

DAIMLER

Strukturberechnung dickwandiger Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen mit ANSYS ACP

Karl Wallraff / Patrick Berger (TP/EAS)
Stuttgart, 25.06.2015



Agenda

1 Motivation

2 Vorgaben

3 Modellerstellung

- Basis
 - Vorgaben
 - Probleme
-

4 Berechnungen

- Randbedingungen
 - Lastfälle
-

5 Ergebnisse

- Auswahl: Mechanical / ACP
 - Beanspruchungen (Spannungen)
 - Versagen
-

6 Zusammenfassung

Herausforderung und Ziel am Beispiel einer VA-Blattfeder

Motivation

- Nutzlasterhöhung durch Gewichtsreduzierung
- Das Potential metallischer Werkstoffe ist nahezu ausgereizt
- Faserverbund-Technologie wird kostenattraktive Alternative
- Verbesserte Herstellungsverfahren steigern Festigkeit

Herausforderung

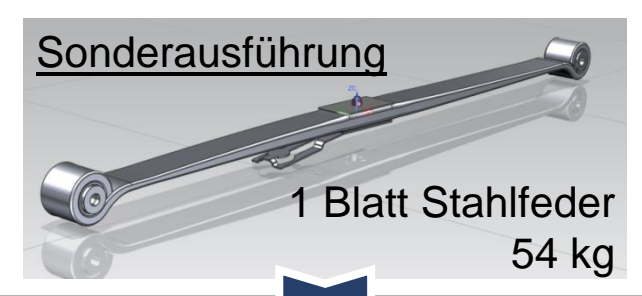
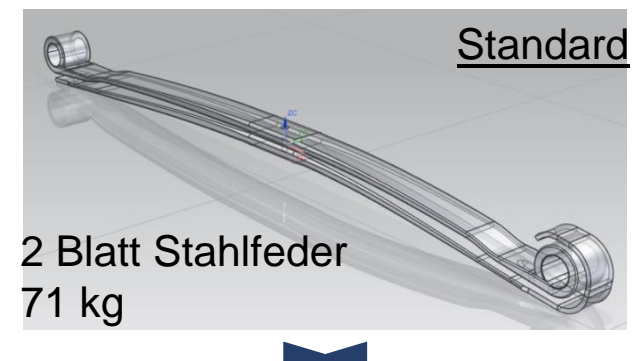
- Berechnung dickwandiger volumenvernetzter Laminatwerkstoffe

Ziel

- Erarbeitung einer Methode zur rechnerischen Auslegung und Optimierung dickwandiger FVK-Lamine

Durchführung

- Anwendung von ANSYS Composit PrePost (ACP), am Beispiel einer LKW VA-Blattfeder
- Im Rahmen einer Masterarbeit in der Nutzfahrzeug Berechnung



Idee: 1-Blattfeder aus
glasfaser-verstärktem
Kunststoff
35 kg

The text describes the idea of a 1-leaf spring made from glass fiber reinforced plastic, weighing 35 kg.



Lastenheft (Auszug) für Machbarkeitsstudie GFK-VA-Feder

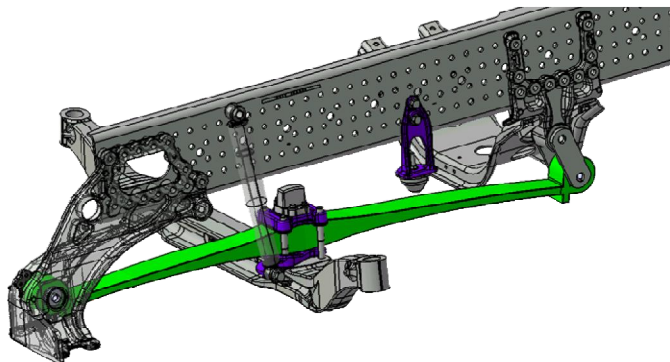
Vorgaben für Entwicklungspartner

- Einhaltung des Bauraums
- Erfüllung der Federungseigenschaften, laut Lastenheft
- Erfüllung der Lebensdauer, laut Lastenheft
- Kosten nicht wesentlich über den Kosten einer Stahlfeder

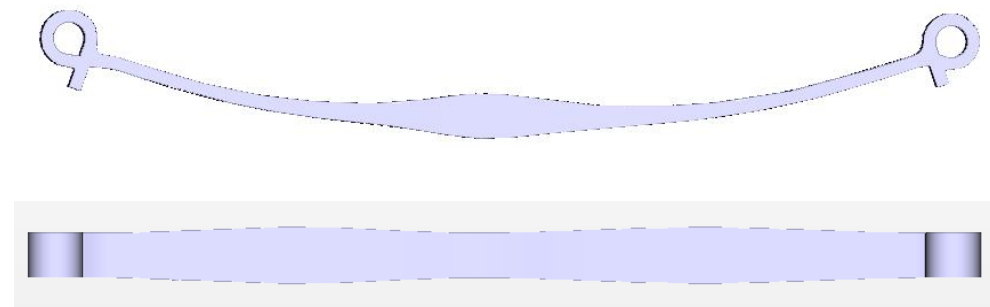
Vorgaben für die Berechnung

- Entwicklungspartner hat die Machbarkeit nachgewiesen und Erstausslegung durchgeführt
- Material und Lagenaufbau sind bekannt
- CAD-Modell vorhanden (Volumenmodell für die Gesamtfeder)
- Material-Kenndaten werden vom Entwicklungspartner zur Verfügung gestellt (aus Standardpro
- Lebensdauer muss erfüllt werden

Situation am Fahrzeug (Ausschnitt)



CAD-Modell (Volumen) der Feder (GFK-Umfang)



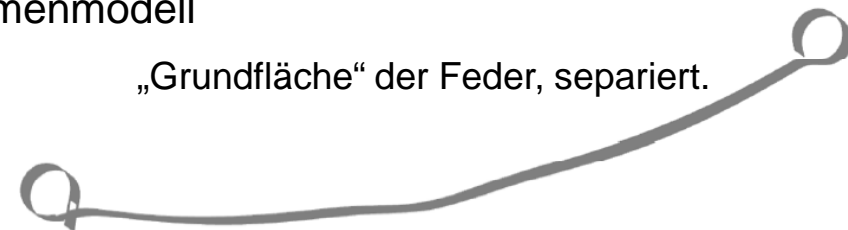
Basis

Allgemeines

- Geometrie (CAD) ist die Basis für den Modellaufbau
- Für alle wichtigen Randbedingungen muss die Geometrie vorbereitet werden
- Erzeugung des FE-Modells läuft automatisch im Hintergrund

Vorarbeiten

- Separieren der Grundfläche aus dem CAD-Volumenmodell (geschlossene Fläche ohne Lücken)
- Unterteilen der Grundfläche für verschiedene rechnerische Anforderungen, wie:
 - Kontaktbereiche
 - Lagerbedingungen
 - Lasteingaben
 - Kanten, für (manuelle) Extrusionsrichtung (z.B. in stark gekrümmten Bereichen)
- Besonders aufwändig für stark gekrümmte Bereiche (Federaugen-Bereich) oder Lasteinleitungen



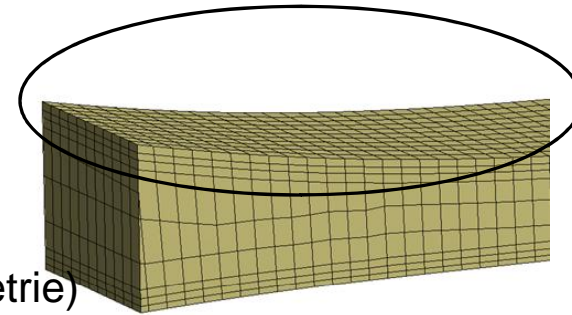
„Grundfläche“ der Feder, separiert.

