



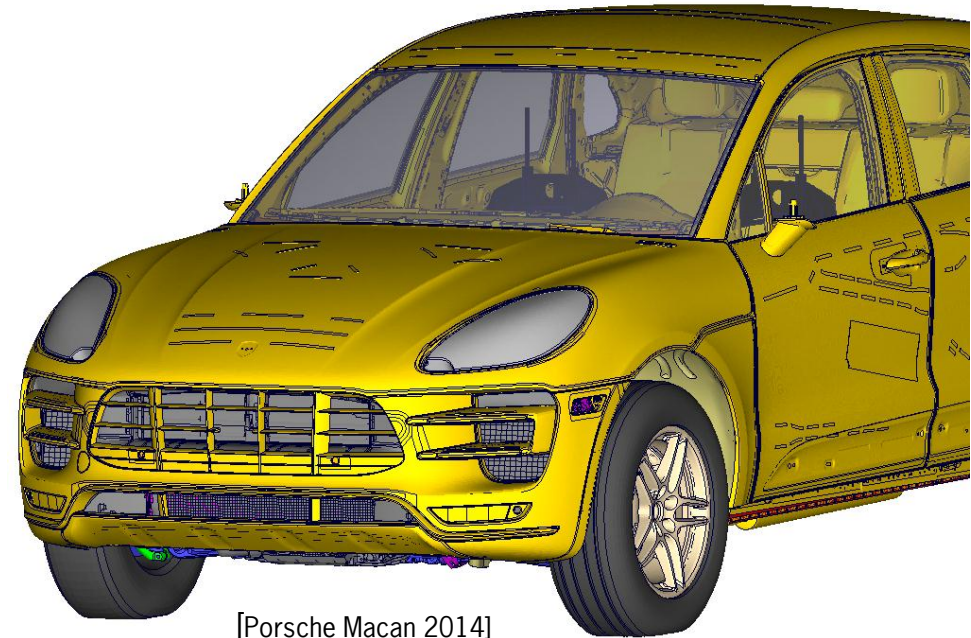
PORSCHE

Modellierung von Felge und Reifen zur Abbildung der Radkinematik im Fahrzeugcrash

**F. Burbulla (Porsche), S. Mattern (DYNAmore), A. Lust (DYNAmore),
D. Haag (Kube), X. Li (Bertrandt)**

Motivation

- Modellierung des Rades kann bei bestimmten Anwendungen erheblichen Einfluss auf das Verhalten des Fahrzeuges haben
- Radkinematik und -verhalten werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst:
 - Repräsentation der Materialeigenschaften des Reifens (Lauffläche, Karkasse, etc.)
 - Repräsentation des Reifendrucks und dessen Abfall bei Schädigung
 - Material- und Versagenseigenschaften der Schmiedefelge



[Porsche Macan 2014]

Einleitung

- Aufbau des Simulationsmodells Felge-Reifen bestehend aus Schmiede-Leichtmetallfelge und Reifen
- Abbildung des Druckverlustes im Reifen
- Beschreibung der Abplatt-Simulation (implizit) unter Fahrzeuggewicht
- Übertragung der Daten aus Abplatten auf das Simulationsmodell
- Demonstration des Simulationsmodells an Prinzipbeispielen

Macan S 18 Zoll Schmiede-Leichtmetallfelge

Werkstoff: EN AW-6082 T6 geschmiedet

Materialmodell:

***MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY**

und

***MAT_ADD_EROSION (GISSMO)**

Parameteridentifikation durchgeführt
zum Teil mit LS-OPT
an Werkstoffproben z.B. Rundzugprobe



Weiterführende Informationen zur Parameteridentifikation unter www.dynalook.com:

[1] Haufe, Neukamm, DuBois, Borvall (2010): "Recent Developments in Damage and Failure Modeling with LS-DYNA"

[2] Haufe, Feucht, Neukamm, DuBois (2011): "Recent Enhancements to the GISSMO Failure Model in LS-DYNA"

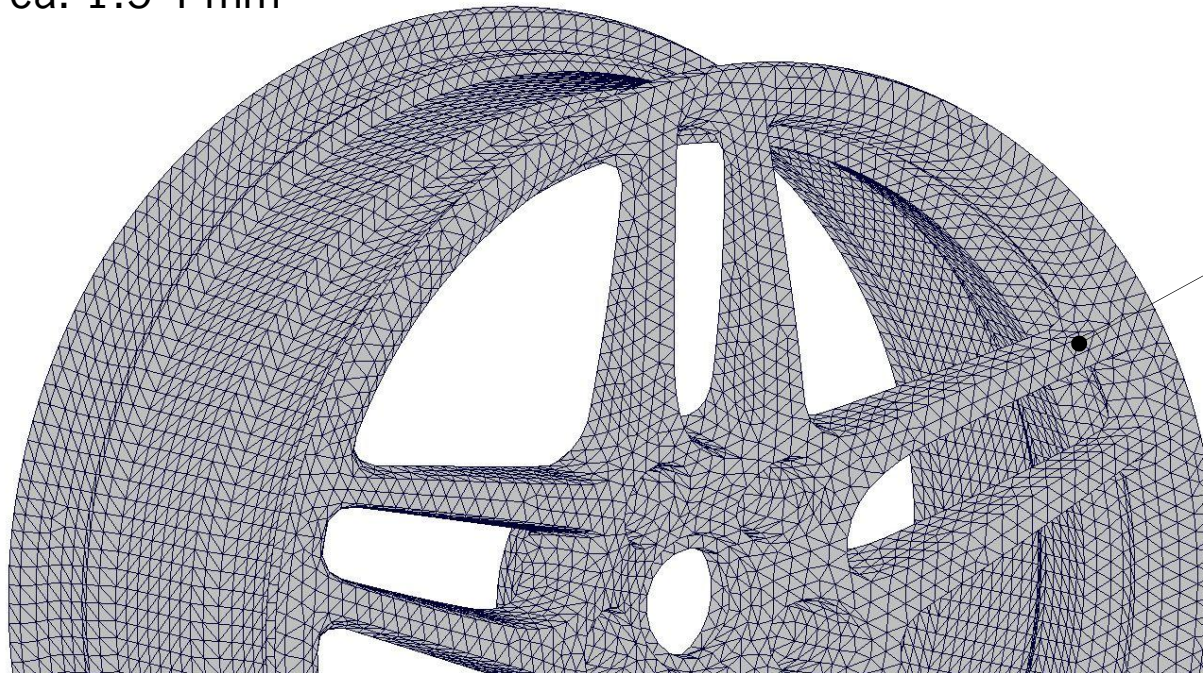
[3] Effelsberg, Haufe, Feucht, Neukamm, DuBois (2012): "On parameter identification for the GISSMO damage model"

[4] ...

Macan S 18 Zoll Schmiede-Leichtmetallfelge

Angestrebte Diskretisierung vollständig mit Tetraeder-Elementen

- Einfache Diskretisierung im Vergleich zum Hexaeder-Netz
- Gute Abbildung von Freiformflächen
- Kurze Reaktionszeiten bei eventueller Neuvernetzung
- Kantenlängen ca. 1.5-4 mm



Tetraeder-Element

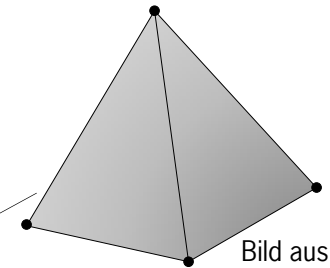


Bild aus [5]

[5] Tobias Erhart: Review of Solid Element Formulations in LS-DYNA. LS-DYNA Entwicklerforum 2011, Stuttgart, 2011

Verfügbare Tetraeder-Elemente in LS-DYNA gemäß [5]

- angestrebte Zeitschrittweite: $\Delta t = 4.95 \cdot 10^{-7} \text{ s}$
- ***CONTROL_TIMESTEP** → **TSSFAC** = 0.9 und **DT2MS** = $-5.5 \cdot 10^{-7}$

	ELFORM=10	ELFORM=13	ELFORM=4	ELFORM=16
für Werkstoffe mit $\nu > 0$ ungeeignet → zu steif				
$\Delta t_{\text{smallest}}$ [s]	$1.50 \cdot 10^{-7}$	$1.50 \cdot 10^{-7}$	$1.27 \cdot 10^{-7}$	$5.82 \cdot 10^{-8}$
Δm [t]	$1.75 \cdot 10^{-3}$	$1.75 \cdot 10^{-3}$	$2.96 \cdot 10^{-3}$	$2.87 \cdot 10^{-2}$
Δm [%]	17.5	17.5	29.6	286.7

- hier: ELFORM=4 in Kombination mit 'selective mass scaling'
- alternativ ELFORM=1, 2 oder 13 möglich – auch hier 'selective mass scaling' sinnvoll

