

Konzeptfindung für die Gehäuseaussteifung durch Rippen

M. Klein, A. Schünemann, R. Helfrich

INTES GmbH, Stuttgart

www.intes.de

INTES

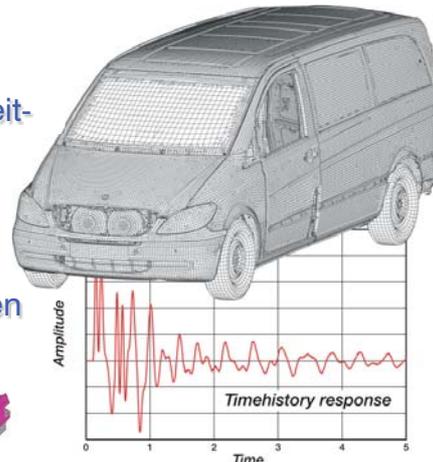
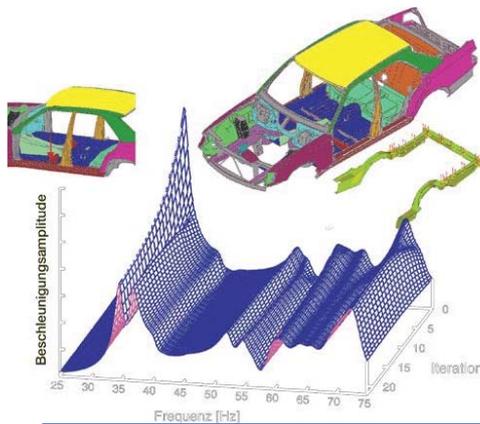


Finite Elemente mit PERMAS – made in Germany



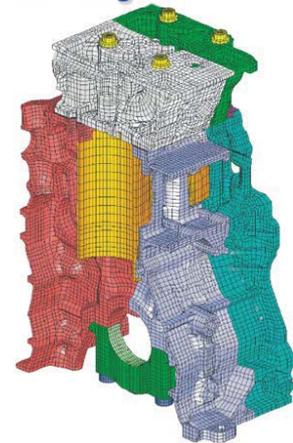
Vibroakustik:

- Dynamische Analyse (im Zeit- und Frequenz-Bereich)
- Fluid-Struktur-Akustik
- Spektralantwort und zufallserregte Schwingungen



Thermomechanische Analyse:

- Lineare und nichtlineare statische Analyse
- Kontaktanalyse
- Lineare und nichtlineare Wärmeleitung

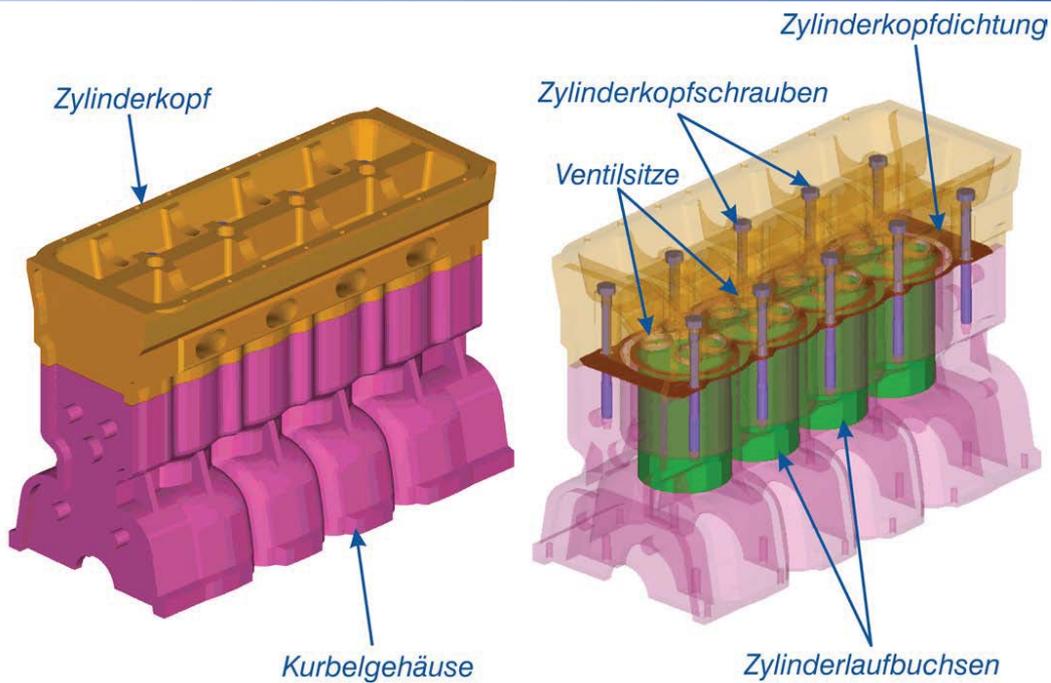


Integrierte Optimierung:

- Topologie-Optimierung
- Dimensions- und Form-Optimierung
- Zuverlässigkeitsanalyse und robuster Entwurf

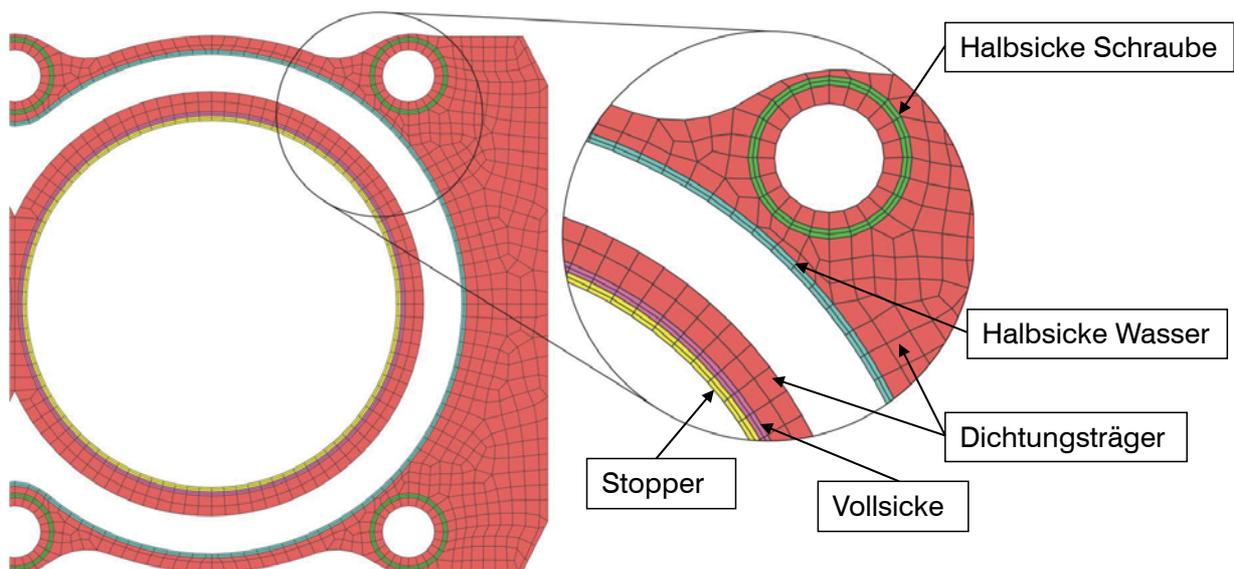
Übersicht

- **Motormodell**
- Konzeptfindung
- Lastfälle und Entwurfsziele
- Entwurfsziel Nachgiebigkeit
- Entwurfsziel Verformung
- Zusammenfassung

