- Es wird manuell rekonstruiert, da ein geschlossenes Gehäuse benötigt wird.
- Bei der Rekonstruktion werden Verbund-KEs verwendet.
- Nach Möglichkeit wird sich an den Streben aus der Optimierung orientiert.
- Alle weiteren KEs werden der Konstruktion hinzugefügt: Lagersitze, An- und Abtriebsflächen, Verschraubungsnocken und Dichtflächen
- Das Gehäusegewicht beträgt in diesem Zustand 30,02 kg
 - Ca. 4 kg mehr als das Optimierungsergebnis
 - Ca. 15 kg weniger als das Referenzgetriebe
- Anschließend Durchführung einer weiteren Optimierung unter Berücksichtigung der Rekonstruktion

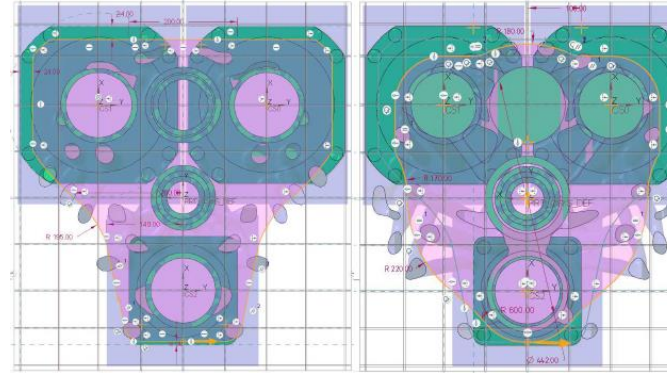


Abbildung 13: 2D-Skizzen des Verbund-KEs

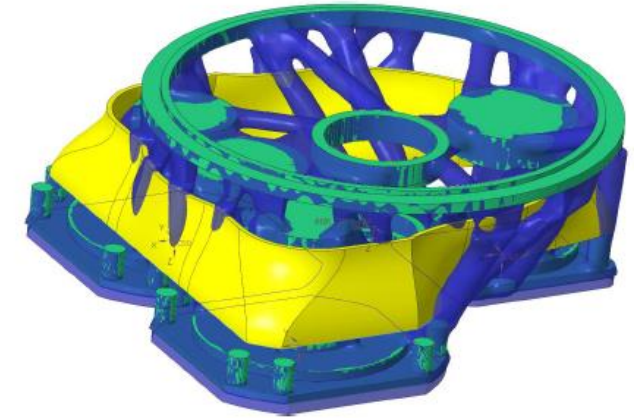


Abbildung 14: Aufgedicktes Verbund-KE der Seitenwände

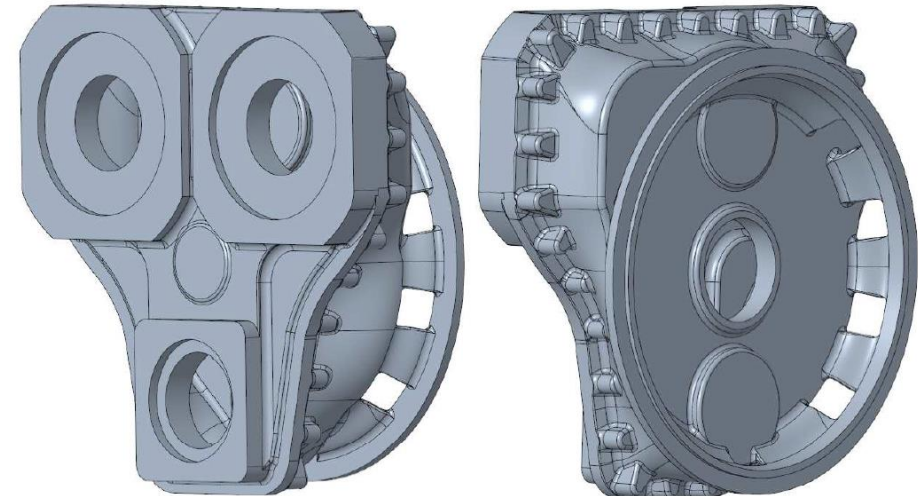


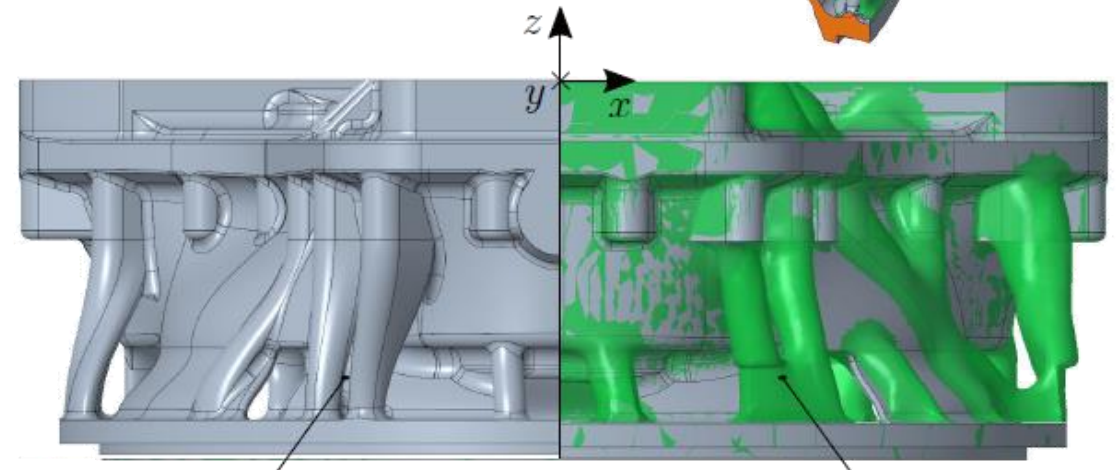