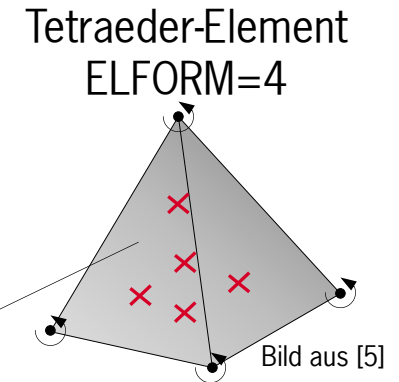
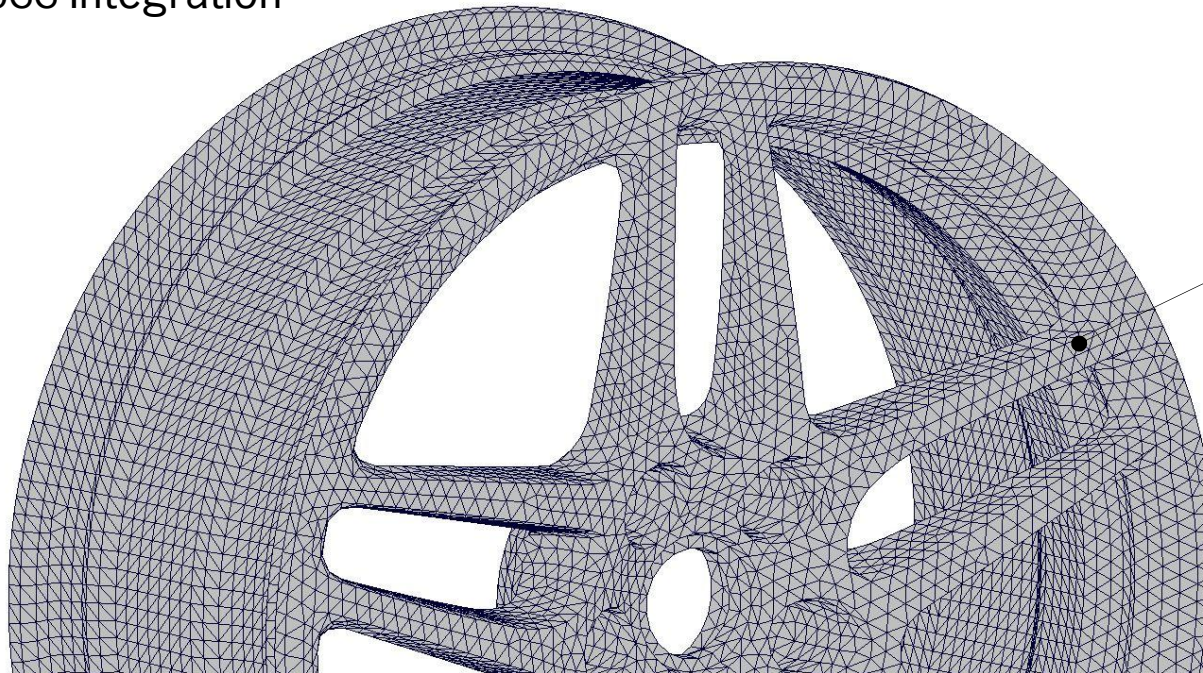
[5] Tobias Erhart: Review of Solid Element Formulations in LS-DYNA. LS-DYNA Entwicklerforum 2011, Stuttgart, 2011

Macan S 18 Zoll Schmiede-Leichtmetallfelge

Diskretisierung vollständig mit Tetraeder-Elementen ELFORM=4

Element ELFORM=4:

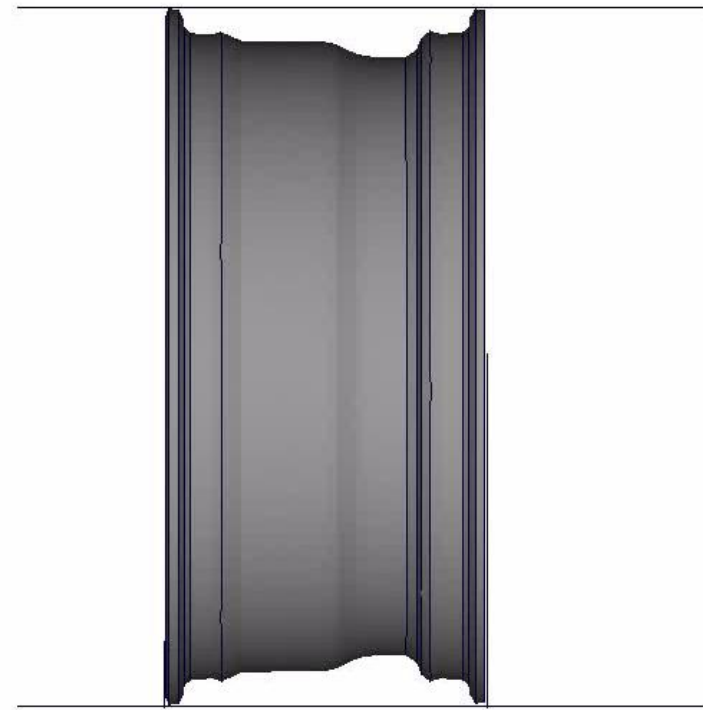
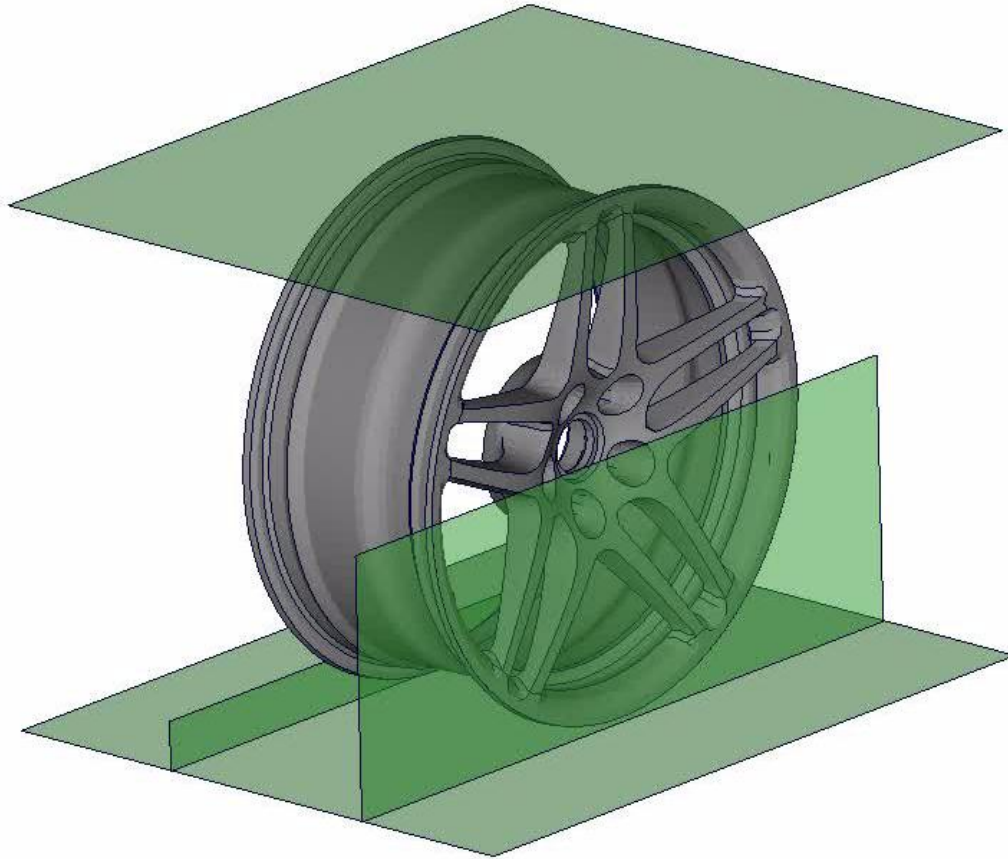
- Verfügt über alle trans- und rotatorische Freiheitsgrade pro Knoten 6 DOFs/Knoten
- Lineare Ansatzfunktionen für trans- und rotatorische Freiheitsgrade
- Fünfpunkt-GAUSS-Integration



[5] Tobias Erhart: Review of Solid Element Formulations in LS-DYNA. LS-DYNA Entwicklerforum 2011, Stuttgart, 2011