Vorgaben

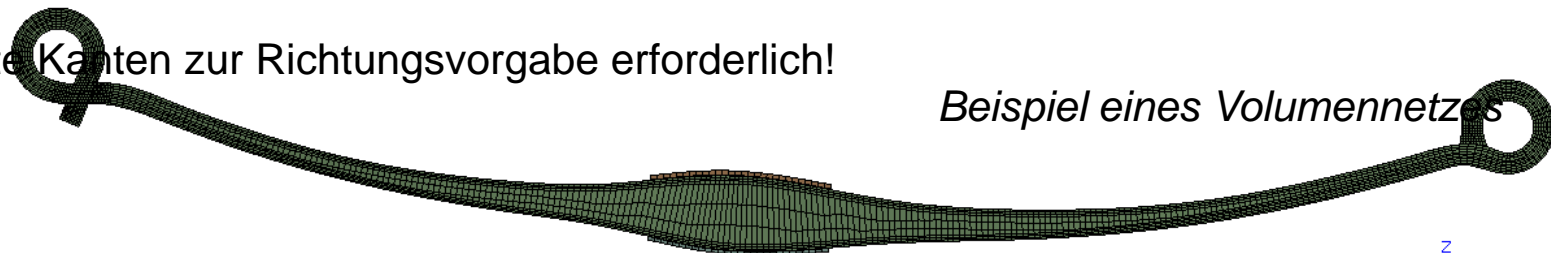
Eingaben für FE-Netz

- Flächennetz auf der CAD-Grundfläche erstellen (Schalen)
 - Elementanzahl längs festlegen (Lagenlängen beachten!)
 - Elementanzahl quer wird automatisch festgelegt
 - Einzelflächen für Lagerbedingungen darstellen
 - Einzelflächen für Lasteingaben darstellen
 - Schichtdicken definieren
 - Faserrichtungen definieren
 - Zusätzlich obere Begrenzungsfläche bereitstellen (Geometrie)
-
- Volumennetz wird durch Extrudieren in Dickenrichtung erzeugt
 - Elementanzahl über die Dicke bleibt konstant über die gesamte Länge
 - Oberseite wird beim Extrudieren stark unstetig (Lagenabhängig)
à als „Anschlag“ wird obere Geometrie fläche notwendig!
 - Extrusionsrichtung folgt Flächennormalen, erzeugt überlappende Netze
à Separate Kanten zur Richtungsvorgabe erforderlich!

*Flächennetz (an der Unterseite!),
dient als Basis für den Volumenaufbau*



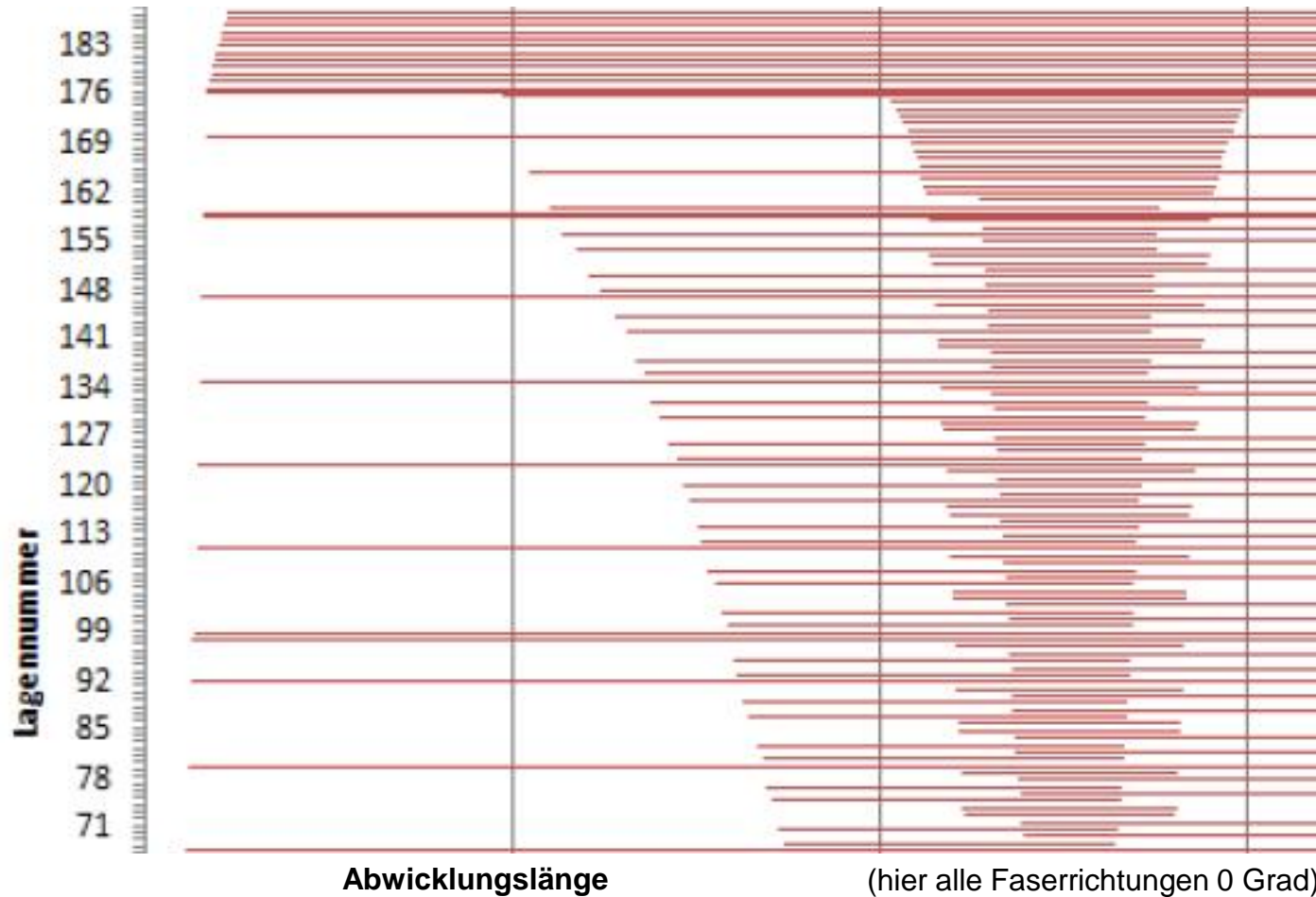
Beispiel eines Volumennetzes



Vorgaben

Ausschnitt Lagenaufbau

Vorgegeben vom Entwicklungspartner



Vorgaben

Festlegungen

- Elementkantenlänge 8.0mm
- Schalenelement: Typ: SHELL 181 (2D-Struktural, linear, 4 Knoten)
- Volumenelement: Typ: SOLID 185 (3D-Struktural, linear, 8 Knoten)
- Faserschichten je Volumenelement festgelegt (eine oder mehrere Schichten), siehe unten

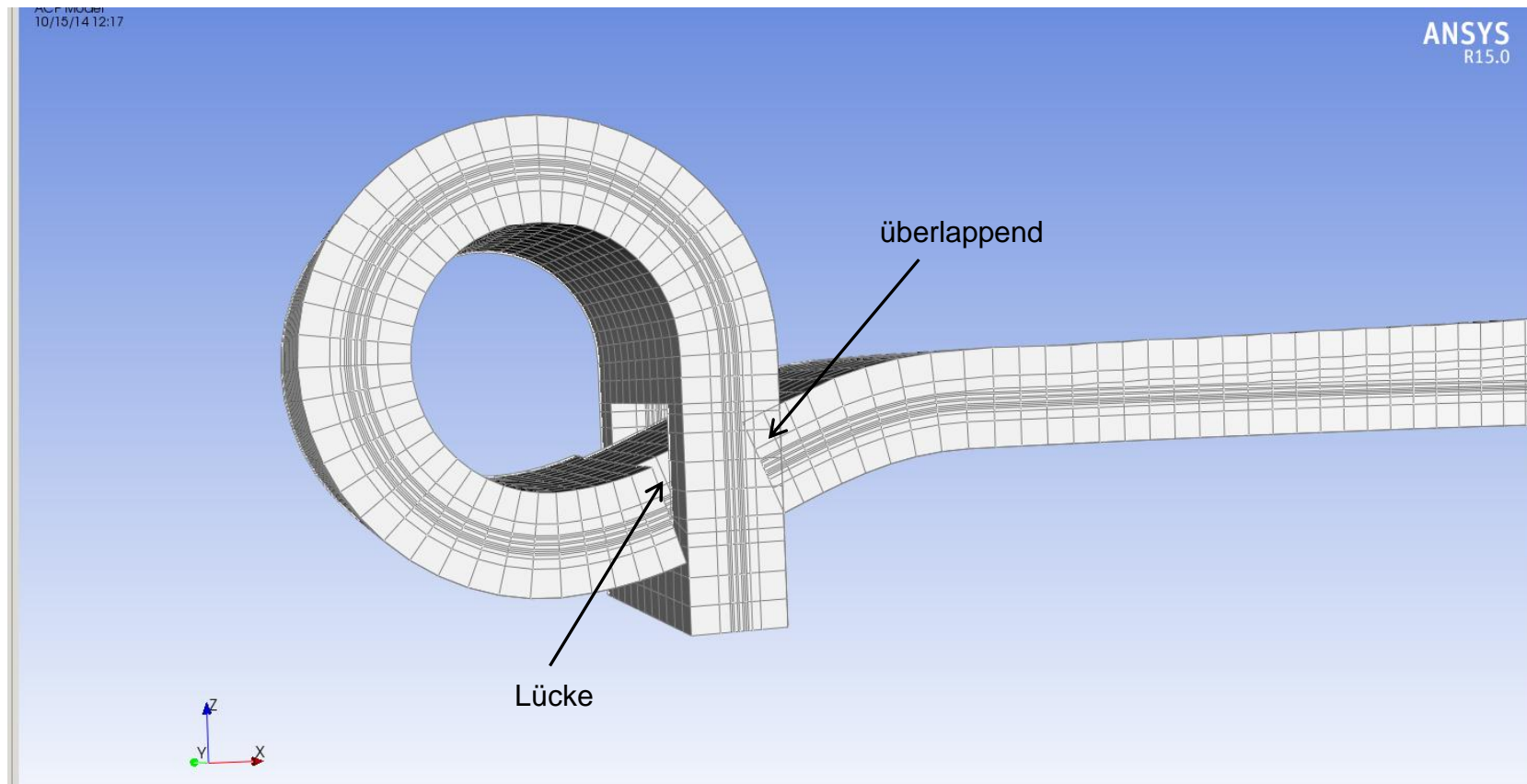
Beispiel des Aufbaus in Federmitte (max. Schichtanzahl)