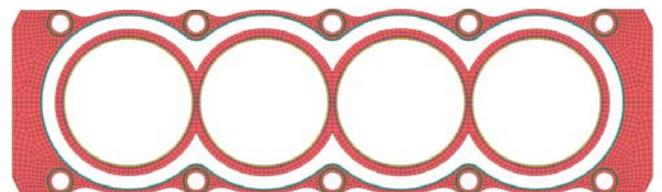


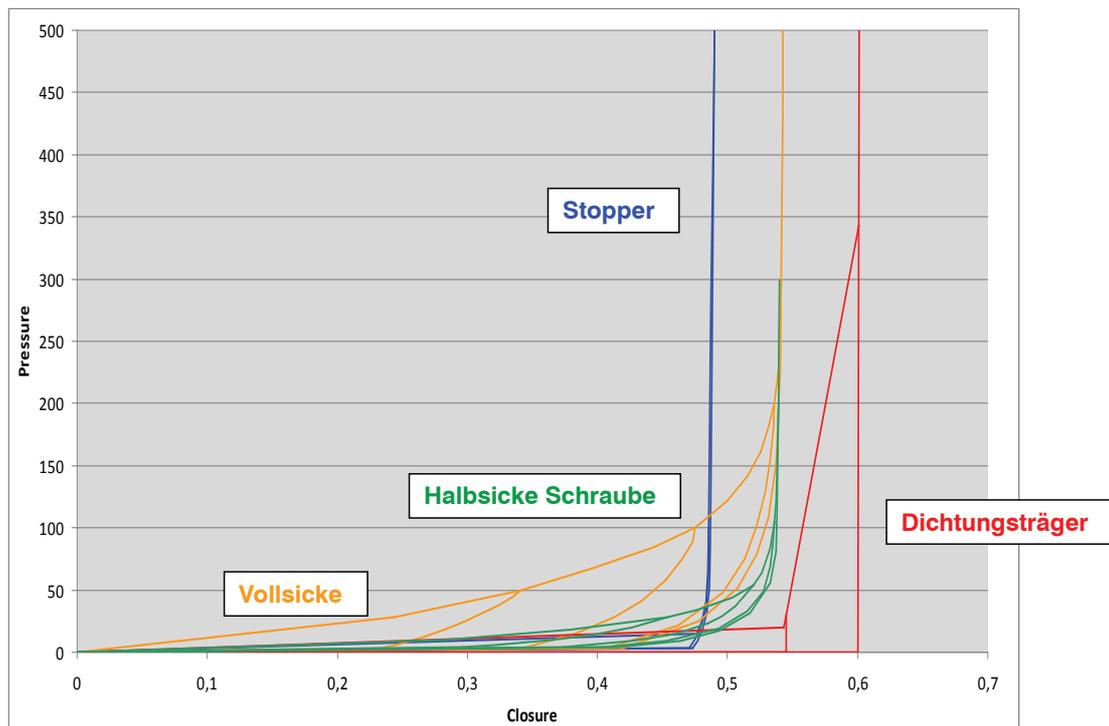
Die Lagerung des Motors erfolgt am unteren Ende des Kurbelgehäuses durch eine sog. Minimallagerung, d.h. durch diese Lagerung werden keine Zwangsbedingungen eingeführt.

Aufbau der Zylinderkopfdichtung



Zweiteilige Zylinderkopfdichtung für ein Kurbelgehäuse in Open-Deck Design



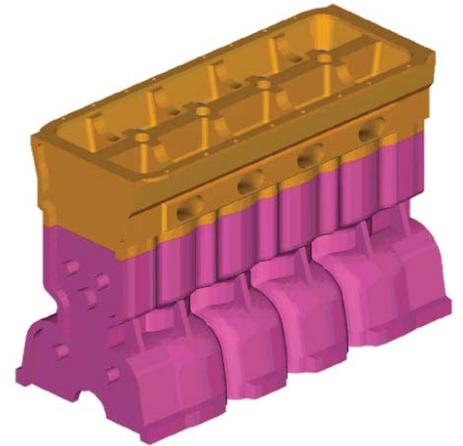


Übersicht

- Motormodell
- **Konzeptfindung**
- Lastfälle und Entwurfsziele
- Entwurfsziel Nachgiebigkeit
- Entwurfsziel Verformung
- Zusammenfassung

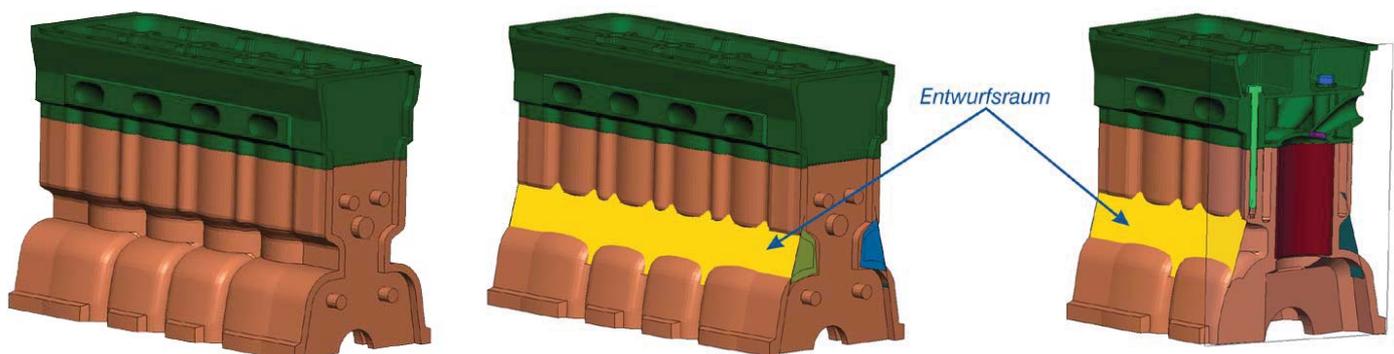
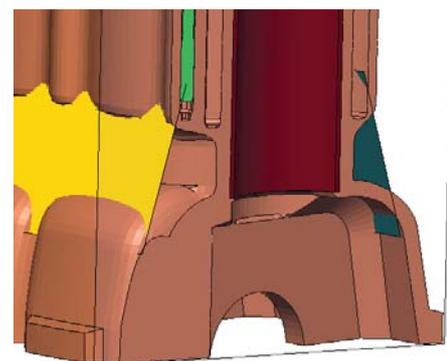
Für ein Konzept muss eine Konstruktion noch nicht vollständig ausgearbeitet sein, aber die wesentlichen Bedingungen müssen bekannt sein:

- Bei einem gegossenen Kurbelgehäuse sind Auszugsrichtungen und Wanddicken festzulegen.
- Die Rippenhöhe richtet sich nach der Höhe des Bauraums.
- Die erreichbare Steifigkeit richtet sich auch nach der für die Rippen verwendeten Masse.
- Die Verteilung der Masse richtet sich nach den relevanten Lastfällen, die zuvor festgelegt werden müssen.
- Meist wird eine maximale Steifigkeit des Gesamtmodells angestrebt.
- Aber auch Qualitätsanforderungen zu maximalen Verformungen an bestimmten Stellen werden eingesetzt.

