HUMBEL
Gear Technology

HUMBEL Engineering

Vorteile des Tool FKM inside ANSYS bei der Durchführung von Festigkeitsnachweisen von Getriebebauteilen anhand eines Beispiels

Agenda

- Kurzvorstellung Referent / Firma 3
- Was ist die FKM-Richtlinie? 10
- Wieso verwenden wir FKM inside Ansys? 16
  - Beispielhaftes Aufzeigen der Nutzung des Tools
- Tipps & Tricks 21
- Fazit 23

Referent
Kurzvorstellung

- MSc Maschinenbau ETH Zürich
- 4 Jahre Projektleiter Entwicklung Getriebesysteme bei der Humbel Zahnräder AG
- Seit 2.5 Jahren Leiter Forschung & Erprobung bei der Humbel Zahnräder AG

ANSYS-User seit dem Studium. Anwendungen in

- Statische Analysen mit Workbench
- Simulationen über ANSYS APDL
- MKS mit ANSYS Motion inkl. Drivetrain-Toolkit

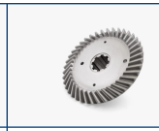
Kurzvorstellung Humbel Gruppe

1928
GRÜNDUNGSJAHR

5
STANDORTE

360
MITARBEITER

Produktprofil

										
	Stirnräder & Ritzel-wellen	**Innenzahn-kränze**	**Pumpen-räder**	**Triebzahn-kränze**	**Schnecken und Schnecken-räder**	**Gewinde-spindeln**	**Kegel-räder**	**Zahn-stangen**	**Mehrkeil-profile**	**Ketten-räder**
HUMBEL Gear Technology	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
NOVOGEAR Humbel Gear Technology	●	●	●	●					●	●
HPT HUMBEL Gear Technology	●		●							●

Alle Fertigungstechnologien unter einem Dach:

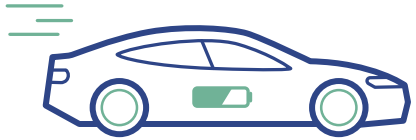
Unser Leistungsangebot im Überblick.

Drehen	Bohren Fräsen	Verzahnen	Räumen Erodieren
Wärmebehandlung	Rund- und Bohrungsschleifen	Verzahnungsschleifen	Qualitätsprüfung

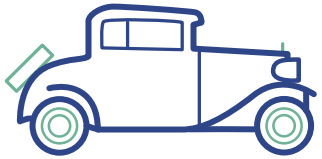
Unsere Tätigkeitsfelder

Innovatives bewegen in verschiedenen Branchen

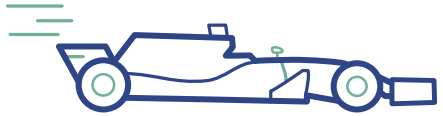
Schienenfahrzeuge



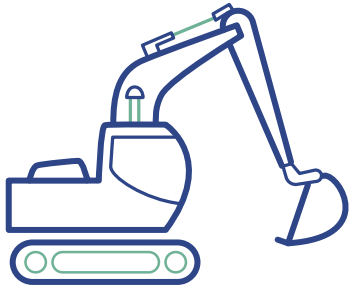
Automobile / E-Mobility



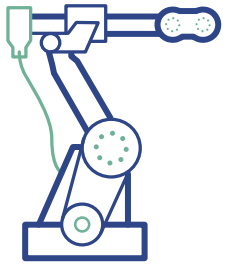
Oldtimer



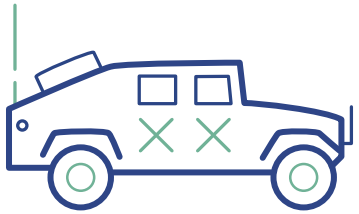
Motorsport



Nutzfahrzeuge



Diverse industrielle Anwendungen



Wehrindustrie
Wehrtechnik

Luft- und Raumfahrt

Engineering / Testing

Fertigung

Getrieberevision

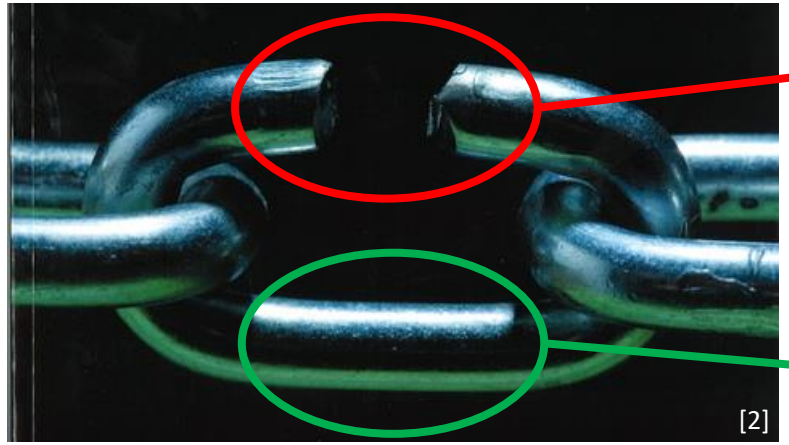
Montage

Was ist die FKM-Richtlinie?