- Volumenelement 1: Schicht 1 bis 5 -> 5 Schichten
- Volumenelement 2: Schicht 6 bis 11 -> 6 Schichten
- Volumenelement 3: Schicht 12 bis 18 -> 7 Schichten
- Volumenelement 4: Schicht 19 bis 67 -> 49 Schichten
- Volumenelement 5: Schicht 68 bis 122 -> 55 Schichten
- Volumenelement 6: Schicht 123 bis 176 -> 54 Schichten
- Volumenelement 7: Schicht 177 bis 184 -> 8 Schichten
- Volumenelement 8: Schicht 185 bis 191 -> 7 Schichten

Probleme

Netzerstellung

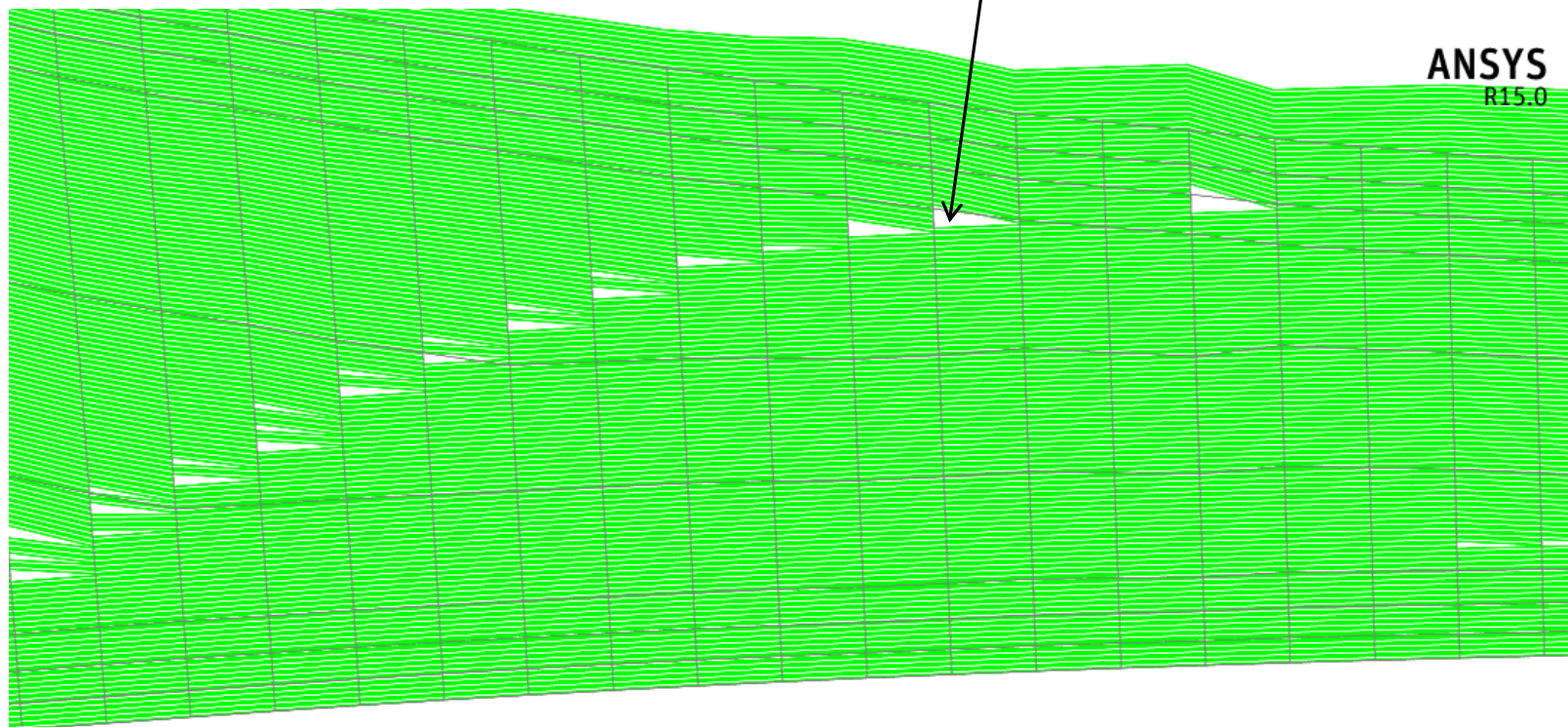
- Lücken oder überlappende Netze, beim Extrudieren in stark gekrümmten Bereichen



Probleme

Schichtenden

- Schicht-/Lagenenden werden erst am Elementende berücksichtigt!
- Bei kurzen Abständen der Schichtenden gibt es in einem Element auch mehrere Schichtenden
- An Elementübergängen führt dies zu sogenannte Resin-Pockets
à führt zu Spannungssprüngen in den Ergebnissen