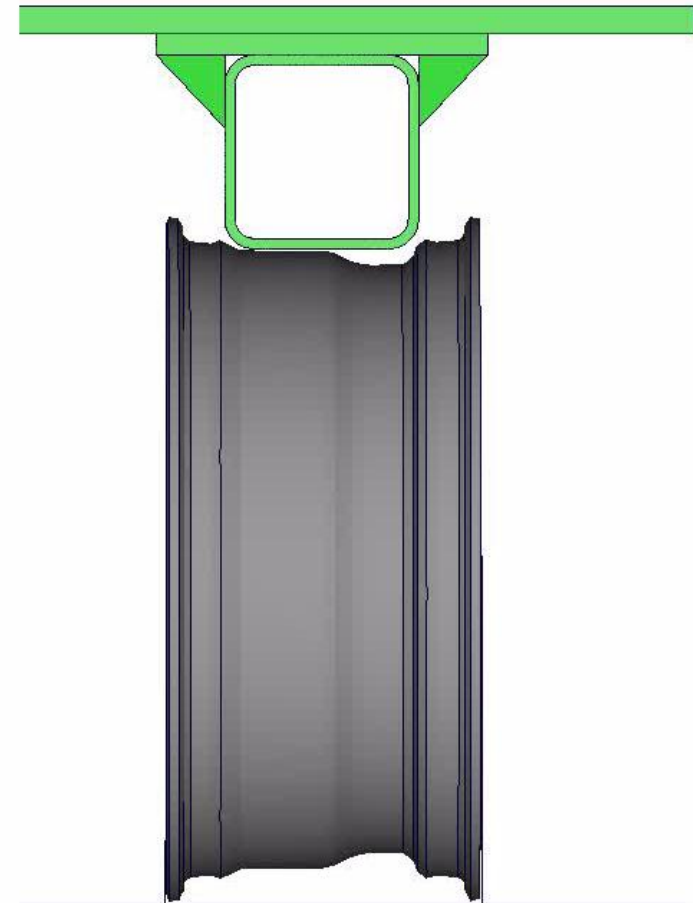
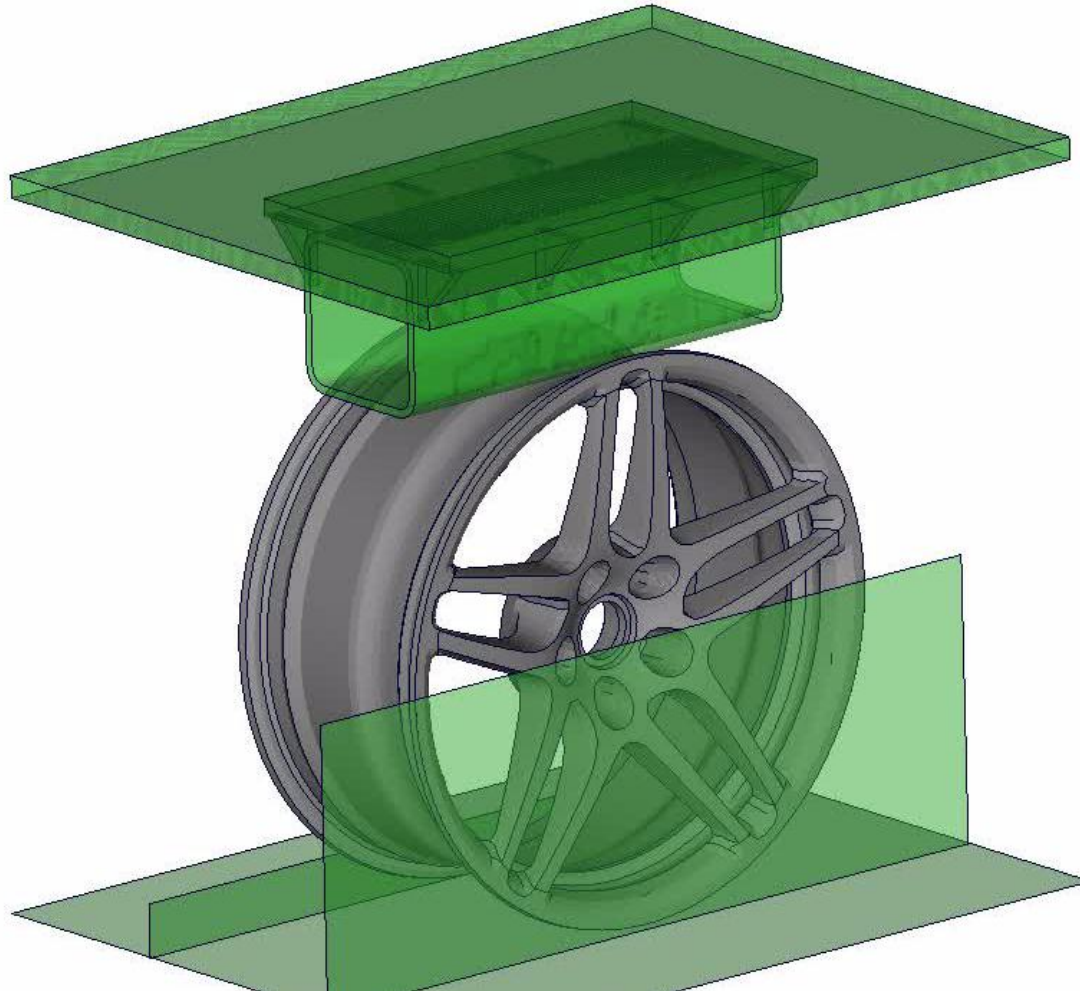
Komponentenversuche Felge