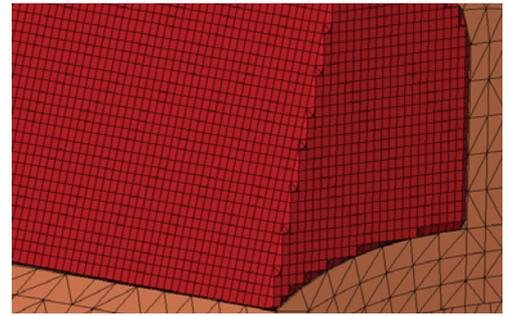


Definition des Bauraums

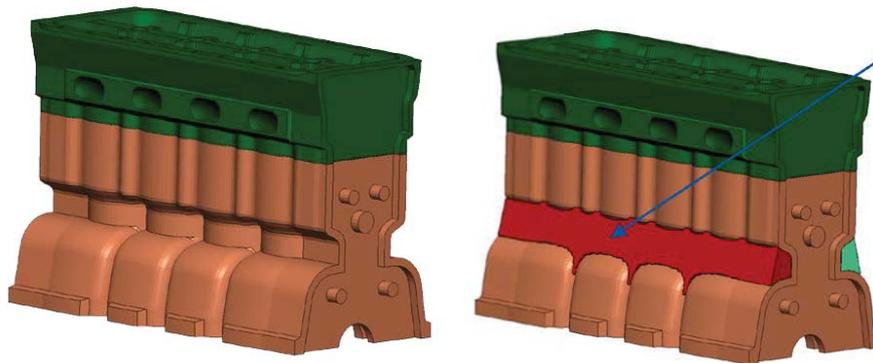
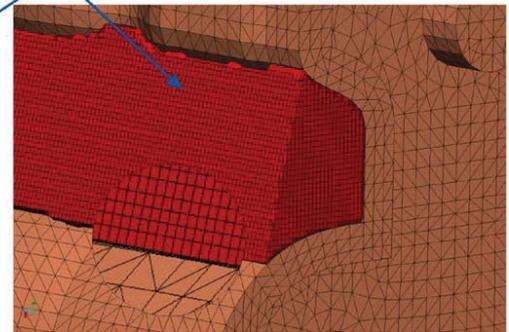
- Die vorhandenen Rippen werden beseitigt.
- Die Begrenzung des Bauraums ist durch die Oberfläche des Motormodells gegeben, und durch die Begrenzungsebene (gelb und grün).
- Die offenen Enden des Bauraums werden geschlossen.



- Automatische Vernetzung mit Hexaeder- (und Pentaeder-) Elementen.
- Größe der Elemente richtet sich nach der gewünschten Feinheit der sich ausbildenden Strukturen.
- Kopplung mit Kurbelgehäusewand erfolgt durch Projektion und Interpolation (Flächenkopplung über inkompatible Netze)



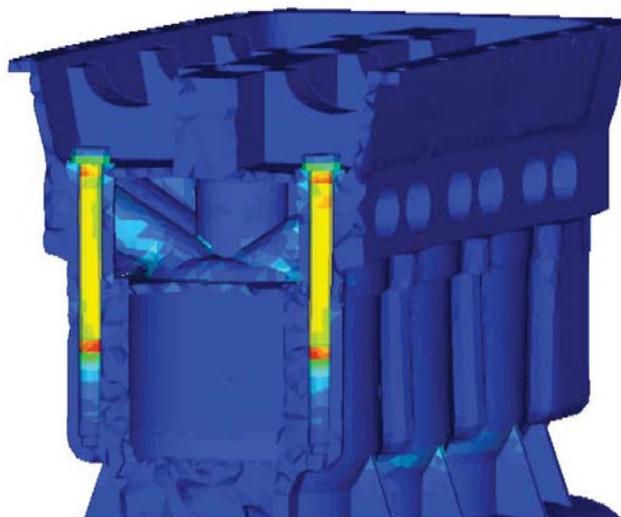
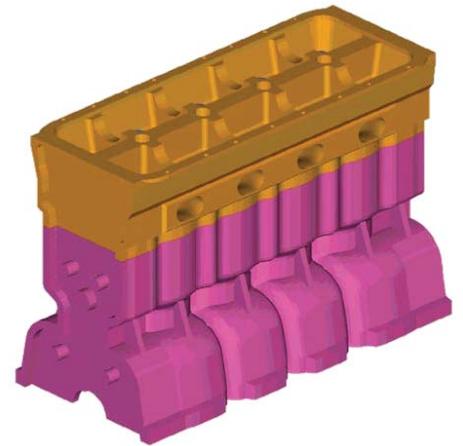
Vernetzter Entwurfsraum



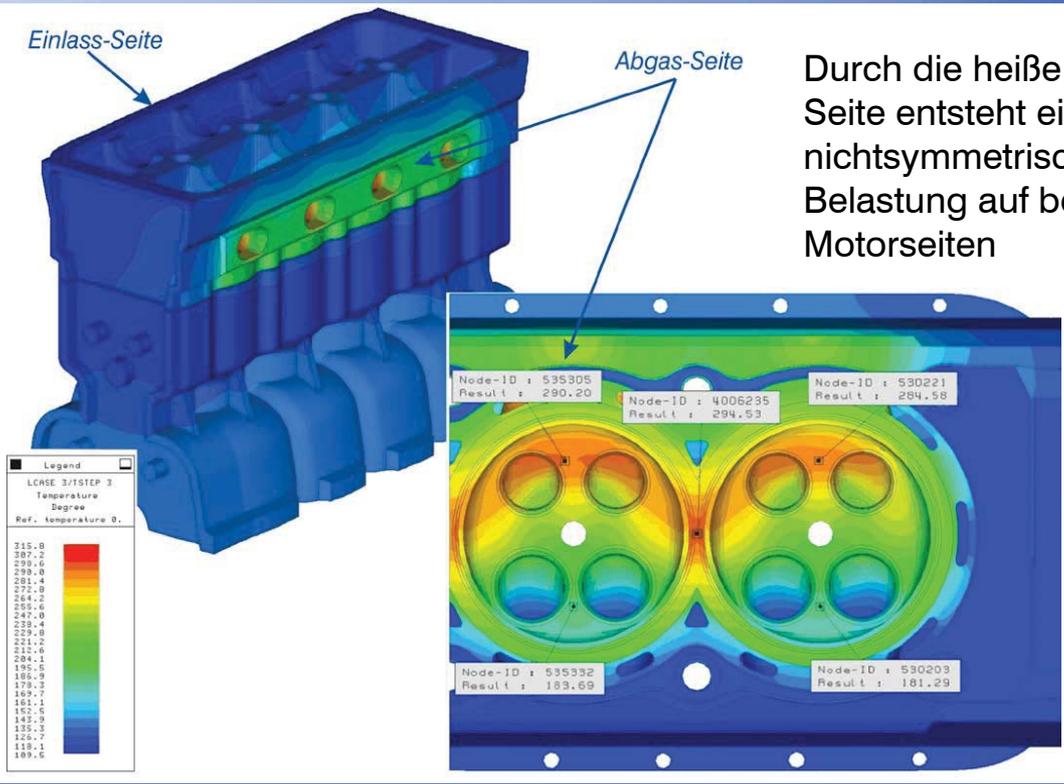
Übersicht

- Motormodell
- Konzeptfindung
- **Lastfälle und Entwurfsziele**
- Entwurfsziel Nachgiebigkeit
- Entwurfsziel Verformung
- Zusammenfassung

- Typische Lastfälle für die Motorberechnung sind Schraubenvorspannung, Temperatur und Zylinderdrücke
- Im folgenden lassen wir die Zylinderdrücke beiseite, da für jeden Zylinder nur lokale Belastungen entstehen.
- Die Kombination aus Schraubenvorspannung und Temperatur wird als Hauptbeanspruchung angesehen.