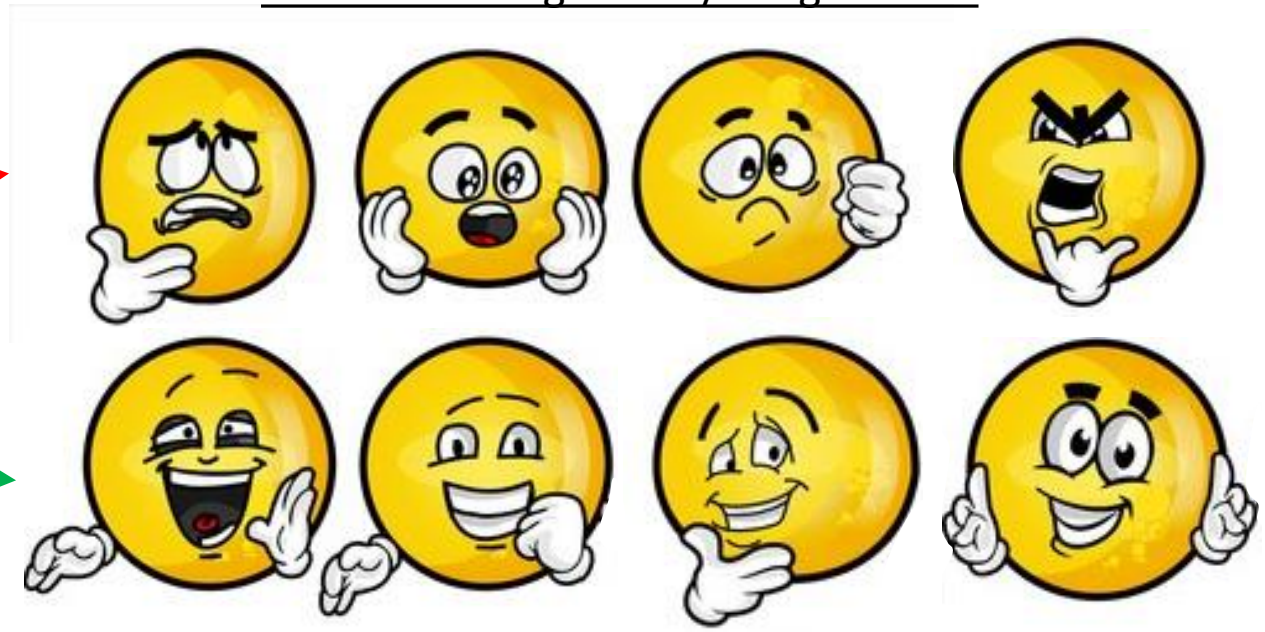
Was ist die FKM-Richtlinie?

Kurzbeschreibung [1]

- **Grundproblem**: Hält ein Bauteil den auftretenden Belastungen stand?



Gefühlswelt Ingenieur / Vorgesetzter



Was ist die FKM-Richtlinie?

Kurzbeschreibung [1]

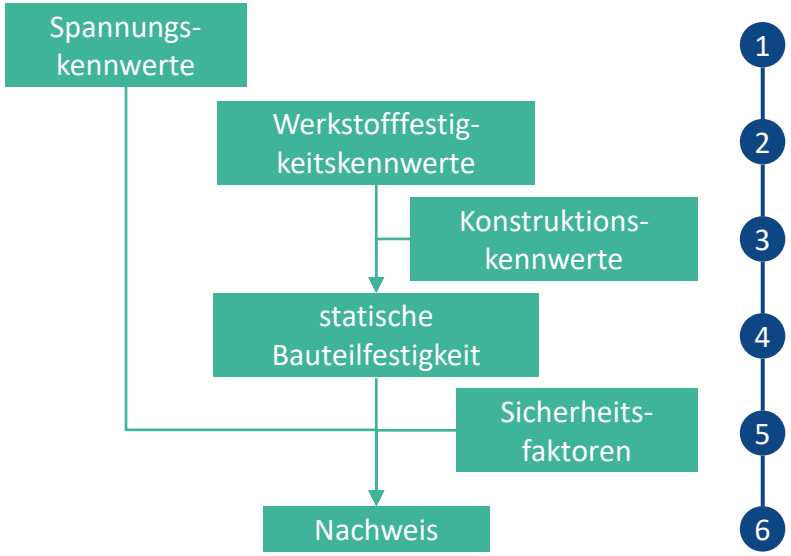
- FKM → Rechnerischer **F**estig**k**eitsnachweis für **M**aschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen
- Herausgeber: Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM)
- Existiert seit 1994
- Ermöglicht den rechnerischen Festigkeitsnachweis für stabförmige, flächenförmige und volumenförmige Bauteile unter Beachtung aller relevanten Einflüsse
- Anwendbar für Bauteile mit und ohne spanabhebende Bearbeitung sowie für geschweisste Bauteile
- Erlaubt die Bewertung von Nennspannungen sowie örtlichen Spannungen aus FE oder Messungen