Prüfmaschine mit flächigem Stempel, Belastung auf Felgenhorn innen und außen

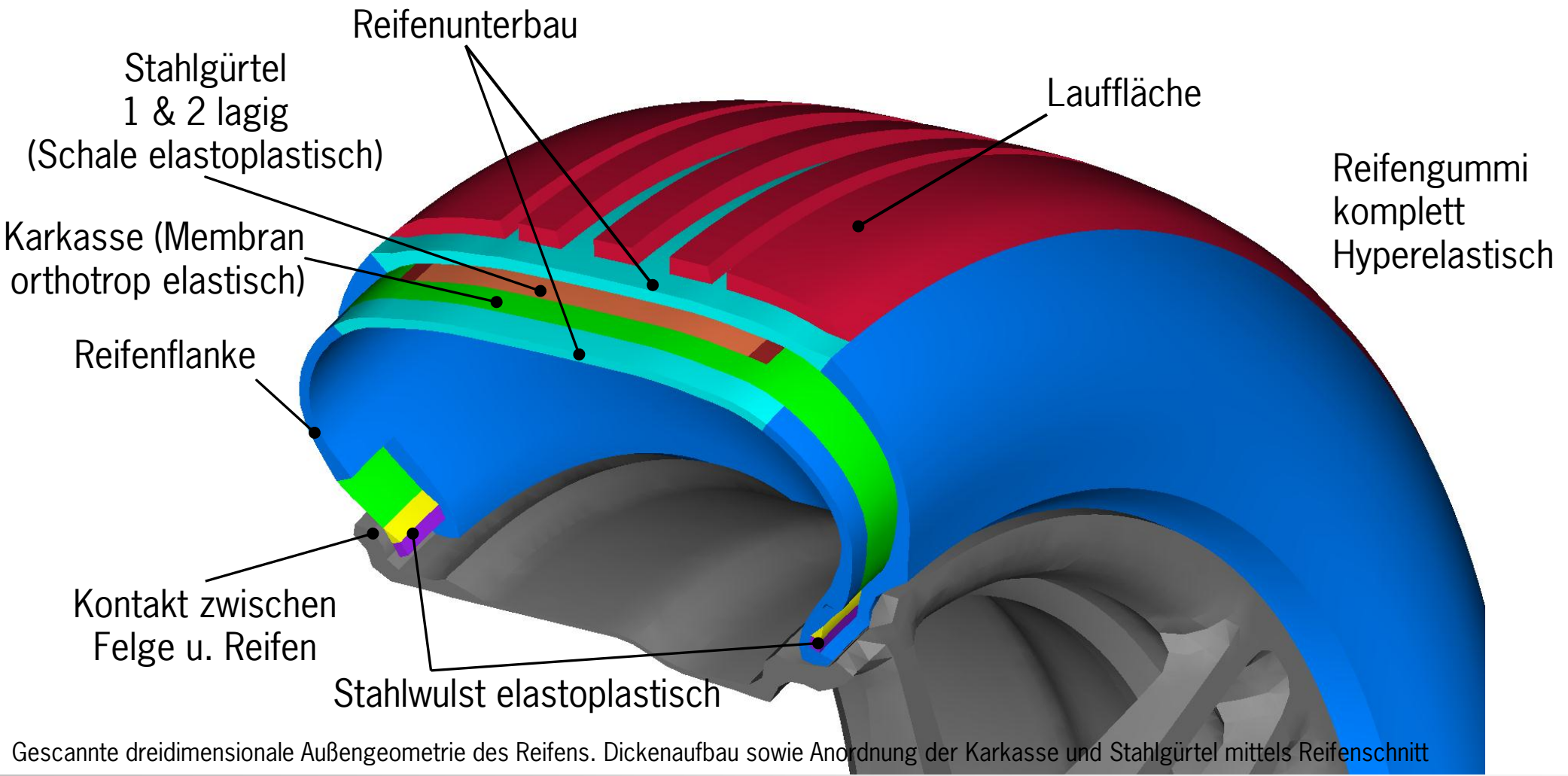


Komponentenversuche Felge

Prüfmaschine mit konturiertem Stempel, Belastung primär auf Felgenbett



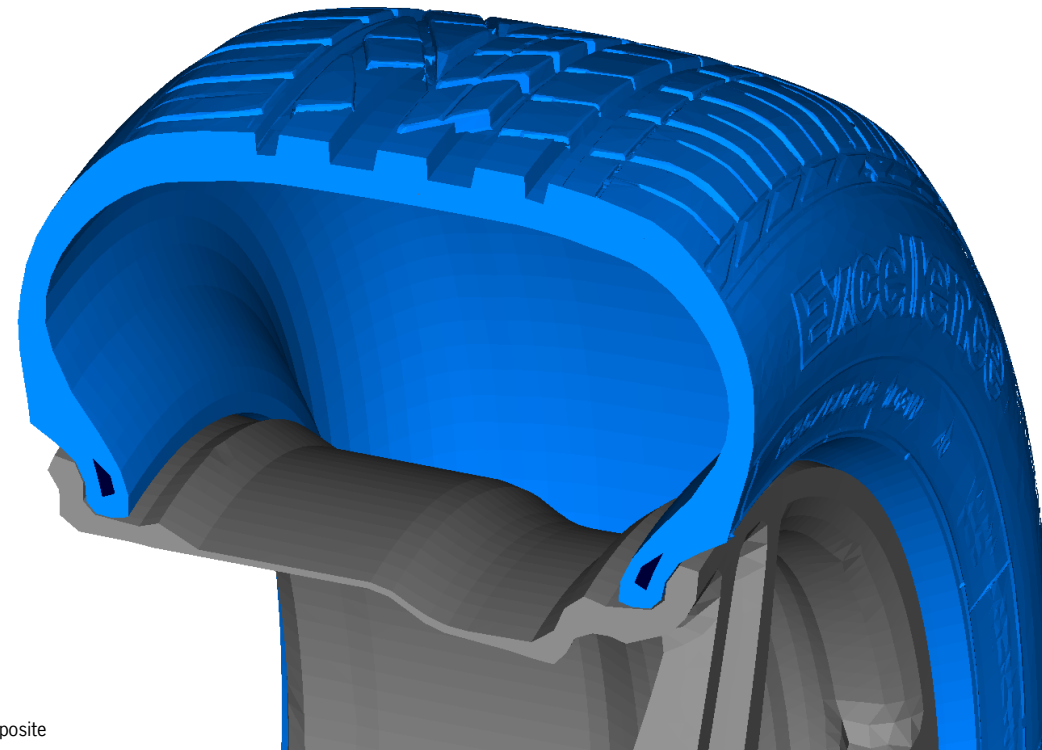
Prinzipieller Reifenaufbau



Gescannte dreidimensionale Außengeometrie des Reifens. Dickenaufbau sowie Anordnung der Karkasse und Stahlgürtel mittels Reifenschnitt

Reifenbau Simulation

- Gescannte Außenkontur inklusive Profilschnitt des Reifens
- Materialmodelle:
 - Reifengummi mit Komponentenversuch
***MAT_SIMPLIFIED_RUBBER**
 - Karkasse mit Gewebesteifigkeit nach [6]
***MAT_ORTHOTROPIC_ELASTIC**
 - Stahlgürtel und Wulst aus „Stahl“
***MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY**
- Airbag zur Abbildung der Reifenluft:
***AIRBAG_SIMPLE_PRESSURE_VOLUME**
- Kontakt zwischen Reifen und Felge:
***CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE**



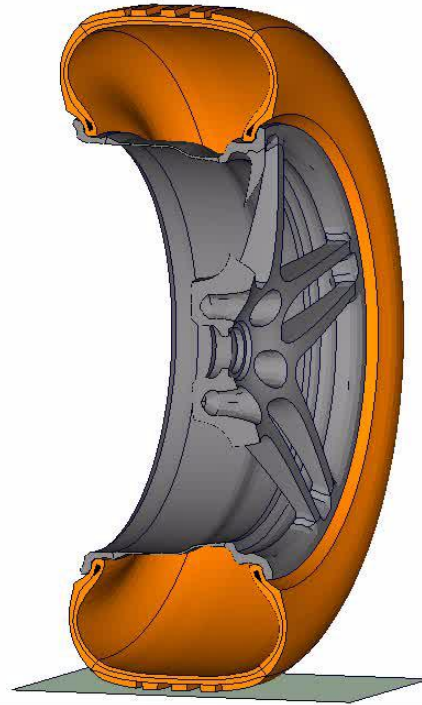
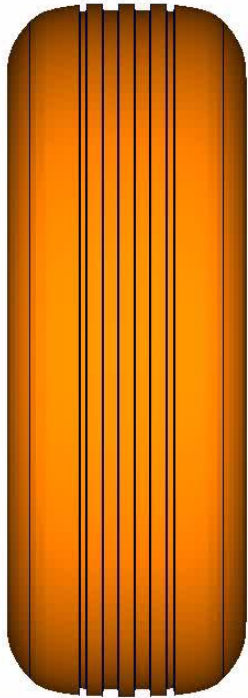
[6] Erdmann, J. und Ganster, J.: Einfluss des Faserdurchmessers auf die Struktur und Mechanik Cellulosefaser- Verstärkter PLA-Komposite

Simulation Reifenabplattung

Modellanpassungen zur impliziten Abplatt-Simulation

- Felge ***MAT_RIGID**
→ keine Deformation zu erwarten
- separate Kontaktdefinition Felge-Reifen
→ ***CONTACT_..._MORTAR**

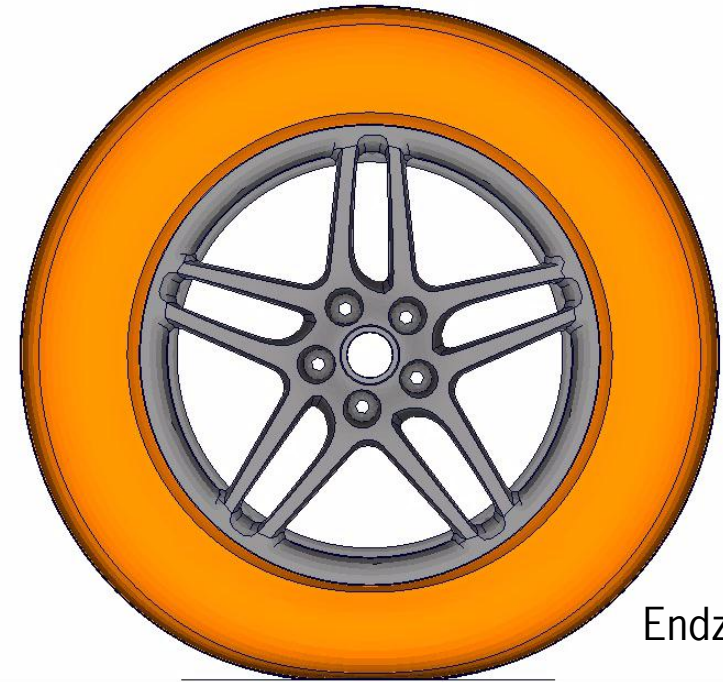
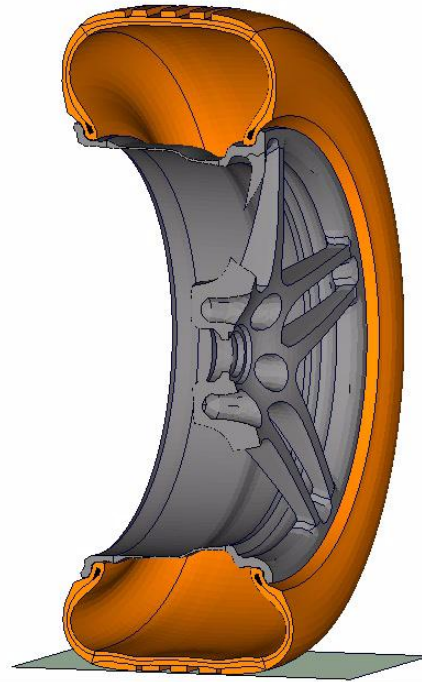
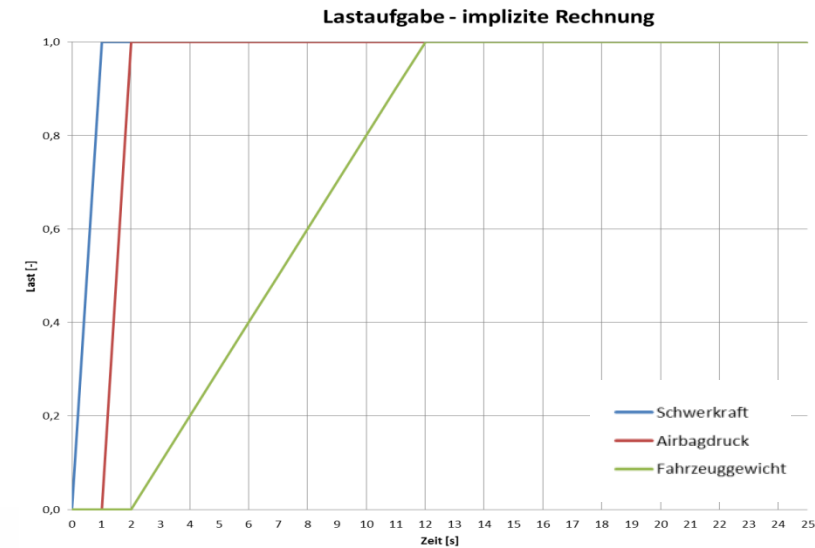
- Zusätzliche ***CONTROL**-Karten
 - ***CONTROL_IMPLICIT_AUTO**
 - ***CONTROL_IMPLICIT_DYNAMICS**
 - ***CONTROL_IMPLICIT_GENERAL**
 - ***CONTROL_IMPLICIT_SOLUTION**
 - ***CONTROL_IMPLICIT_SOLVER**



Ausgangszustand

Mapping der Daten aus Abplatt-Simulation für explizites Modell

- Geometrie (Knotenkoordinaten)
- **Deformationsgradient** für hyperelastisches Material
*INITIAL_FOAM_REFERENCE_GEOMETRY
- Spannungen & plast. Dehnungen für elastoplastisches Mat.
*INITIAL_STRESS_SHELL