Temperaturbelastung



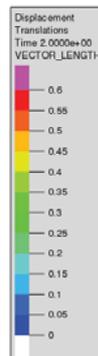
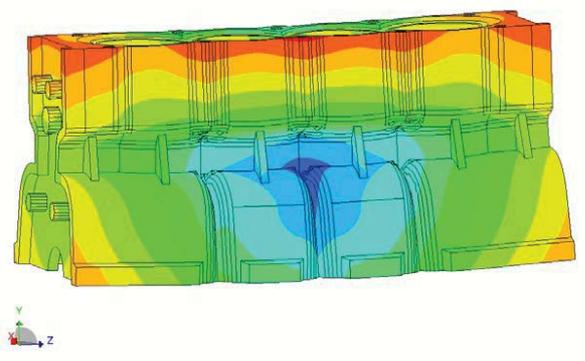
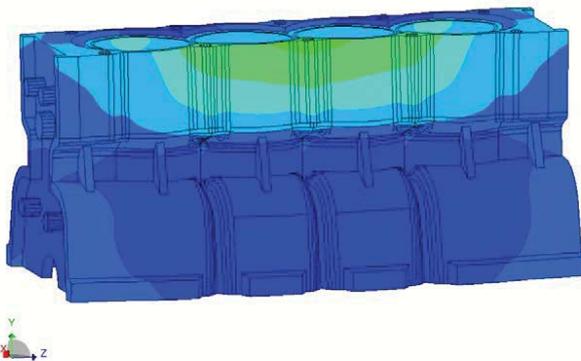
Durch die heiße Abgas-Seite entsteht eine nichtsymmetrische Belastung auf beiden Motorseiten

Verformung des Ausgangsmodells

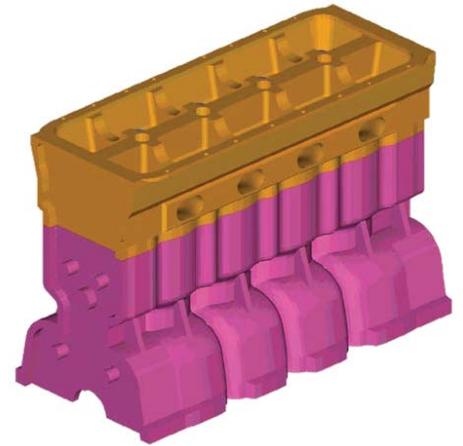


Nur Schraubenvorspannung

Schraubenvorspannung und Temperatur



- Es erfolgt eine Beschränkung auf Steifigkeitsziele.
- Dann unterscheidet man zwei Vorgehensweisen:
 - Die geringste globale **Nachgiebigkeit** als Entwurfsziel (entspricht der maximalen globalen Steifigkeit).
 - Begrenzung von **maximalen Verformungen** an bestimmten Stellen aufgrund von Qualitätsanforderungen.
- Dabei steht die Masse der ursprünglichen Rippen auch für das neue Rippenbild zur Verfügung (i.e. 348 g bei einem Gesamtgewicht des Aluminiummotors von 21,3 kg einschl. Stahlschrauben und Dichtung).

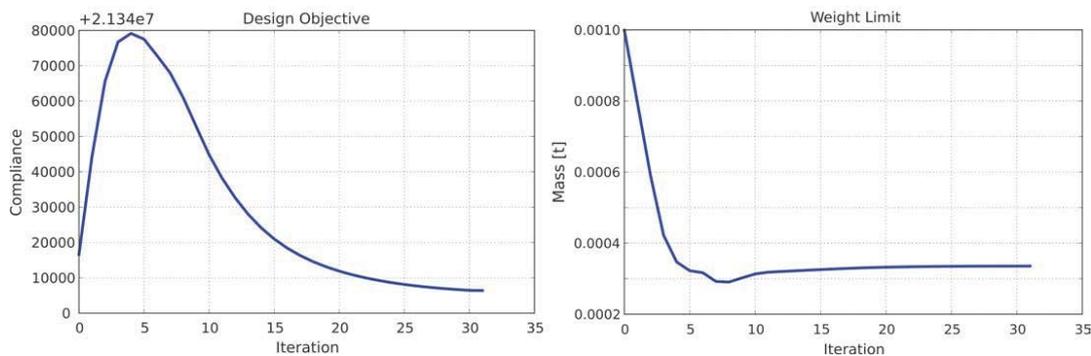
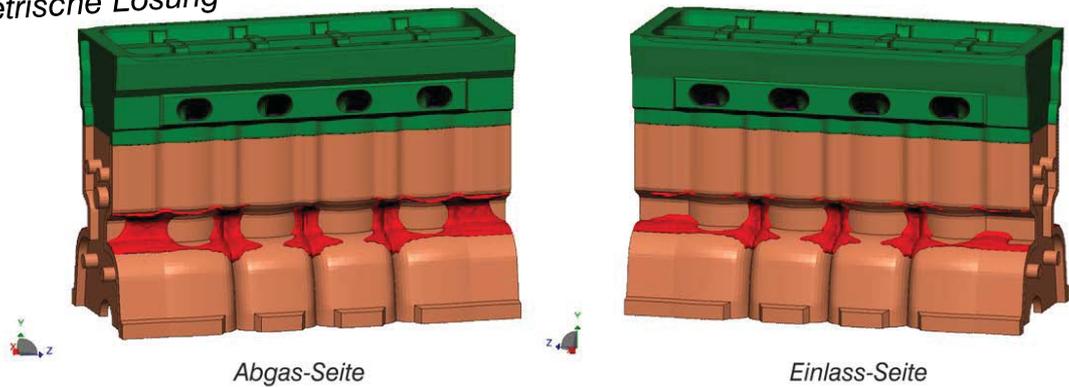


- Motormodell
- Konzeptfindung
- Lastfälle und Entwurfsziele
- **Entwurfsziel Nachgiebigkeit**
- Entwurfsziel Verformung
- Zusammenfassung

Vorspannung und Temperatur bei globaler Nachgiebigkeit



Nichtsymmetrische Lösung



21.03.2013

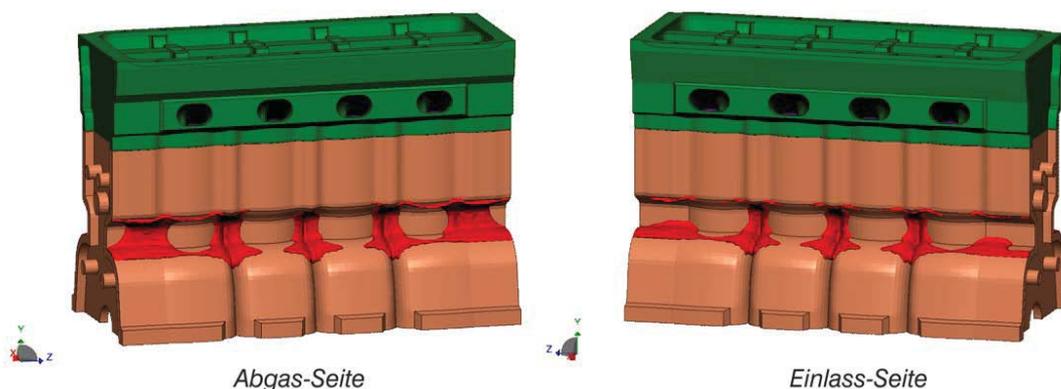
Nafems Seminar „Unterstützung der Konzeptfindung durch Simulationsverfahren“,
20 – 21 März 2013, Wiesbaden

19

Postprozessing



- Die gewählte Darstellung zeigt die kalte Einlass-Seite (rechts) und die heiße Abgas-Seite (links).
- In Rot werden die verbleibenden Elemente angezeigt, nachdem deren Oberfläche geglättet wurde.
- Der Füllungsgrad ist ein Ergebnis nahe 0 (Element wird nicht benötigt) und nahe 1 (Element wird benötigt). Durch die Topologie-Optimierung erfolgt eine klare Trennung zwischen beiden Werten.