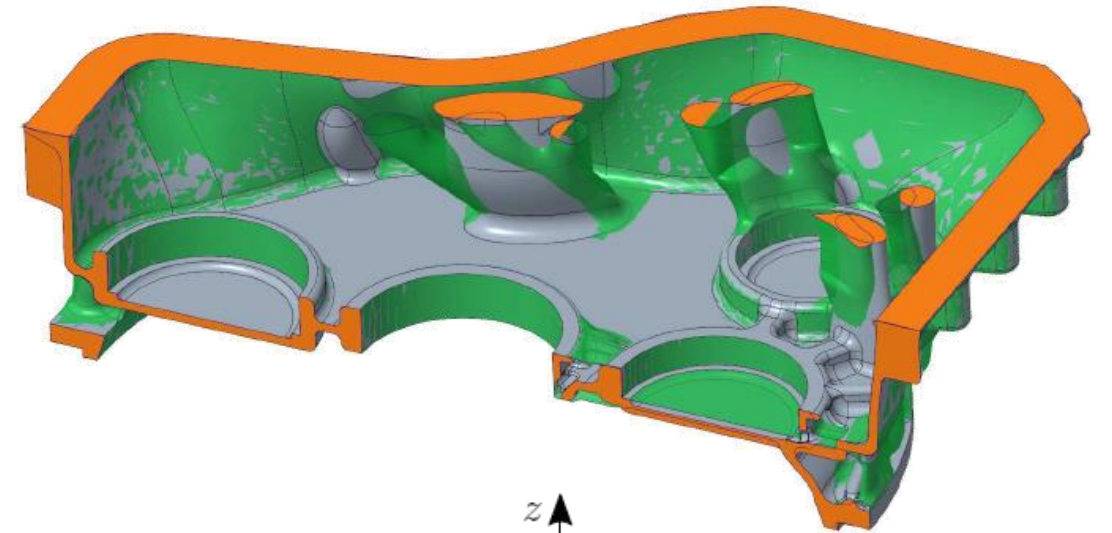
Abbildung 15: Rekonstruiertes Getriebegehäuse

Zweite Optimierung in GTO

- Die Masseneinschränkung wird auf 453 kg festgelegt (417,5 kg Abtriebsaggregate, 30,02 kg Rekonstruktion)
- Optimierung kann ca. 5,5 kg Material verteilen
- Elementgröße, Symmetrie, Materialeigenschaften usw. werden übernommen
- Optimierungsdauer: 2:09:30 h
- Gehäusemasse nach Optimierung 38,5 kg

Rekonstruktion der Optimierung

- Automatische Rückführung scheitert aufgrund der Elementgröße von 8 mm, (kleinere Elementgrößen machen Optimierung instabil)
- Innenliegende Verbindungsstreben sind so zu konstruieren, dass eine senkrechte Verschraubung vom Gehäusedeckel aus möglich ist
- In das fertige Modell sind alle Details eingebracht, die in dem Gussbauteil vorhanden sein müssen. → Rippen, Radien, Öl-Nuten
- Masse: 35,6 kg