Endzustand

Abbildung der Reifenluftdruckschwankung

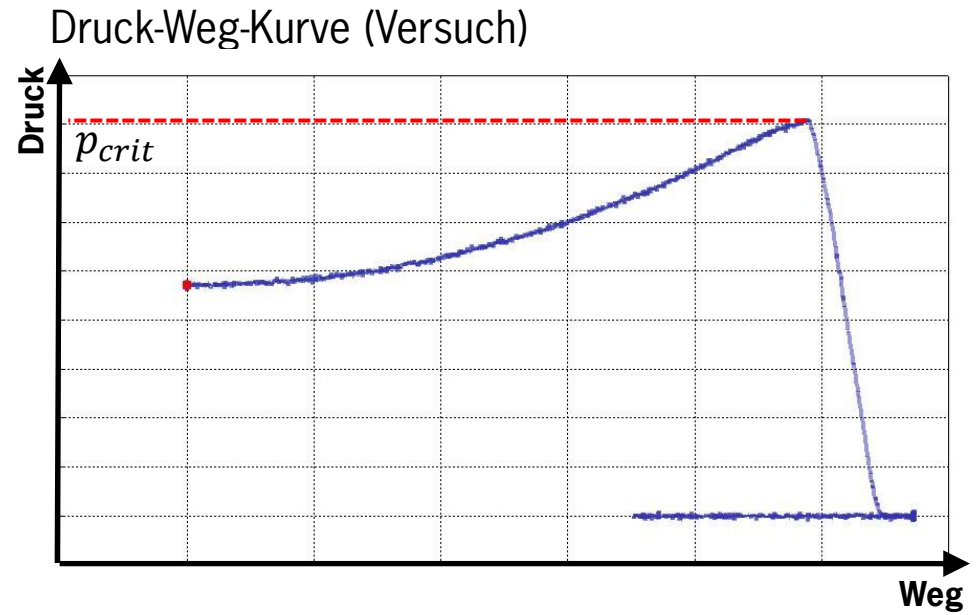


Abbildung der Reifenluftdruckschwankung

Kraft-Weg-Kurve

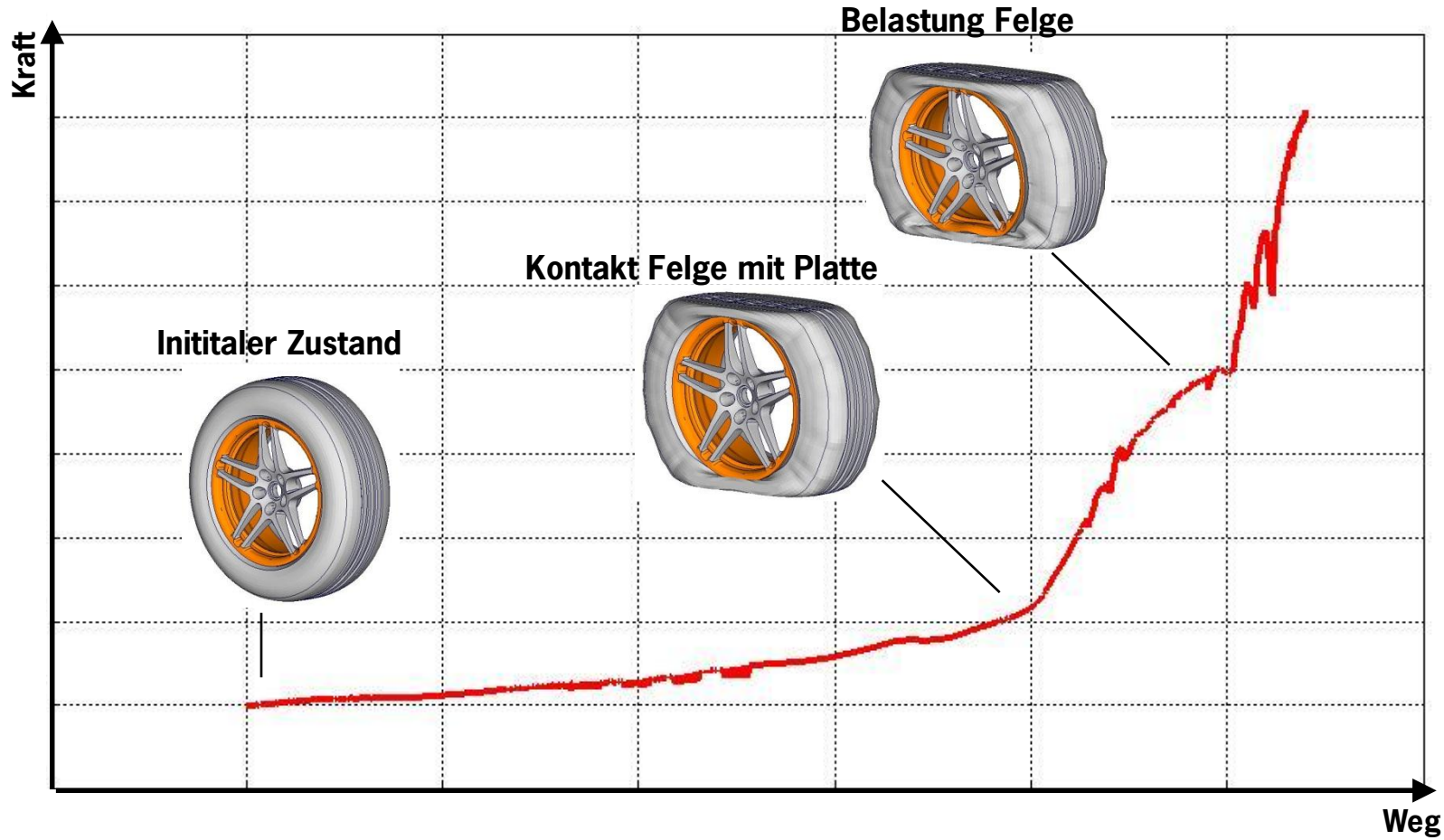
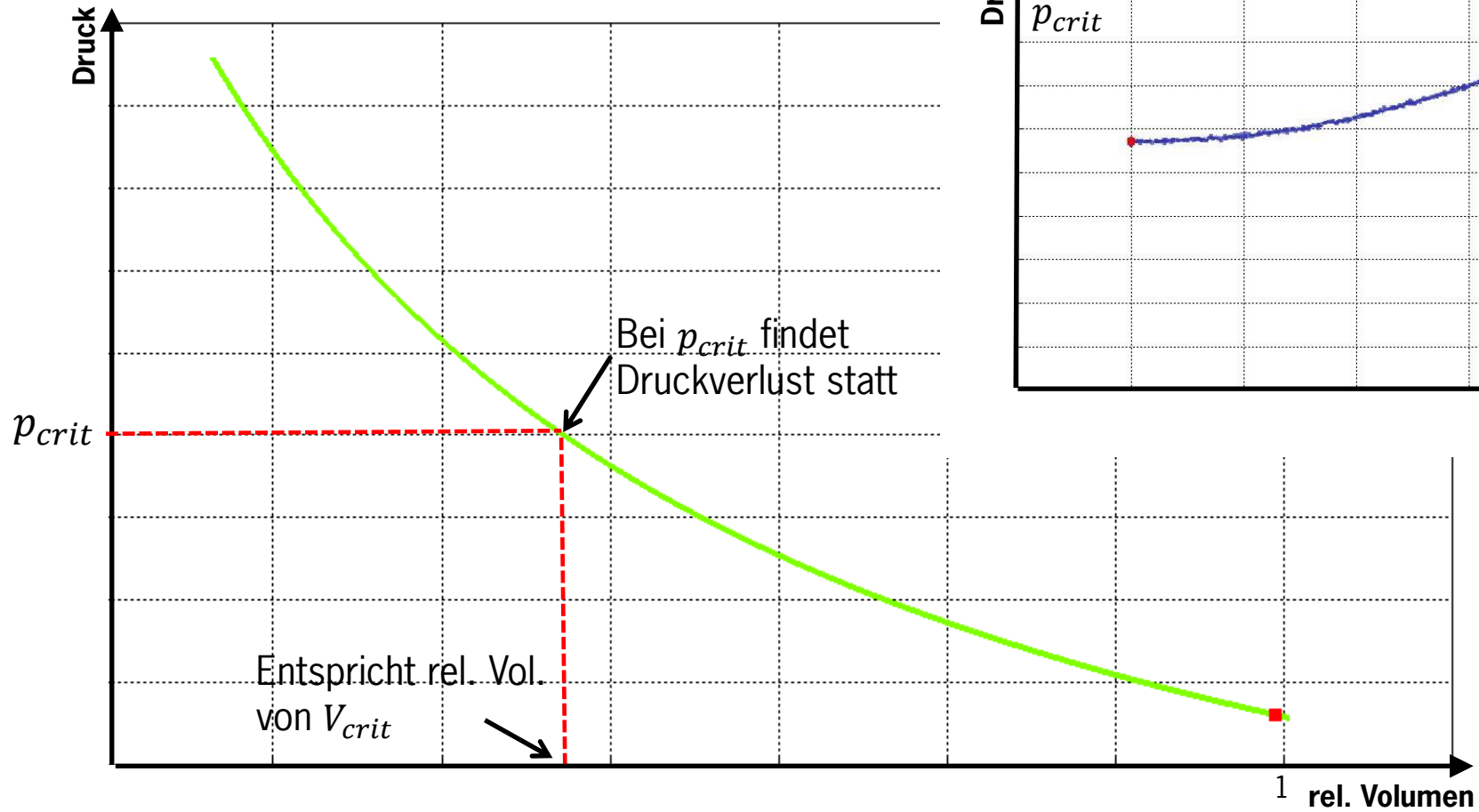
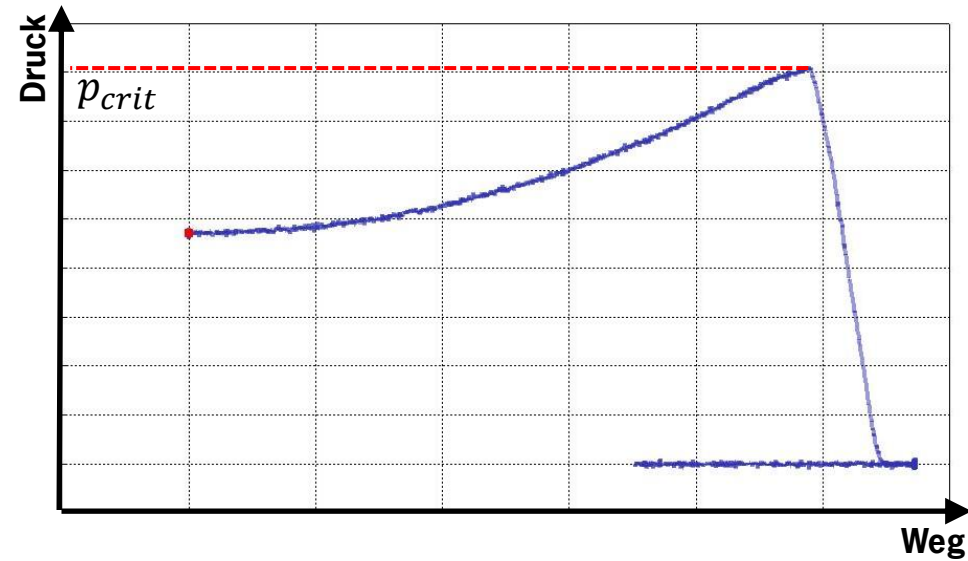