21.03.2013

Nafems Seminar „Unterstützung der Konzeptfindung durch Simulationsverfahren“,
20 – 21 März 2013, Wiesbaden

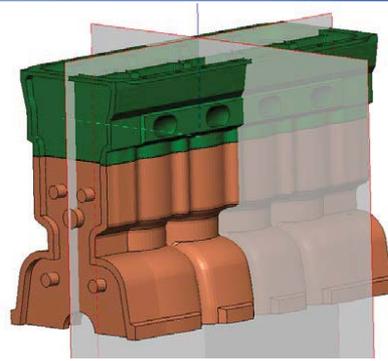
20

Vorspannung und Temperatur bei globaler Nachgiebigkeit

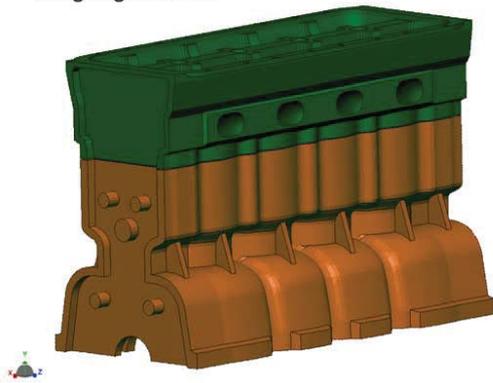


Nichtsymmetrische Lösung

- Es bilden sich keine Rippen aus, sondern nur Verstärkungen.
- Die Lage der Verstärkungen ist grundsätzlich anders als bei den ursprünglichen Rippen.
- Einführung von Symmetrien.



Ausgangsentwurf



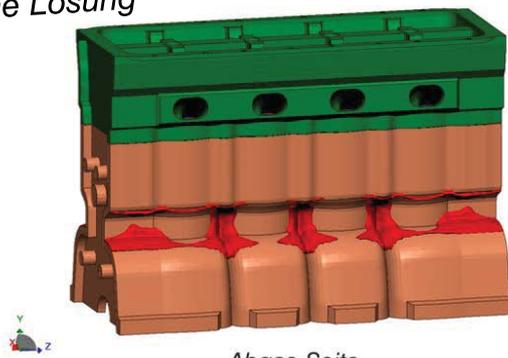
Neuer Entwurf



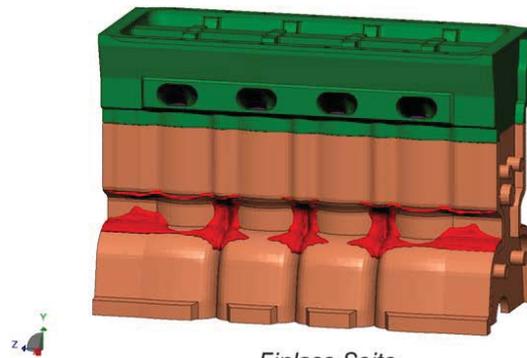
Vorspannung und Temperatur bei globaler Nachgiebigkeit



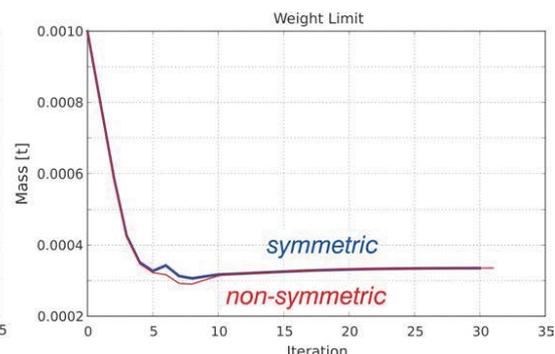
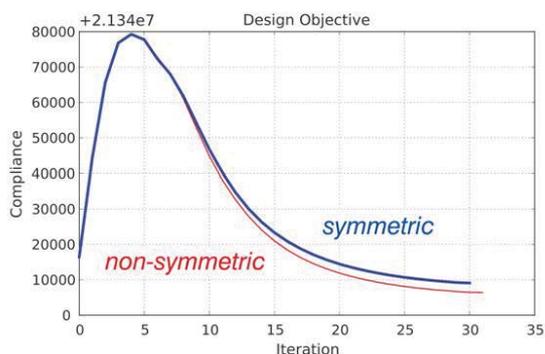
Symmetrische Lösung

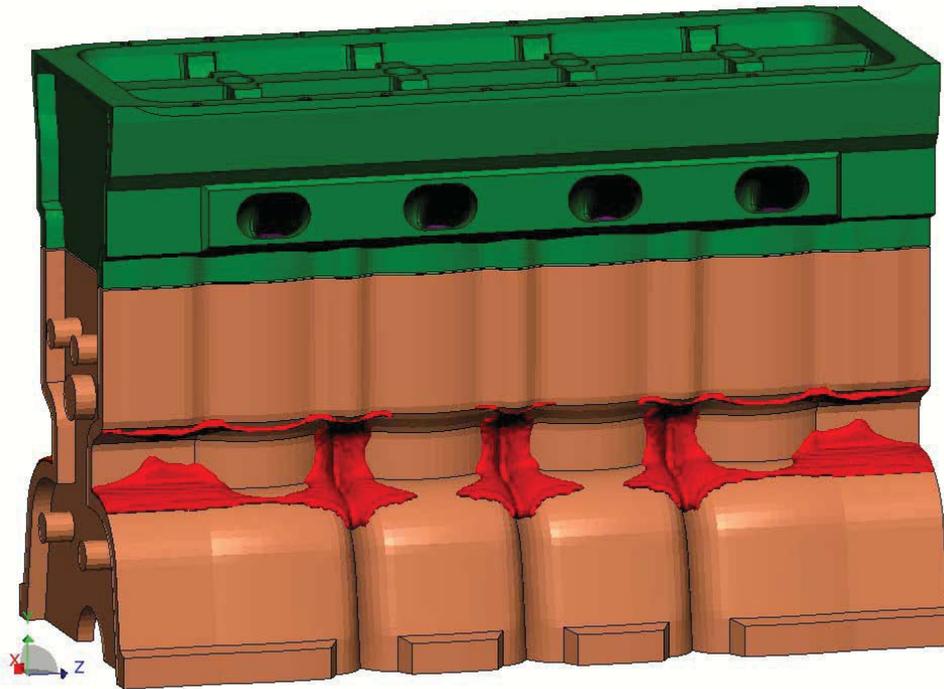


Abgas-Seite



Einlass-Seite



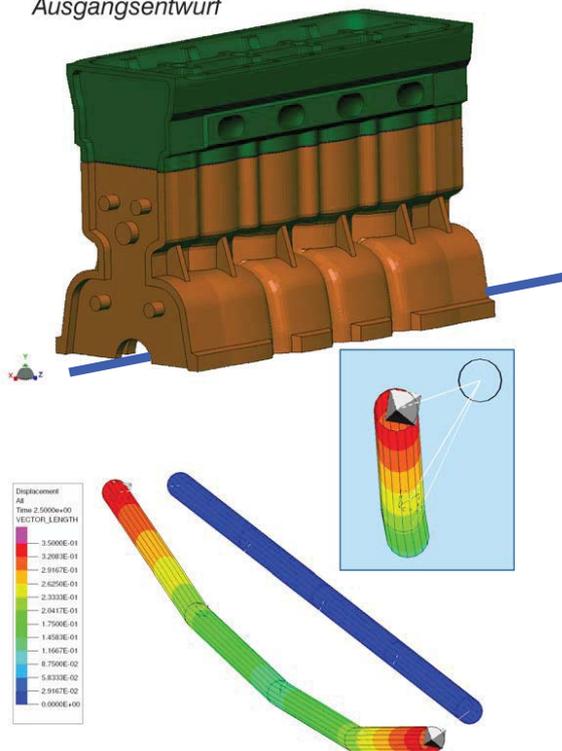


Übersicht

- Motormodell
- Konzeptfindung
- Lastfälle und Entwurfsziele
- Entwurfsziel Nachgiebigkeit
- Entwurfsziel Verformung
- Zusammenfassung