[1] FKM Forschungskuratorium Maschinenbau e.V.: FKM-Richtlinie; Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile (7. Auflage). Frankfurt am Main: VDMA-Verlag 2020

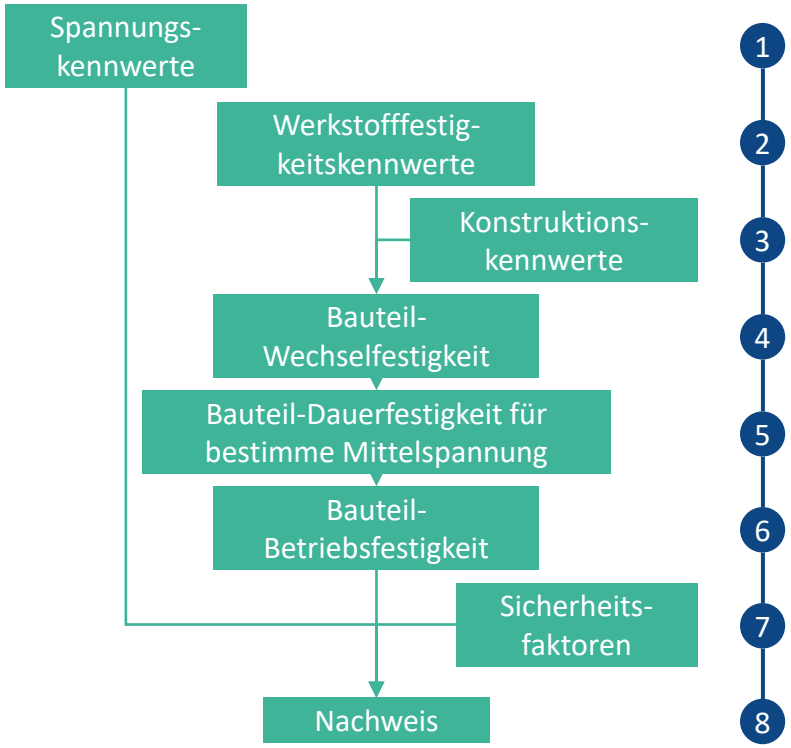
Überblick FKM-Richtlinie

Berechnungsablauf

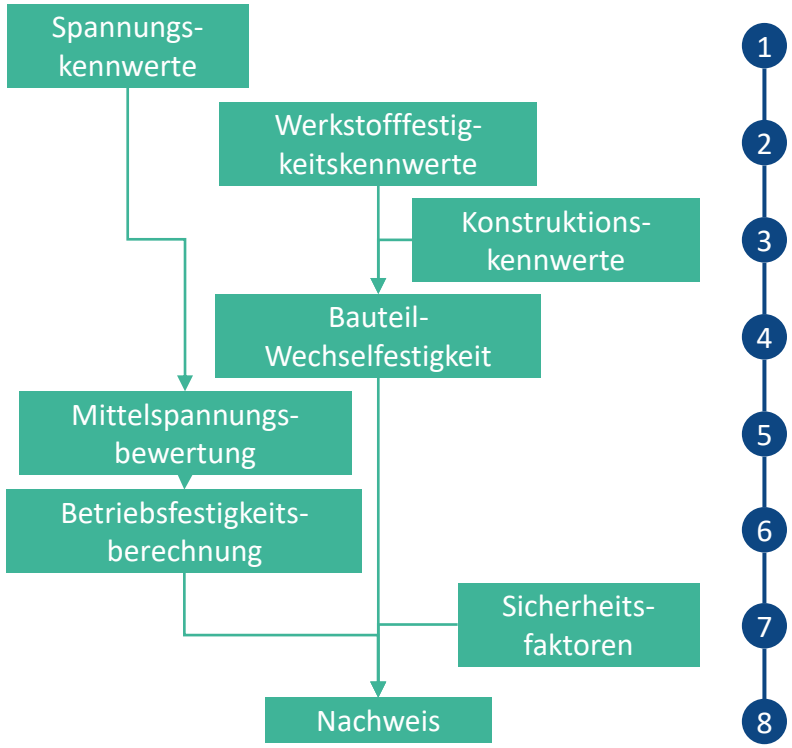
Es wird zwischen statischem Berechnungsablauf, sowie 2 Prozessen für die Ermüdungsfestigkeit unterschieden: *Amplitudennachweis* & *Äquivalentspannungsnachweis*



Stat. Nachweis



Amplitudennachweis



Äquivalentspannungsnachweis

Was ist die FKM-Richtlinie?