Abbildung der Reifenluftdruckschwankung

Druck-Volumen-Kurve (Simulation)



Druck-Weg-Kurve (Versuch)



*AIRBAG_SIMPLE_PRESSURE_VOLUME

Abbildung der Reifenluftdruckschwankung

Anpassung der Druck-Volumen-Kurve



*AIRBAG_SIMPLE_PRESSURE_VOLUME

Abbildung der Reifenluftdruckschwankung

Abschalten der Druckkurve bei Unterschreitung eines definierten Druckes → *SENSOR_...

```

$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*AIRBAG SIMPLE_PRESSURE_VOLUME_ID
$  ABID  HEADING
   1000  Airbag-Definition Reifenmodell
[...]
```

unterschreitet der Druck im Airbag 0.5 bar, wird er abgeschaltet

```

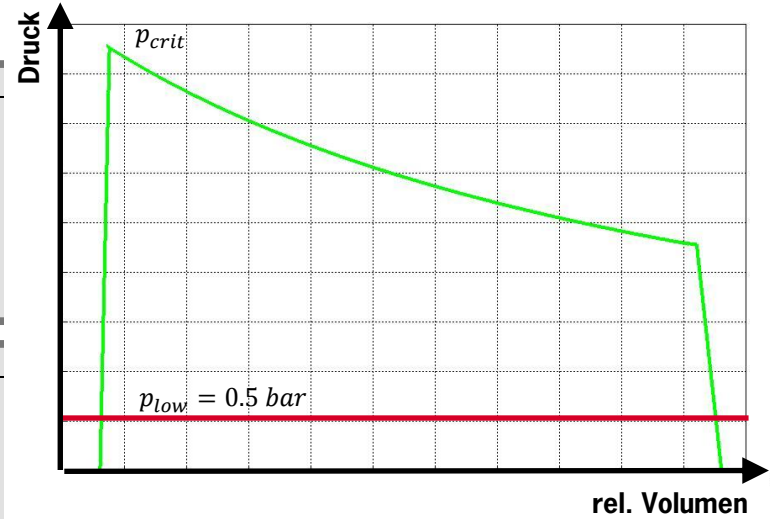
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---
*SENSOR_CONTROL
$  CTLID  TYPE  TYPEID
   1000  AIRBAG  1000
$  INITSTT  SWIT1
      ON     1000
```

```

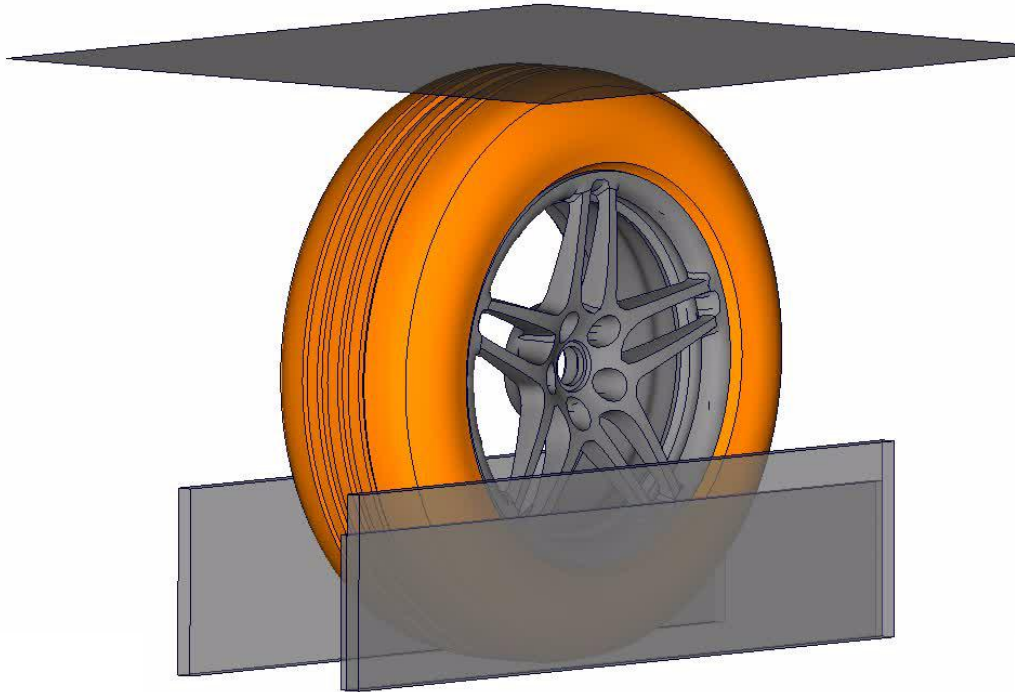
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---
*SENSOR_DEFINE_FORCE
$  SENSID  FTYPE  TYPEID  VID  CRD
   1000  AIRBAG  1000
```

```

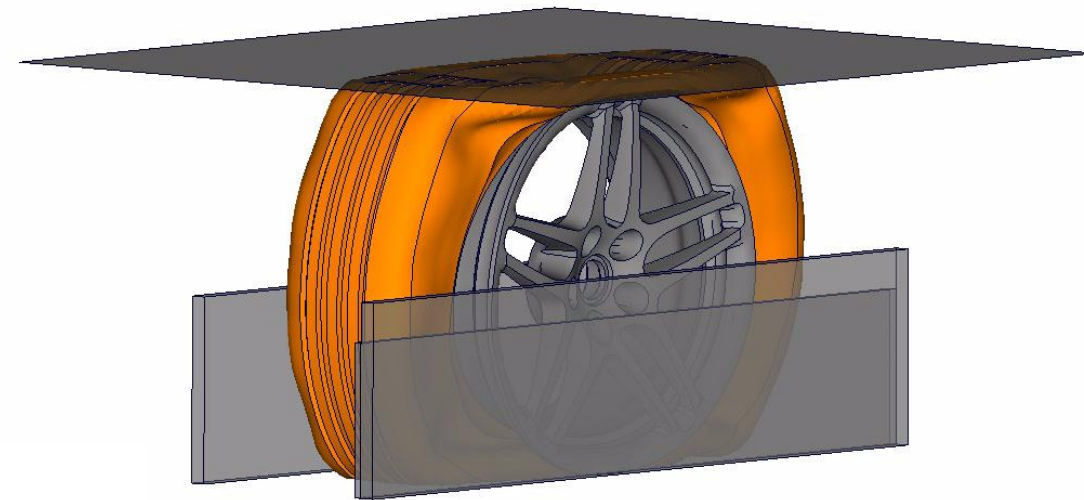
$---+---1---+---2---+---3---+---4---+---5---+---6---+---7---+---8
*SENSOR_SWITCH
$  SWITID  TYPE  SENSID  LOGIC  VALUE  FILTRID  TIMWIN
   1000  SENSOR  1000  LT      0.05   0         1.0E-10
```