Lokale Verformung bei Vorspannung und Temperatur

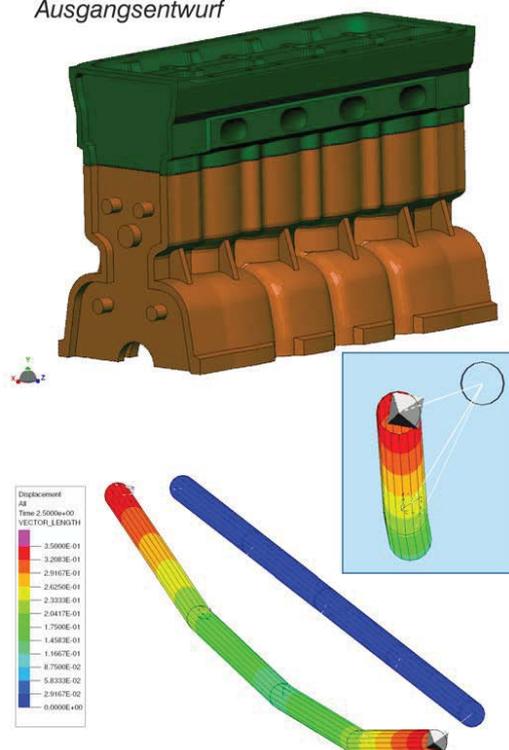
Ausgangsentwurf



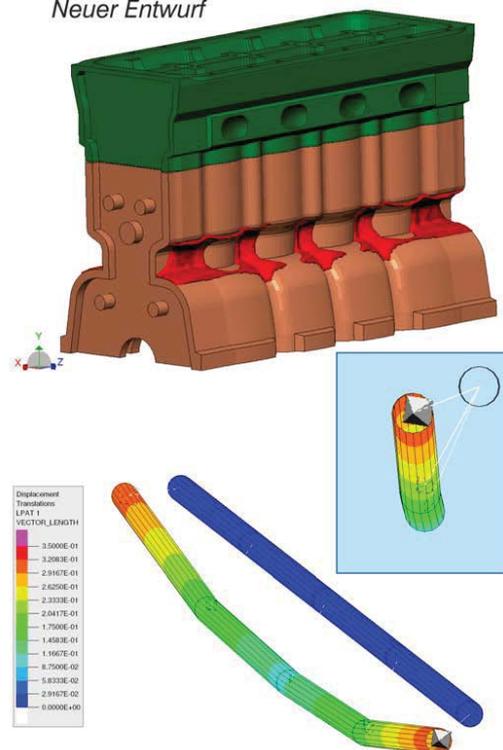
- Als lokale Verformung wird die Biegelinie der Mittelachse der Kurbelwelle verwendet.
- Die Summe der Verschiebungen auf dieser Mittelachse an den Hauptlagern ergibt das erforderliche Verformungskriterium.
- Dieses Verformungskriterium soll durch das Rippenkonzept minimiert werden.

Biegelinie bei globaler Nachgiebigkeit

Ausgangsentwurf



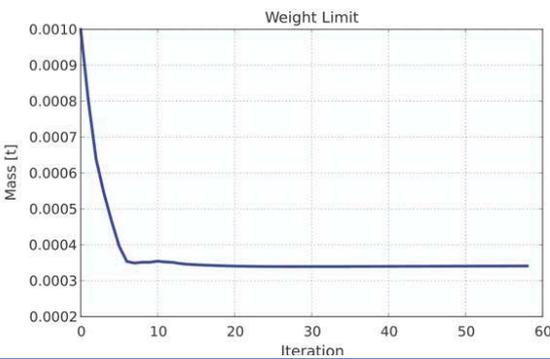
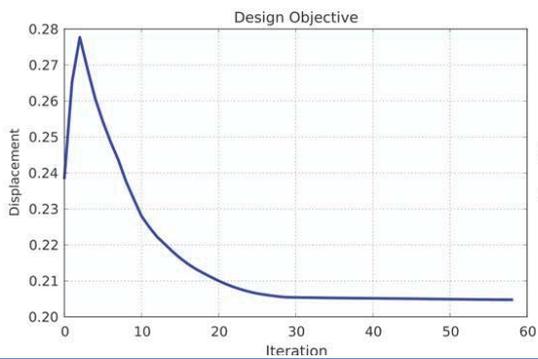
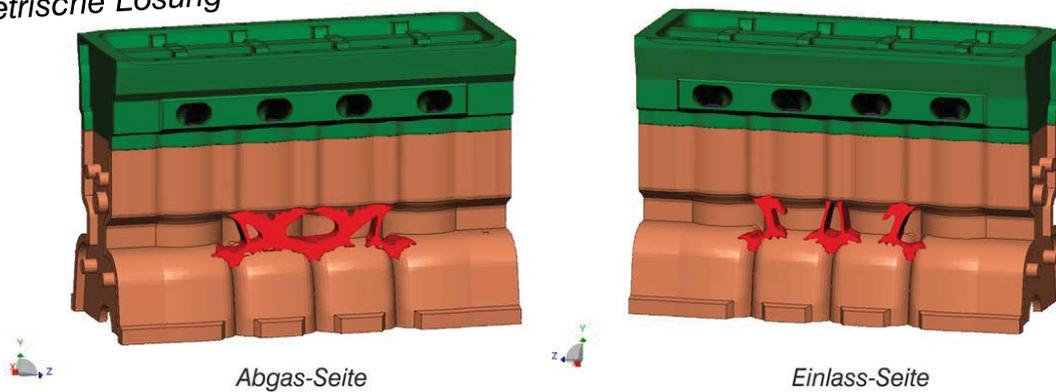
Neuer Entwurf