Kurzbeschreibung [1]

- Grundprinzip des Nachweises:
  - Auslastungsgrad $a = \frac{\sigma_{vorhanden}}{\sigma_{zul.\,Material}} \cdot j_D \leq 1$

$\sigma_{Bauteil}$:	Lokale Bauteilbelastung / Spannung am Nachweispunkt
$\sigma_{zul.Material}$:	Zulässige Spannung am Nachweispunkt
j_D:	Gesamtsicherheitsfaktor

- Humbel hat FKM-Richtlinie & dessen Nachweis mit örtlichen Spannungen (FE) als Standard etabliert
- Viele Vorteile sprechen für die FKM-Richtlinie

Was ist die FKM-Richtlinie?

Vorteile

- Etablierte Richtlinie, in der Industrie anerkannter Nachweis
- Einheitlicher, strukturierter Berechnungsablauf
- Nachweis an stabförmigen, flächenförmigen und volumenförmigen Bauteilen unter Beachtung aller relevanten Einflüsse
- Örtlicher Nachweis – somit können auch nicht-rotatorische Bauteile nachgewiesen werden
- Randschichtgehärtete/ -verfestigte Bauteile können abgebildet werden
- Aufgrund der direkt in ANSYS integrierten Auswerte- & Dokumentationsmöglichkeit

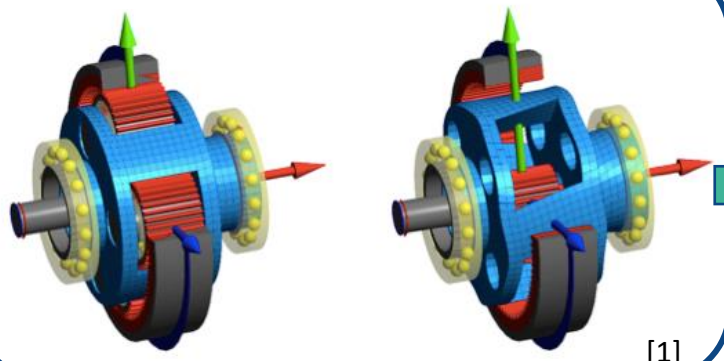
  → *FKM inside ANSYS*

Was ist das FKM inside ANSYS Tool?
Wieso verwenden wir das Tool?

FKM-Nachweis

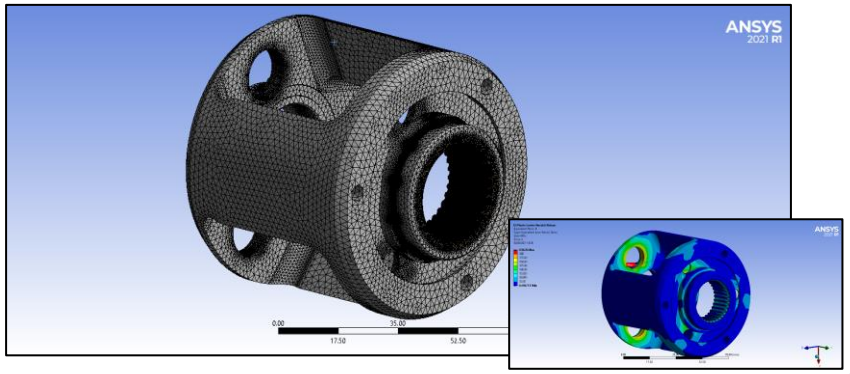
Vergangenheit – Beispielhaftes Bauteil Planetenträger

CAD

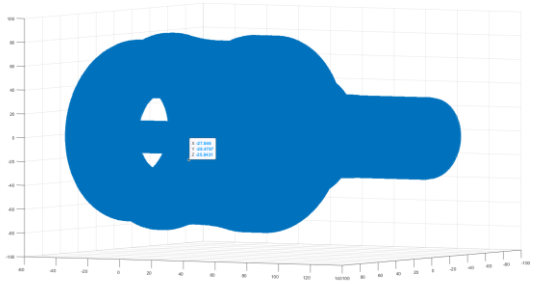


[1]