Exemplarische Abbildung der Reifenluftdruckschwankung



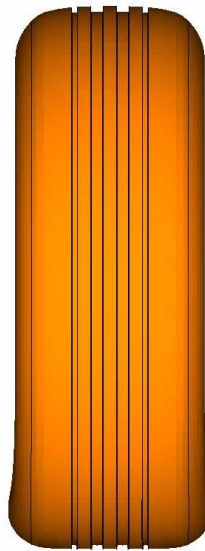
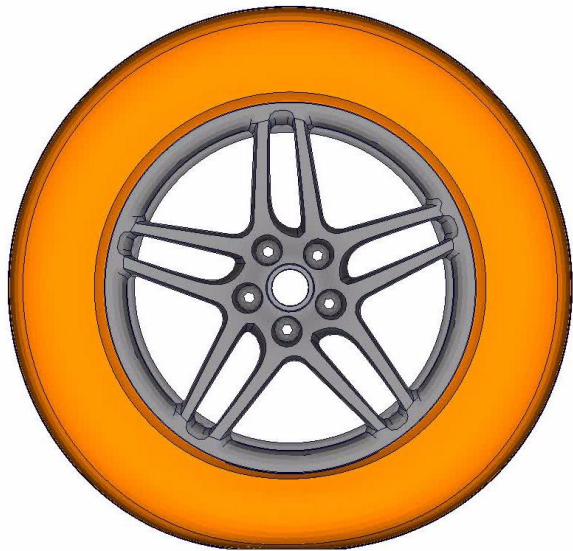
Anfangszustand



Endzustand

Beispiel Reifen-Felge-Simulation

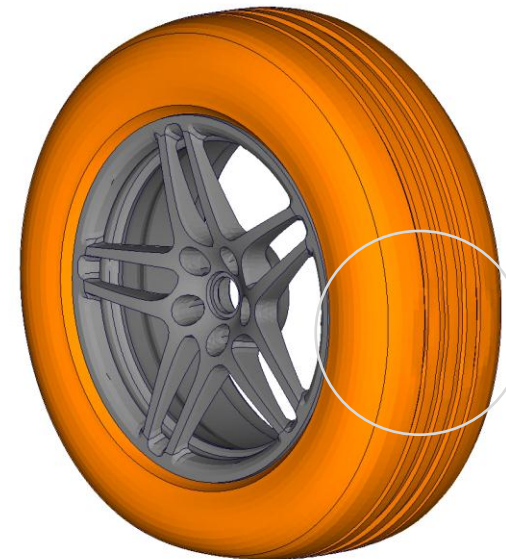
Abroll-Simulation mit 80 km/h



Bei Drehung der anfänglichen Abplattung um 90°



ELFORM=2

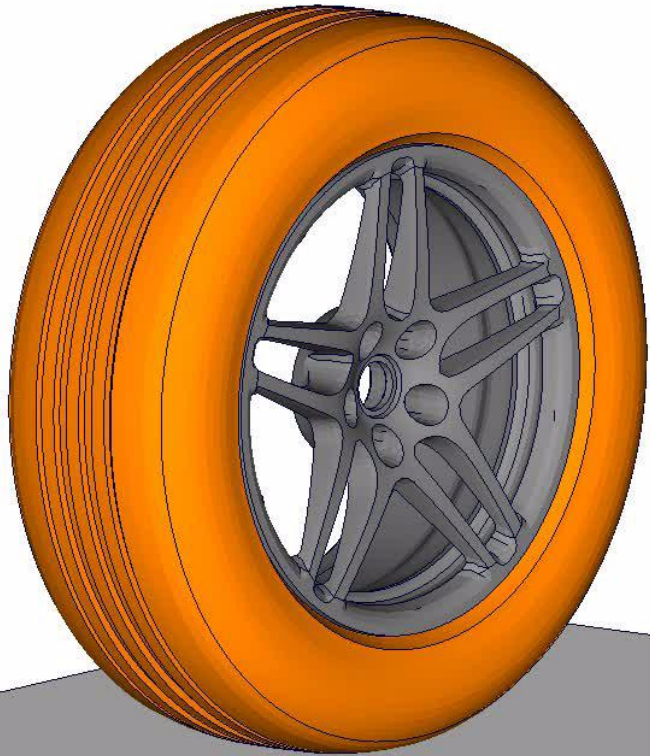


ELFORM=1

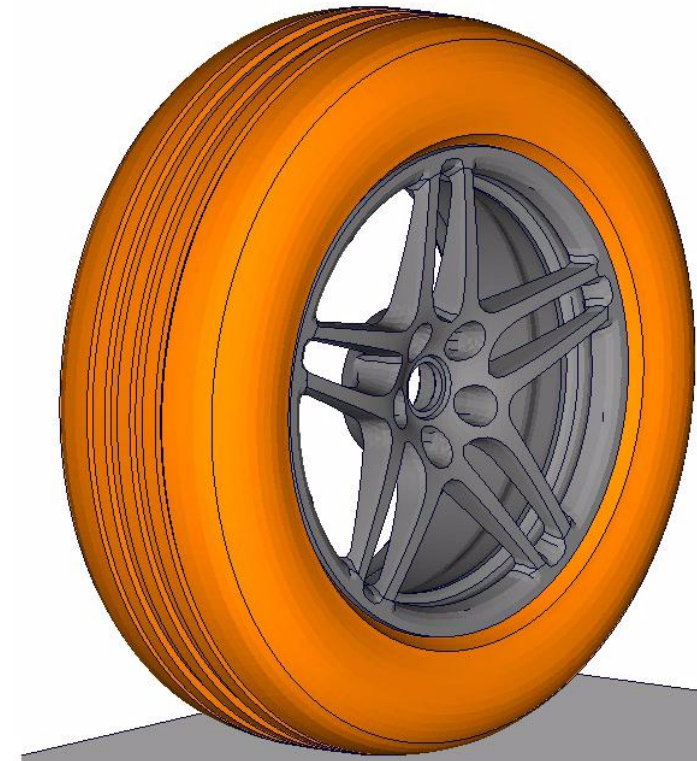
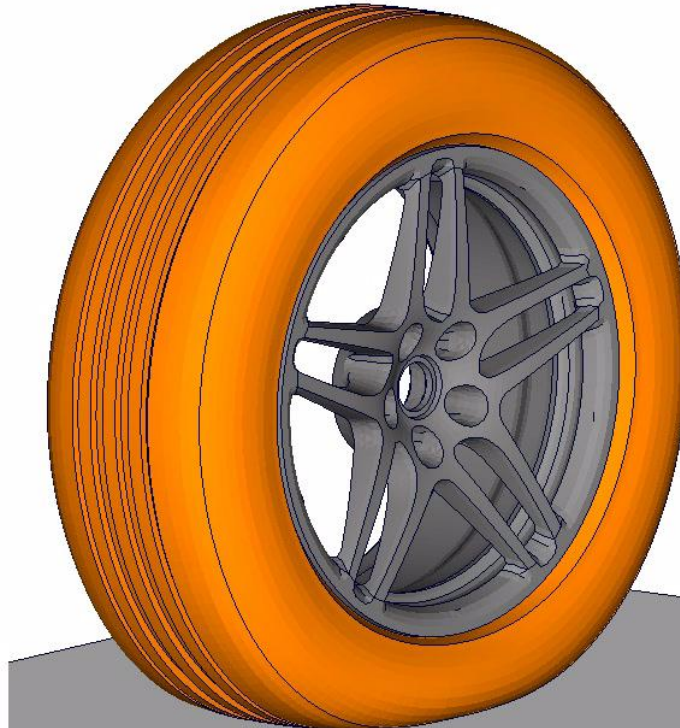
- Reifengummi mit ELFORM=2 keine Neigung zu Hourglassing
- Mit ELFORM=1 Verstärkung Hourglassing → bleibende Deformationen