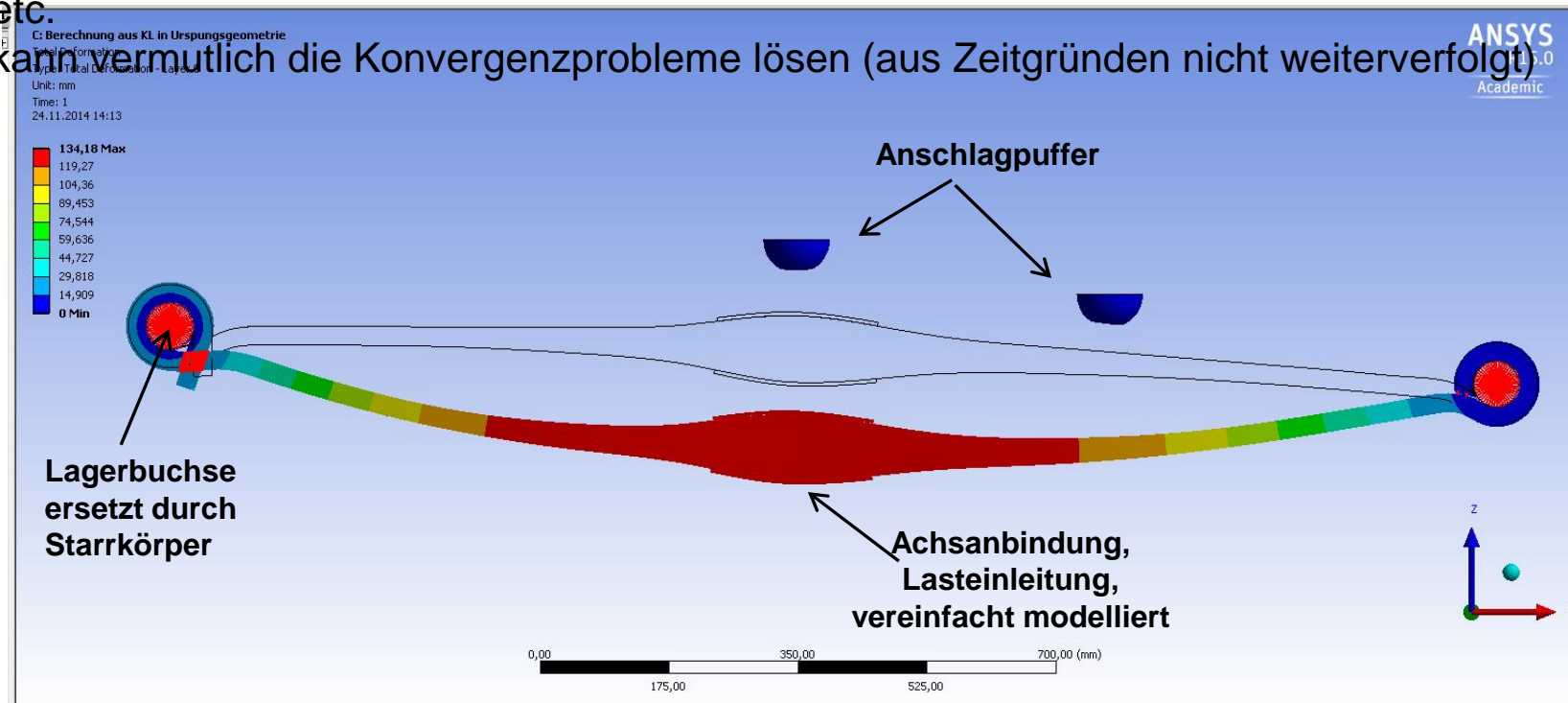


Probleme

Lager und Anschläge

- Metallische Lagerbuchse (Schale) im Federauge führt zu Kontaktproblemen, ersetzt durch Starrkörper
- Modellierung der Anschlagpuffer über geom. Flächenkontakt führt zu Konvergenzproblemen, ersetzt durch nichtlineare Bushing-Elemente
- Parameteranpassungen zu Kontaktart, -algorithmus, Definition Anschlagflächen, Substeps, etc.

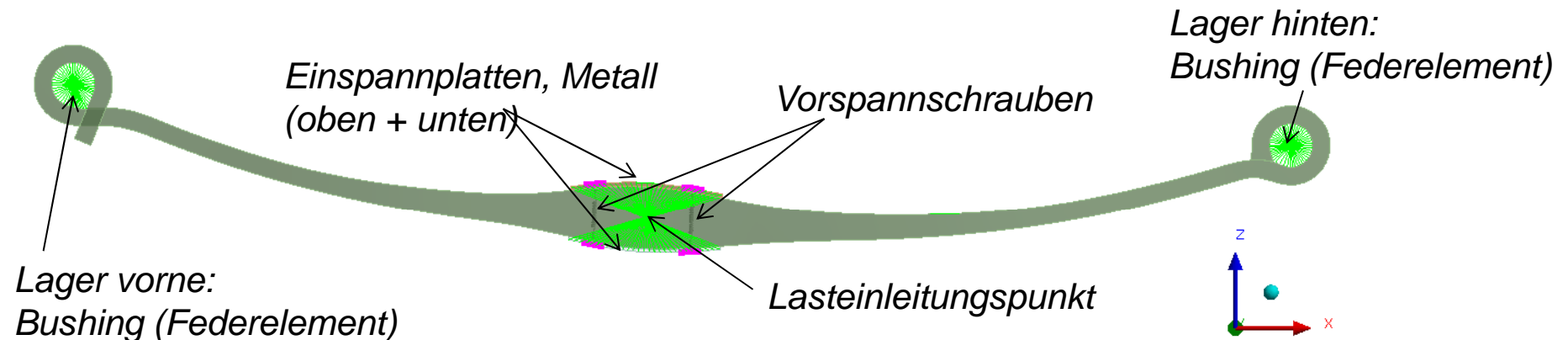
kannte vermutlich die Konvergenzprobleme lösen (aus Zeitgründen nicht weiterverfolgt)



Randbedingungen

Elementauswahl

Randbedingungen wurden teilweise durch vorne erwähnte Probleme vereinfacht modelliert.



Gewählte Elementtypen:

Lagerelemente: Bushing MPC184 (Doppelknoten), Verbindung zur GFK-Feder über viele Balkenelement BEA

Einspannplatten: dicke Schalen, Typ: SOLSH190, Verbindung zur GFK-Feder über Kontakte CONTA174 / TAF

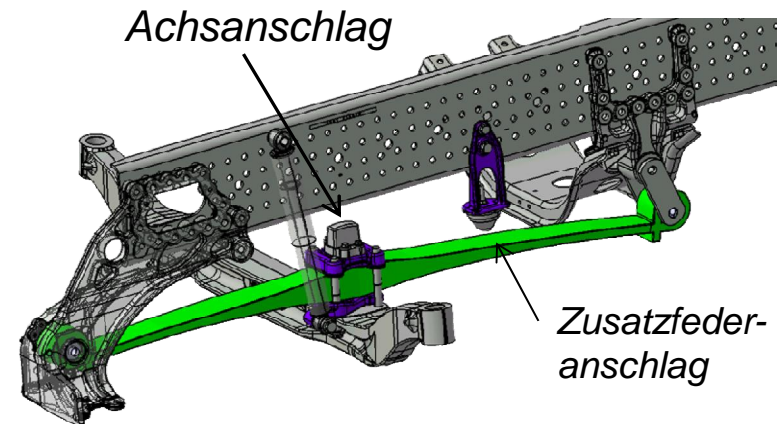
Vorspannschrauben: Balkenelement BEAM188, Anbindung an Platte über COMBIN14 (Bereich Schraubenkop)

Lasteinleitungspunkt: über viele BEAM188 an die Unterseite der Einspannplatte verbunden

Randbedingungen

Elementauswahl

Anschläge: Achsanschlag (Mitte Feder)
 Zusatz-Federanschlag (gegen S-Schlag)



Gewählte Elementtypen:

Achsanschlag: Anschlag(Lager)knoten über der Federmitte, Abstand = Freiweg,
1 Federelement (COMBIN14) vom Anschlagknoten zur Vorspannplatte,
Gummianschlagfläche auf Vorspannplatte mittels Balken (BEAM188) zu Referenz

S-Anschlag: gleicher Aufbau: Anschlagknoten - Federelement - Anschlagfläche
(auf GFK-Feder mittels Balkenverteiler realisiert)

Federelemente bekommen Freiweg und Federsteifigkeit vorgegeben.

Materialdaten: Vom Entwicklungspartner zur Verfügung gestellt (die Daten aus der ANSYS ACP
Materialdatenbank (Epoxy_Eglass_UD) sind vergleichbar).

Grenzwerte sind lastfallspezifisch vom Entwicklungspartner definiert.

Lastfälle

1. Verifikationslastfall

Berechnung der Federsteifigkeit, zur Auslegungs- und Modellkontrolle

In Federmitte (Lastpunkt) eine vertikale Verformung vorgegeben, welche auch zur Auslegung verwendet wurde. Berechnet wird die Reaktionskraft am Lastpunkt.

Vorgabe: $v_z = xx \text{ mm}$

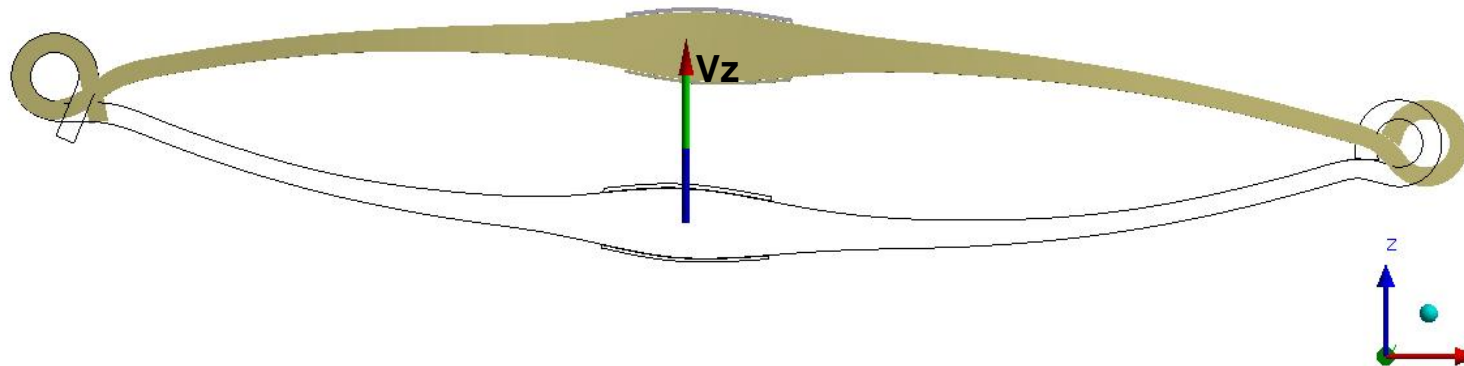
Ergebnis: $R_z = yy \text{ N}$

Steifigkeit:

$C = R_z / v_z = zz \text{ N/mm}$

Ergebnis ist gut (im Toleranzbereich)

Das Steifigkeit des mit ACP erzeugten FE-Modells ist sehr gut abgebildet.