ANSYS – Export von Knotenresultaten



Matlab – Auswertung Knotenresultate



```
%%-------------------------------------------------------------------------%%
%------------------ Dynamischer Festigkeitsnachweis ---------------------%%
%%-------------------------------------------------------------------------%%

% Dokumentenbeschrieb: Dieses Skript dient dem dynamischen
% Festigkeitsnachweis für das Bauteil "Planet Carrier 2 - 3DPart051679" für das
% Kleintransportergetriebe BPW 7.5t

clear all                          % Alle Variablen löschen
close all                          % Alle Fenster schliessen
clc                                % Alles im Comand-Window löschen

tic;                               % Beginn der Zeitmessung

%%
%%-------------------------------------------------------------------------%%
%   Einlesen des BPW-Lastkollektivs
%%-------------------------------------------------------------------------%%

% RF=xlsread('20180523 BPW-Drehmomentkollektiv eTransport.xlsx');
RF_matrix=xlsread('Drehmomentkollektiv.xlsx');

Killometer=450000;                 % Geforderte Laufleistung [km]
Maximalmoment=max(RF_matrix(:,3));  % Maximales Drehmoment des Fahrzeugs
```

FKM-Bewertung

<u>Auslastungsgrad</u>

$$a = \frac{\sigma_{Bauteil}}{\sigma_{zul.\,Material}} \cdot j_D \leq 1$$

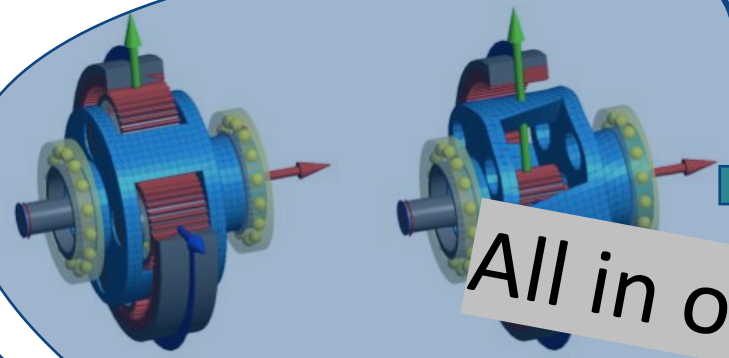
- Umständlich
- Fehleranfällig
- Zeitaufwändig
  - Vor allem bei geometrischen Änderungen
- Dokumentationsaufwand

[1] Bildquelle: FEM-Integration | MESYS AG - https://www.mesys.ch/?page_id=2513 (06.06.2023,15:00 Uhr)