Beispiele Reifen-Felge-Simulation

Freier Fall aus einem Meter Höhe



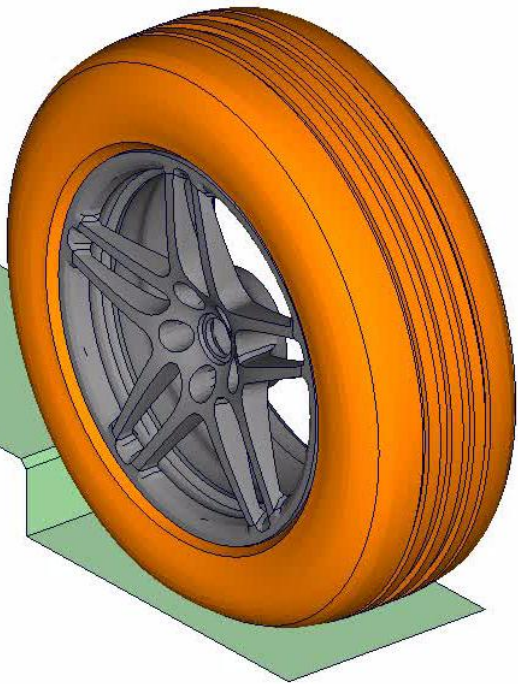
Anfangszustand



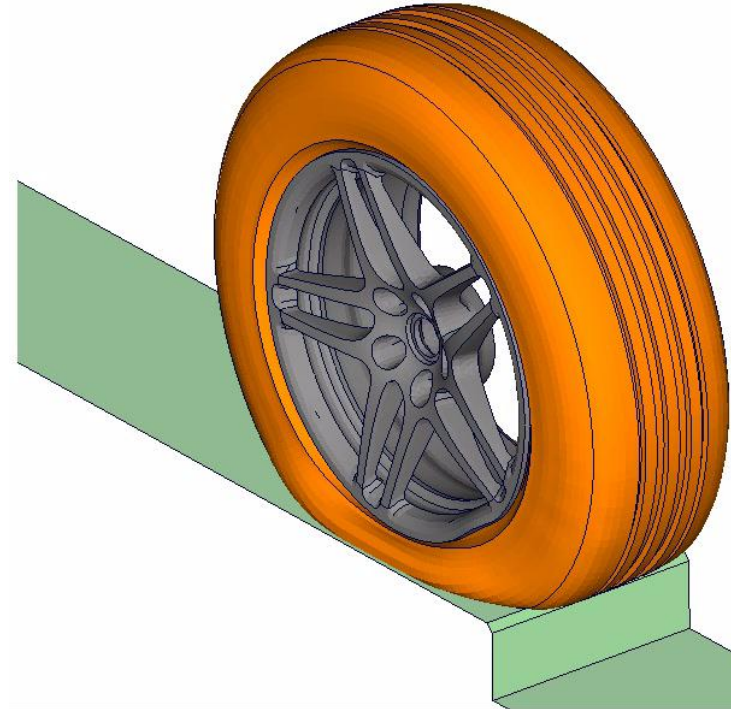
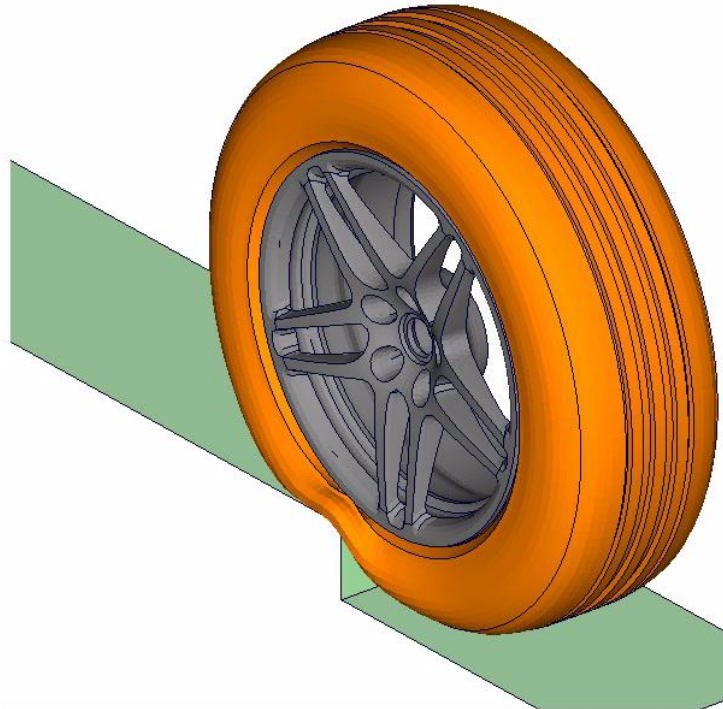
Endzustand

Beispiele Reifen-Felge-Simulation

Bordsteinüberfahrt



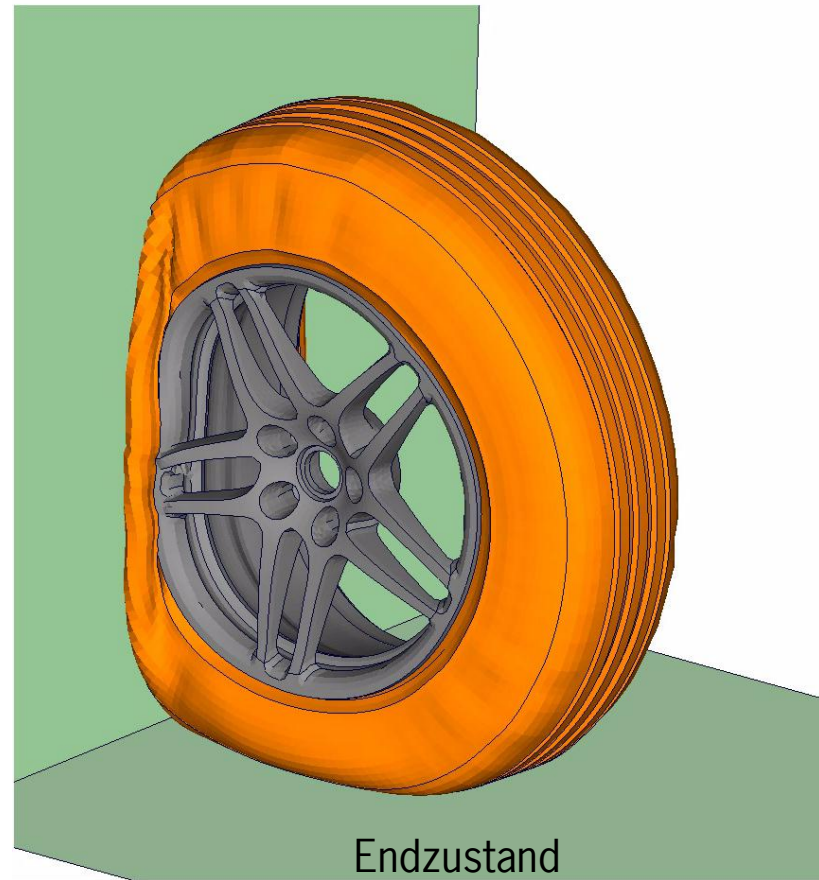
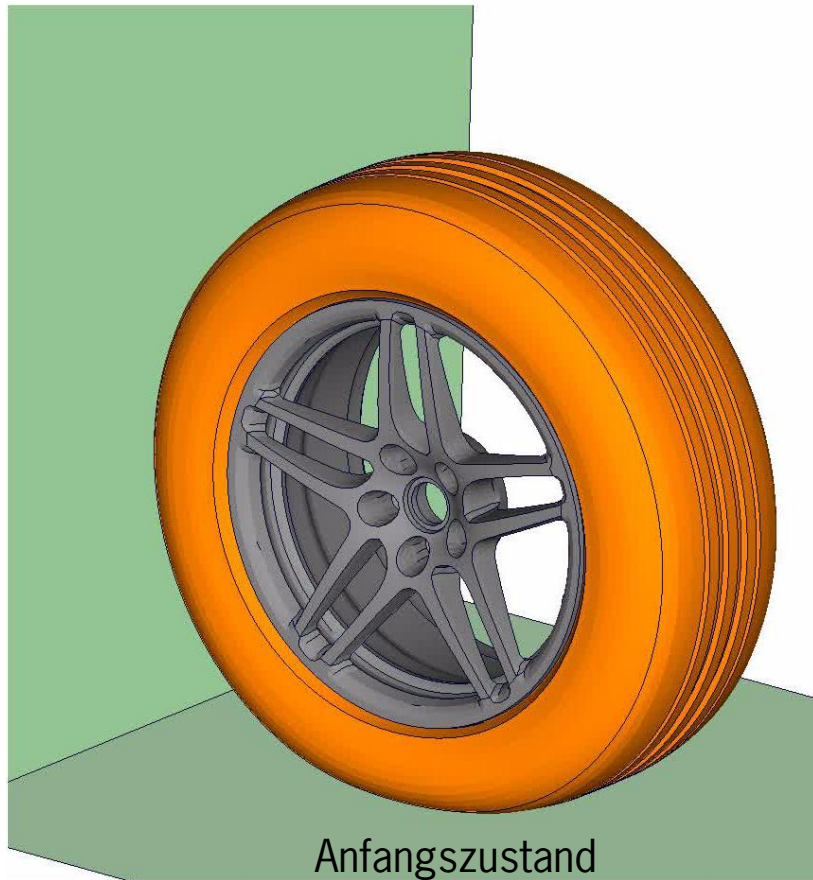
Anfangszustand



Endzustand

Beispiele Reifen-Felge-Simulation

Fahrt gegen Barriere



Zusammenfassung und Ausblick

- Leichtmetallfelge mit elastoplastischem Materialverhalten und Versagen verifiziert an einfachen Komponentenversuche
 - Implizite Reifenabplatt-Simulation zur Bestimmung der Reifenaufstandsfläche unter Last
 - Mappen der Geometrie, Deformationsgradient und Spannungen auf Explizites-Modell
 - Abroll-Simulation zeigt mehrmaliges Überrollen der statischen Aufstandsfläche mit ELFORM=2
 - Erfassung der Druck-Volumen-Kurve im Airbag für Reifenluftdruck ermöglicht Reifenluftdruckschwankung
-
- Weitere Modifikationen der gezeigten Modellierung und Diskretisierung der Radkinematik für die gezielten Anwendungsbereiche
 - Abbildung des Reifendruckabfalls aufgrund einer lokalen Penetration des Reifens mit Druck-Volumen-Kurve im Airbag nicht möglich → Modellierung des Versagens im Reifengummi