Rekonstruierte Streben

Streben der Optimierung

Abbildung 16: Ergebnisse und Rekonstruktion der zweiten Optimierung im Vergleich

Validierung der Ergebnisse

- Validierung in Creo Simulate
- Materialeigenschaften, Randbedingungen und Belastungen werden aus GTO übernommen
- Feste Einspannung am Flansch zum Antriebsaggregat
- Simulation der Aggregatsatzkörper mit Massenpunkten

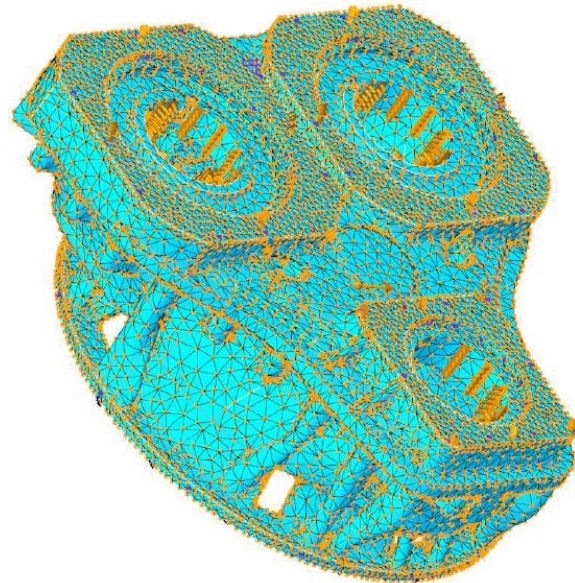


Abbildung 17: Vernetzte Geometrie, p-Methode, 119535 Tetraeder

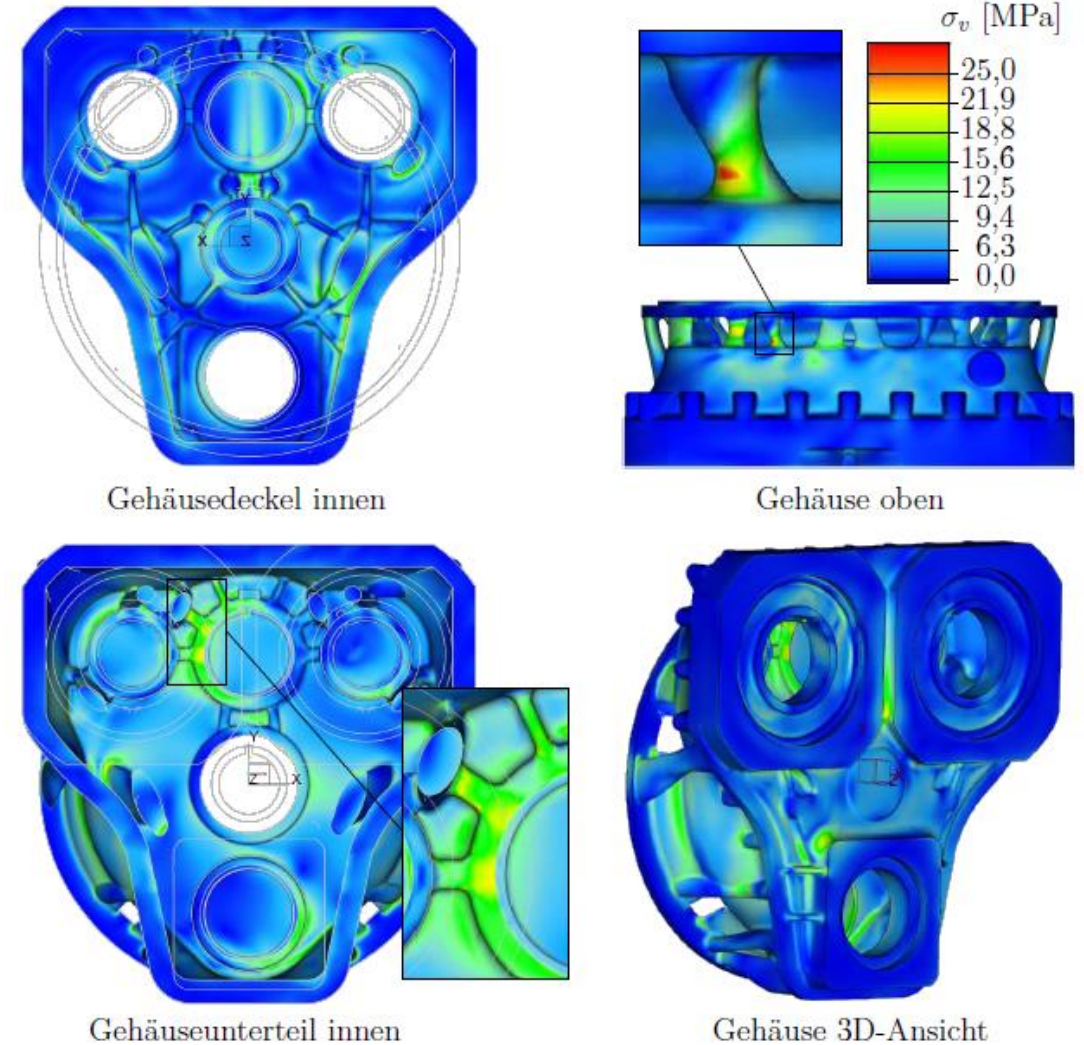


Abbildung 18: Ergebnisse der Von-Mises-Vergleichsspannung

Fazit und Ausblick

- Deutliche Senkung der max. Vergleichsspannung gegenüber Vergleichsgehäuse → Faktor 1,7
- Massenreduktion von 20,7 % (9,3 kg)
- Herstellungskosten höher durch Hinterschneidungen und Kerne
- Verbesserungspotential in GTO:
 - Restriktion für geschlossene Gebilde
 - Lagerlastfunktion
 - Verwendung von Massenpunkten
- Automatische Rekonstruktion sehr sinnvoll aber nicht immer erfolgreich
- Eine manuelle Rekonstruktion entspricht nur annäherungsweise dem Designvorschlag und ist aufwendig in der Durchführung
- Topologieoptimierung zeigt große Potentiale auf
- Bei sich weiterentwickelnden Fertigungsmethoden und steigenden Rohstoffpreisen bietet die Topologieoptimierung vielfältige Möglichkeiten
- Es ist sinnvoll in eine simulationsgestützte Entwicklung zu investieren, um auch in Zukunft wirtschaftliche Produkte zu entwickeln