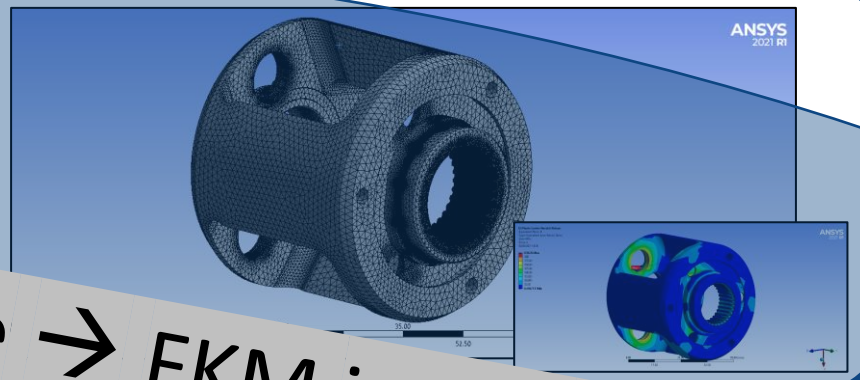
FKM-Nachweis

Vergangenheit – Beispielhaftes Bauteil Planetenträger

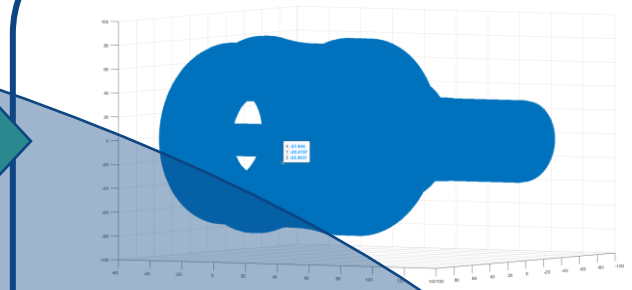
CAD

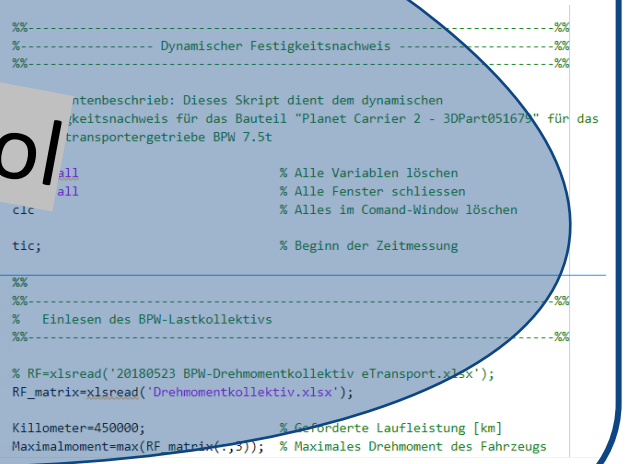


ANSYS



Matlab





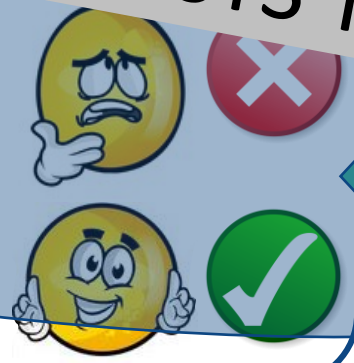
```
%%-----------------------------------------------------------------------%%
%------------------ Dynamischer Festigkeitsnachweis --------------------%%
%%-----------------------------------------------------------------------%%

ntenbeschrieb: Dieses Skript dient dem dynamischen
keitsnachweis für das Bauteil "Planet Carrier 2 - 3DPart051675" für das
transportergetriebe BPW 7.5t

all                                  % Alle Variablen löschen
all                                  % Alle Fenster schliessen
clc                                  % Alles im Comand-Window löschen

tic;                                 % Beginn der Zeitmessung

%%
%%-----------------------------------------------------------------------%%
%   Einlesen des BPW-Lastkollektivs
%%-----------------------------------------------------------------------%%

% RF=xlsread('20180523 BPW-Drehmomentkollektiv eTransport.xlsx');
RF_matrix=xlsread('Drehmomentkollektiv.xlsx');

Killometer=450000;                   % Geforderte Laufleistung [km]
Maximalmoment=max(RF_matrix(:,3));   % Maximales Drehmoment des Fahrzeugs
```

All in one → FKM inside ANSYS Tool

FKM-Bewertung

<u>Auslastungsgrad</u>

$$a = \frac{\sigma_{Bauteil}}{\sigma_{zul.\,Material}} \cdot j_D \leq 1$$



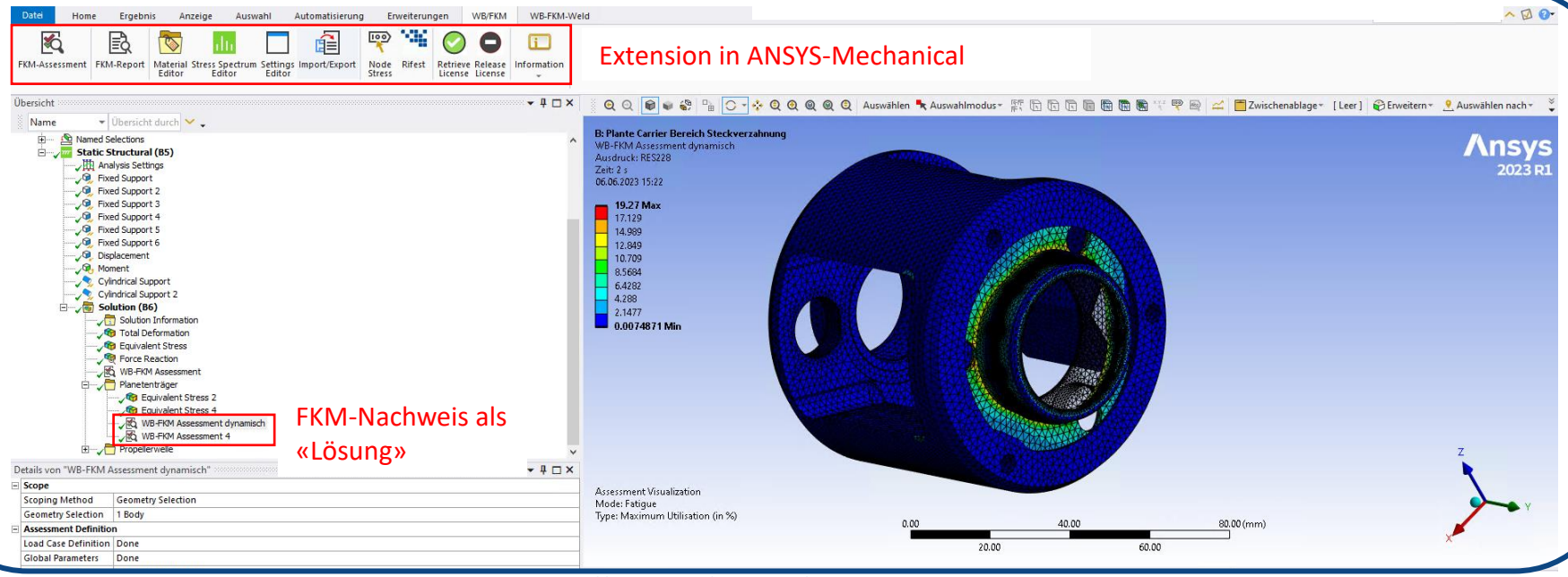
- Umständlich
- Fehleranfällig
- Zeitaufwändig
  - Vor allem bei geometrischen Änderungen
- Dokumentationsaufwand