Vorspannung und Temperatur bei lokaler Verformung



Nichtsymmetrische Lösung



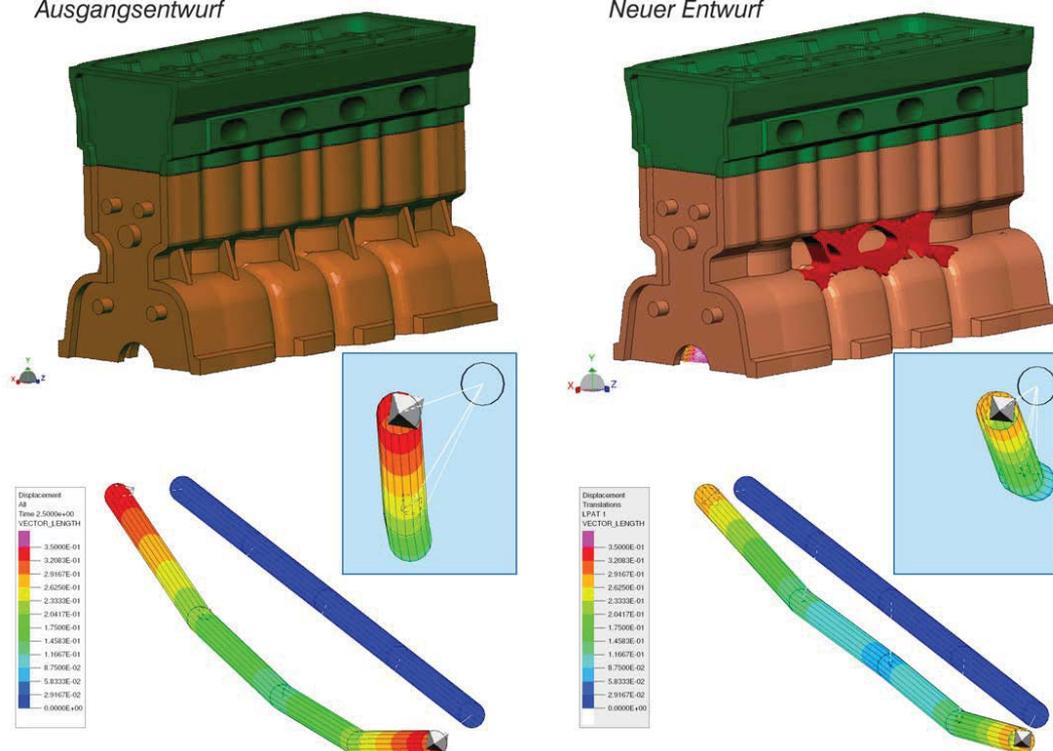
Biegelinie bei lokaler Verformung



Nichtsymmetrische Lösung

Ausgangsentswurf

Neuer Entwurf

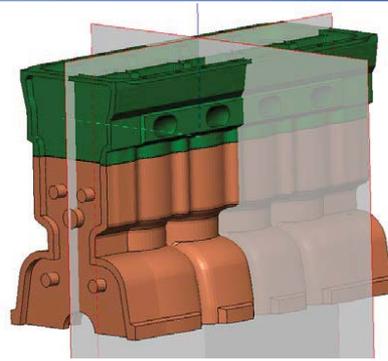


Vorspannung und Temperatur bei lokaler Verformung

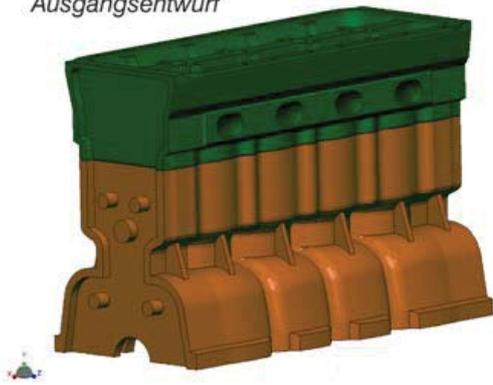


Nichtsymmetrische Lösung

- Jetzt bilden sich Rippen aus.
- Diese sind sehr unterschiedlich auf Einlass- und Abgas-Seite.
- Symmetrische Lösung berechnen.



Ausgangsentwurf



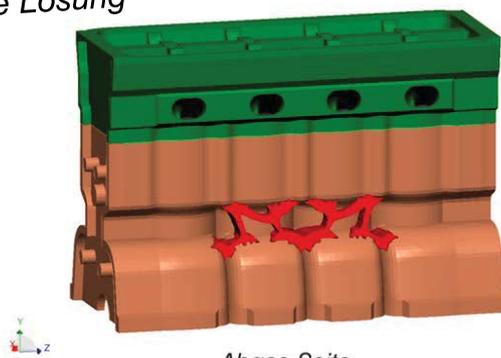
Neuer Entwurf



Vorspannung und Temperatur bei lokaler Verformung



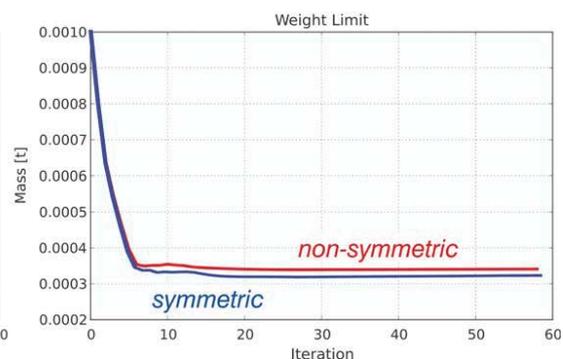
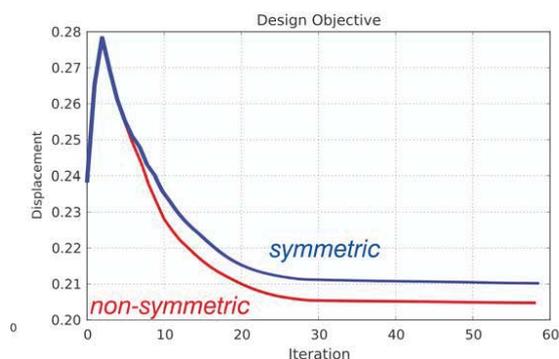
Symmetrische Lösung