Lastfälle

2. Auslegungslastfall

Berechnung der Festigkeit/Lebensdauer für Vorwärtsbremsen (Hauptauslegungslastfall)

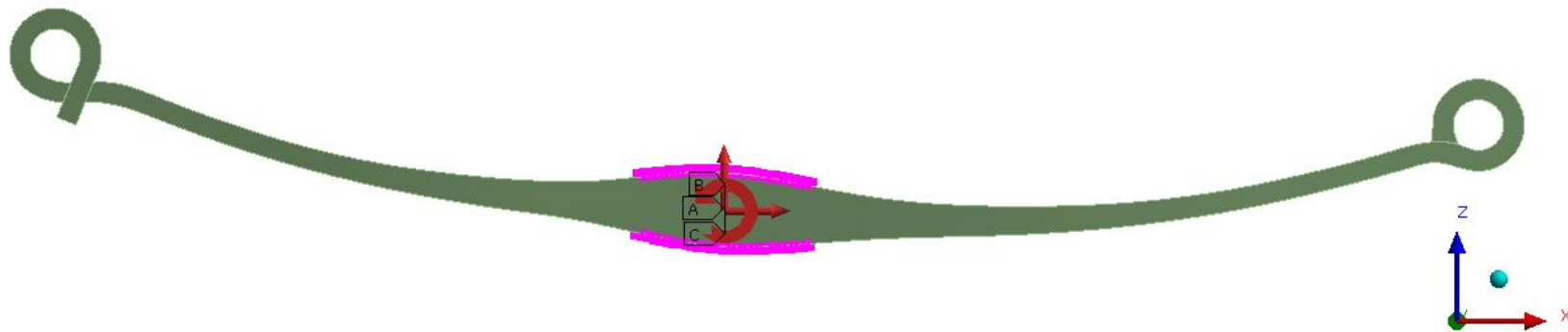
Hier wird die maximale Einfederung erreicht, mit Achsanschlagverformung durch die Vertikallast (I). Durch das Bremsen entsteht eine Längskraft (F_x) und ein Moment (M_y) um die Fahrzeug Querachse. Das Moment bewirkt einen Anschlag an der Zusatzfeder.

In Federmitte (am Lastpunkt) wirken 3 Lastkomponente:

A: $F_z = xxx$ N (nach oben)

B: $F_x = yyy$ N (nach hinten)

C: $M_x = zzz$ Nmm (im Gegenuhrzeigersinn, bei der Ansicht im Bild unten)

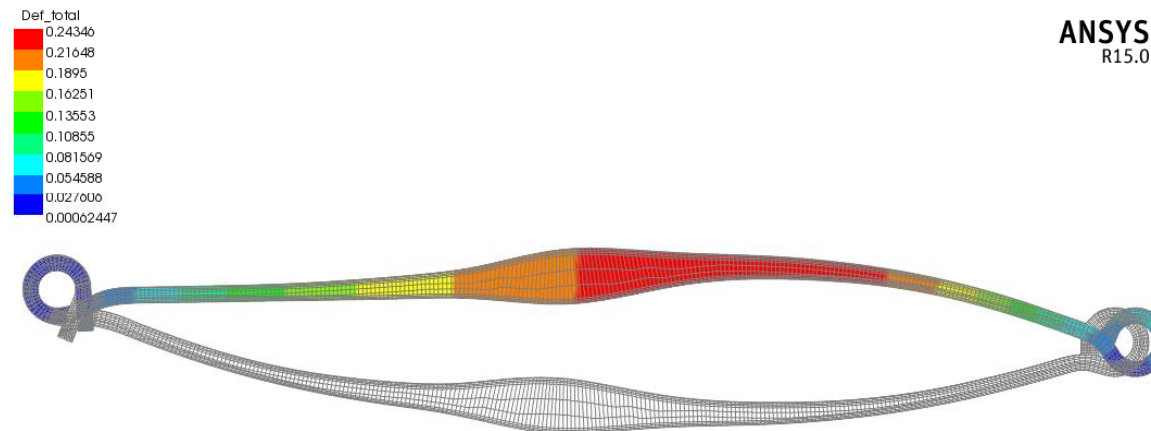


Auswahlmöglichkeiten

Mechanical / ACP

Für die Ergebnisdarstellung können verschiedene Möglichkeiten gewählt werden.

Für die Verformungen ist die Darstellung mit Mechanical und mit ACP identisch.



Für die Spannungen kann gewählt werden:

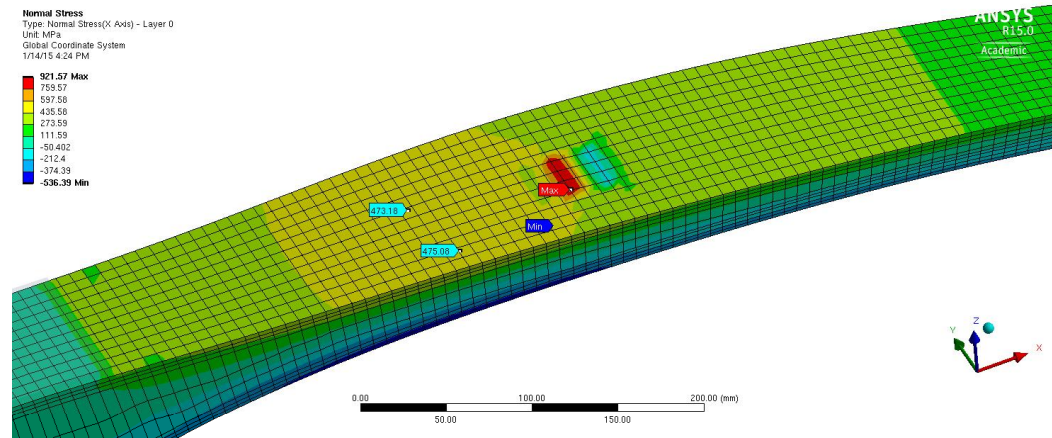
1. ANSYS Mechanical: Ergebnisse sind Volumenelementbezogen.
2. ANSYS ACP: die Ergebnisse sind aus dem Maximum über die Bauteildicke oder Schichtweise darstellbar.

Die Darstellung ist jeweils für alle Spannungskomponenten möglich.

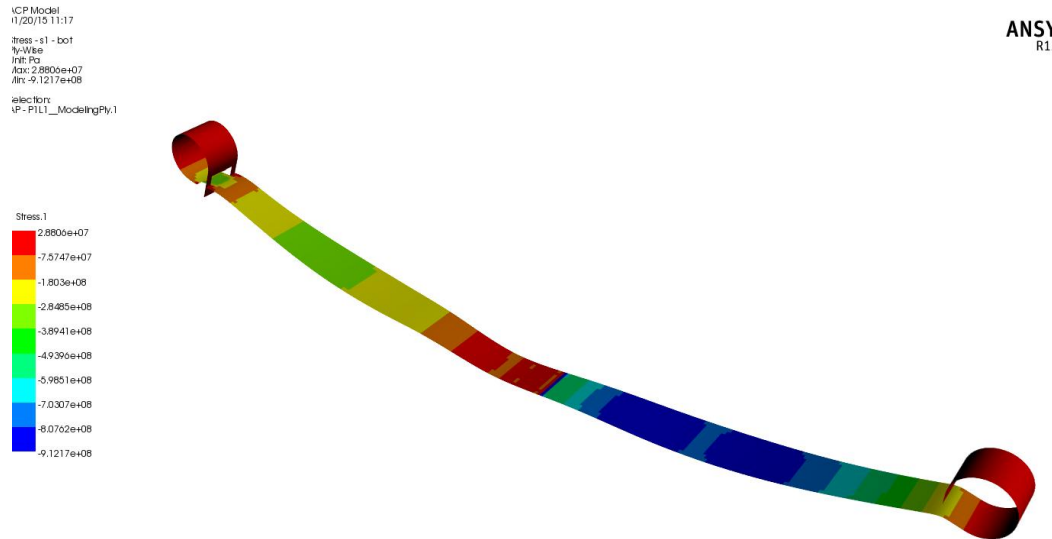
Beanspruchungen, Spannungen (LF 2)