FKM inside Ansys

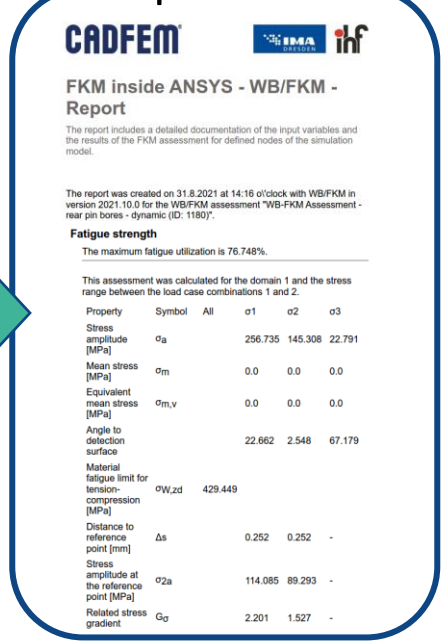
Was ist FKM inside Ansys? [3]

- FKM-Richtlinie mit allen Formeln als Softwaretool im Hintergrund von ANSYS Workbench
- Sowohl statischer wie auch dynamischer Nachweis umsetzbar
- Automatisiertes Bilden von Lastfallkombinationen
- Visualisierung des Auslastungsgrades

Workbench – FKM inside ANSYS Tool



Report



[1] FKM inside ANSYS | ihf Ingenieurgesellschaft mbH (ihf-ffm.de) https://ihf-ffm.de/software/fkm-inside-ansys - (06.06.2023,15:30 Uhr)

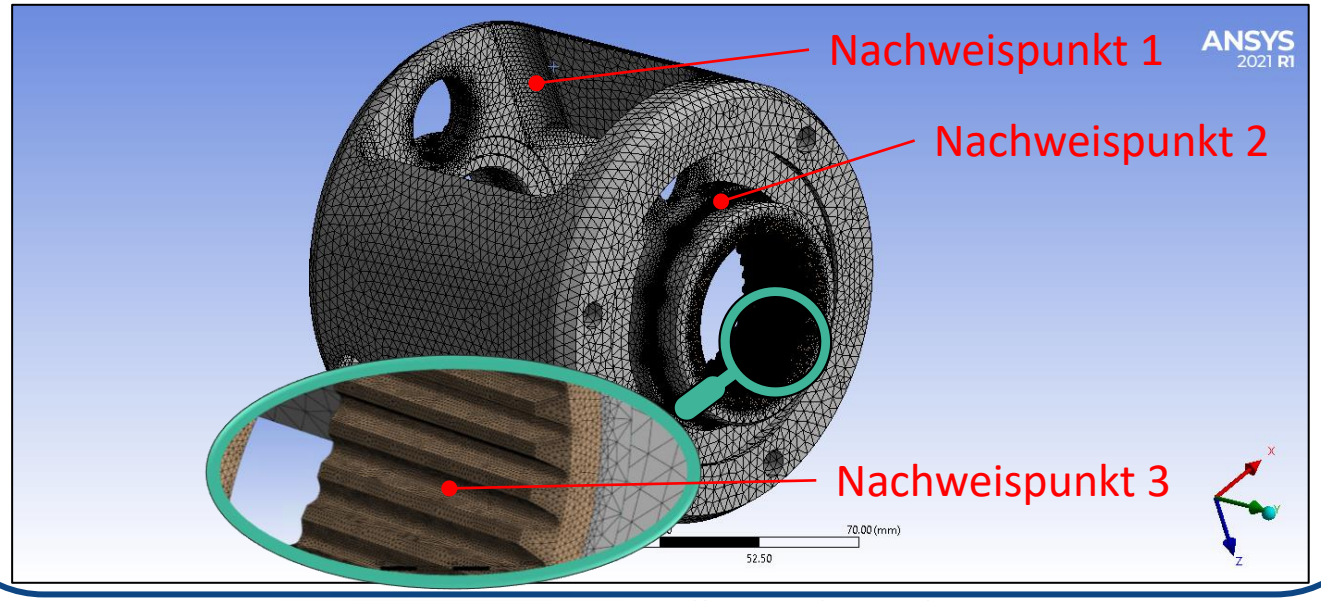
FKM inside Ansys

Was ist FKM inside Ansys? [3]