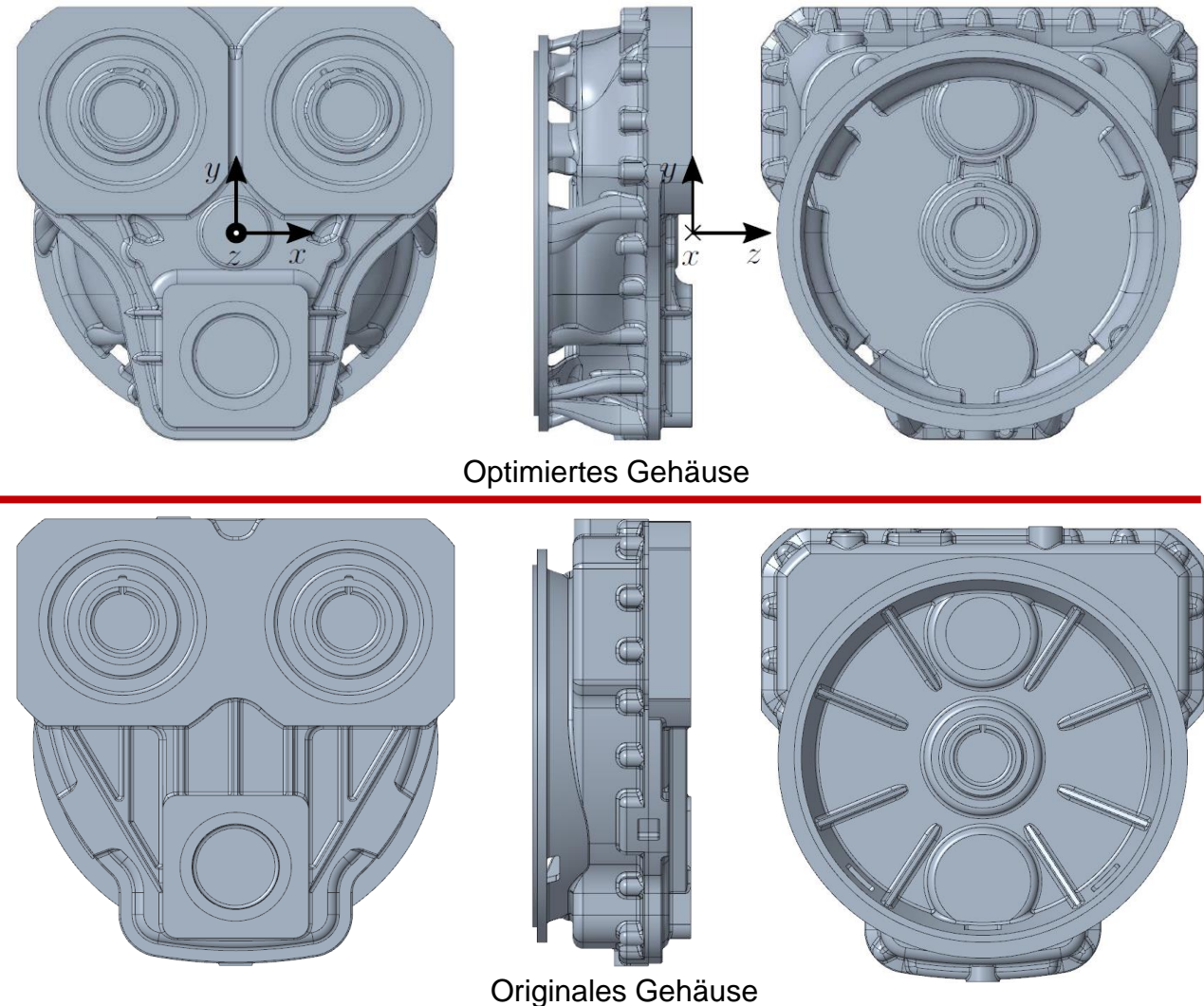


Abbildung 19: Vergleich der Gehäuse

Abbildungsverzeichnis

[1]: Zu optimierendes Getriebegehäuse

[2]: Schematischer Aufbau des Verteilergetriebes

[3]: Lagereaktionen

[4]: Abtriebsmoment

[5]: Abtriebsaggregate

[6]: Achsen und Ebenen des Modells

[7]: Erstellen der Aggregatersatzkörper

[8]: Aggregatersatzkörper von Abtrieb I im Schnitt

[9]: Fertig modellierte Konstruktionsräume in verschiedenen Zuständen

[10]: Zugeteilte Konstruktionsräume in GTO

[11]: Iterationsschritte der ersten Getriebeoptimierung

[12]: Spannungsverlauf der Optimierung in GTO

[13]: 2D-Skizzen des Verbund-KEs

[14]: Aufgedicktes Verbund-KE der Seitenwände

[15]: Rekonstruiertes Getriebegehäuse

[16]: Ergebnisse und Rekonstruktion der zweiten Optimierung im Vergleich

[17]: Vernetzte Geometrie, p-Methode, 119535 Tetraeder

[18]: Ergebnisse der Von-Miseses-Vergleichsspannung

[19]: Vergleich der Gehäuse

Literaturverzeichnis

[8] Harzheim L.: Strukturoptimierung. Grundlagen und Anwendungen. Verlag Europa-Lehrmittel: Mainz, 2014.

[15] Rieg F., Hackenschmidt R., Alber-Laukant B.: Finite Elemente Analyse für Ingenieure: Grundlagen und praktische Anwendungen mit Z88Aurora. Carl Hanser Verlag: München 2019.

[17] Schumacher, A.: Optimierung mechanischer Strukturen: Grundlagen und industrielle Anwendungen. Springer Vieweg: Berlin, Heidelberg, 2020.

[22] Walzl, A., Buchmayr, B.: Topologieoptimierung – Entwicklungswerkzeug für die additive Fertigung. Berg Huettenmaenn Monatsh 162: Leoben, 2017.

[28] SEA J617: SURFACE VEHICLE STANDARD Engine Flywheel Housing and Mating Transmission Housing Flanges, 2014.

[29] DIN ISO 3019-1: Fluidtechnik - Maße und Bezeichnung für Anbauflansche und Wellenenden von Hydropumpen und -motoren - Teil 1: Zollbaureihe, angegeben in metrischen Einheiten, 2004.