Mechanical / ACP

Mechanical:
 Normalspannung σ_x
 in Längsrichtung,
 (je Volumenelement)



ACP Post:
 Normalspannung σ_x
 in Längsrichtung,
 (Darstellung je Schicht,
 hier Schicht 1)



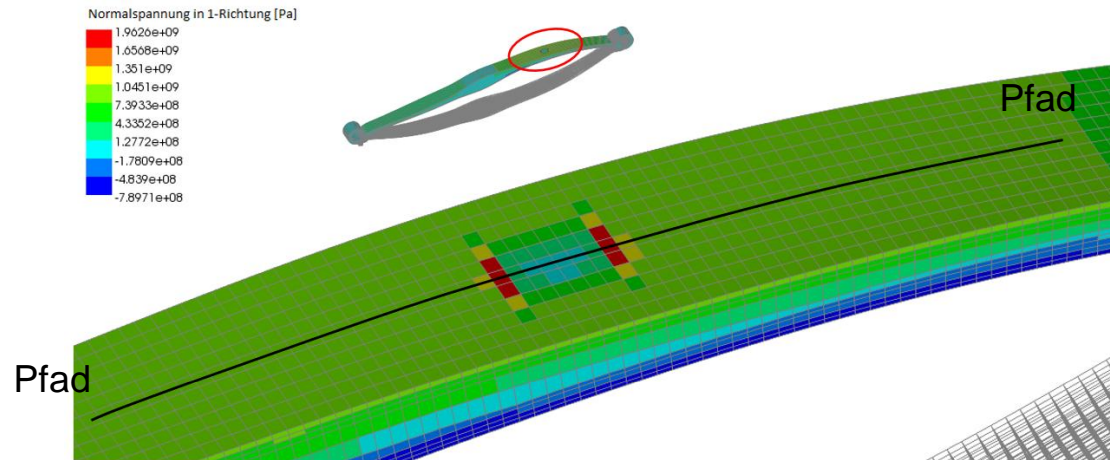
Beanspruchungen, Spannungen (LF 2)

Mechanical / ACP

Mechanical:

Normalspannung σ_x ,

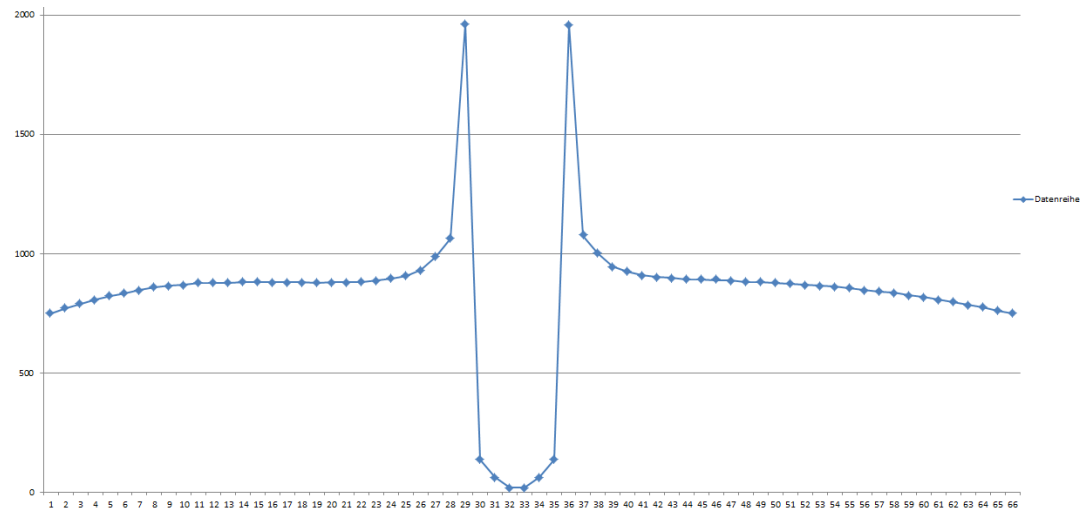
Definition eines Pfades



Mechanical:

Normalspannung σ_x ,

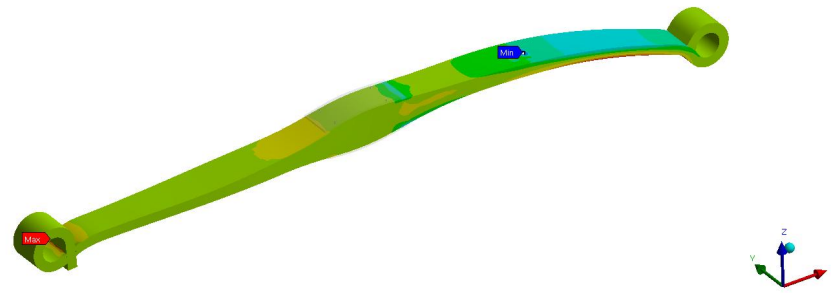
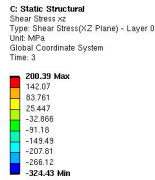
Spannungen entlang des Pfades



Beanspruchungen, Spannungen (LF 2)

Mechanical / ACP

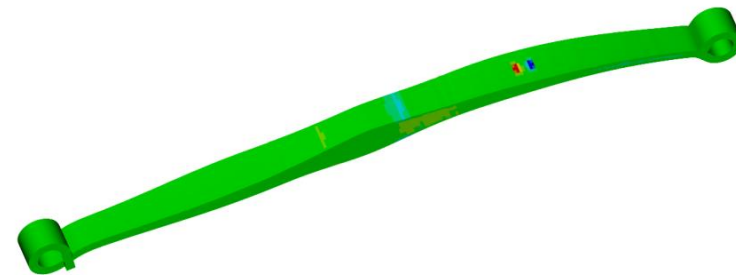
Mechanical:
Schubspannung τ_{xz}
je Volumenelement



01/23/15 13:32
Stress -113 - bo1
Beam16-Wire
C:\Solids
Unit: MPa
Max: 2.1800e+08
Min: -2.1744e+08

ANSYS
R15.0

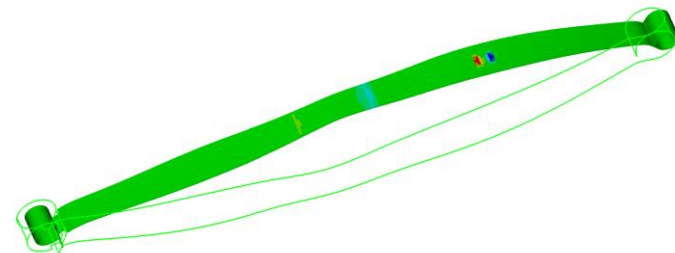
ACP Post:
Schubspannung τ_{xz} ,
je Volumenelement



01/23/15 13:37
Stress -113 - bo1
P16-Wire
C:\Solids
Unit: MPa
Max: 2.1800e+08
Min: -2.1744e+08
Select: P16
AP=P16_1_AooskingP16.197

ANSYS
R15.0

ACP Post:
Schubspannung τ_{xz} ,
je Schicht (hier Schicht 197)

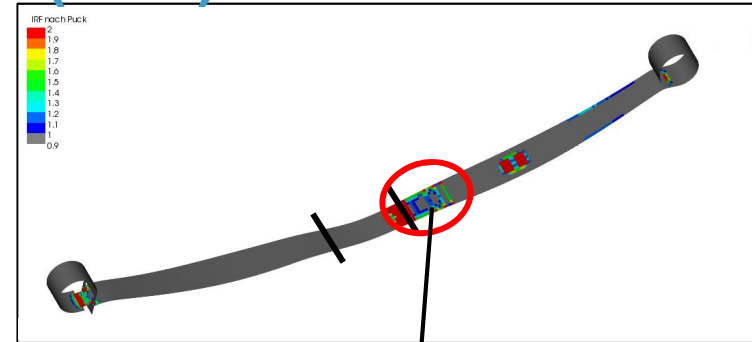


Beanspruchungen, Spannungen (LF 2)