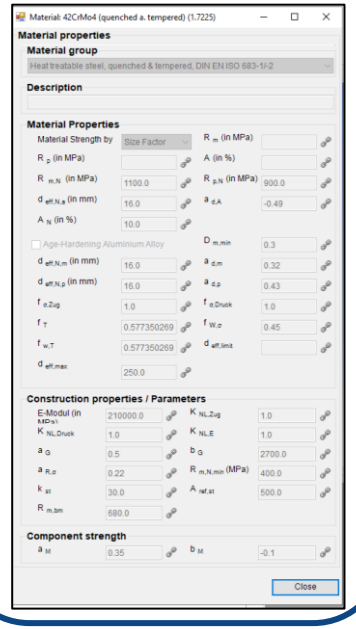
- Report an beliebigen Nachweispunkten
  - Bei komplexen Bauteilen und Bearbeitungsschritten inkl. Wärmebehandlungen vorteilhaft
- Schneller Vergleich verschiedener Materialien aufgrund einer Materialdatenbank

  → enormer Zeitgewinn, weniger Fehleranfällig

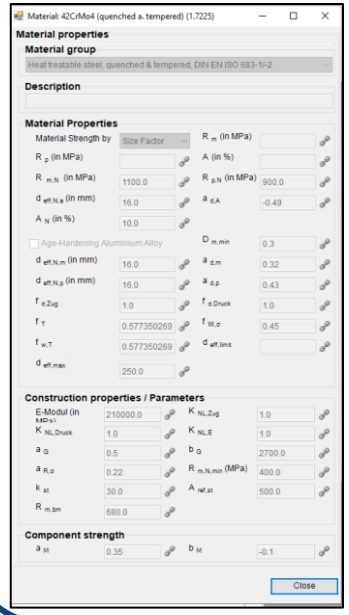
Diverse Nachweispunkte



Material 1



Material 2,3…



[1] FKM inside ANSYS | ihf Ingenieurgesellschaft mbH (ihf-ffm.de) https://ihf-ffm.de/software/fkm-inside-ansys - (06.06.2023,15:30 Uhr)

Tipps & Tricks

Tipps & Tricks

Nützliches

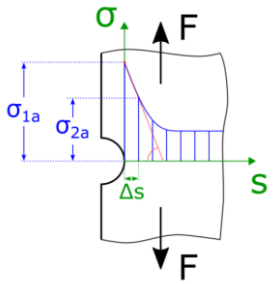
- Das beste Tool ersetzt das Verständnis für die Richtlinie nicht
  - Gefahr: Einstellungen sind schnell gesetzt, können aber einen grossen Einfluss haben

- Auf Gradienten und Stützwirkung ein spezielles Augenmerk setzen
  - Vernetzung und Knotenresultate prüfen

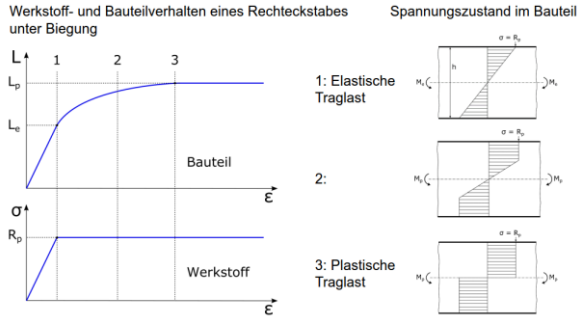
- Bevor plastische Formzahl K_p «genau» berechnet wird, soll versucht werden, den Nachweis mit der Annahme «konstante Spannung im Querschnitt» $K_p = 1$ durchzuführen

Verständnis

Gradient / Vernetzung



Plastische Formzahl



Fazit

Fazit
Kurzzusammenfassung

- Einführung der FKM-Richtlinie als etablierter und zuverlässiger Nachweis
- «Manuelle» Durchführung des Nachweises sehr zeitaufwändig
- Enorme Zeitersparnis durch FKM inside ANSYS Tool
- Tool bietet nützliche Funktionen
    - Materialänderungen
    - Geometrieänderungen

HUMBEL
Gear Technology

Humbel Zahnräder AG
Oberfeldstrasse 9
9214 Kradolf
Switzerland

NOVOGEAR
Humbel Gear Technology

Novogear spol. s r.o.
17. listopadu 2245
738 02 Frýdek-Místek
Czech Republic

HPT HUMBEL
Gear Technology

HPT Humbel
Produktionstechnik SRL
Str. Augustin Bena 108
515800 Sebeș
Romania