Abgas-Seite



Einlass-Seite



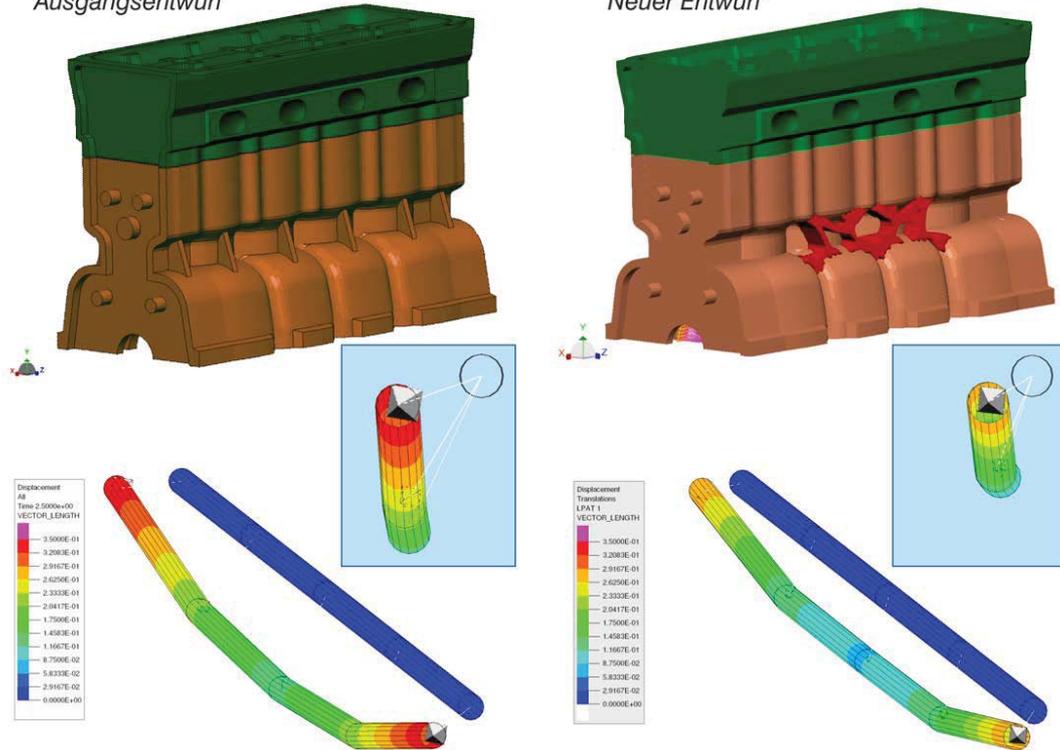
Biegelinie bei lokaler Verformung



Symmetrische Lösung

Ausgangsentwurf

Neuer Entwurf

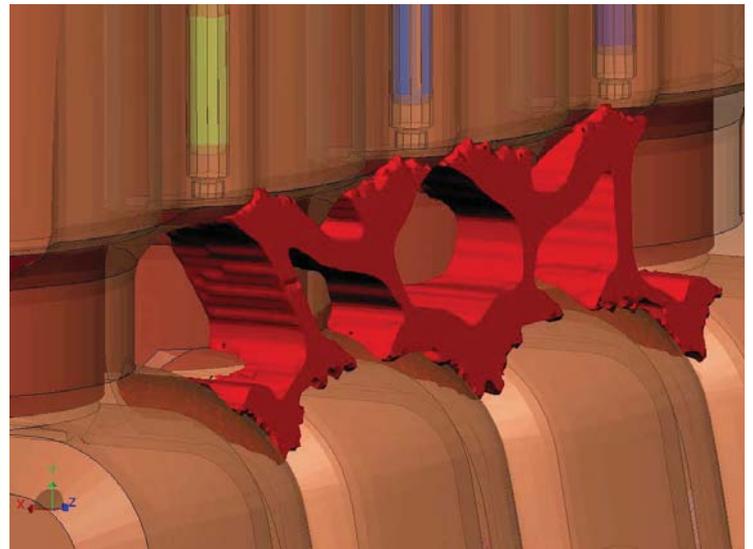


21.03.2013

Nafems Seminar „Unterstützung der Konzeptfindung durch Simulationsverfahren“,
20 – 21 März 2013, Wiesbaden

31

Rippenentstehung



09.11.2011

Nafems Seminar „Die Rolle von CAE in der Systemsimulation“,
8 – 9 November 2011, Wiesbaden

32

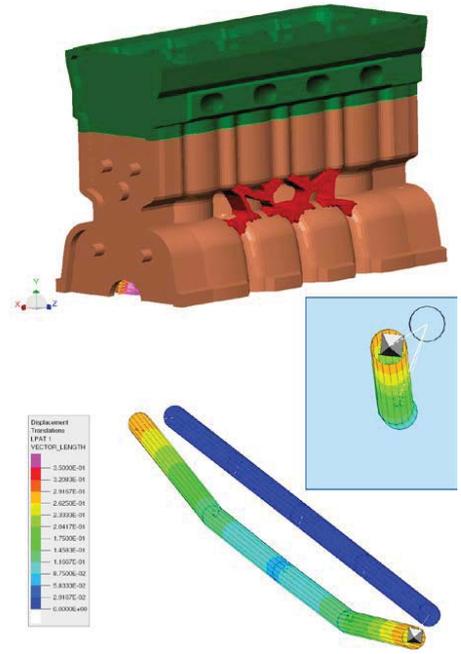
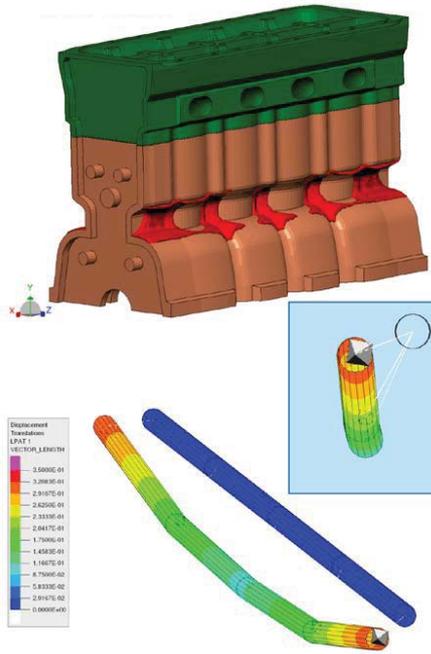
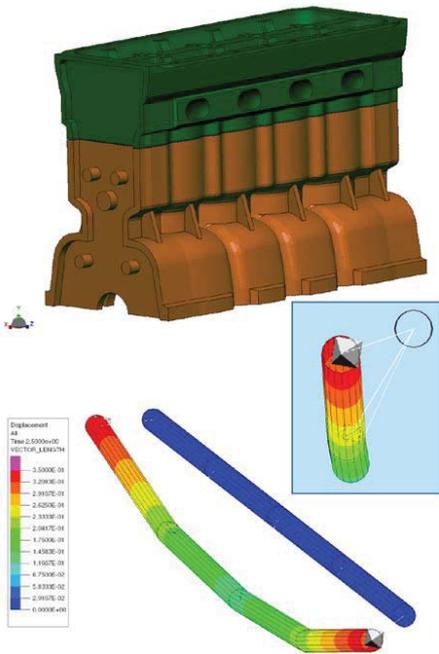
Vergleich der Biegelinien



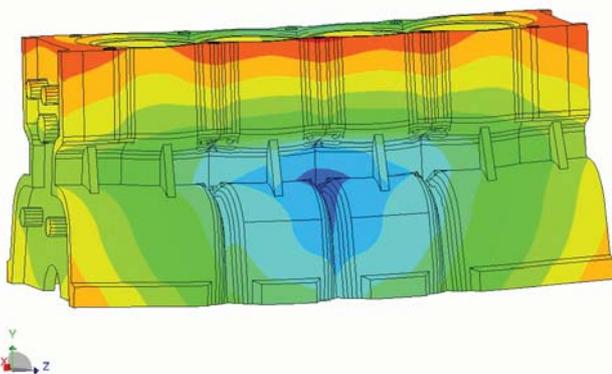
Ausgangsentwurf

Globale Nachgiebigkeit

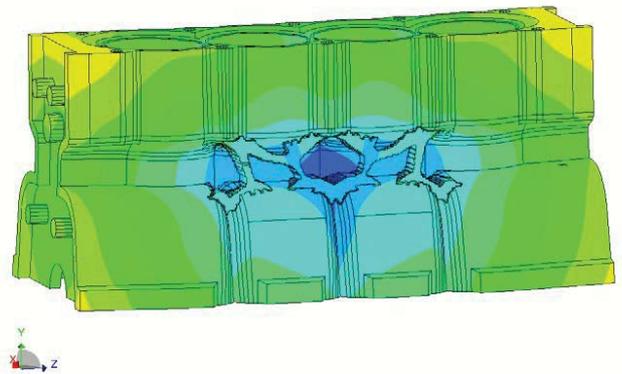
Lokale Verformung



Vergleich der Verschiebungen



Ausgangsentwurf



Lokale Verformung

- Motormodell
- Konzeptfindung
- Lastfälle und Entwurfsziele
- Entwurfsziel Nachgiebigkeit
- Entwurfsziel Verformung
- **Zusammenfassung**

- Konzeptfindung über Topologie-Optimierung,
- Topologie-Optimierung unter nichtlinearen Bedingungen (Kontakt und Materialnichtlinearitäten),
- Definition und Vernetzung des Bauraums auf der Basis eines vorhandenen FE-Modells,
- Auswahl der relevanten Lastfälle (Vorspannung und Temperatur),
- Auswertung von Füllungsgrad, Entwurfsziel und Gewichtsnebenbedingung,
- Spezifische Verformungsziele besser geeignet als ein allgemeines Nachgiebigkeitsziel,
- Klare Herausbildung der benötigten Strukturen.