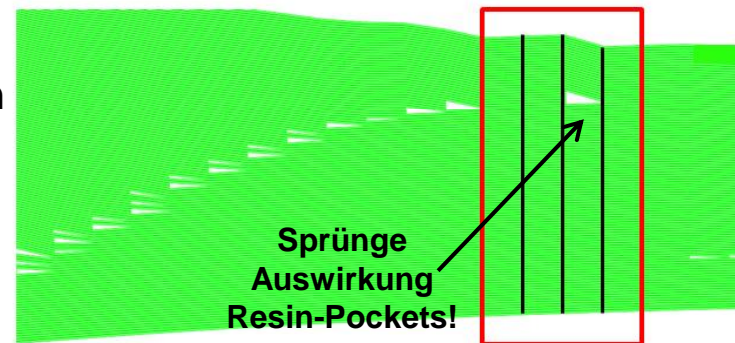
ACP

Spannungsverlauf über die Dicke:
Mit den Komponenten

$$\sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}$$



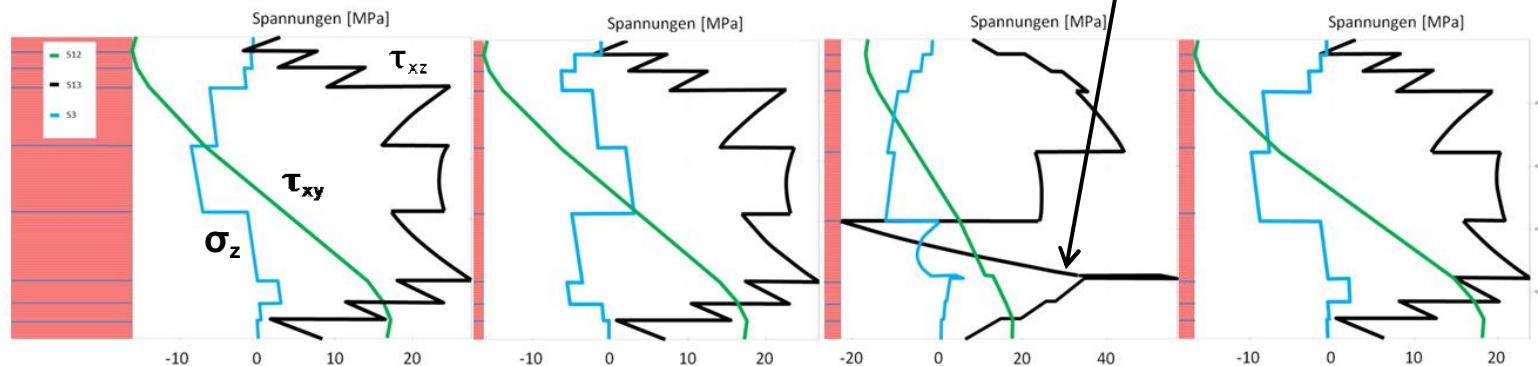
Lage der betrachteten Schichten



Achtung:
Darstellung ist „auf dem Kopf“

Unten!

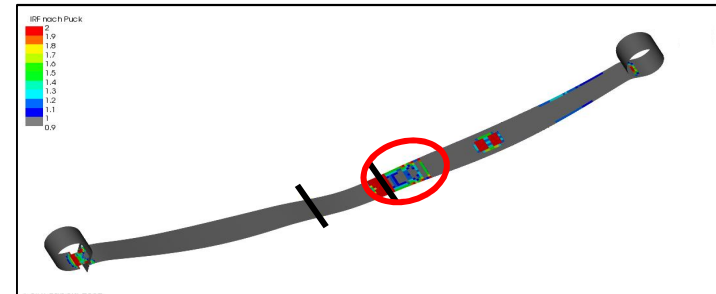
Oben!



Beanspruchungen, Spannungen (LF 2)

Vergleich der Genauigkeit zwischen:
linearem Ansatz – quadratischem Ansatz

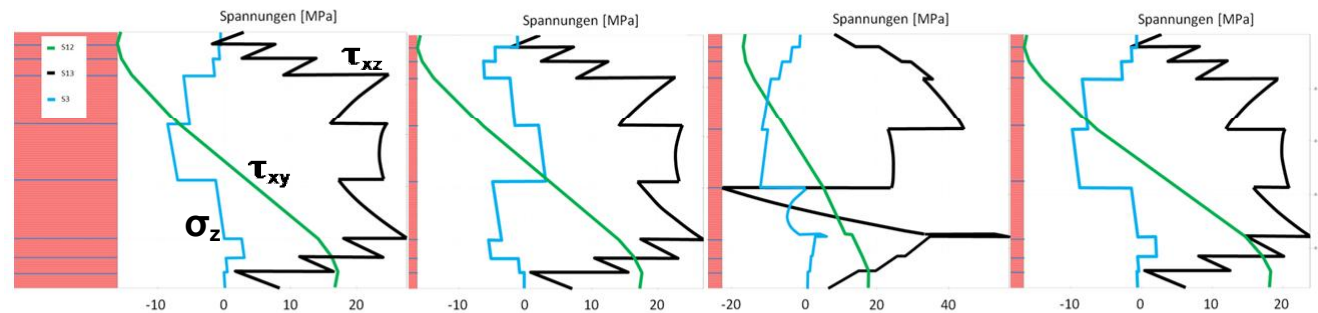
Spannungsverlauf über die Dicke:



Achtung:
Darstellung!

Unten

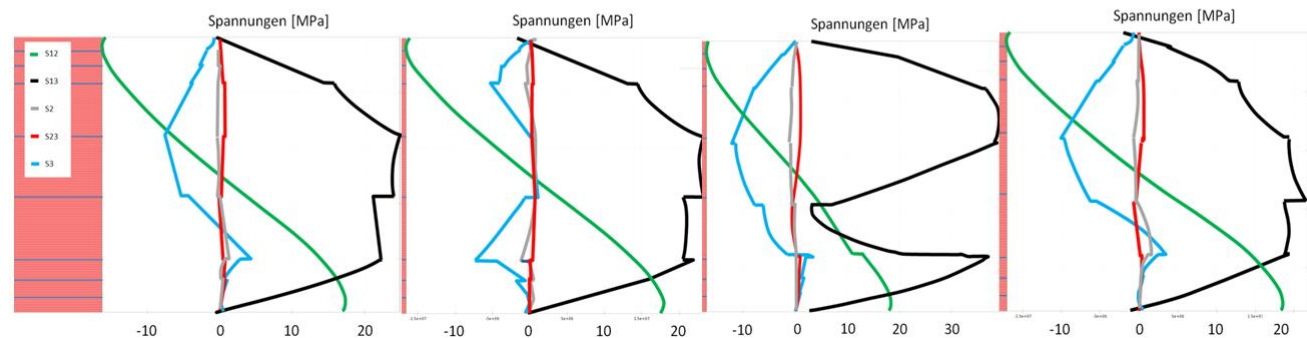
Lineare Volumenelemente



Oben

Unten

Quadratische Volumenelemente



Oben

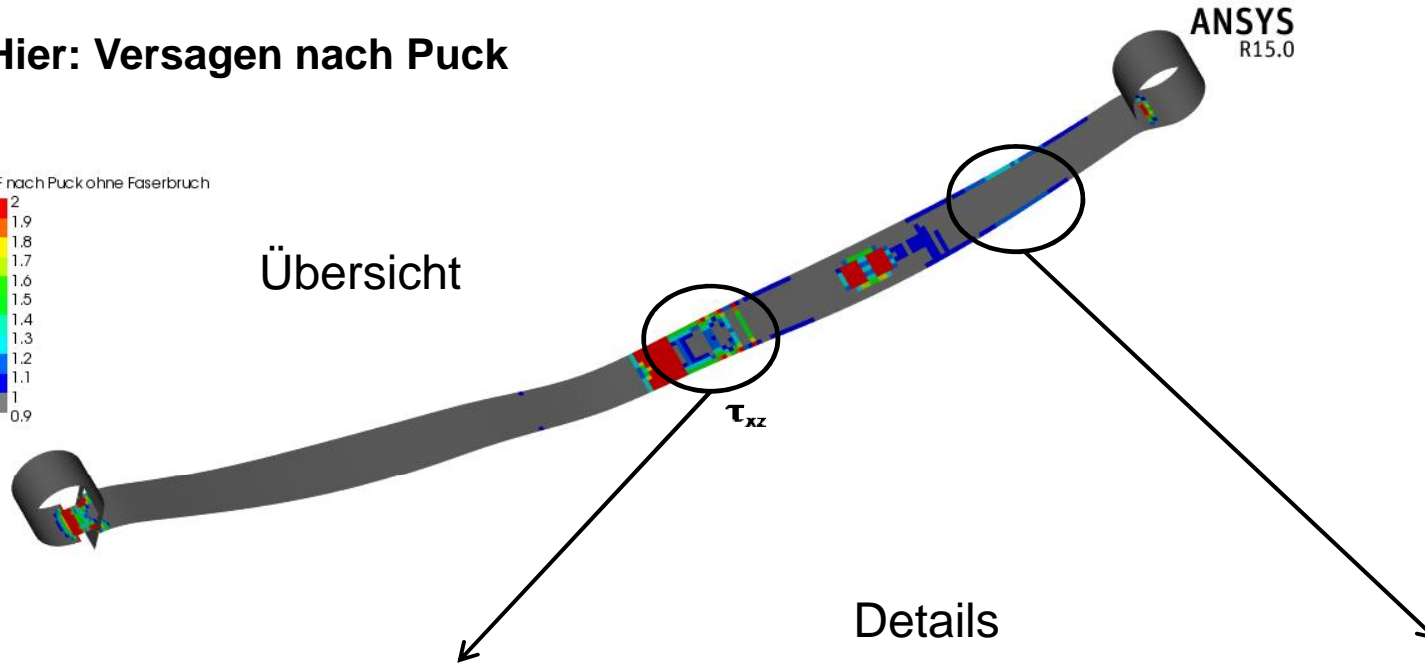
Versagen (LF 2)

Hier: Versagen nach Puck

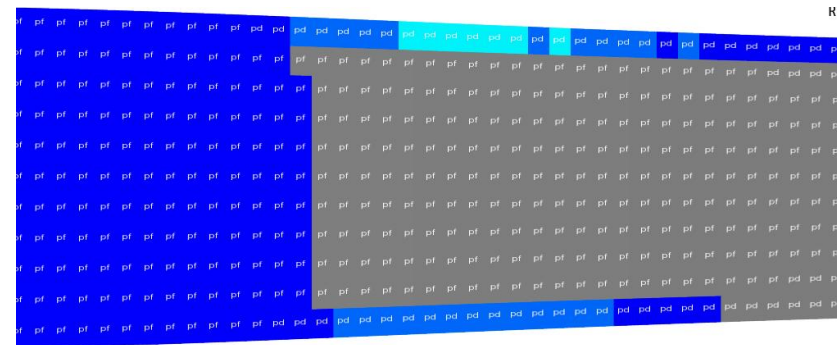
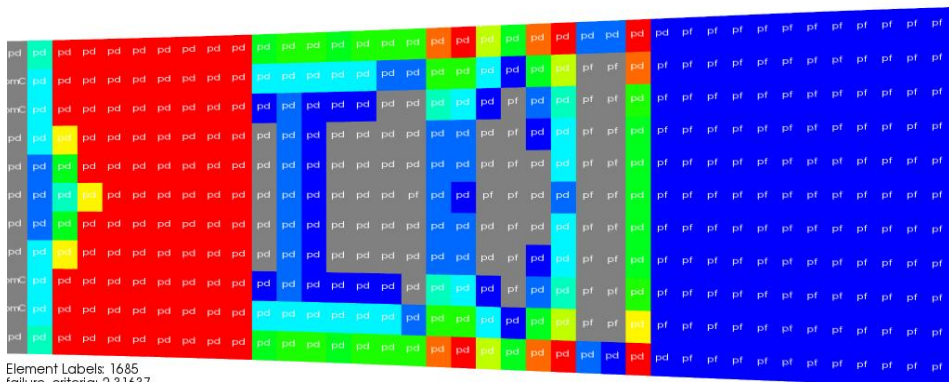
ANSYS R15.0



Übersicht



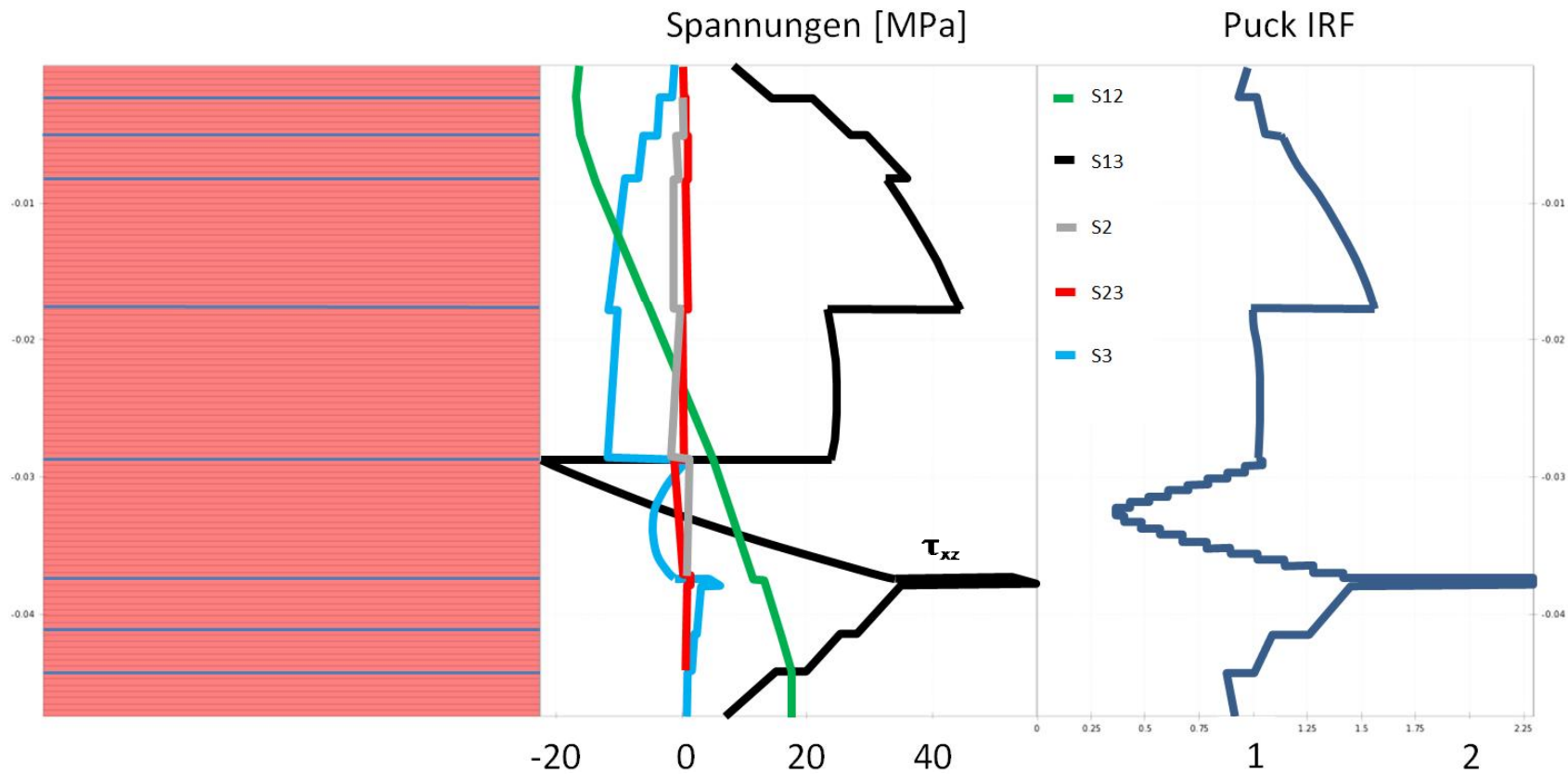
Details



Mit Angabe der Versagensart (hier immer Delamination, dominant τ_{xz})

Versagen (LF 2)

Ergebnisse über die Bauteilhöhe, Spannungen und Versagen



Sprünge durch Resin-Pockets wirken sich auch beim Versagen aus, dominant τ_{xz}

Modellerstellung

- Großer Aufwand zur Präparierung der Geometrie für Rand-, Last- und Übergangsbedingungen
à Anlegen von Rand-, Last- und Übergangsbedingungen im „echten“ FE-Modell ermöglichen.
- Wenn Änderungen in abgeschlossenen „Zellen“ (Projektschema) durchgeführt werden, Zuordnungen verloren und alle nachfolgenden Zellen müssen

Berechnungen

- In ACP Pre geht der Bezug zur Anschlaggeometrie teilweise verloren und muss manuell wieder zugewiesen werden.
- In ACP Post gehen teilweise die Pfade zu Geometrie oder Result-Files verloren (Release 15.0.7) und muss durch Neustarts behoben werden.

Ergebnisse

- Auswahl und Darstellung ist sehr komfortabel.
- Genauigkeit kann durch geeignete Elementgröße und Elementansatz angepasst werden.
- Das Ziel, die Berechenbarkeit „dicker“ Laminat-Bauteile aus GFK zu erarbeiten, ist gelungen.

Back up

Herstellung:

