

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen – 06.11.20

Achskinematik



Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

Kinbench - Kennwerte

- ☐ Zur Beurteilung einer Achskinematik wird ein sogenannten KnC (Kinematik and Compliance) Benchmark gemacht
- ☐ Neben der reinen kinematischen Größen (quasistatisches Federn) werden Größen der Lenkung und die Änderungen der Kinematik infolge von Krafteinwirkungen (Elastokinematik) ermittelt
- ☐ Darüber hinaus werden einfache fahrdynamische Ableitungen (Brems- und Anfahrnicken, Wanken, Gierverstärkung) gemacht
- ☐ Die Ermittlung kann auf dem Prüfstand oder Vollvirtuell (MKS) erfolgen
- ☐ Aufbau Prüfstand/MKS Testrig
- ☐ Wesentliche Meßgrößen
- ☐ **Beispielbenchmark Tesla**



Komponenten

- Aktuator - Sensor
- Radsensoren
- Fahrzeugklemmen
- Lenkmaschine
- Echtzeit-Regelung
- Programmierrechner
- Analysesoftware

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen – 06.11.20

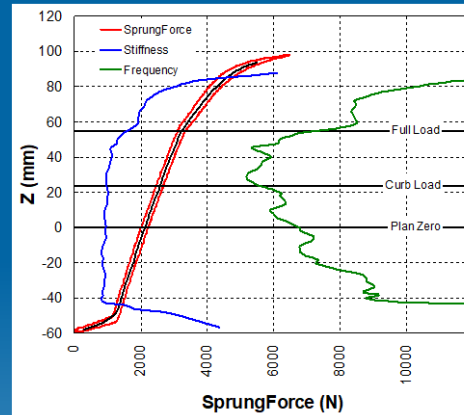
Achskinematik



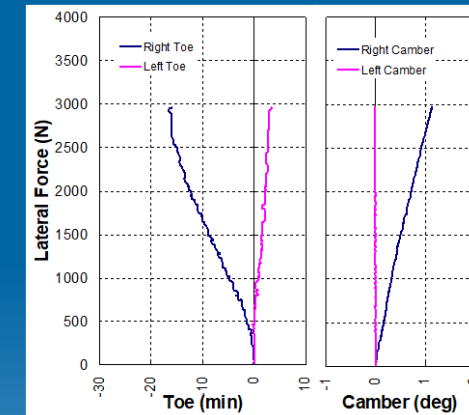
Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- **Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)**

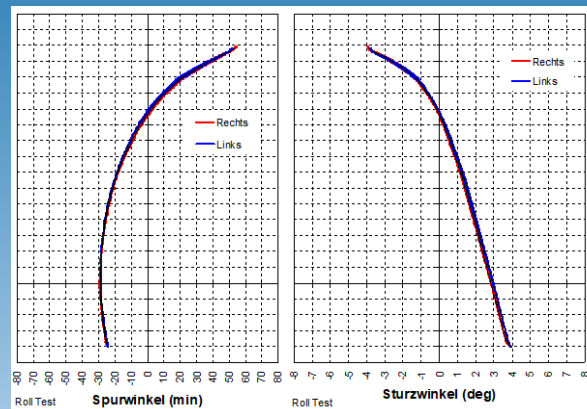
Kinbench – Kennwerte – Wesentliche Diagramme



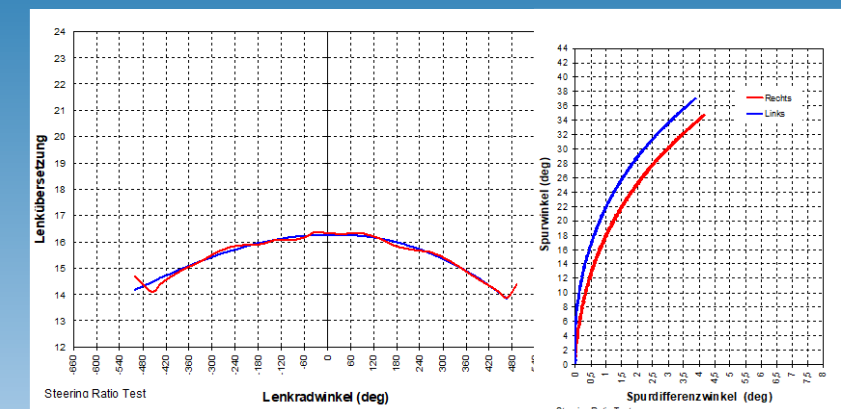
Radlastkurve



Spur und Sturz unter Seitenkraft



Spur und Sturz beim Federn



Lenkübersetzung und Spurdifferenzwinkel

Quelle: Fahrwerkhandbuch [1]

Einleitung – Auswahlkriterien – 06.11.20

Achstypen	Achse		Einzelradaufhängung		
Merkmale	starr	halbstarr	eben	sphärisch	räumlich
Auslegungspotential	-	0	0	+	++
Längsfederung	-	-	0	+	++
Herstellkosten	+	+	0	-	--
Raumausnutzung	--	+	0	0	+
Gesamtgewicht	-	++	0	+	+
Robustheit	++	0	0	-	-
Fahrverhalten	-	0	0	+	++
Fahrkomfort	--	0	0	+	++

Fahrzeug/Fahrdynamik/Achskinematik Grundlagen – 18.12.20

Fahrzeug → Grundgrößen

- Bezugssystem
- Bewegungsfreiheitsgrade (Bewegungsgleichungen)
- Rodstand
- Spurweite
- Achslast
- Achslastverteilung
- Räderpalette
- Reifen
- Lenkübersetzung
- Wendekreis
- Spurdifferenzwinkel

Achskinematik → Auslegung

- Allgemeines zur Kinematik
- Lenkkinematik
 - Lenkachse
 - Spreizung
 - Lenkrollradius
 - Nachlauf
 - Störkrafthebelarm
- Radhubkinematik
 - Spur
 - Sturz
- Momentanpole
 - Wankpol, Wankachse
 - Längspol, Schrägfederung, Stützwinkel
- Kinbench – Kennwerte (Messung/Simulation)

Fahrdynamik → Eigenschaften

- Funktion
 - Vertikal:
 - Federwege, Federraten
 - Längs:
 - Bremsstabilität
 - Schieflagen
 - Nicken
 - Quer:
 - Kippen/Wanken
 - Gierversärfkung
 - Seitenwindempfindlichkeit
- Erstausslegung
 - Lenkung
 - Lenkübersetzung
 - Wendekreis
 - Dynbench – Kennwerte (Messung/Simulation)
 - Subjektivbewertung



Wie kommt man von der Achse zum Achsbaukasten ? – 18.12.20

Historie der Baukastenentwicklung: Golf V (2004) ca. 30 Derivate



Das Auto

- innovativ
- werthaltig
- verantwortungsvoll



Vorsprung durch Technik

- sportlich
- progressiv
- hochwertig



Enjoyneering

- sportlich
- design-orientiert
- lebendig



Simply clever

- intelligent
- attraktiv
- hingebungsvoll

Innovative Technik
im Volumensegment.

Wegweisende
Technologie als Maßstab
im Segment.

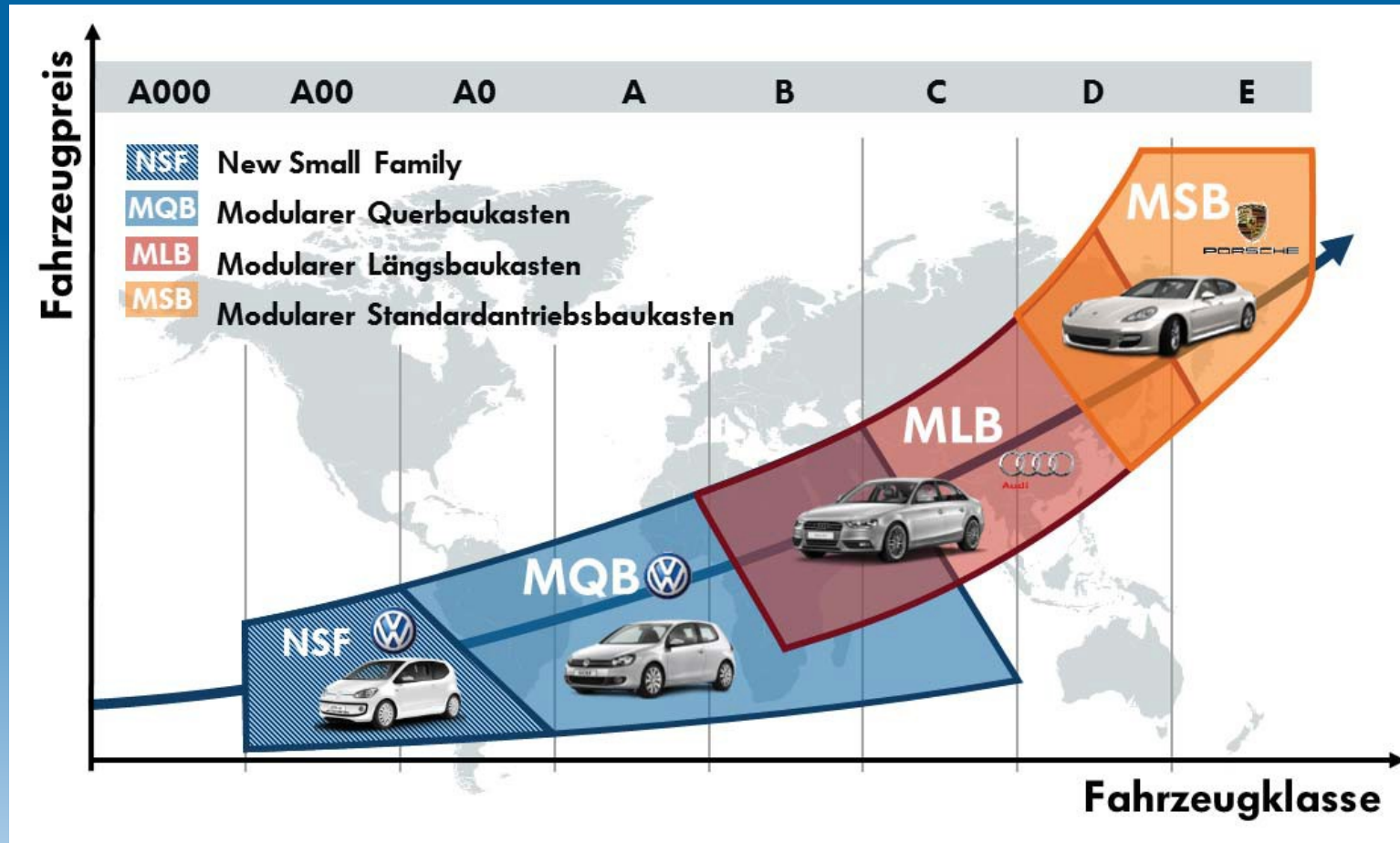
Leidenschaftlich
und agil.

Konzentration
auf das Wesentliche.

**Fahrdynamik und der Fahrkomfort sind entscheidende Differenzierungsmerkmale,
die durch die Fahrwerkauslegung bestimmt werden !**

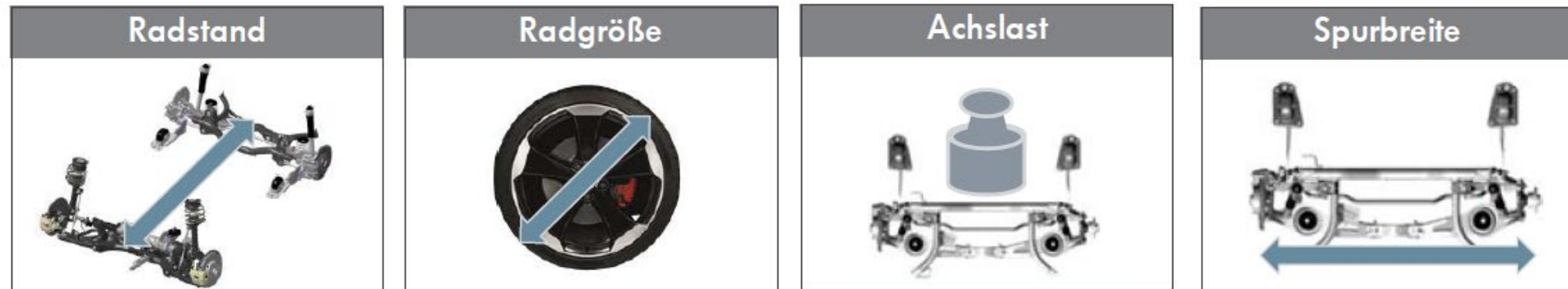
Wie kommt man von der Achse zum Achsbaukasten ? – 18.12.20

Historie der Baukastenentwicklung: Golf VII (2012) MQB



Wie kommt man von der Achse zum Achsbaukasten ? – 18.12.20

Historie der Baukastenentwicklung: Golf VII (2012) MQB/A1



MQB



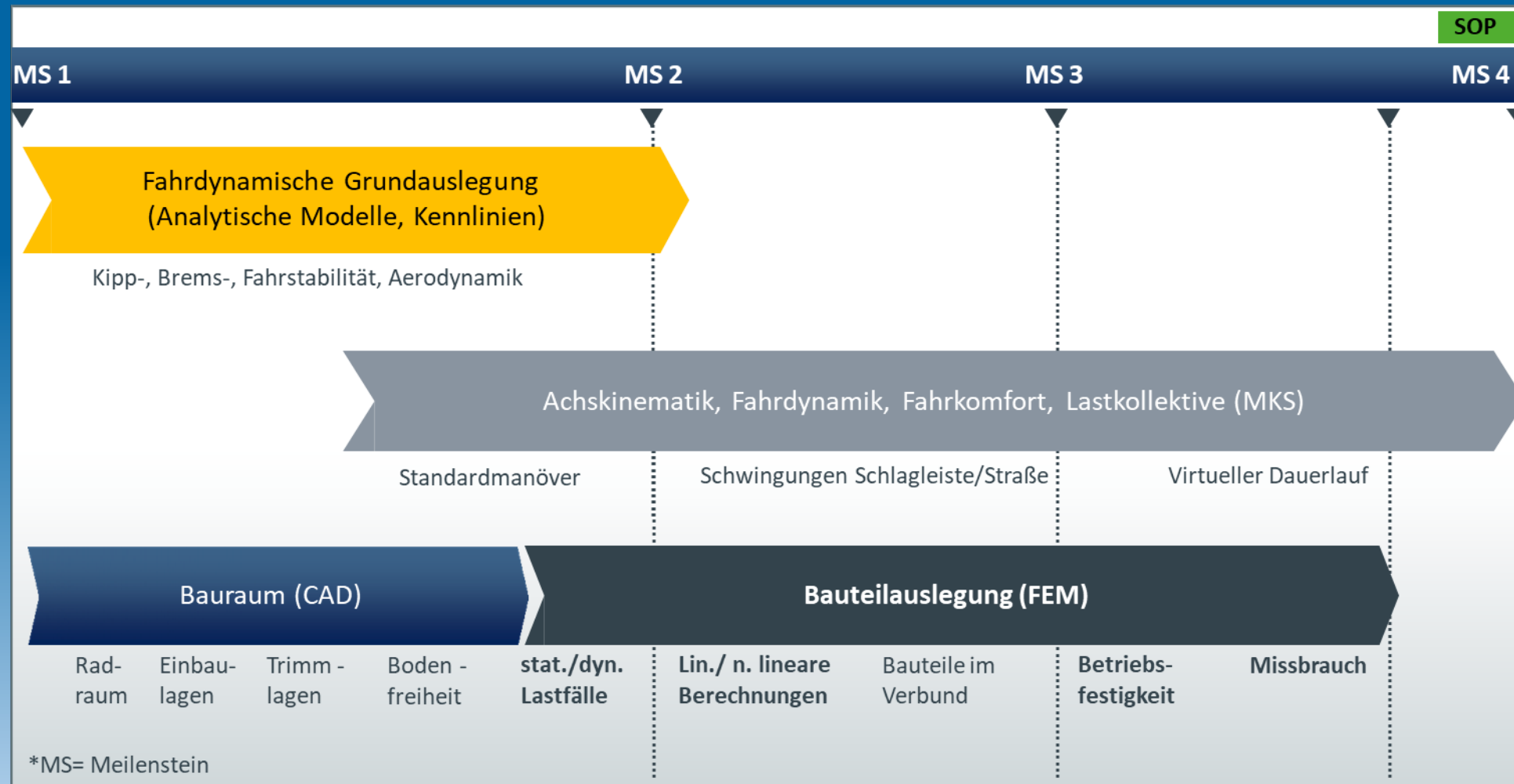
Zusätzlich Differenzierung durch Abstimmenteile, um dem Fahrzeug in Summe die gewünschten Fahrwerkseigenschaften zu verleihen. Übergang von der Plattformstrategie zum Baukasten!

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende



Übersicht Festigkeitsauslegung - Simulation

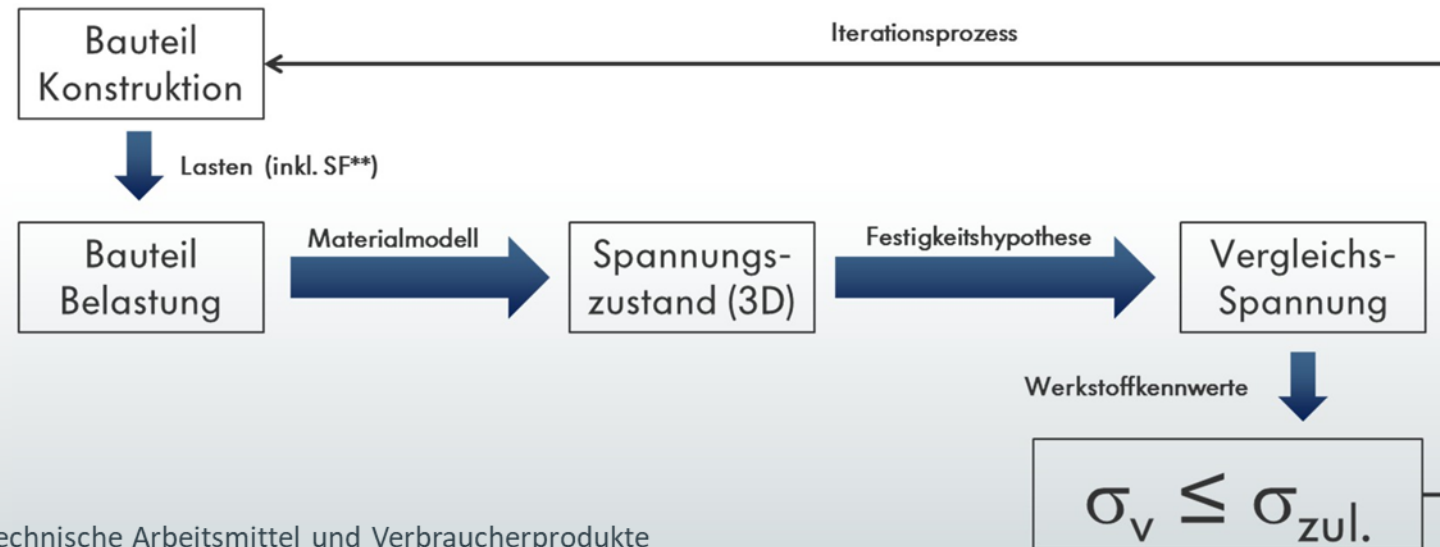


Grundlagen Festigkeit

- Fahrwerkbauteile haben Sicherheitsrelevanz

GPSG* §4, Abs. 2: *Ein Produkt darf..., nur in den Verkehr gebracht werden, wenn es so beschaffen ist, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung oder vorhersehbarer Fehlanwendung Sicherheit und Gesundheit von Verwendern oder Dritten nicht gefährdet werden.*

- Rechnerische Bauteilauslegung



* Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbraucherprodukte

** Sicherheitsfaktor

Grundlagen Festigkeit

Normalgebrauch	Sonderereignisse	Missbrauch
Bestimmungsgemäßer Gebrauch	Grenzfälle des bestimmungsgemäßen Gebrauchs	Nicht bestimmungsgemäßer Gebrauchs
Geforderte Lebensdauer in km	Geringe Häufigkeit ohne Schaden	Leck vor Bruch
Dauerlauf, Prüfstand	Dauerlauf, Prüfstand	Einzelprüfung

Umsetzung der Kundenanforderung

Berechnungsmethoden für Normalgebrauch

Lineare Lastfälle
Bauteildeformation: elastisch

Methode N1: MKS-Achssimulation + FE-Rechnung

- Input: MKS Achsmodell + Äußere Lasten (**Standardlastfälle**)
- Output: Schnittlasten -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit linear **elastischen** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung am Bauteil

Methode N2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Schlechtwegstrecke) + Schädigungsrechnung

- Input: MKS GFZ-Modell + **Reifenmodell** + **Fahrermodell** + **digitalisierte Strecke**
- Output: Lastkollektive -> Bewertung der inneren Kräfte -> Input für FEM
- FE-Schädigungsrechnung Rechnung (FEMFAT)
- Output: Bauteilschädigung lokal
- (Bem.: Hotspots gut identifizierbar, für Laufleistung ist Validierung mit Versuch notwendig)
- (Bem.: Bewertung von Schweißnähten schwierig – Deltavergleiche liefern gute Aussagen)

Umsetzung der Kundenanforderung

Berechnungsmethoden für Sonderereignisse/Missbrauch

Lineare Lastfälle (Traglastfälle)

Bauteildeformation: elastisch, ggfs. plastisch

Methode S1: MKS-Achssimulation + FE-Rechnung

- Input: MKS Achsmodell + Äußere Lasten (**Traglastfälle**)
- Output: Schnittlasten -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit **elasto-plastischem** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung und plastische Vergleichsdehnung am Bauteil

Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Einzelhindernis)

- Input: MKS GFZ-Modell + Reifenmodell (**mit Felge**) + **Hindernisgeometrie**
- Output: Schnittlasten -> Direkte Bewertung der inneren Kräfte -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit **elasto-plastischem** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung und plastische Vergleichsdehnung am Bauteil

Methode S3: FEM-Gesamtfahrzeugsimulation (Einzelhindernis)

- Input: **FE-Modell vom Reifen, Felge und Achsteilmodellen** + **Hindernisgeometrie**
- Output: Innere Kräfte und Spannungen (z.B. Kolbenstange)

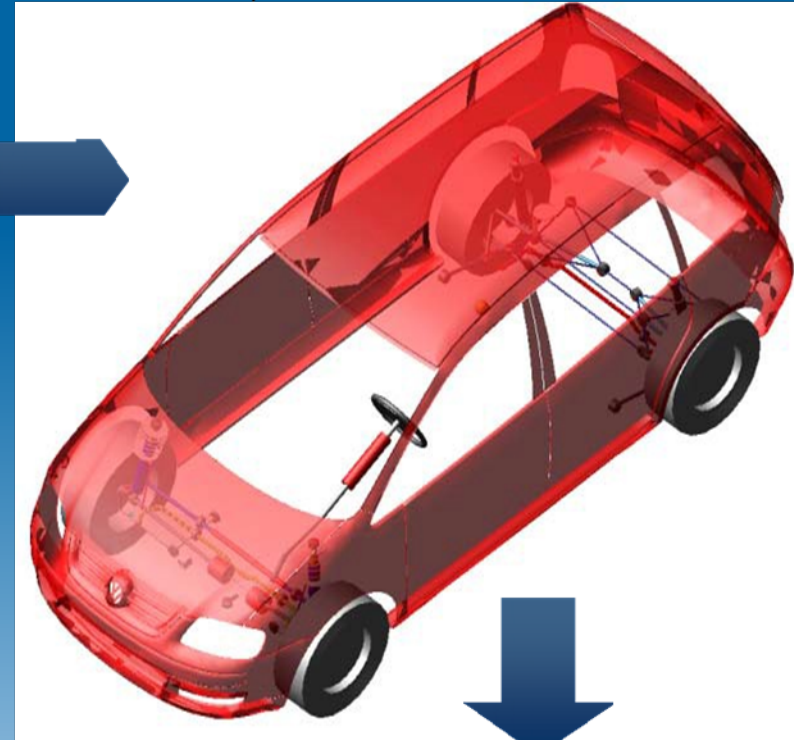
Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Standard-Lastfälle Strukturfestigkeit	Beschleunigung g		
	x	y	z
1 Stehendes Auto	0,00	0,00	1,00
2 Vertikaler Stoß 3,0 g	0,00	0,00	3,00
3 Längsstoß 2,50 g	2,50	0,00	1,00
4 Seitlicher Stoß 2,50 g	0,00	2,50	1,00
5 Kurvenfahrt rechts 1,25 g	0,00	1,25	1,00
6 Bremsen bei Kurvenfahrt	0,75	0,75	1,00
7 Rückwärtsbremsen 1,0 g	1,00	0,00	1,00
8 Beschleunigen -0,5 g	-0,5	0,00	1,00
9 Kurvenbeschleunigung 0,7 g	-0,5	0,50	1,00
10 Diagonallast: vl und hr	0,00	0,00	1,75
11 Vertikal Einfedern 2,25 g	0,00	0,00	2,25
12 Vertikal Ausfedern 0,75 g	0,00	0,00	0,75
13 Kurvenfahrt rechts 0,75 g	0,00	0,75	1,00
14 Kurvenfahrt links 0,75 g	0,00	-0,75	1,00
15 Bremsen 0,75 g	0,75	0,00	1,00
16 Beschleunigen 0,5 g	-0,5	0,00	1,00

Quelle: Fahrwerkhandbuch

MKS-Simulation

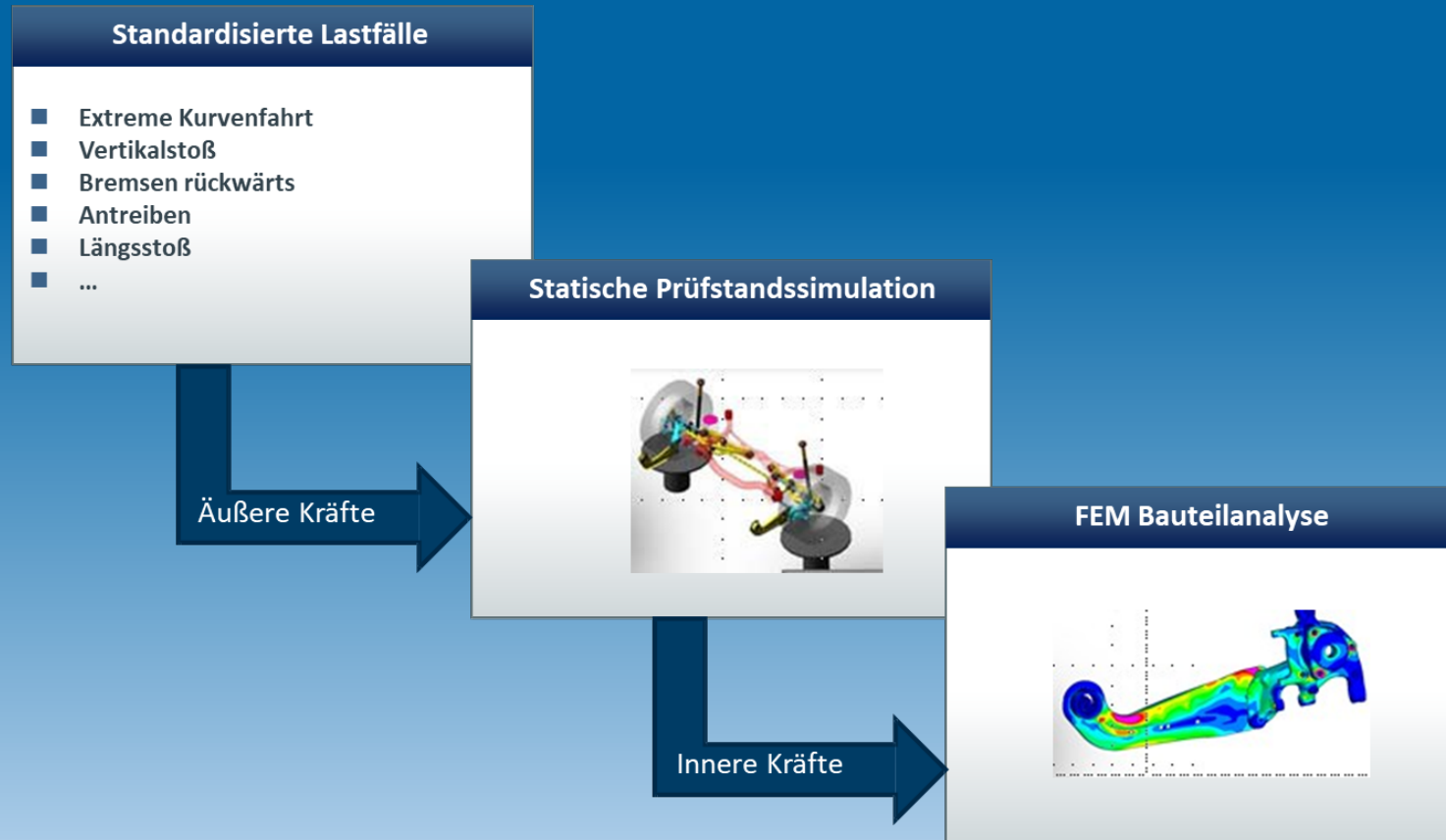
Alternativ: Fahrversuch/Excel-Tool



Radnabenkräfte
(Äußere Kräfte)

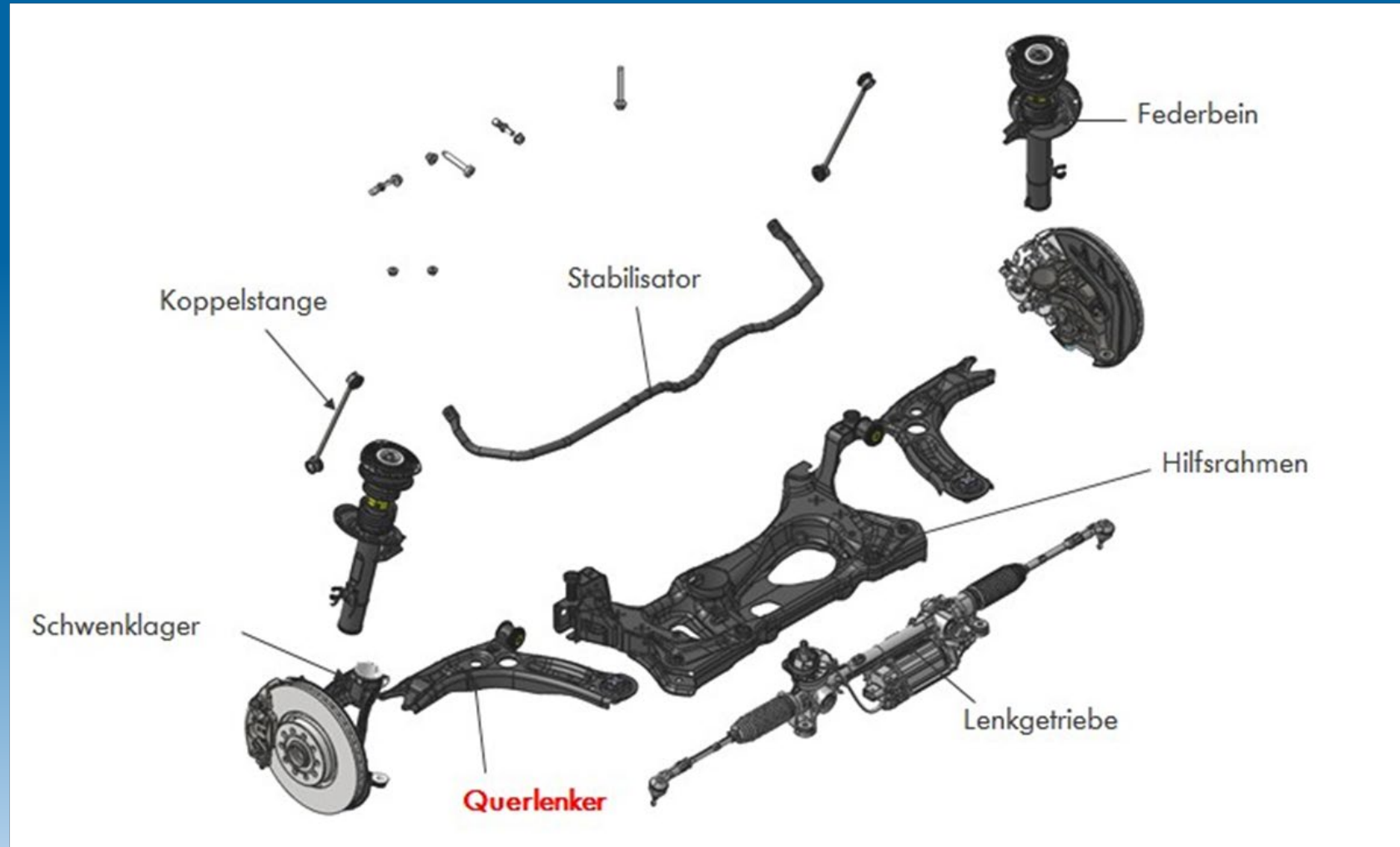
Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Prozesskette zur Bauteilanalyse mit FEM



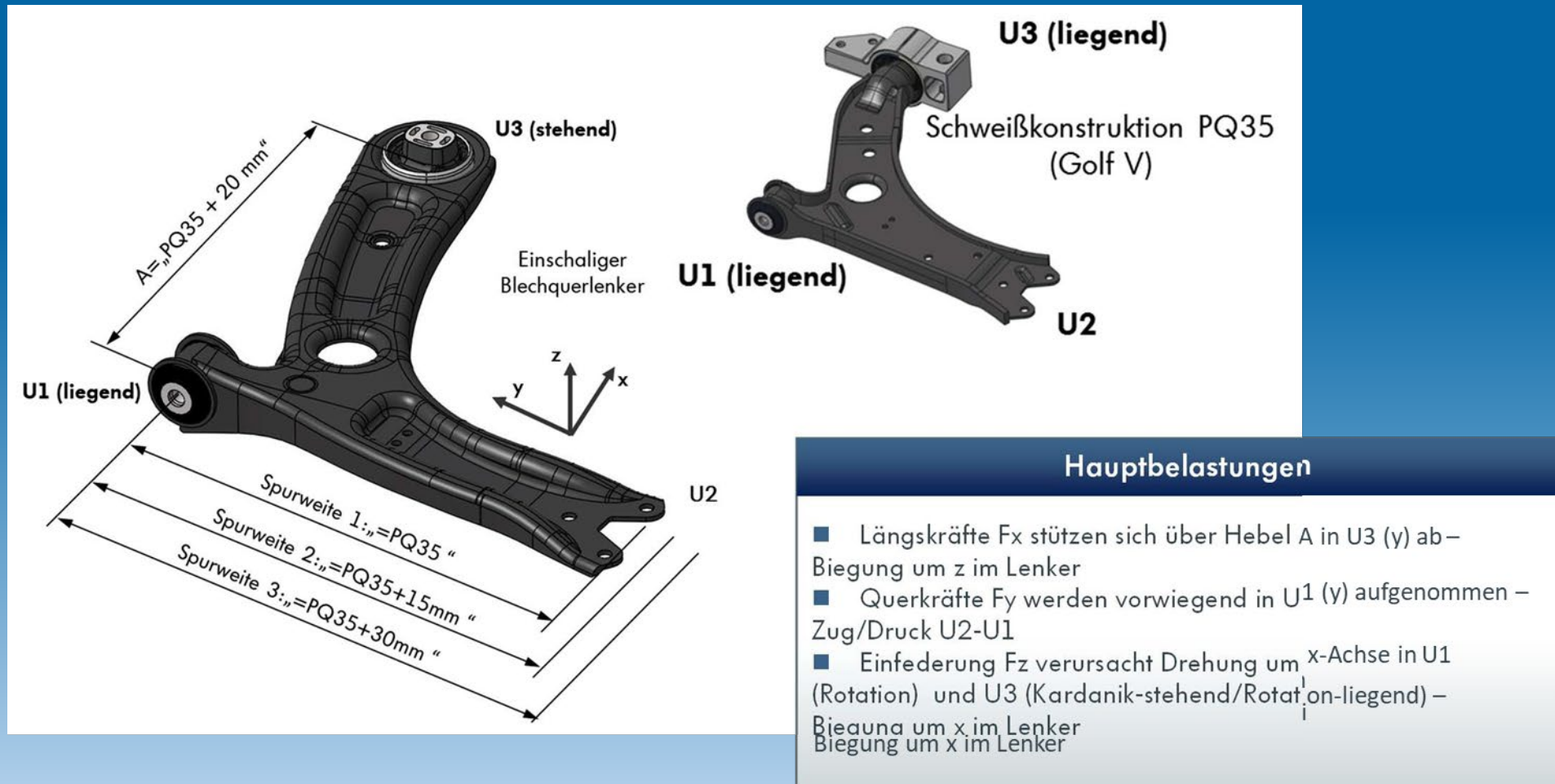
Bsp. Querlenker McPherson Vorderachse

Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)



Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Bsp. Querlenker McPherson Vorderachse Golf VII (MQB) vs. Golf V (PQ35)



Achsbezeichnung		Stand:	Fahrzeuge	Motorisierungen	Getriebe				
McPherson VA		16.03.05	VW358 A-MPV	2,0 I/118kW TDI DQ250-6F					
Geometriedaten skalar				Fahrzeugdaten					
Rn	35,0 mm	Nachlaufstrecke	GG	2300,0 kg	zul. Gesamtgewicht		Rdyn	315,0 mm	
	dyn. Reifenradius	GVA	1200,0 kg	zul. Vorderachslast		Sturz	-1,2	Grad	
Sturz in KL		GHA	1160,0 kg	zul. Hinterachslast					
Spur	0,33 Grad	Spur in KL	Mugf_VA	90,0 kg	ungefederte Masse der Achse		SW	1533,0 mm	
		Spurweite in KL	Mugf_HA	100,0 kg	ungefederte Masse der Achse		RS	2680,0 mm	
	Radstand in KL	Axpp	8 m*s ⁻² max. Antriebs-Beschleunigung						
H	620 mm	Schwerpunktshoehe	Bxpp	10 m*s ⁻² max. Bremsverzögerung					
			Qxpp	10 m*s ⁻² max. Querschleunigung					
globale Daten				Bxpp4	7,07 m*s ⁻² max. Querschleunigung g		9,81 /s ²		
	Erdbeschleunigung	Qxpp4	7,07 m*s ⁻² max. Querschleunigung						
			(/ N)		(/ N)		(/ N)		
1	extreme Kurvenfahrt	links / rechts	9934		0		0	10576	
		SF1 1,00							
		rechts / links	955		0		0	1424	
2	Vertikalstoss	links	16334		0		0	0	
		SF2 3,00							
		rechts	16334		0		0	0	
3	Bremsensymm.	links	7885		0		8594	0	
		SF3 1,00							
		rechts	7885		0		8594	0	

Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

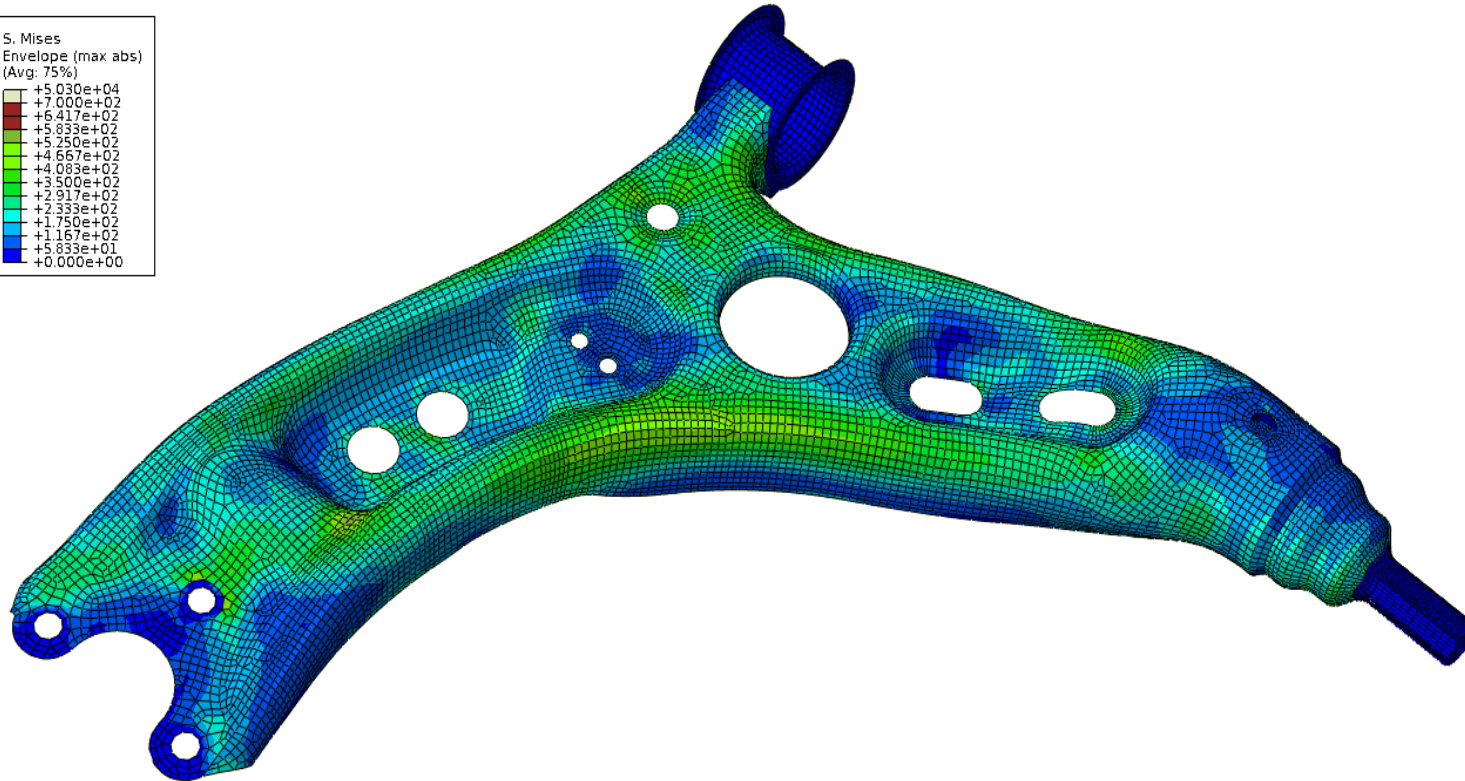
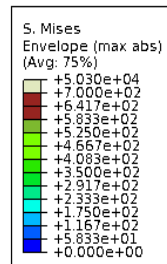
Innere Kräfte Bsp. Querlenker Vorderachse

PQ35 (VW358)		McPherson VA		Querlenker		1200 kg		Stand: 03.05.2006		
Daten		2006								
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	LF7	LF8	LF9
		extreme	Vertikalstoß	Bremsen	Bremsen i.d.	Antreiben		Traglast	Traglast	Traglast
		Kurvenfahrt	3g	symm.	Kurve	rückwärts	Längsstoß	Längs- richtung	schräg (40°)	Vertikal
U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
	Fx	2399	1512	-9208	-7805	-3589	-9939	-24904	-31711	3424
	Fy	-8471	2151	14114	5965	9106	20342	47743	13101	4132
	Fz	422	-139	-958	-528	-582	-1278	-3077	-1463	-205
	Fres	8814	2633	16879	9837	9805	22676	53935	34342	5370
	Mx	21512	25319	15600	21691	15536	5946	-33397	3726	28060
	My	2343	139	-14777	-14740	-5904	-10167	27546	-22463	3579
	Mz	32551	21268	-28959	-24671	-23077	-30022	-46814	-35528	27643
	Mres	39087	33066	36061	36006	28439	32250	63762	42198	39551
U1		-38	-361	-77						
U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
	Fx	-2857	-1916	10535	8939	4346	11360	28728	37043	-3947
	Fy	4948	-4388	-1081	4997	-3718	-6202	-11948	32355	-8806
	Fz	-262	242	386	56	349	637	1285	-598	416
	Fres	5719	4794	10597	10241	5730	12958	31140	49187	9659
	Mx	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	My	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mz	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mres	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U2		-42.9089	-736.371	-58.3146						
U3		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
	Fx	457	404	-1327	-1134	-757	-1421	-3824	-5332	523
	Fy	3523	2237	-13033	-10962	-5388	-14140	-35795	-45456	4674
	Fz	-161	-103	572	473	234	640	1792	2061	-211
	Fres	3556	2276	13112	11030	5446	14226	36043	45814	4708
	Mx	1829	2134	1279	1790	1273	470	-2850	289	2367
	My	117	10	-637	-643	-265	-433	1316	-943	169
	Mz	1384	920	-1262	-1052	-1000	-1333	-2118	-1590	1187
	Mres	2296	2324	1906	2173	1640	1478	3787	1871	2654
U3		263	-366	-68.5						

Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Bauteilbeanspruchung Längsstoß Querlenker Golf VI

■ Material S700, Steckgrenze 700N/mm²

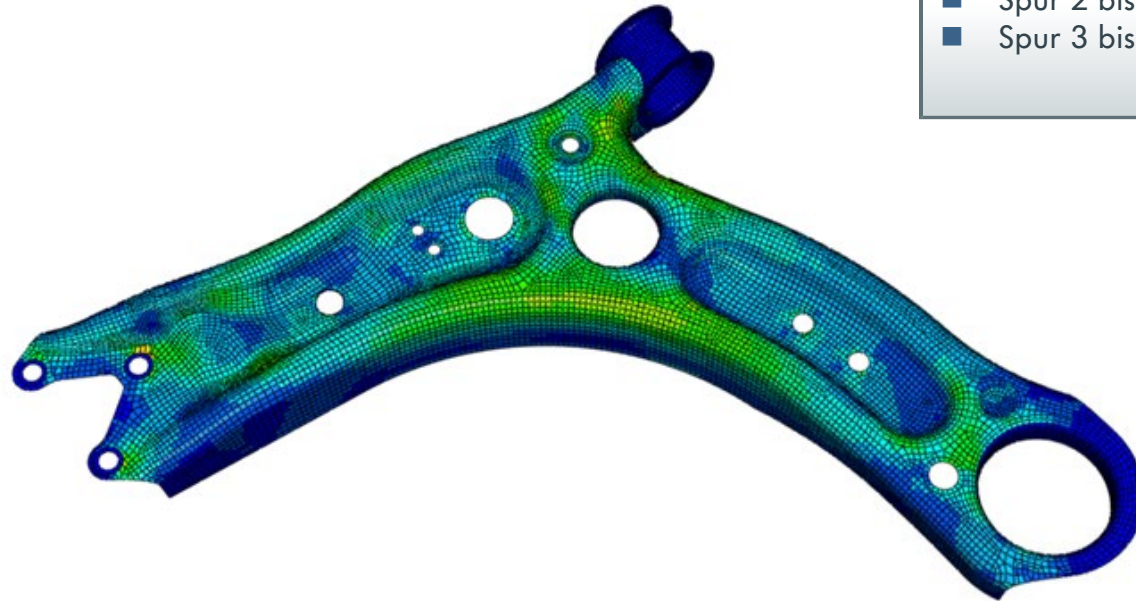
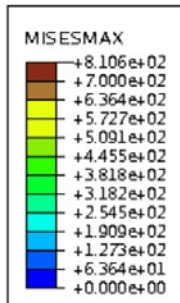


Dimensionierung erfolgt bei linearen Lastfällen gegen die Steckgrenze

Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Bauteilbeanspruchung Längsstoß Querlenker Golf VII

■ Material S700, Steckgrenze 700N/mm²



Modularität

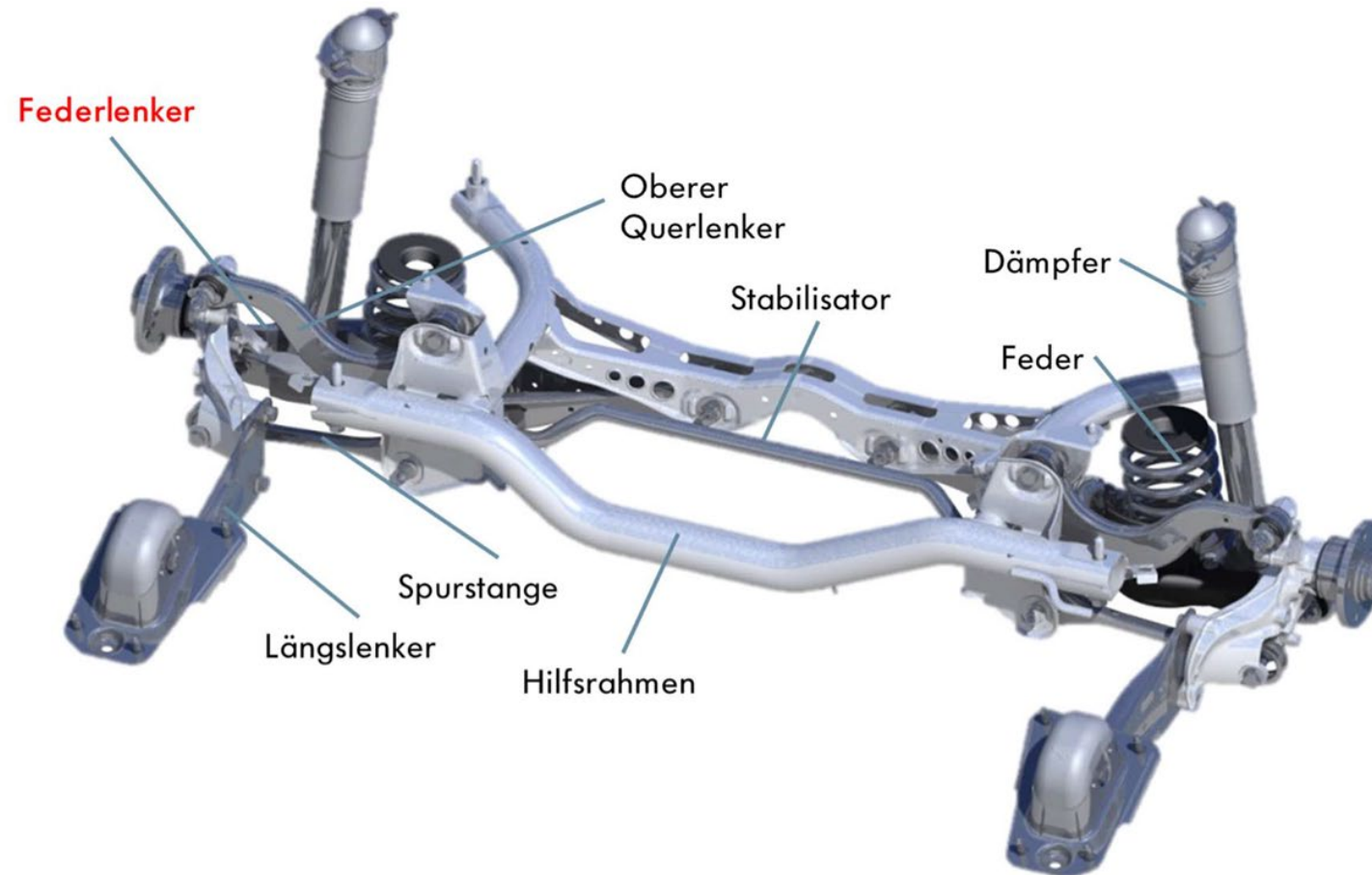
- Spur 1 bis 1.100 kg 3,5 mm 2,8 kg
- Spur 2 bis 1.250 kg 4mm 3,1 kg
- Spur 3 bis 1.400 kg 4,5 mm bis 3,5 kg



Dimensionierung erfolgt bei linearen Lastfällen gegen die Steckgrenze

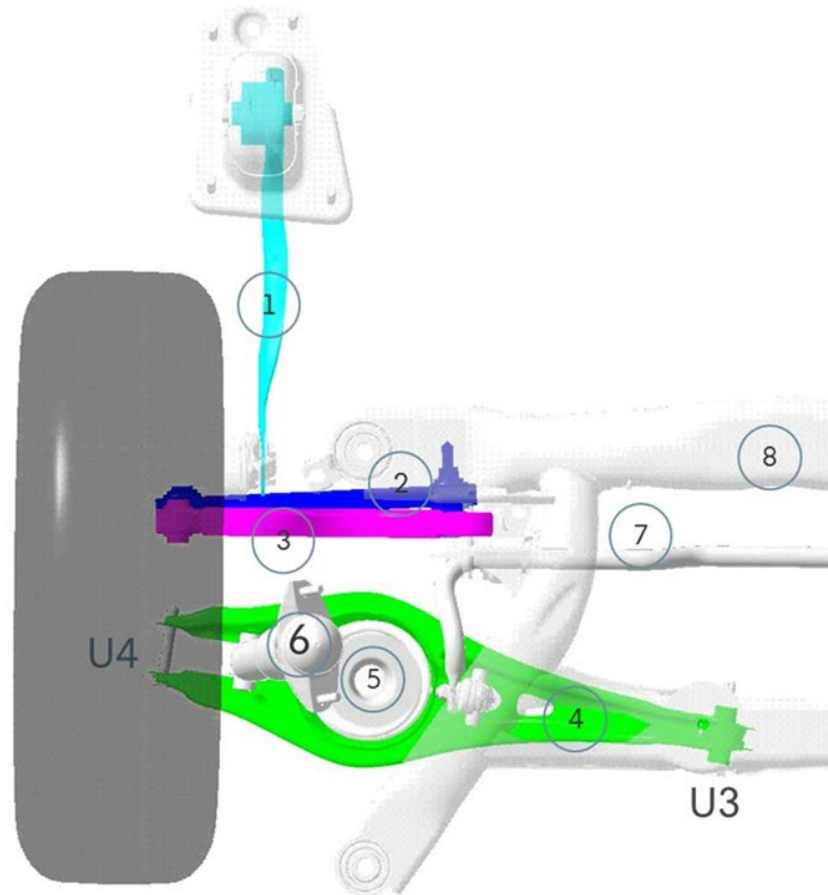
Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Beispiel Federlenkeroptimierung Vierlenkerachse



Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

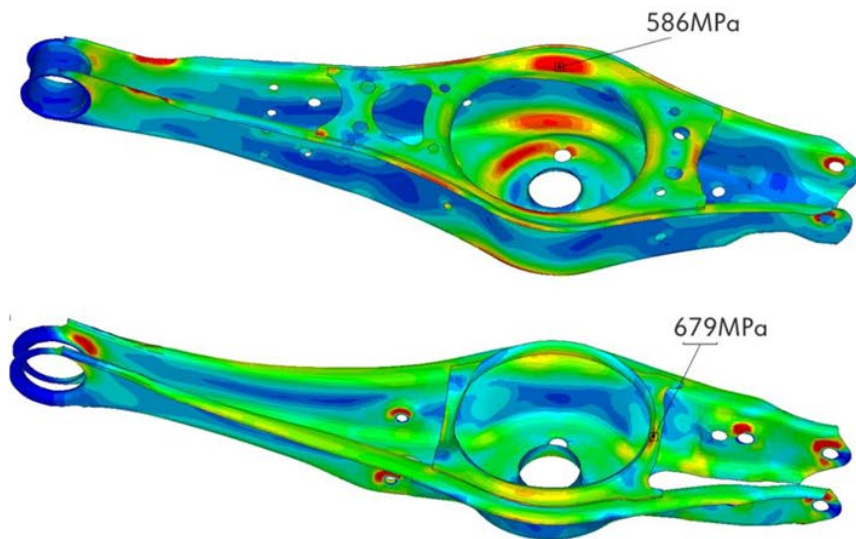
Beispiel Federlenkeroptimierung Vierlenkerachse



- 1 Längslenker
- 2 Spurstange
- 3 Oberer Querlenker
- 4 Federlenker
- 5 Feder
- 6 Dämpfer
- 7 Stabilisator
- 8 Hilfsrahmen

Methode N1: Statische Festigkeit (Standardauslegung)

Beispiel Federlenkeroptimierung Vierlenkerachse Spannungsvergleich FEM



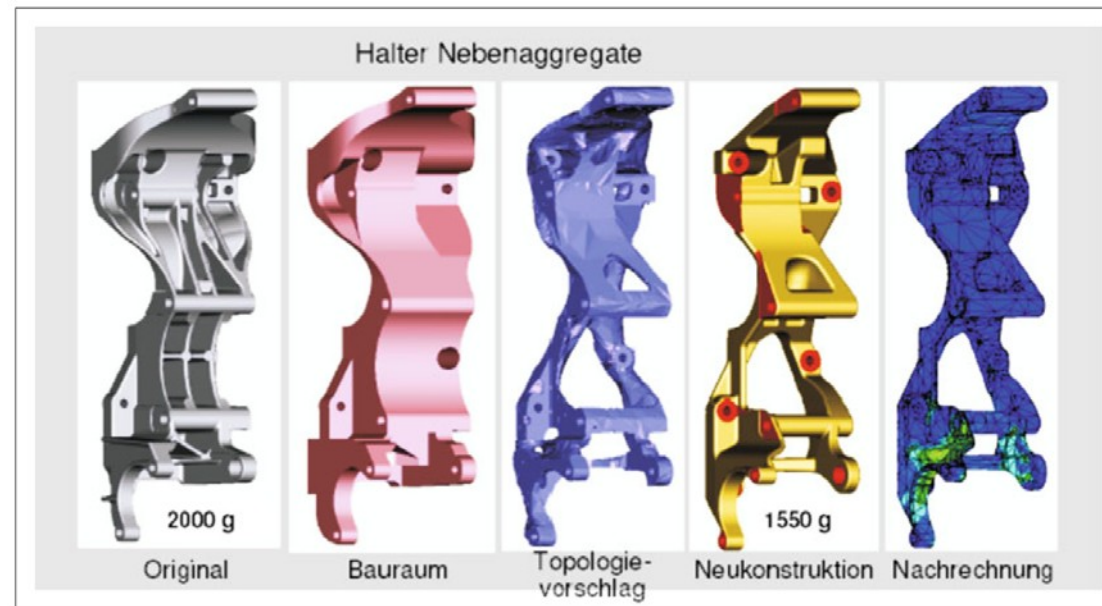
Spannungsvergleich (Überlagerung der linearen Lastfälle)

- **Oben:** Golf V Gewicht: 5,0 kg/Fzg.
- **Unten:** Golf VII Gewicht: 4,0 kg/Fzg.
- **Leichtbaumaßnahmen:** Formoptimierung, Fertigungskonzept, Materialauswahl
- **Leichtbaupotential:** 1,0 kg/Fzg. Ca. 20 % Bauteil obwohl Dämpfer und Stabilisatorkräfte zusätzlich aufgenommen werden müssen!

Beispiel Optimierungstools

Software zur Bauteiloptimierung verfügbar (Optistruct, Tosca)

- Topologie Optimierung (optimale Materialverteilung im Bauraum)
- Topographieoptimierung (z.B. Sicken)
- Parameteroptimierung (z.B. Wandstärken)
→ Einsatz hauptsächlich beim Bauteillieferanten



Quelle: Fahrwerkhandbuch

Beispiel Optimierungstools

Topologieoptimierung mit FEM: Bsp. Radträger

Entwicklung Wolfsburg (EF)

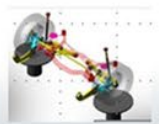
■ Lastenheft - Bauteilfestigkeit

Standardisierte Lastfälle

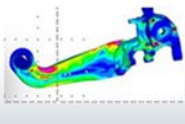
- Extreme Kurvenfahrt
- Vertikalstoß
- Bremsen rückwärts
- Antreiben
- Längsstoß

Statische Prüfstandssimulation

Äußere Kräfte



FEM Bauteilanalyse

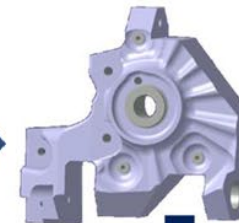


Innere Kräfte

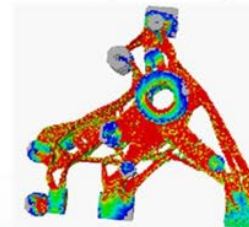
Entwicklung Braunschweig (HFE)

■ Selbstentwickelte Topologieoptimierung

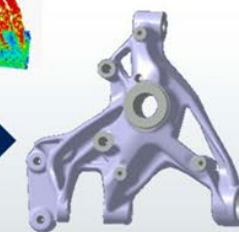
Bauraum & Lasten



Beispiel Radträger



Optimiertes Bauteil



Minimierung Gewicht bei Einhaltung aller Lastforderungen
(Betriebs- und Missbrauchslasten als Alleinstellungsmerkmal)



Verkürzung der Entwicklungszeit und verbesserte Materialausnutzung

Umsetzung der Kundenanforderung

Berechnungsmethoden für Normalgebrauch

Lineare Lastfälle
Bauteildeformation: elastisch

Methode N1: MKS-Achssimulation + FE-Rechnung

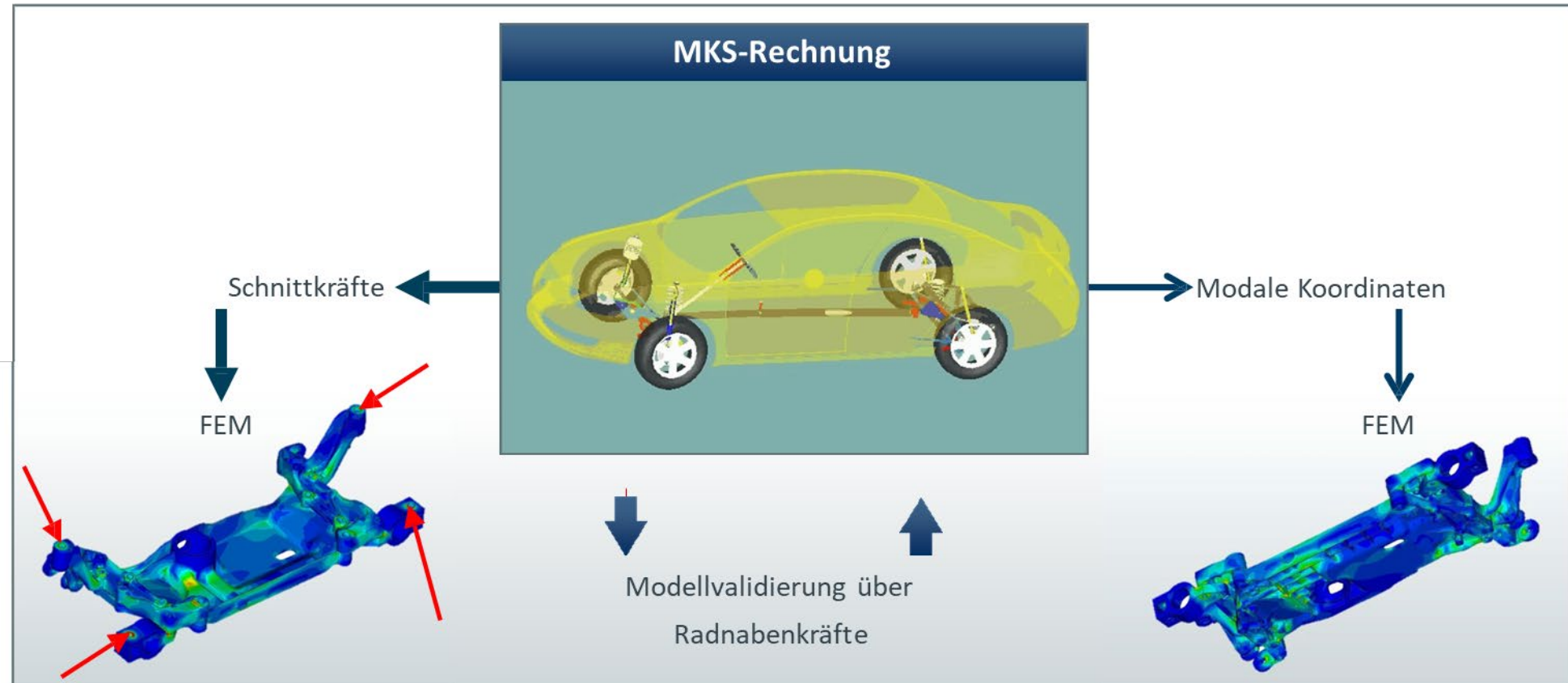
- Input: MKS Achsmodell + Äußere Lasten (**Standardlastfälle**)
- Output: Schnittlasten -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit linear **elastischen** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung am Bauteil

Methode N2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Schlechtwegstrecke) + Schädigungsrechnung

- Input: MKS GFZ-Modell + **Reifenmodell** + **Fahrermodell** + **digitalisierte Strecke**
- Output: Lastkollektive -> Bewertung der inneren Kräfte -> Input für FEM
- FE-Schädigungsrechnung Rechnung (FEMFAT)
- Output: Bauteilschädigung lokal
- (Bem.: Hotspots gut identifizierbar, für Laufleistung ist Validierung mit Versuch notwendig)
- (Bem.: Bewertung von Schweißnähten schwierig – Deltavergleiche liefern gute Aussagen)

Methode N2: Betriebsfestigkeit

Lastkollektivermittlung rechnerisch



» Ergebnisse: Spannungsverteilung und bauteilbezogene Schädigung

Methode N2: Betriebsfestigkeit

Streckendigitalisierung

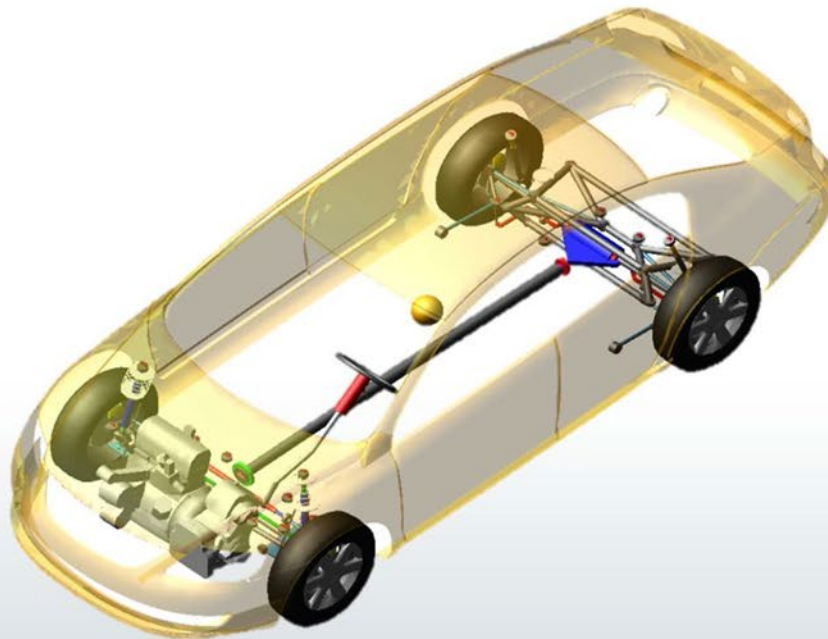


Eine digitale 3D Vermessung von Versuchsstrecken ermöglicht den Abgleich mit der Messung und zugleich der subjektiven Beurteilung („Virtuelle Abstimmung“).

Methode N2: Betriebsfestigkeit

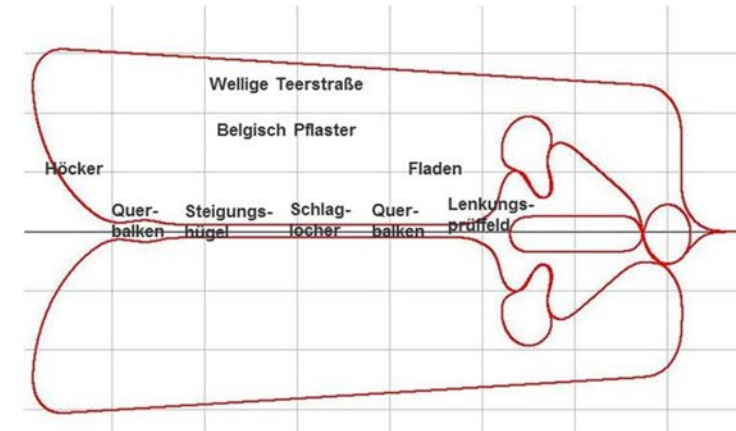
MKS-Gesamtfahrzeugsimulation

- Gesamtfahrzeugmodell MKS wie bei Fahrkomfort

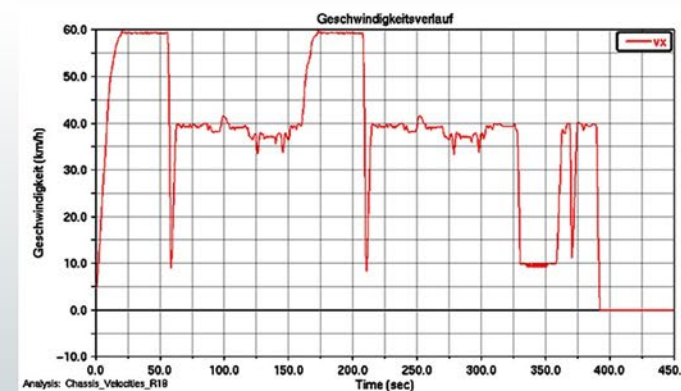


Echtzeit/Rechenzeit: ca. 1/100
Gesamtzeit Versuch/ Simulation: 10 (1 Runde statt 1000)

- Schlechtwegkurs, digitalisiert



- Geschwindigkeitsprofil



Methode N2: Betriebsfestigkeit

Übersicht Reifenmodelle

Reifenmodell	Anwendung	
F-Tyre (Magic Formula)	Fahrdynamik Kennlinienmodell (Formelsammlung) ebene, langwellige Fahrbahn Aufbauschwingungen bis 1.5Hz (Lenkwinkelsprung, Sinuslenken)	
RMOD-K 6 F-Tire	Komfort & Lastkollektive physikalische Reifenmodelle kurzwellige Fahrbahnanregungen Achsschwingungen bis 40Hz (Schlagleiste, unebene Fahrbahn, EVP-Simulation)	
RMOD-K 7	Sonderereignisse/Missbrauch physikalisches Reifenmodell große Bodenunebenheiten (Schwelle/Schlaglochsimulation, Reifen-/Felgenkontakt)	

Modellkomplexität und Rechenzeit

» In Arbeit: FEM - Modelle für Methode S3

Methode N2: Betriebsfestigkeit

Modellvalidierung

Phase 1:

- Achskinematik: Radlastkurve, Spur und Sturz bei gleich- und wechselseitigem Einfedern
- Schlagleistenüberfahrt: Radnabenbeschleunigung, Federwege, Aufbaubeschleunigungen

Phase 2:

- Schlechtwegabschnitte: Radnabenkräfte werden verglichen → Einteilung in Güteklassen

Ergebnis/Klasse	Güteklasse 1	Güteklasse 2	Güteklasse 3
Zeitverlauf	Abw. < +/- 10%	Abw. < +/- 25%	nur qualit. Güte
Kollektiv	Abw. < +/- 10%	Abw. < +/- 25%	Abw. > +/- 25%
Leistungsdichte (PSD)	Kaum Abweichungen	Wichtigste Frequenzen i.O.	Stimmt nur noch qualitativ
Rel. Schädigung	$0,5 < D < 2$	$0,3 < D < 3$	$D < 0,3$ oder $D > 3$

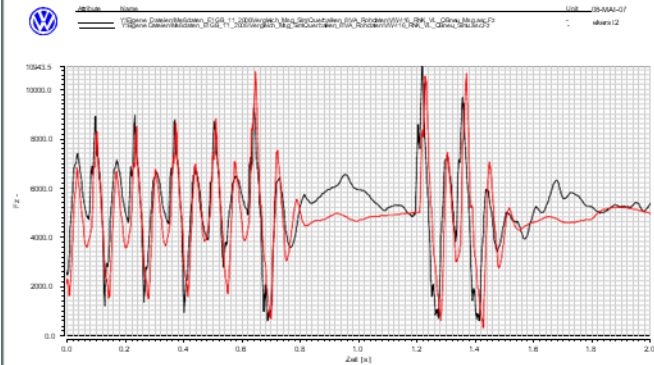


Modell muss nach Validierung Güteklasse 1 bis 2 aufweisen

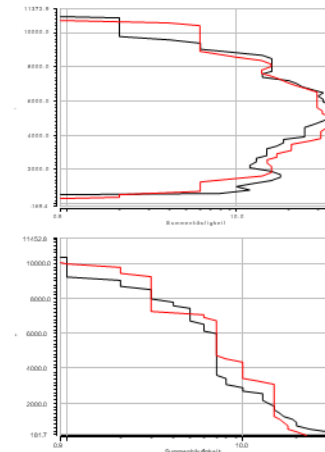
Methode N2: Betriebsfestigkeit

Beispiel: Querbalkenüberfahrt, dyn. Radlast, linkes Vorderrad

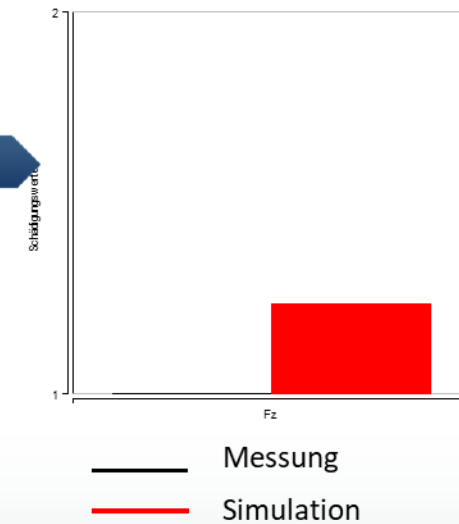
Zeitschrieb



Klassendurchgang/Spanne



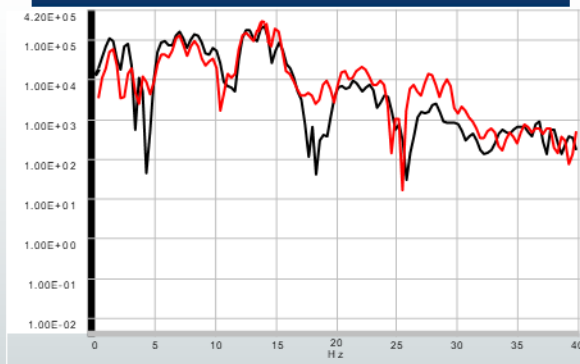
Relative Schädigung



Wöhlerlinie, k=5

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N_i}$$

Spektrale Leistungsdichte

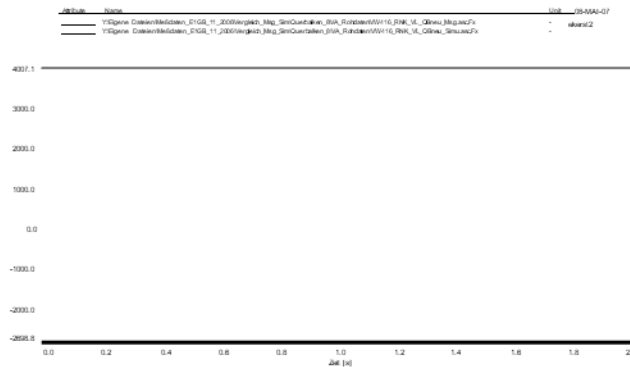


Querbalkengeometrie: 20mm x 300mm (5 Stk.) + 40mm x 300mm (3 Stk.)
Geschwindigkeit: V = 40 km/h

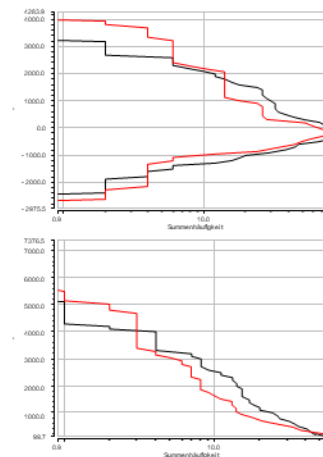
Methode N2: Betriebsfestigkeit

Beispiel: Querbalkenüberfahrt, Längskraft, linkes Vorderrad

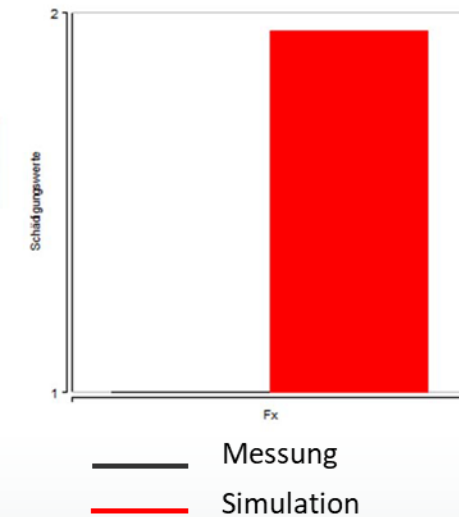
Zeitschrieb



Klassendurchgang/Spanne



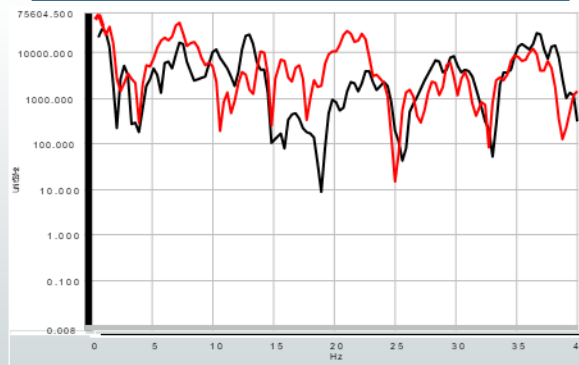
Relative Schädigung



Wöhlerlinie, $k=5$

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{n_i}{N_i}$$

Spektrale Leistungsdichte



Querbalkengeometrie: 20mm x 300mm (5 Stk.) + 40mm x 300mm (3 Stk.)
Geschwindigkeit: $V = 40 \text{ km/h}$

Methode N2: Betriebsfestigkeit

Beispiel: Schnittkraftvergleich Spurlenker Hinterachse

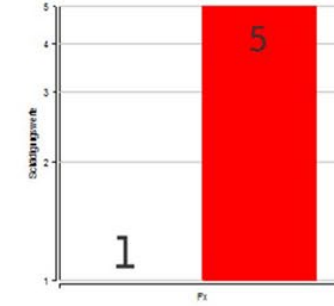
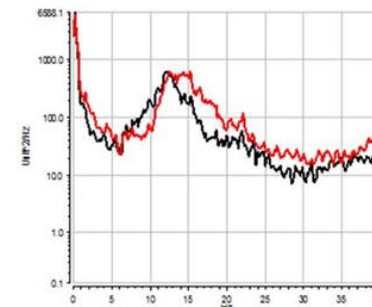
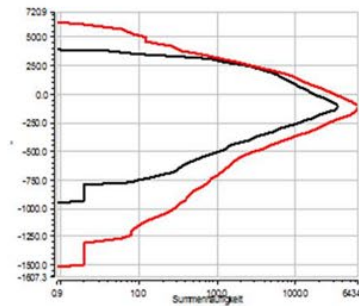


Kollektiv für
gesamten
Schlechtwegkurs

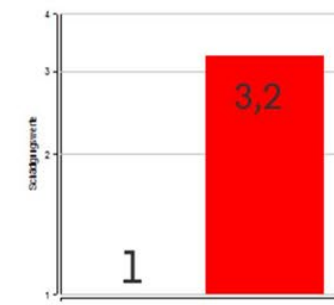
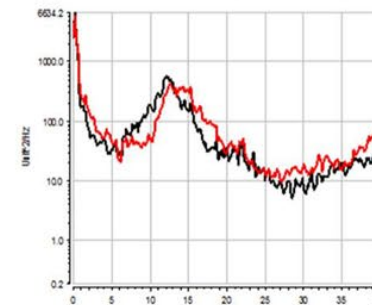
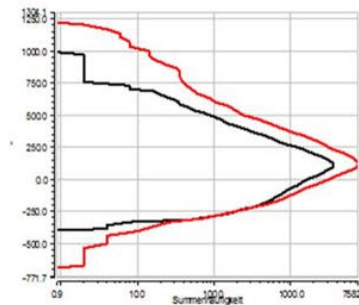
Deltavergleich

Fahrzeug 1 —
Fahrzeug 2 —

S1

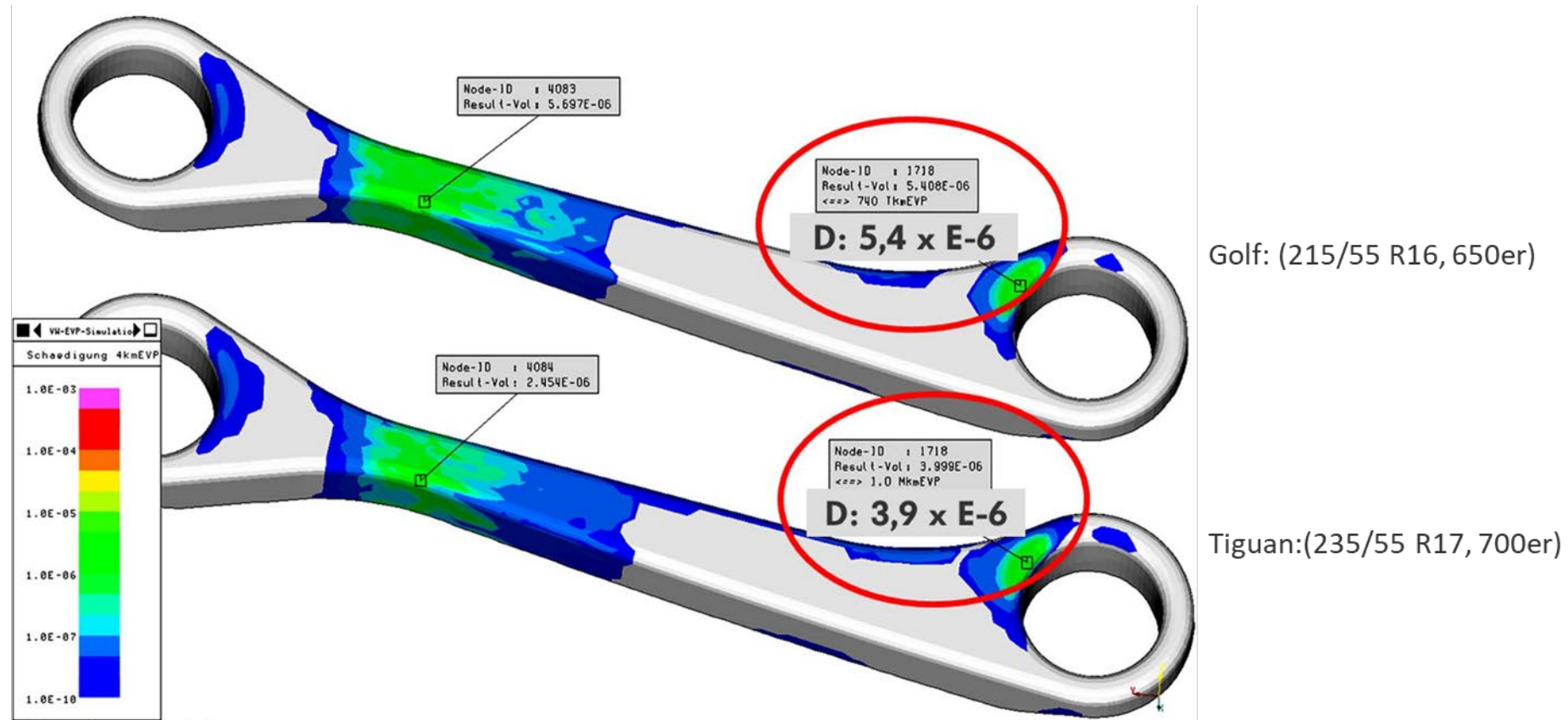


S2



Methode N2: Betriebsfestigkeit

Beispiel: Schädigungsrechnung (FEMFAT) Spurlenker Hinterachse



» Deltavergleich von Schädigungsfaktoren (D)

Zusammenfassung

Normalgebrauch

Methode N1 und N2:

- Betriebslasten werden durch „einfache“ Lastfälle idealisiert
- Aufteilung der Nichtlinearitäten (MKS: z.B. ADAMS) und Linearitäten (FEM: z.B. ABAQUS) bei „kompakten Bauteilen“ (Fahrwerk) gut möglich
- Auslegung erfolgt gegen Streckgrenze (für Standardlasten)
- Zur besseren Betrachtung (insbesondere bei Schweißnähten) erfolgt Lastkollektivberechnung (MKS) plus Schädigungsrechnung (FEM)
- Voraussetzung (N2): Reifenmodell, Fahrermodell, digitalisierte Strecke

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Umsetzung der Kundenanforderung

Berechnungsmethoden für Sonderereignisse/Missbrauch

Lineare Lastfälle (Traglastfälle)

Bauteildeformation: elastisch, ggfs. plastisch

Methode S1: MKS-Achssimulation + FE-Rechnung

- Input: MKS Achsmodell + Äußere Lasten (**Traglastfälle**)
- Output: Schnittlasten -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit **elasto-plastischem** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung und plastische Vergleichsdehnung am Bauteil

Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Einzelhindernis)

- Input: MKS GFZ-Modell + Reifenmodell (**mit Felge**) + **Hindernisgeometrie**
- Output: Schnittlasten -> Direkte Bewertung der inneren Kräfte -> Input für FEM
- statische FE-Rechnung (ABAQUS) mit **elasto-plastischem** Materialmodell
- Output: Vergleichsspannung und plastische Vergleichsdehnung am Bauteil

Methode S3: FEM-Gesamtfahrzeugsimulation (Einzelhindernis)

- Input: **FE-Modell vom Reifen, Felge und Achsteilmodellen** + **Hindernisgeometrie**
- Output: Innere Kräfte und Spannungen (z.B. Kolbenstange)

Methode S1: Analog N1

Innere Kräfte Bsp. Querlenker Vorderachse

PQ35 (VW358)		McPherson VA		Querlenker		1200 kg		Stand: 03.05.2006		
Daten		2006								
		LF1	LF2	LF3	LF4	LF5	LF6	LF7	LF8	LF9
		extreme	Vertikalstoß	Bremsen	Bremsen i.d.	Antreiben		Traglast	Traglast	Traglast
		Kurvenfahrt	3g	symm.	Kurve	rückwärts	Längsstoß	Längs- richtung	schräg (40°)	Vertikal
U1		U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1	U1
	Fx	2399	1512	-9208	-7805	-3589	-9939	-24904	-31711	3424
	Fy	-8471	2151	14114	5965	9106	20342	47743	13101	4132
	Fz	422	-139	-958	-528	-582	-1278	-3077	-1463	-205
	Fres	8814	2633	16879	9837	9805	22676	53935	34342	5370
	Mx	21512	25319	15600	21691	15536	5946	-33397	3726	28060
	My	2343	139	-14777	-14740	-5904	-10167	27546	-22463	3579
	Mz	32551	21268	-28959	-24671	-23077	-30022	-46814	-35528	27643
	Mres	39087	33066	36061	36006	28439	32250	63762	42198	39551
U1		-38	-361	-77						
U2		U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2	U2
	Fx	-2857	-1916	10535	8939	4346	11360	28728	37043	-3947
	Fy	4948	-4388	-1081	4997	-3718	-6202	-11948	32355	-8806
	Fz	-262	242	386	56	349	637	1285	-598	416
	Fres	5719	4794	10597	10241	5730	12958	31140	49187	9659
	Mx	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	My	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mz	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mres	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U2		-42.9089	-736.371	-58.3146						
U3		U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3	U3
	Fx	457	404	-1327	-1134	-757	-1421	-3824	-5332	523
	Fy	3523	2237	-13033	-10962	-5388	-14140	-35795	-45456	4674
	Fz	-161	-103	572	473	234	640	1792	2061	-211
	Fres	3556	2276	13112	11030	5446	14226	36043	45814	4708
	Mx	1829	2134	1279	1790	1273	470	-2850	289	2367
	My	117	10	-637	-643	-265	-433	1316	-943	169
	Mz	1384	920	-1262	-1052	-1000	-1333	-2118	-1590	1187
	Mres	2296	2324	1906	2173	1640	1478	3787	1871	2654
U3		263	-366	-68.5						

Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Misuse)

Schlaglochdurchfahrt zur Absicherung des Fahrzeugmissbrauchs

1 Ausfedern



2 Felgen-Durchschlag



3 Einfedern bis Pufferschlag



4 Felgen-Durchschlag Hinterrad



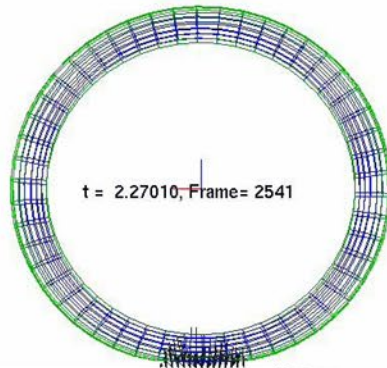
- Auslegungsrelevant für viele Fahrwerkbauteile
- Schwer reproduzierbar, wegen veränderlicher Parameter z.B. Dämpferkennung
- Zeit- und kostenintensiv, Messtechnik nur begrenzt einsetzbar

» Ziel: Frühe Vorhersage der zu erwartenden Belastung

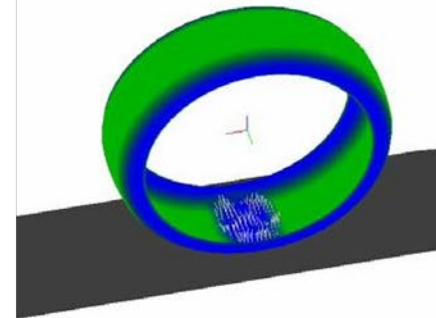
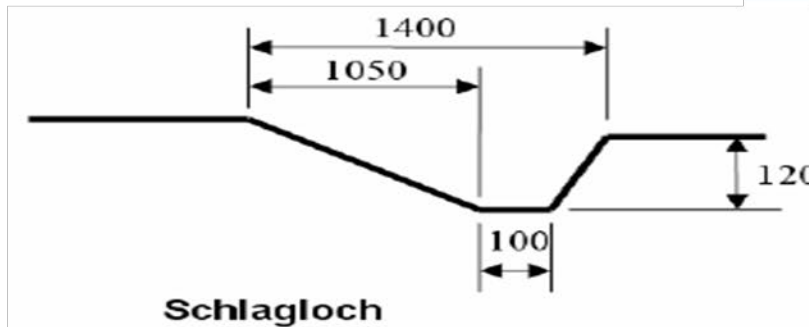
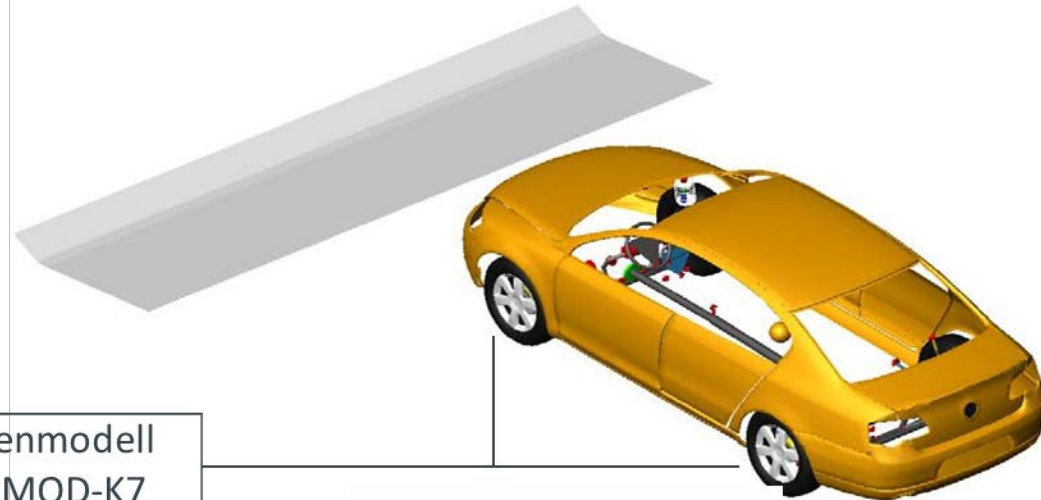
Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Misuse)

Beispiel: Komponenten für die MKS-Schlaglochssimulation

Geschwindigkeit: $v = 40 \text{ km/h}$ bis 70 km/h

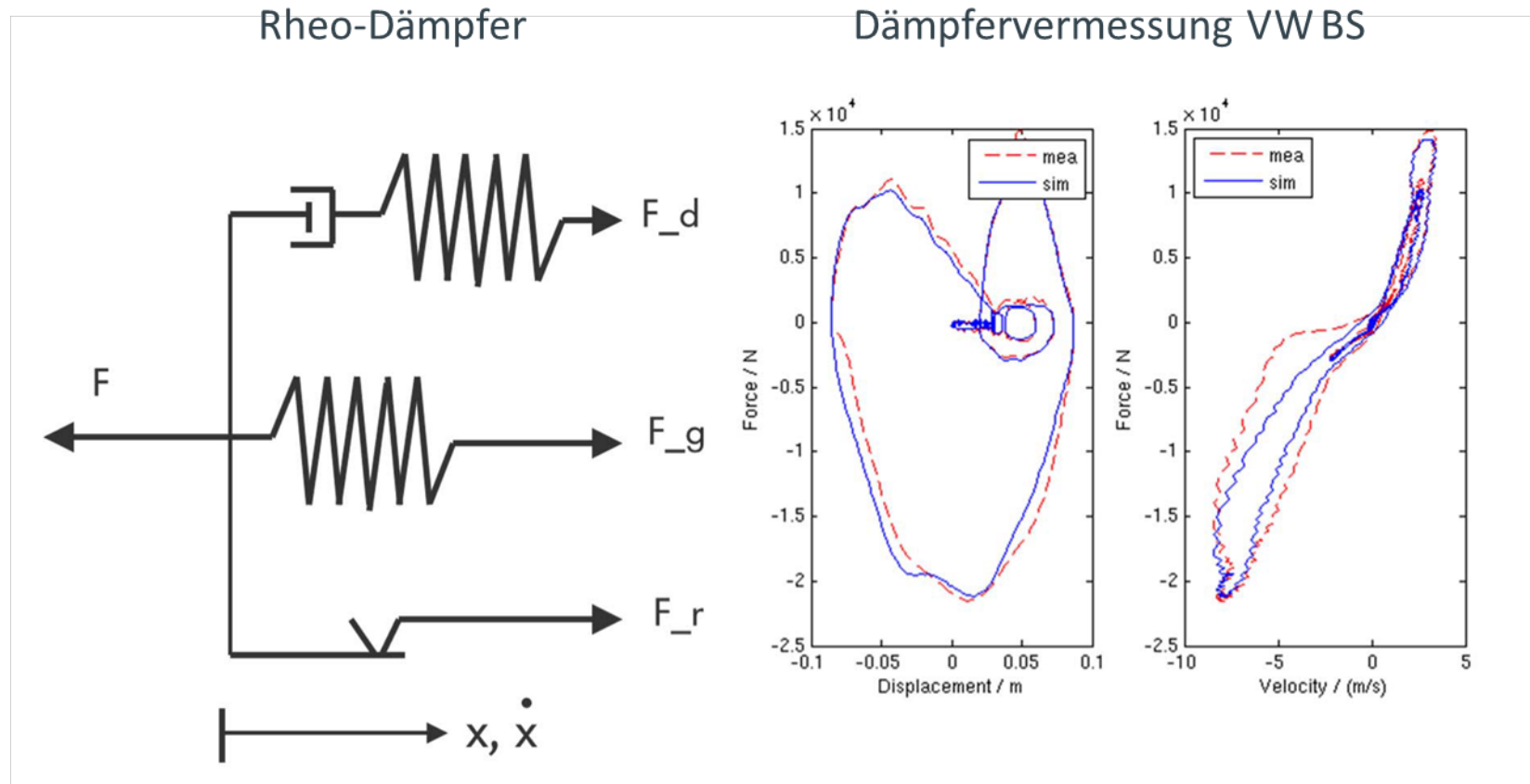


Reifenmodell
RMOD-K7



Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Misuse)

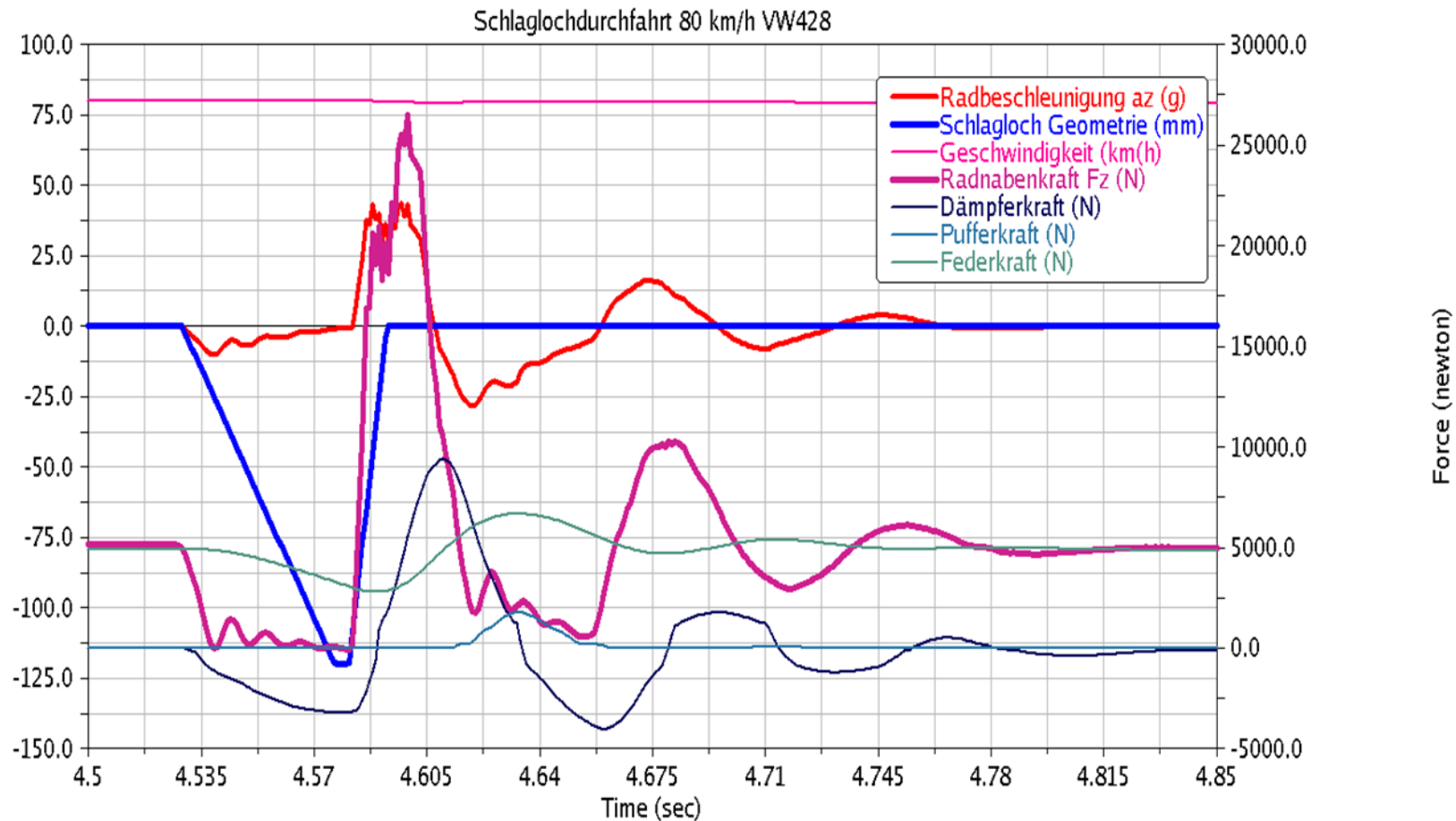
Beispiel: Komponenten für die MKS-Schlaglochsimulation



» Dämpfermodellierung bis 8m/s notwendig

Methode S2: MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (Misuse)

Beispiel: Ergebnisse der MKS-Schlaglochssimulation

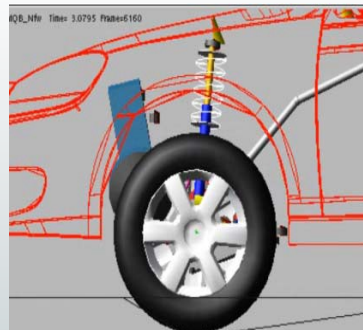


Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM

Das Reifenmodell macht den Unterschied

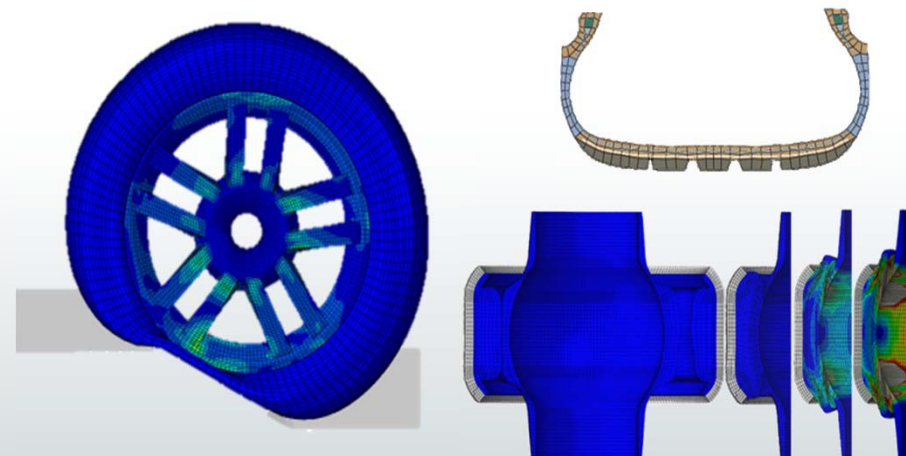
Mehrkörpersimulation (MKS) Methode S2

- Stand der Technik: Simulation mit RMOD-K7
- Berücksichtigt Felgenkontakt mit unterschiedlichen nicht linearen Felgenhornsteifigkeiten innen und außen
- Beschaffung der Reifenmodelle für jede Dimension sehr zeit- und kostenintensiv
- Viele Eigenschaften empirisch, daher Skalierung der Dimension schwierig
- Keine Elasto-Plastischen Bauteildeformationen im Fahrwerk



Finite Elemente Methode (FEM) Methode S3

- Geometrie, Struktur und Material-eigenschaften des Reifens sind modelliert, daher Skalierung der Dimension möglich
- Elasto-Plastische Bauteile, komplexe Gummilagermodelle möglich

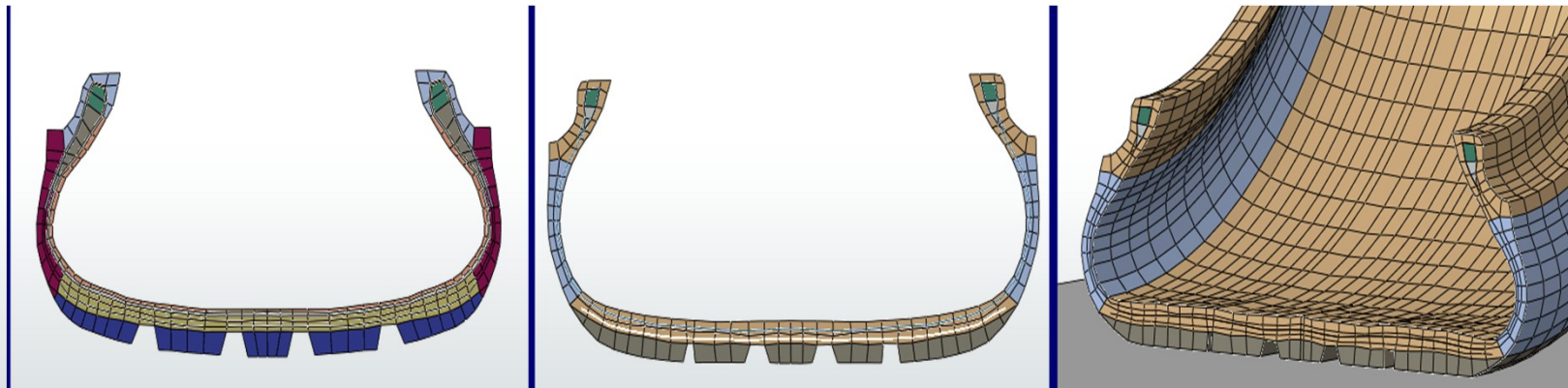


Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM

Das Reifenmodell macht den Unterschied: FEM Reifenmodell

Für die PKW-Entwicklung gilt folgendes Designziel:

- Basiert auf ABAQUS-Modellierungstechnik
- Bestimmung der Geometrie, Struktur und Materialeigenschaften anhand einiger weniger Versuche

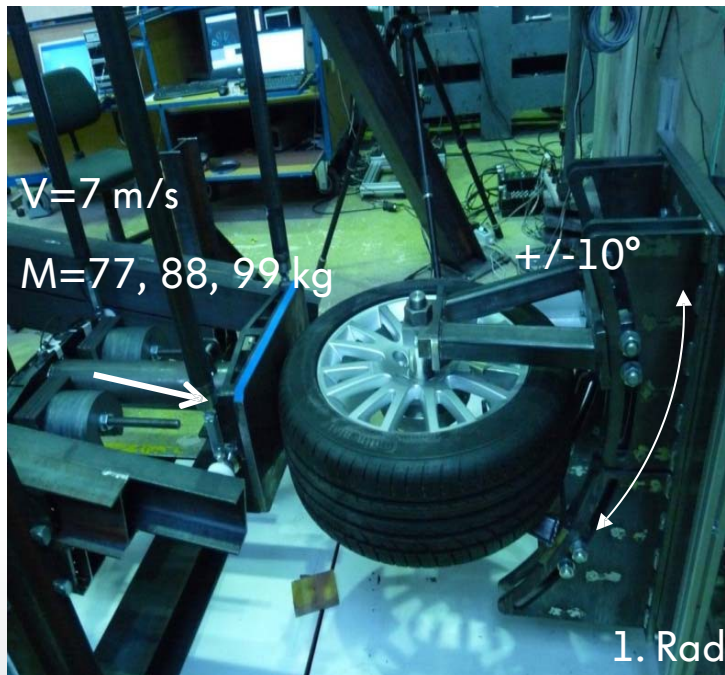


» FEM-Modelle von Reifenherstellern: Höchste Genauigkeit, aber in der Regel nicht verfügbar

Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM

Reifenmodellvalidierung

Prüfstand IAT Ingenieurgesellschaft für Automobiltechnik mbH



- 1. Rad: Hersteller A - 225/50 R17
- 2. Rad: Hersteller B - 225/45 R17
- 3. Rad: Hersteller A - 235/45 R18

Kraftmessdosen zwischen Radaufnahme und Betonwand

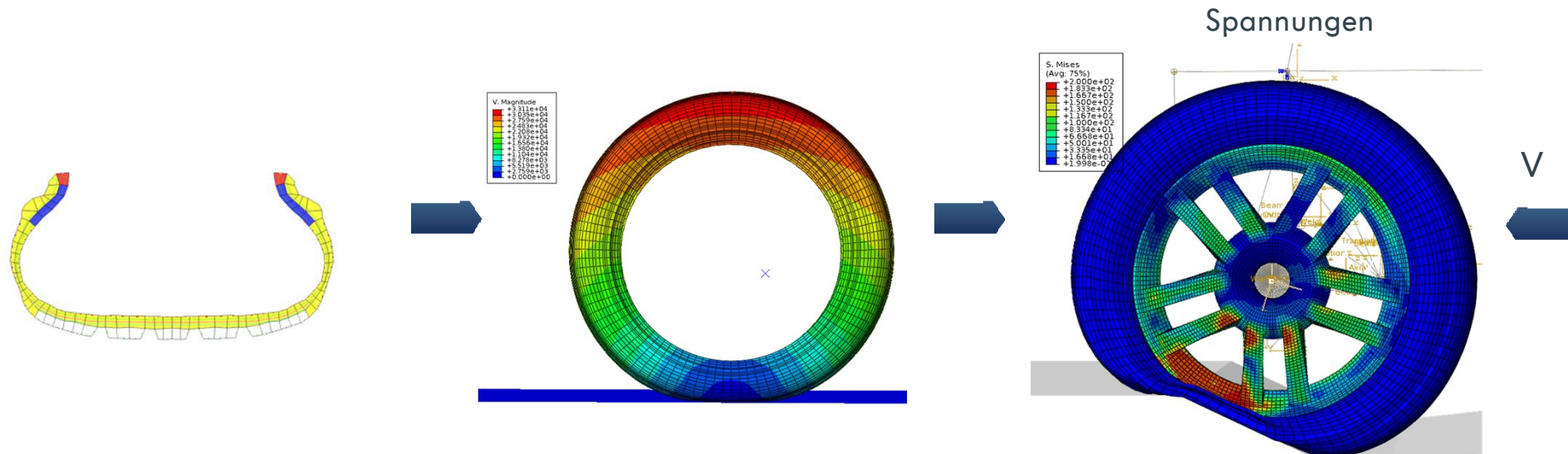
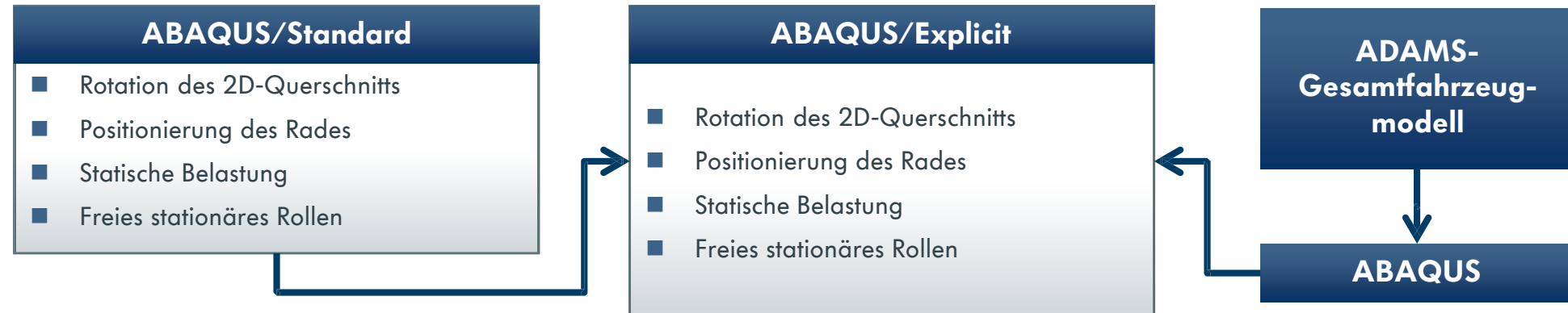
Verschiedene Felgen-Auftreffpunkte:

- Auf Speiche (härteste Stelle)
- Zwischen Speichen (weichste Stelle)



Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM

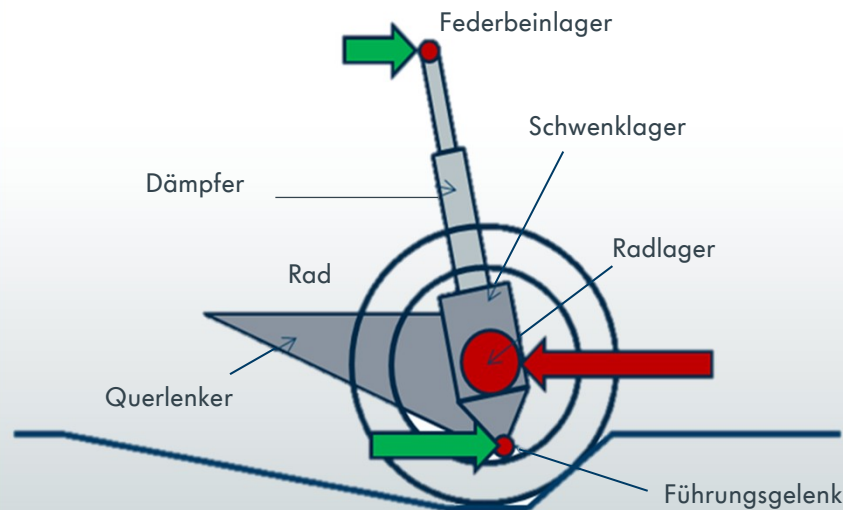
Simulation Schlaglochdurchfahrt



Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM

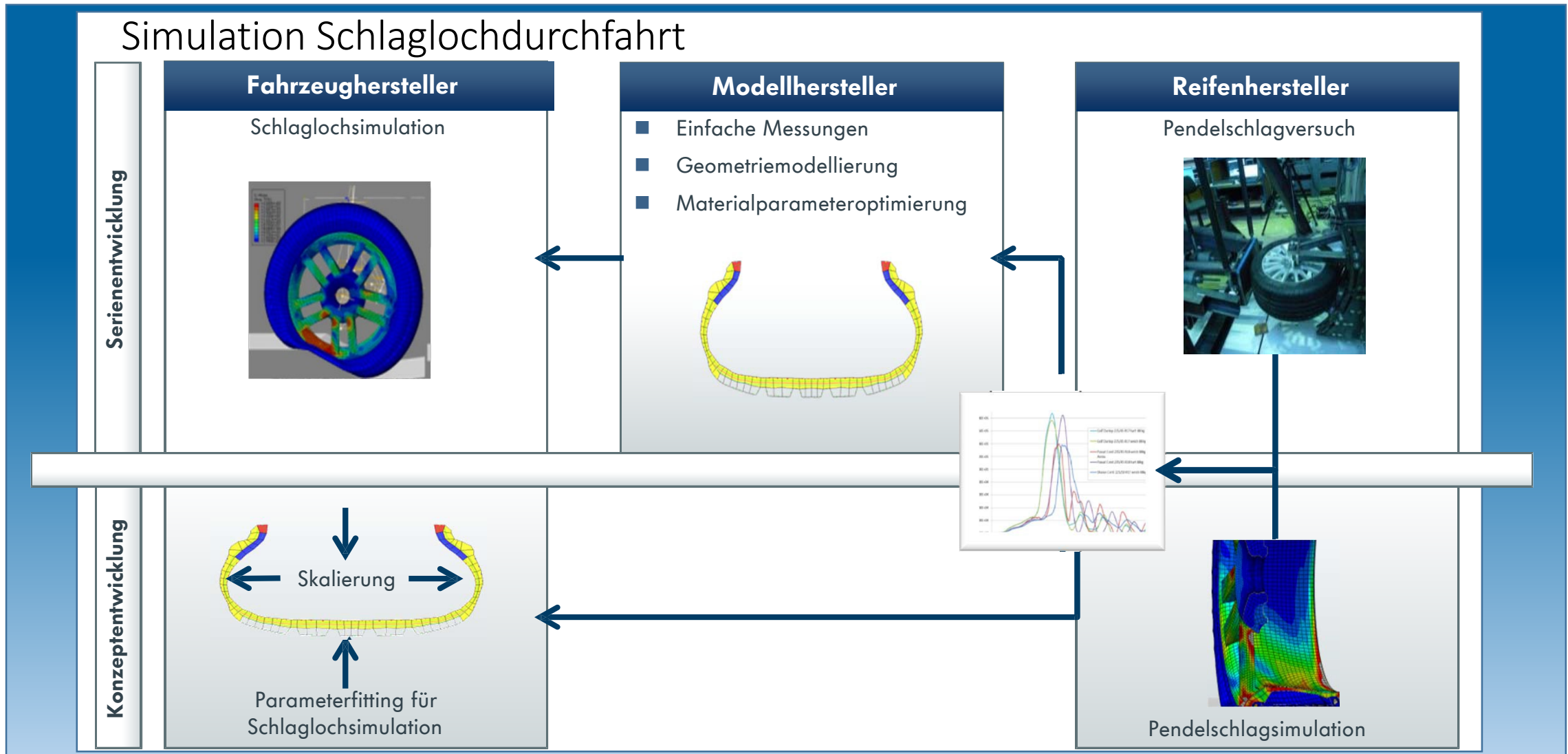
Simulation Schlaglochdurchfahrt

Fahrzeugversuch: Radkräfte schwer zu ermitteln



- Radkräfte teilen sich in Federbeinlager- und Führungsgelenkkräfte auf
- Messung der Führungsgelenkkräfte mit Dehnungsmessstreifen
- Messung der Federbeinlagerkräfte mit 6-Komponenten Kraftmessdosen

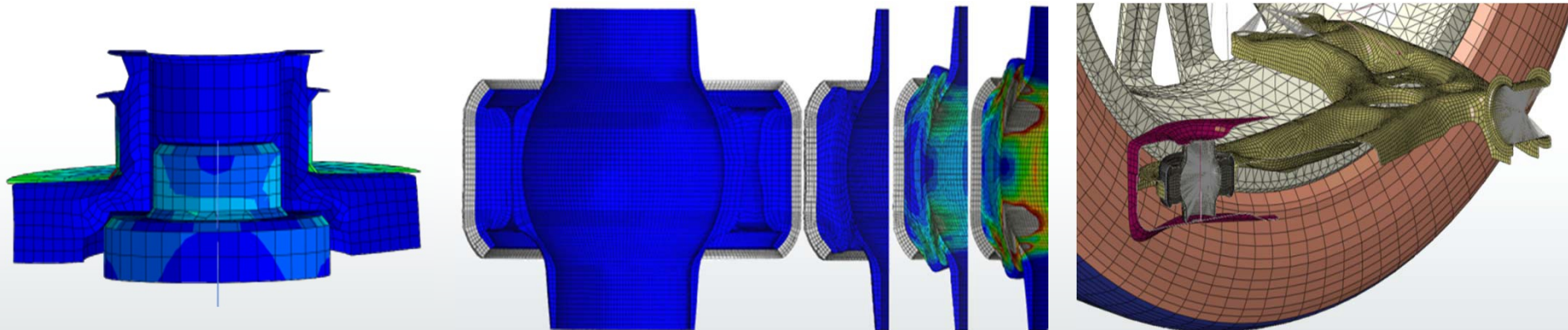
Methode S3: Schlaglochsimulation mit FEM



Methode S3: Ausblick

Methode S3: Erweiterungsmöglichkeiten

- Durch den Einsatz der Finite-Elemente-Methode in der Gesamtfahrzeugsimulation besteht die Möglichkeit plastische Bauteildeformationen sowie Kontakte zwischen deformierbaren Bauteilen und auch detaillierte Gummi-Metalllager zu berücksichtigen
- Einflüsse und Ursachen können für verschiedenste Fragestellungen in der Fahrwerkentwicklung auf einem höheren Detaillierungs- und Genauigkeitsgrad analysiert werden

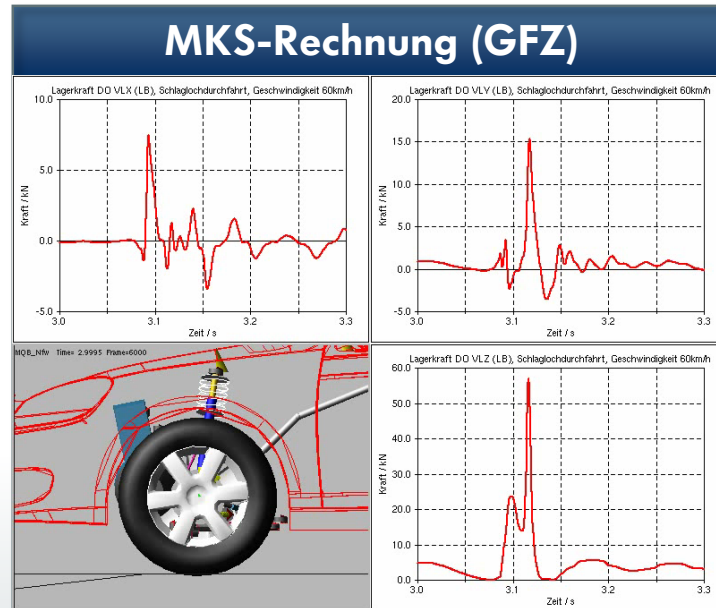


Sondergebrauch und Misuse

Methode S1, S2 und S3:

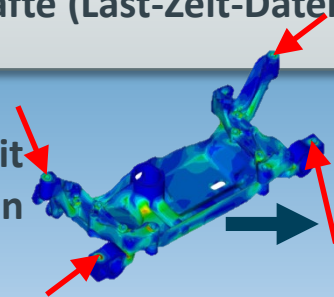
- Traglasten werden durch „einfache“ Lastfälle idealisiert
- Aufteilung der Nichtlinearitäten (MKS: z.B. ADAMS) und Linearitäten (FEM: z.B. ABAQUS) bei „kompakten Bauteilen“ (Fahrwerk) gut möglich
- Auslegung erfolgt unter Berücksichtigung von geringen plastischen Deformationen (Traglastfälle)
- Detailbetrachtung durch MKS-Gesamtfahrzeugsimulation (S2)
- Voraussetzung (S2): Reifenmodell (+ Felge), Hindernisgeometrie
- „High-End“ Simulation mit FEM Reifenmodell möglich (S3)

Weitere Beispiele

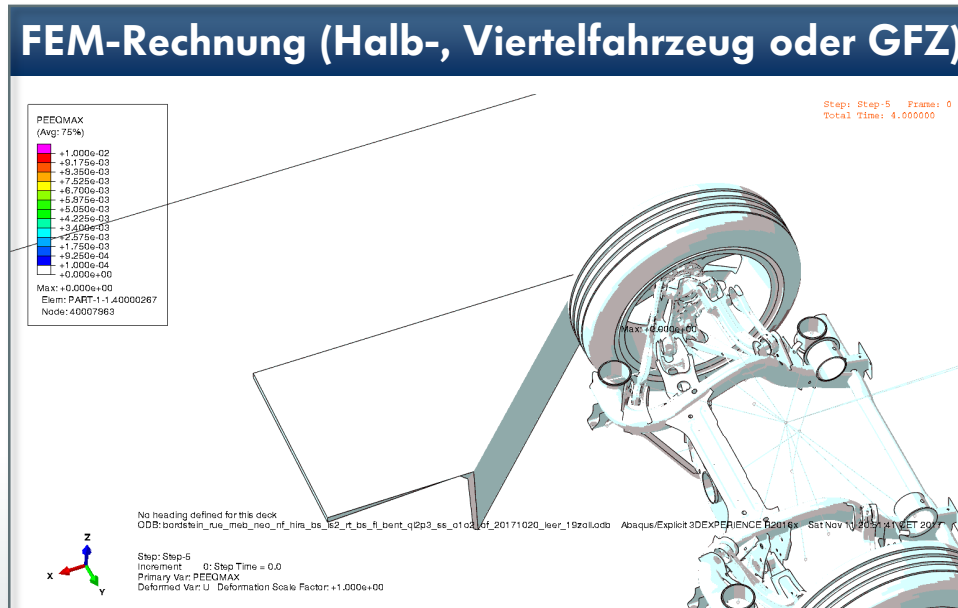


Schnittkräfte (Last-Zeit-Daten)

**Statische
Berechnung mit
Maximalkräften**

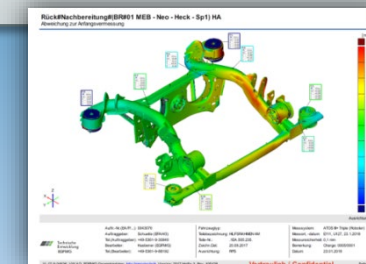


**Plastische
Verformungen**



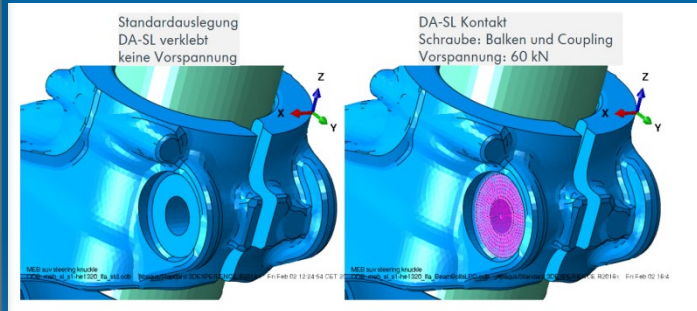
Plastische Verformungen

**Abgleich mit 3D-
Vermessung aus dem
Versuch**



Weitere Beispiele

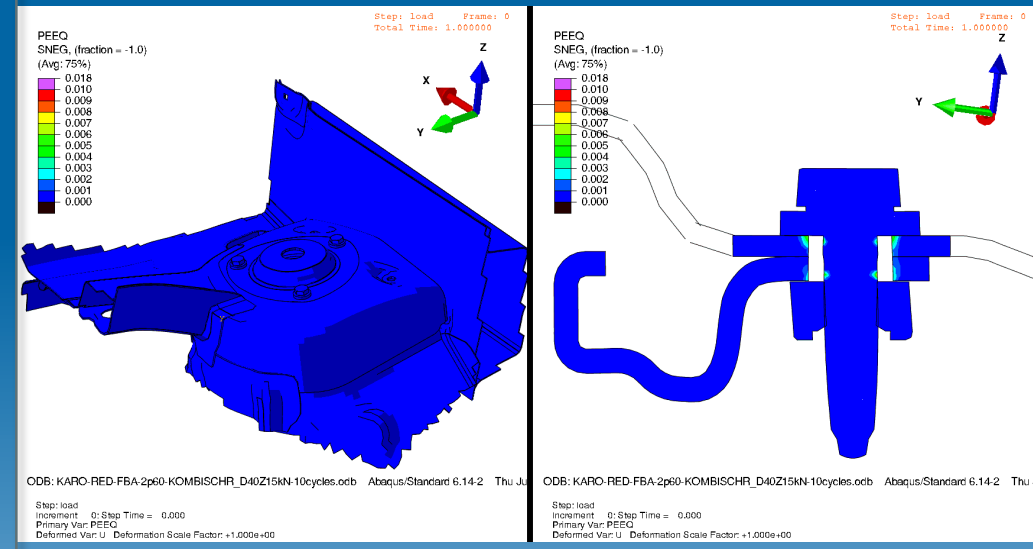
Dämpferklemmung MEB



→ Riss auf Prüfstand

→ Berücksichtigung des Kontakts und der Schraubenvorspannkraft erforderlich

Federbeinaufnahme MQB

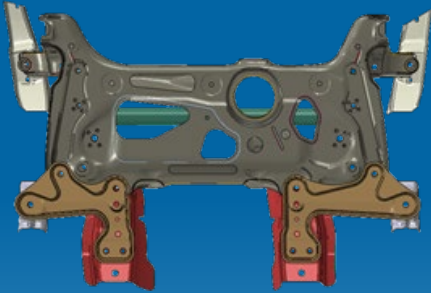


→ Vorspannkraftverlust auf Heisslandpiste

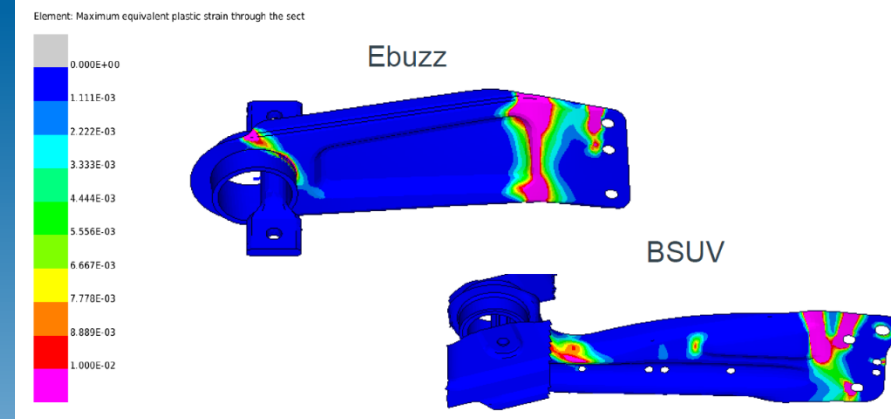
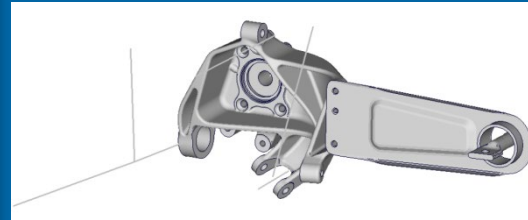
» Ziel: Erkenntnisse in Lastenheft übertragen

Weitere Beispiele

Verschraubungskonzept VA-Hira



Tragfestigkeit Längslenker E-Fahrzeug



Ziel: Machbarkeit überprüfen

Breakout Session – Fragen und Antworten (Vorbereitung)



Stichpunkte (15 Min.): Bitte sammeln Sie in 15 Minuten Fragen, die während der drei Vorlesungsteile entstanden sind.

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Achserprobung und Freigabe

Das Fahrwerk prägt ca. 40% der Fahrzeugeigenschaften



- ☒ beeinflusste Gruppe
- ☐ beeinflusste Details

Karosserie		Antrieb		Umwelt	
Innenmaße	(10)	Laufkultur	(10)	Minimalverbrauch	(20)
Raumgefühl	(10)	Durchzugskraft	(10)	Emissionsverhalten	(10)
Kofferraum	(10)	Leistungsentfaltung	(5)	Leergewicht	(10)
Zuladung	(5)	Schaltung/Getriebeabstuf.	(10)	Stand- und Fahraeräusch*	(10)
Funktionalität	(10)	Beschl./Höchstgeschw.	(20)	SUMME	(50)
Serienausstattung	(10)	Elastizität	(20)	Kosten	
Zusatzausstattung	(5)	Testverbrauch	(20)	Grundpreis*	(25)
Sicherheitsausstatt. (passiv)	(25)	Reichweite	(5)	Aufpreisgestaltung	(5)
Qualitätsanmutung	(15)	SUMME	(100)	Wiederverkaufschancen	(10)
SUMME	(100)	Fahrsicherheit		Festkosten für 5 Jahre*	(15)
Bediensicherheit		Fahrsicherheit leer	(20)	Wart./Rep. 100 000 km*	(15)
Rundumsicht/Übersichtl.	(10)	Fahrsicherheit beladen	(15)	Kraftstoff 100 000 km*	(20)
Bedienbarkeit	(20)	Fahrdynamik-Test	(5)	Garantie	(10)
Licht	(10)	Sicherheitsausst. (aktiv)	(15)	SUMME	(100)
Instrumente	(10)	Handling	(15)	Gesamtwertung	(650)
SUMME	(50)	Lenkung	(10)		
Fahrkomfort		Wendekreis	(5)		
Federung leer	(25)	Traktion/Wintertaugl.	(10)		
Federung beladen	(15)	Geradeauslauf/Windempf.	(5)		
Sitze vorn	(20)	SUMME	(100)		
Sitze hinten	(10)	Bremsen			
Klimatisierung	(10)	Bremsweg leer (100 km/h)*	(10)		
Innengeräusch-Messwerte	(5)	Bremsweg beladen (")	(10)		
Geräuscheindruck	(15)	Bremsweg warm bel. (")	(10)		
SUMME	(100)	Bremsweg aus 140 km/h	(5)		
		Pedalgefühl	(5)		
		μ-split-Stabilität	(5)		
		μ-split-Bremsweg	(5)		
		SUMME	(50)		
		Eigenschaftswertung	(500)		

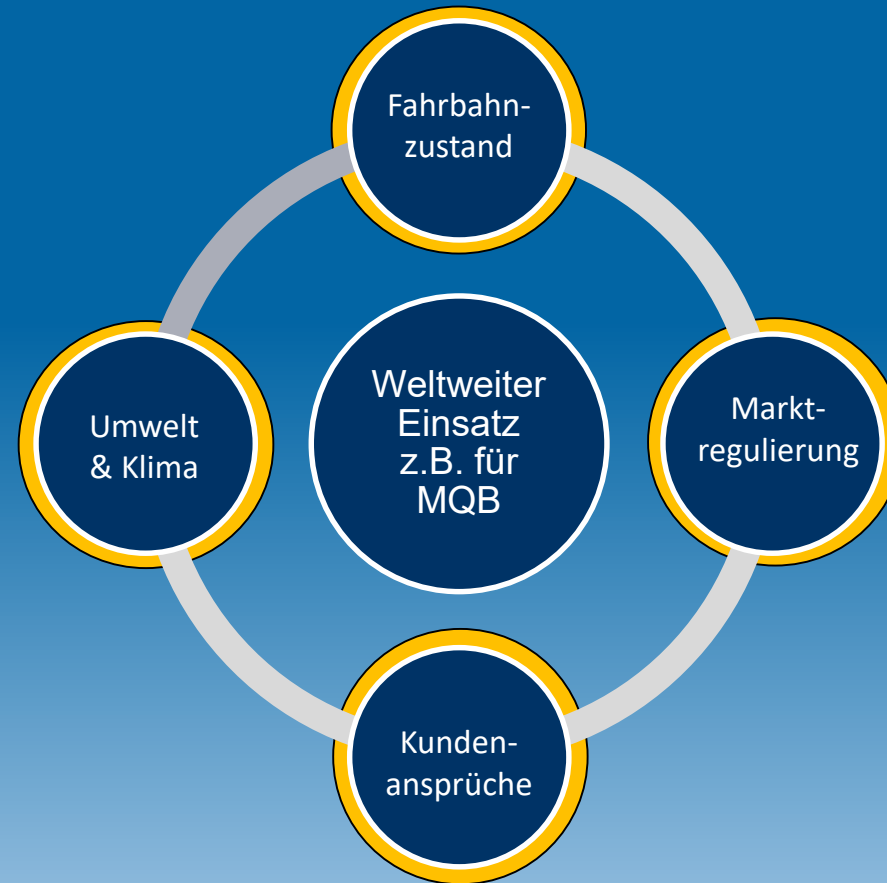
Achserprobung und Freigabe: Fahrzeug und Prüfstand



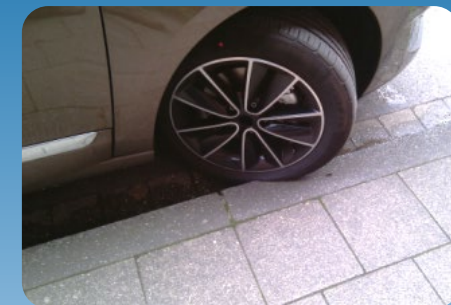
- Unbefestigte Straßen
- Naturstrecke



- Temperatur
- Umweltmedien



- Lokalisierung
- Prüfvorschriften



- Sondermanöver
- Missbrauch

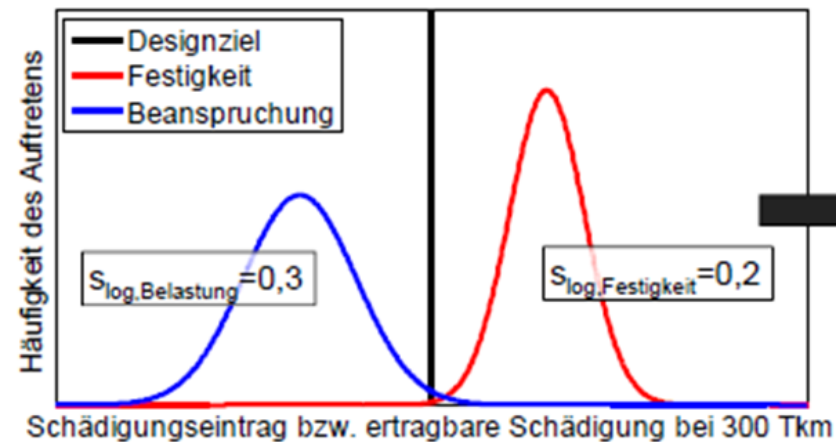
Achserprobung und Freigabe

Für die PKW-Entwicklung gilt folgendes Designziel:

■ Sicherheitsrelevante Bauteile und Baugruppen

- 1% Kunde + 1‰ Bauteil > 300.000 km

Designziel deutscher Automobilhersteller ist „gleich“.



**Abzusichernde
Ausfallwahrscheinlichkeit:**
 $P_A \approx 130 \text{ ppm}$
(theoretischer Wert, der
folgend als Bezugswert
verwendet wird)

Keine Bauteilfreigabe ohne Versuch!

Achserprobung und Freigabe

Start
Vorentwicklung

SOP

Virtuelle Lastannahme



Konstruktion
& Lastenheft

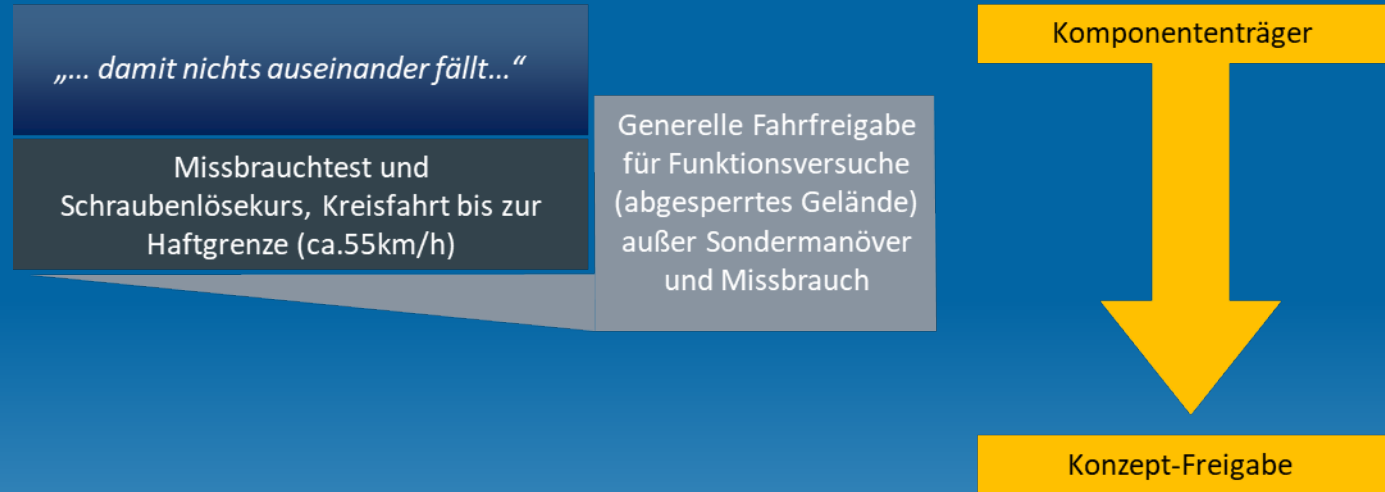
Prototypen-
Benchmark

Prüfstand /
Zeitdaten

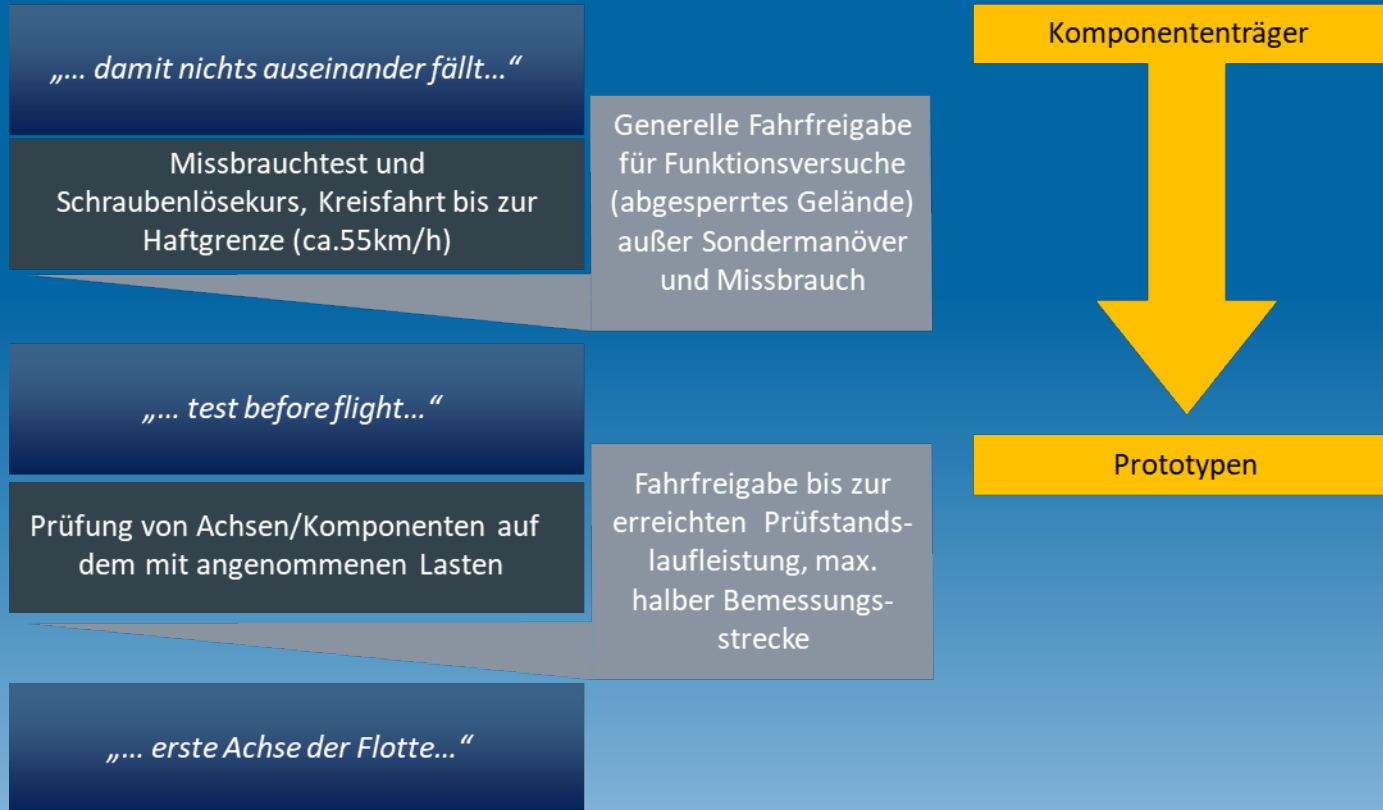
Prototypen-Teile

Komponententräger

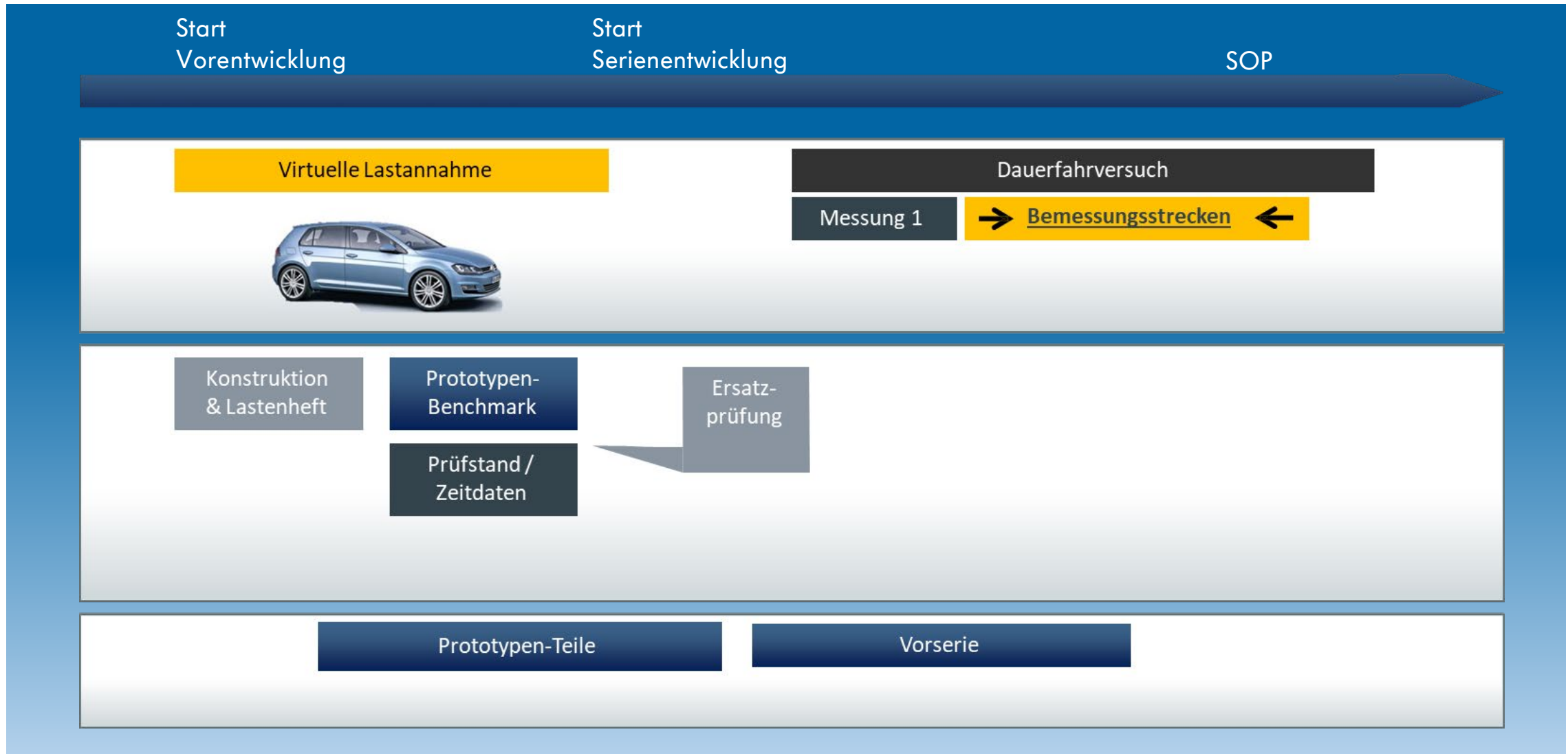
Achserprobung und Freigabe



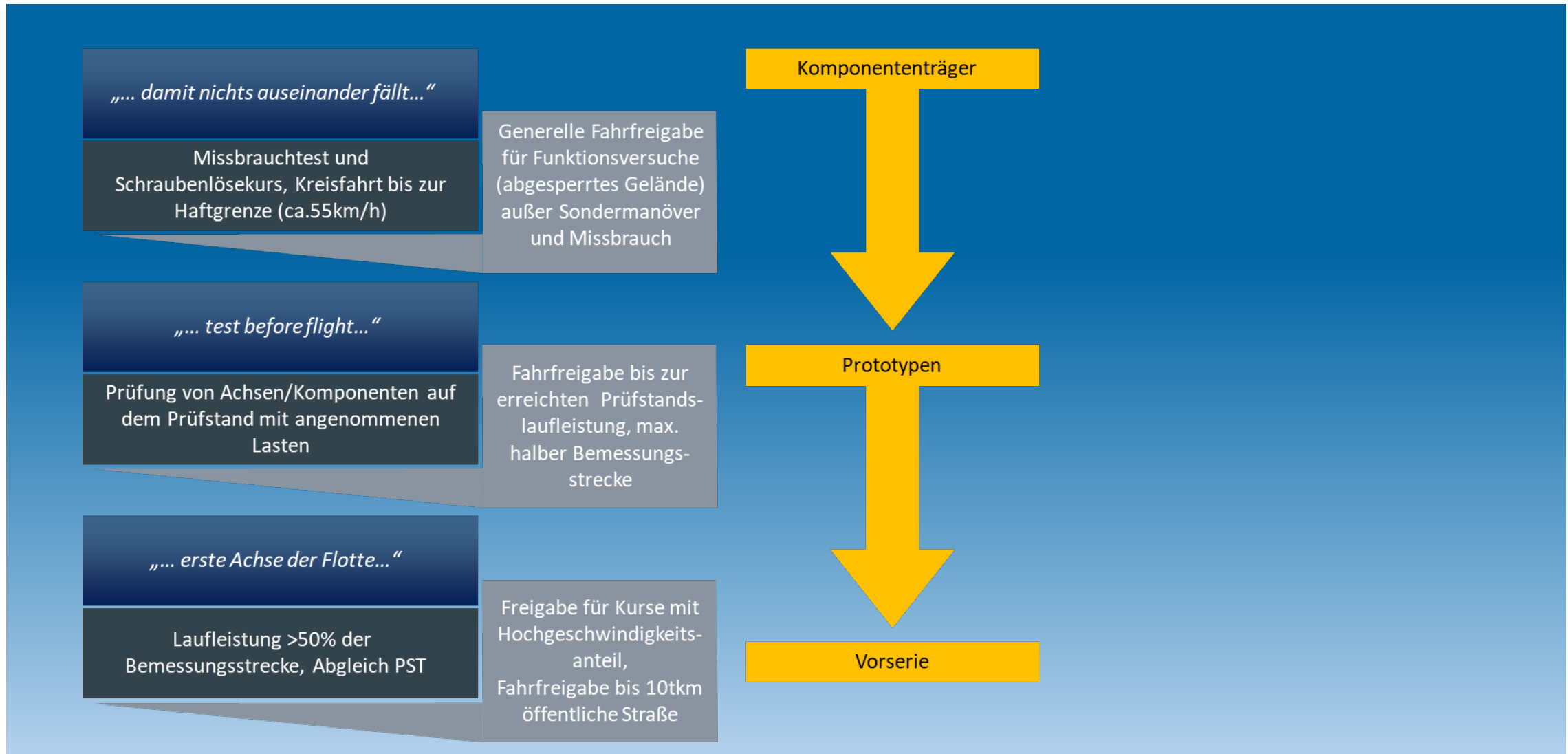
Achserprobung und Freigabe



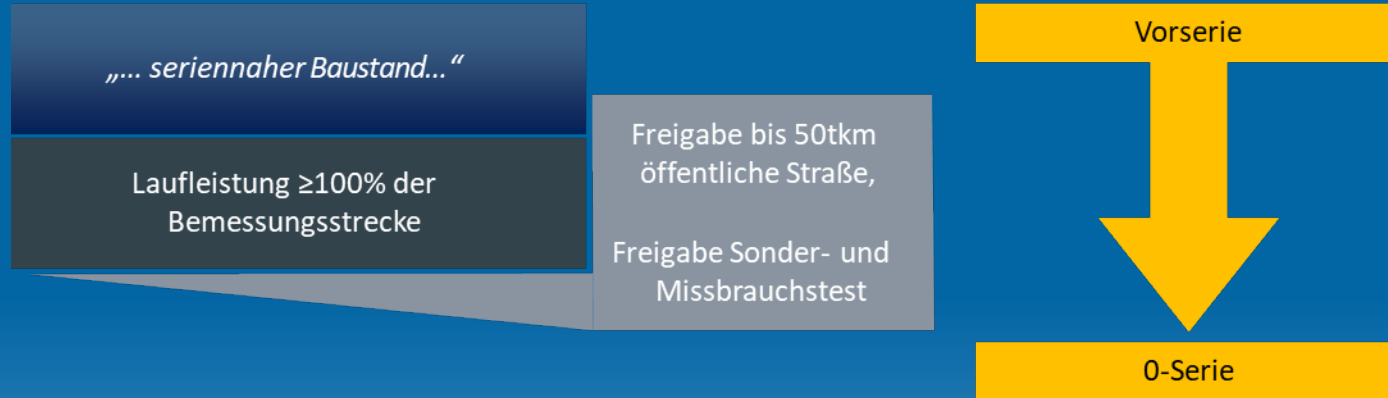
Achserprobung und Freigabe



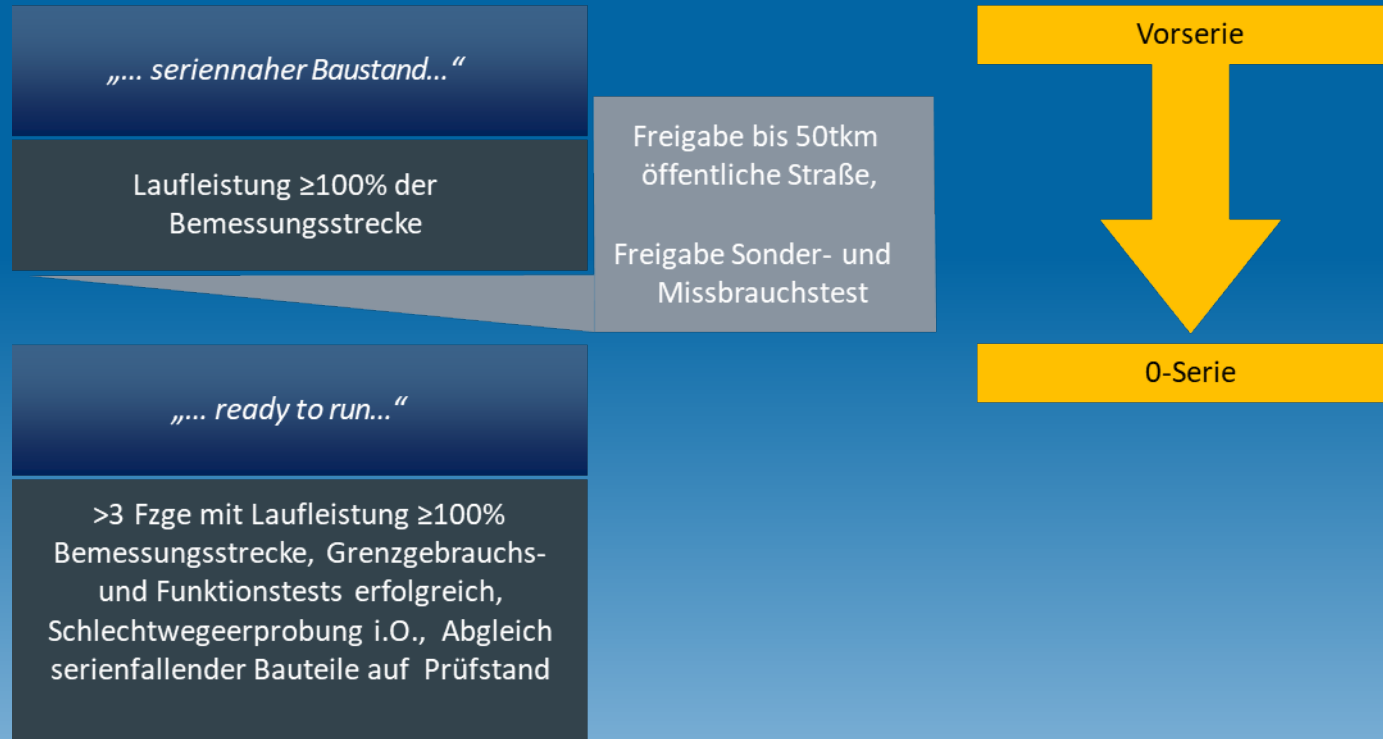
Achserprobung und Freigabe



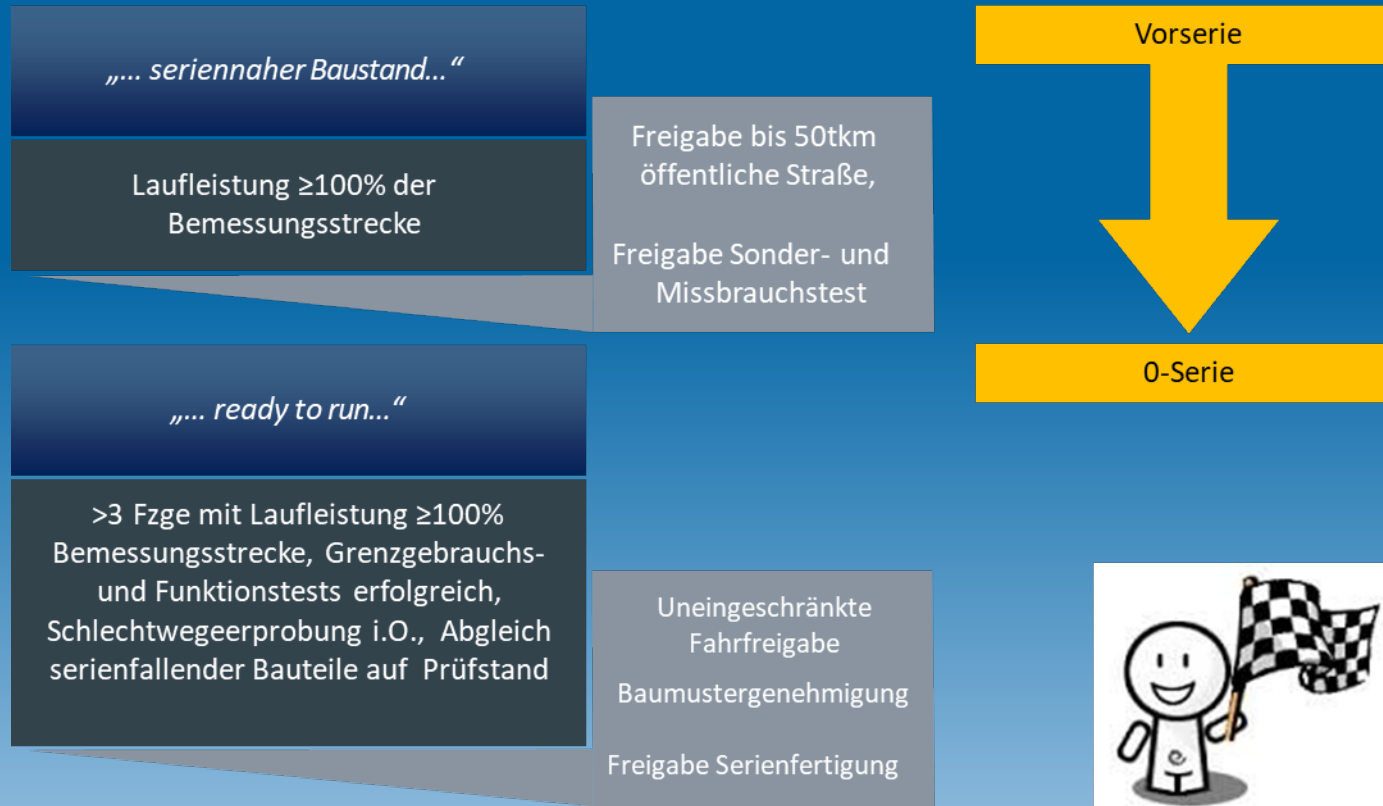
Achserprobung und Freigabe



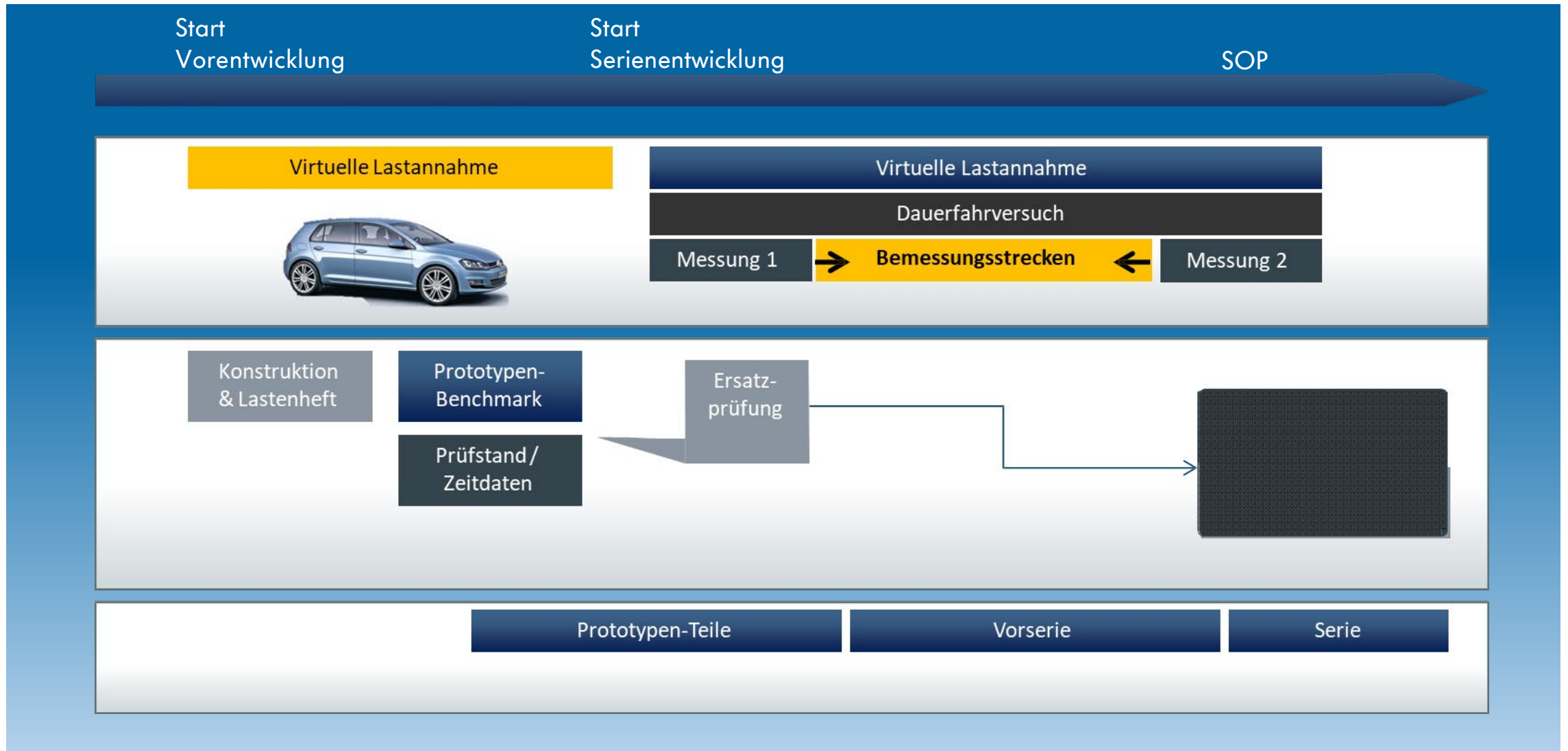
Achserprobung und Freigabe



Achserprobung und Freigabe



Achserprobung und Freigabe



Achserprobung und Freigabe



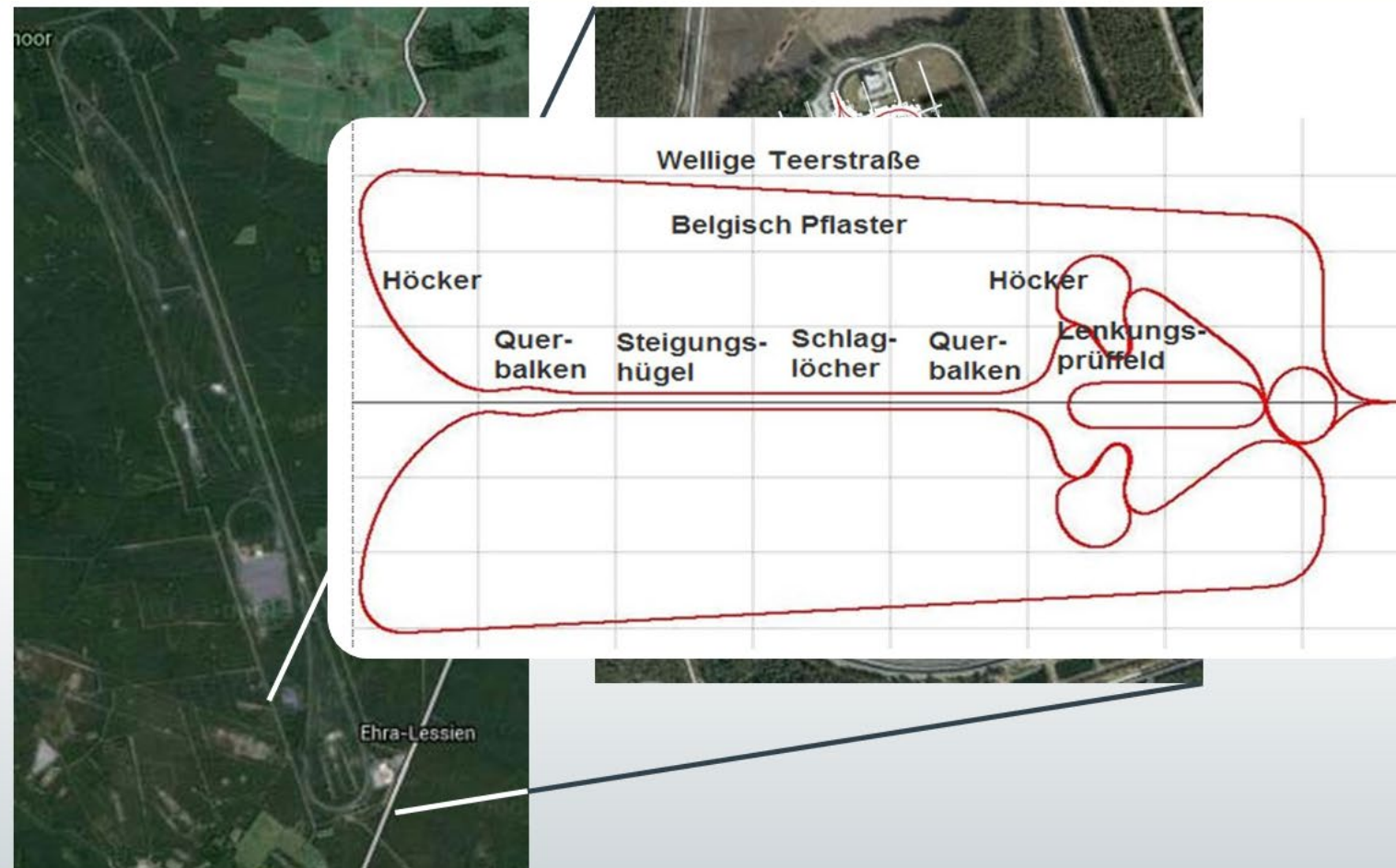
$v=60\text{km/h}$

„geparkt“



Erprobungsgelände Ehra-Lessien

Erprobungsrelevante Bemessungsstrecke für die Festigkeitsfreigabe



Dauerlaufkurs „Ehra verschärft“

- Wasser- und Schlammdurchfahrt
- Nachbildung unterschiedlicher Asphaltstraßen
- Kundenrelevante Kopfsteinpflaster-Strecken
- Verschiedene Schlagloch/Höcker-Konturen
- Hohe Anregung in Quer- und Längsrichtung

Belgisch Block



Diagonal-Schlaglöcher



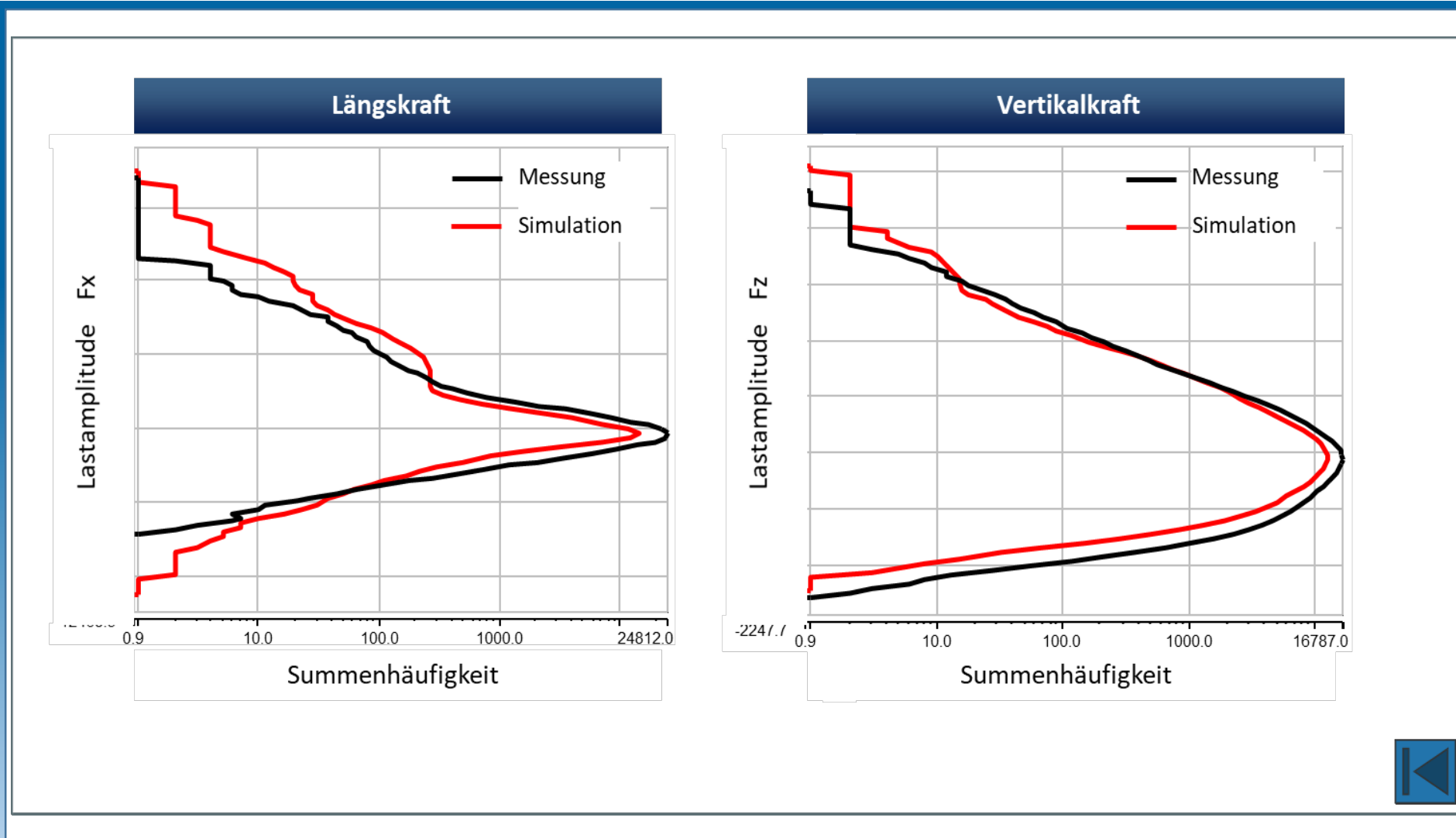
Salzwasser



Höckerkurve

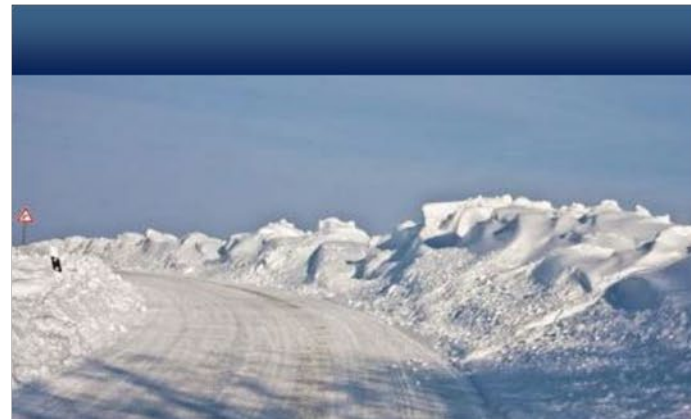


Lastkollektivvergleich: Messung vs. Simulation



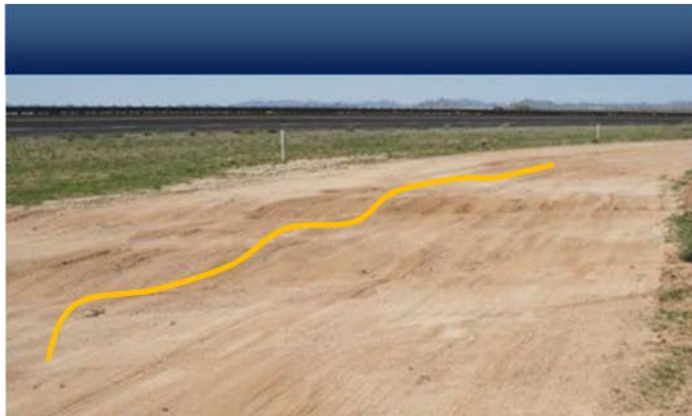
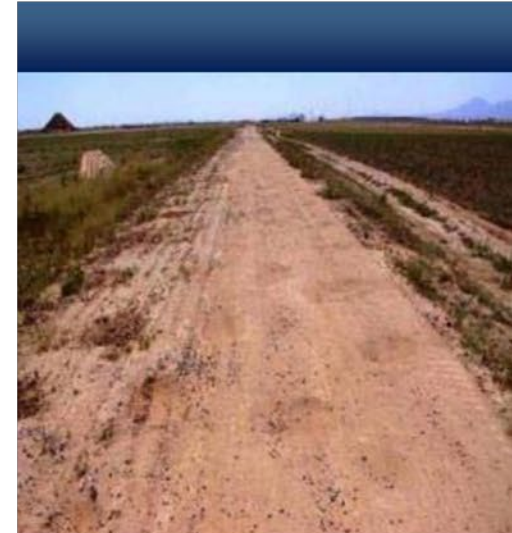
Umwelteinflüsse: Kaltland

- Temperatur
- Schneebewurf, -eintrag, Eisaufbau (Funktionserfüllung)
- Funktionsversuche (Missbrauch, fahrdynamischer Grenzbereich, ESP, ABS,...)
- Akustische Beurteilung (Geräuschentwicklung)
- Belastungen in Vertikal- und Längsrichtung, Querkraftfrei



Umwelteinflüsse: Warmland

- Temperatur
- Aufbaubewegungen
- Schotterbewurf / Steinschlag und Staub
- Extreme Belastungen in Vertikal- und Längsrichtung



Erprobung auf dem Prüfstand: Gesamtfahrzeugprüfstand



Erprobung auf dem Prüfstand



Erprobung auf dem Prüfstand

Technische Entwicklung

Vorerprobung / Konzeptfreigabe

Achssysteme, Achskomponenten

Realitätsnaher Aufbau, mehrachsig, Nachfahrsignal, Unkenntnis realer Lasten (Simulationsgüte unbekannt)

Zweck:

Aufdeckung kritischer Stellen, Nachweis von Optimierungsmaßnahmen,

Baumustergenehmigung

Nachfahrprüfungen mit gemessenen Betriebslastensignal

Zweck:

Beurteilung serienfallender Teile für Freigabeentscheid

Erprobung auf dem Prüfstand

Zulieferer

Entwicklungsbegleitung / Bemusterung

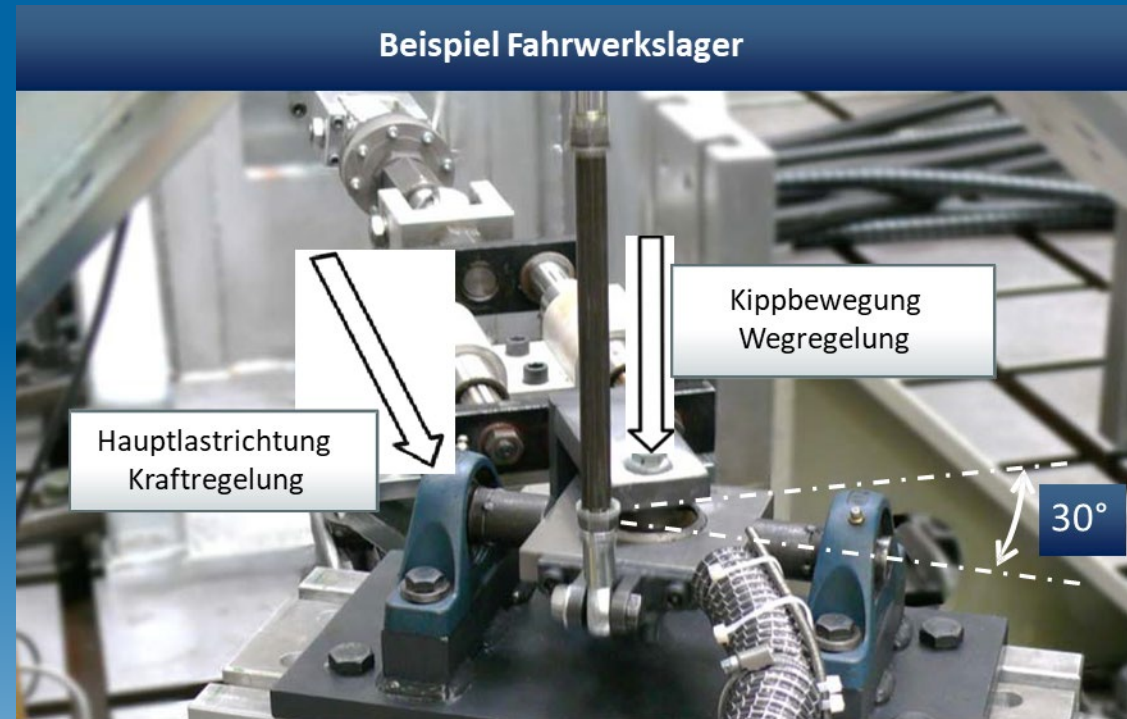
Achskomponenten, Bauteile

Prüfaufbau mit vereinfachter Beanspruchungskomplexität abgeleitet aus Betriebslastensimulation oder Messung

Zweck:

A-B-Vergleich zum Freigabestand bei Bauteiländerungen, Fertigungs- oder Werkzeugänderung, -erweiterung oder Verlagerung, Feststellung der Gleichwertigkeit verschiedener Baustände, Nachweis von Verbesserungsmaßnahmen

Erprobung auf dem Prüfstand



2K – Ansatz mit vereinfachter Mechanik



geringer Wartungsaufwand
kurze Wechselintervalle

Erprobung auf dem Prüfstand

Zulieferer

Entwicklungsbegleitung / Bemusterung

Achskomponenten, Bauteile

Prüfaufbau mit vereinfachter Beanspruchungskomplexität abgeleitet aus Betriebslastensimulation oder Messung

Zweck:

A-B-Vergleich zum Freigabestand bei Bauteiländerungen, Fertigungs- oder Werkzeugänderung, -erweiterung oder Verlagerung, Feststellung der Gleichwertigkeit verschiedener Baustände, Nachweis von Verbesserungsmaßnahmen

Qualitätssicherung

Serienbegleitende Prüfung

Bauteile

Vereinfachter Prüfaufbau mit meist einfacher Beanspruchung (einkanalig, einstufig), qualitätsüberwachenden Charakter mit begrenzter Aussage zur Laufleistung

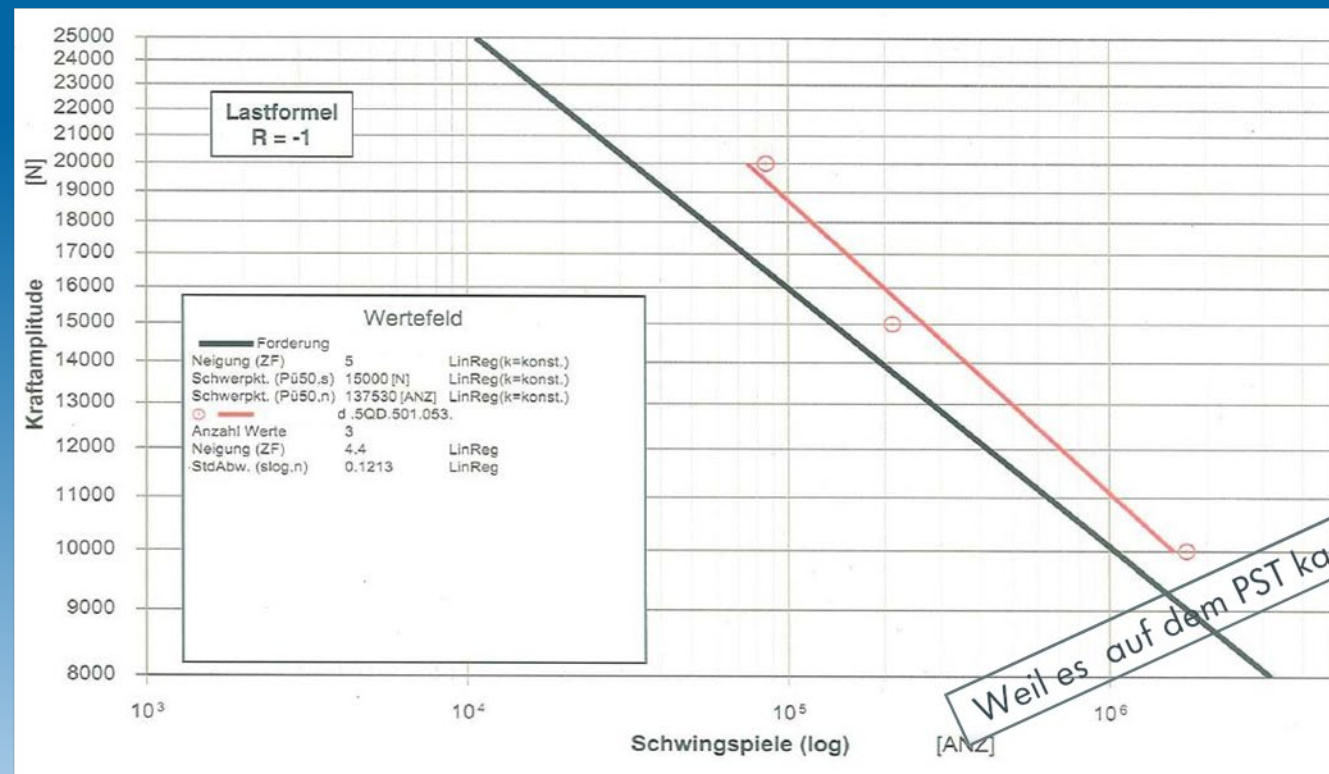
Zweck:

Abprüfung eines Merkmals zur Überwachung Fertigung, Kontrolle der Streuung (z.B. Werkzeugverschleiß)

Fahrzeug vs. Prüfstand

„Lücke“ zwischen Forderung Prüfstand und Fahrversuch!

Prüfstandforderungen liegen deutlich über den Anforderung der Bemessungstrecke, insbesondere, wenn sie nur aus Messungen abgeleitet werden.



Zusammenfassung Prüfstandserprobung

Fahrwerke sind sicherheitsrelevante Bauteile und werden betriebsfest ausgelegt.

→ *1%-Kunde, Abschätzung der Beanspruchung, begrenzte Einsatzdauer*

Keine Freigabe ohne Versuch!

→ *Festigkeitsnachweis im Dauerfahrversuch und /oder auf dem Prüfstand erforderlich*

Fahrfreigabe geschieht in mehreren Stufen auf bekannten Bemessungstrecken.

→ *Missbrauch, Sondermanöver, Dauerfahrversuch, Schlechtwegeerprobung*

Prüfstandserprobung für Erprobungsfortschritt, Freigabe und Qualitätssicherung.

→ *Bewertung Teilestand, Prototypen, Vor-Serie, Massenfertigung,*

Lücke zwischen Fahrversuch und Prüfstand.

→ *Kein Bauteil darf im Fzg versagen, aber auf dem Prüfstand kaputt gehen*

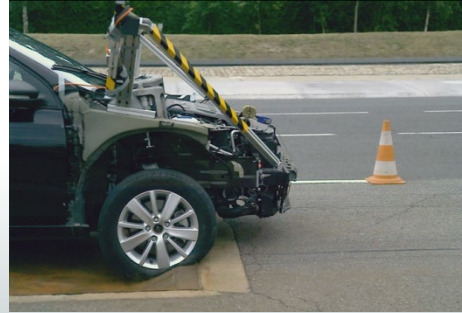
Prüfstände müssen abgeglichen sein.

→ *Beanspruchungsmessung Fzg und Ableitung Prüfsignal, Vereinfachung, Verlässlichkeit der Ergebnisse*

Überblick Achserprobung

Missbrauch

- Schwelle / Schlagloch
- Bordstein-Anrutschen
- Bordstein rückwärts
- Schraubenfestsitzkurs
- ...

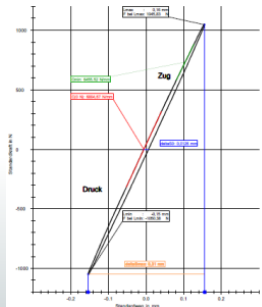


Betriebsfestigkeit

- Achsnachfahrprüfung (Pst.)
- Ersatzprüfungen (Pst.)
- Fzg.-DL (EVP, EWP, HLP)



Labor / Messtechnik



- Materialkennwerte
- Kennungen
- Einpresskräfte
- Korrosionsschutz
- Schweißnähte / -Spalte
- ...

Funktion

- Akustik
- Freigang
- KL / WL-Erprobung



Sonderversuche

Vorgehensweise Misuse

Kriterium „Qualität“:

Sonderereignisse sind Vorgänge **geringer Häufigkeit**, die dem **bestimmungsgemäßen Gebrauch** des Produkts zuzuordnen sind und die weder zu Funktionsbeeinträchtigungen, noch zu sicherheitsrelevanten Schädigungen, noch zu einer Reduzierung der vorgesehenen Nutzungsdauer führen dürfen.

→ ▲ Spur < 30'/Rad, ▲ Sturz < 60'/Rad, keine LD-Reduz.

Kriterium „Leck vor Bruch“:

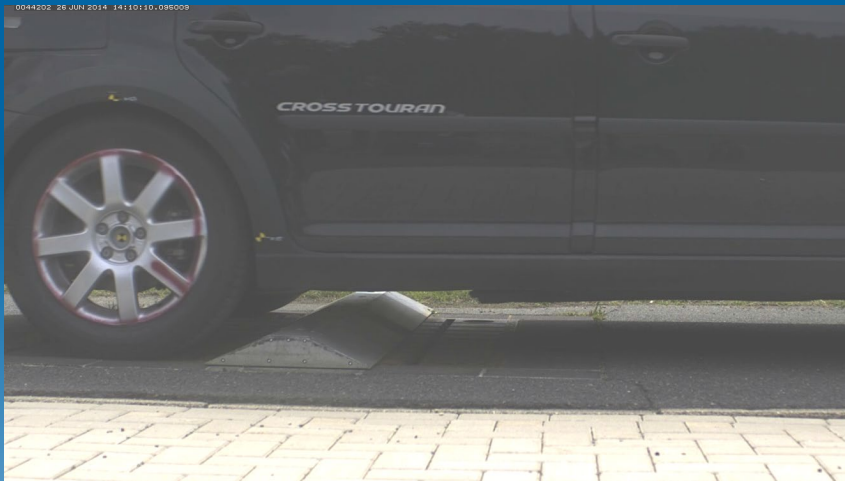
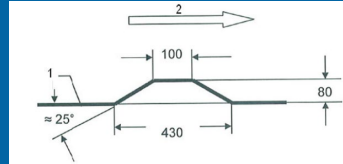
Missbrauchereignisse sind **Einzelereignisse**, die **nicht zum bestimmungsgemäßen Gebrauch** des Produktes gehören.

Sie dürfen zu Funktionsbeeinträchtigungen mit einem definierten Schadensbild (u.a. „Schadenskette“) führen. Die vorgesehene Nutzungsdauer wird im Regelfall reduziert.

→ RM an Fahrer:	Achsen nicht wiedereinstellbar (lokale Verf.) Keine verformungslose Anrisse Keine si-relevanten Vorspannkraftverluste
→ keine RM an Fahrer:	Achse wiedereinstellbar, keine LD-Reduz.

Überblick Schwelle-Schlagloch

Schwelle (80mm Höhe)



Durchführung:

60 km/h, 80% Beladung,
Überfahrt 3 x positiv, 3 x negativ

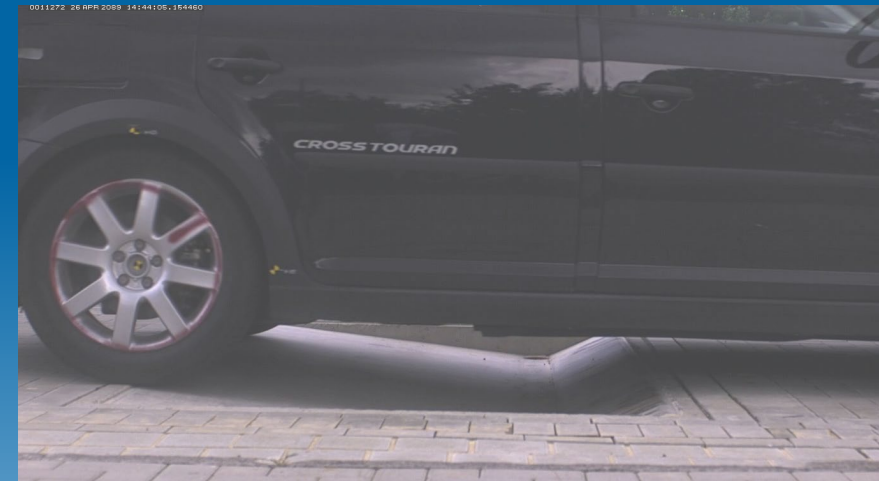
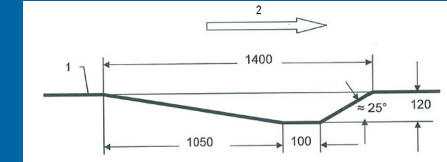
Randbedingung „Qualität“:

EVP-Rad (Flankenhöhe 100-110mm)

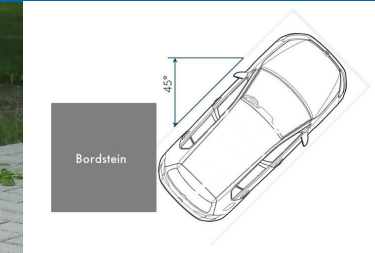
Randbedingung „Leck vor Bruch“:

„Schattenrad“ (größtes Rad mit minimaler FH)

Senke (120mm Tiefe)



Überblick Bordstein rückwärts



Bordsteinhöhen:

bis $\varnothing 700$: $h = 225\text{mm}$ (MQB27, MQBA1, MQBA1-SUV...)

ab $\varnothing 700$: $h = 250\text{mm}$ (MEB NEO, MQBA2-SUV)

ab $\varnothing 750$ - $\varnothing 775$: $h = 275\text{mm}$ (MLBevo, MEB CUV, BSUV)

Randbedingung „Qualität“: EVP-Rad (Flankenhöhe 100-110mm)

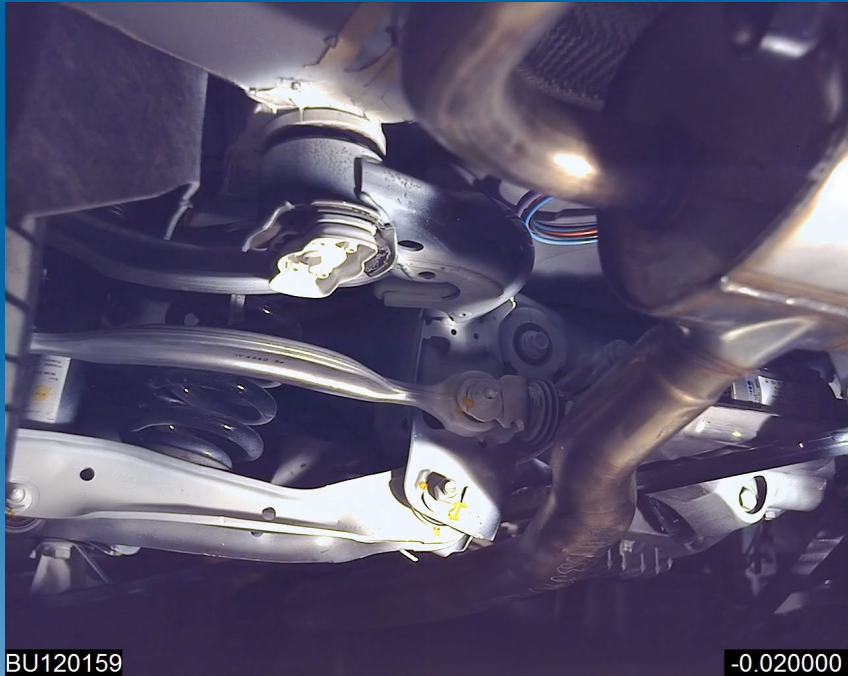
Randbedingung „Leck vor Bruch“: „Schattenrad“ (größtes Rad mit minimaler Flankenhöhe)

Weitere Sonderversuche



Poller rückwärts

Weitere Sonderversuche: Bordstein anrutschen



Randbedingung „Qualität“:

Anprallgeschwindigkeit 6km/h

Randbedingung „Leck vor Bruch“:

Anprallgeschwindigkeit 10km/h

Weitere Sonderversuche: Wasserdurchfahrt

	max. Wassertiefe	Fahrgeschwindigkeit	Anzahl der Durchfahrten	Bemerkung
Wasserdurchfahrt im PG WOB/Ehra	100 mm	10 km/h	5 (10 ^a)	Max. Wassertiefe muss in Bezug zur Standhöhe des Fahrzeuges gewählt werden. Prüfungen ab 300mm Wassertiefe sind mit der zuständigen Fachabteilung abzusprechen.
	100 mm	20 km/h	5 (10 ^a)	
	100 mm	40 km/h	5	
	100 mm	60 km/h	3	
	200 mm	10 km/h	5 (10 ^a)	
	200 mm	20 km/h	3	
	200 mm	40 km/h	1	
	300 mm	10 km/h	5	
	300 mm	20 km/h	2	
	300 mm	30 km/h	1	

Wasserdurchfahrten in:

- WOB
- KL (+30°C)
- WL (-15°C, -30°C), Schneematsch

Anforderungen:

- Die ZSB Anbauteile-Plattform/Unterboden müssen einen sicheren und stabilen Festsitz aufweisen.
- Abreißen, Brüche, Risse, bleibende Verformungen ...sind unzulässig.
- Angesammeltes Wasser muss ungehindert ablaufen können.



Weitere Sonderversuche: Schraubenfestsitz

Beispiel PG WOB

Ca. 150km Strecke bestehend aus

- Waschbrett
- Belgisch Block
- Lenkungsprüffeldern
- Steigungshügel
- Höckerkurven
- Glatte Teerstraße
- stationäre Kreisfahrt
- (Voll-)Bremsungen, scharfes Anfahren

→ Beobachtung Drehmomentenabfall:
über 30% kritisch

kein Ersatz für einen Dauerfahrversuch



Weitere Sonderversuche: Kaltland

Kaltland:

- Funktion bei Schneebewurf/Kälte
- Akustik
- Bergeversuche
- Wasserdurchfahrt
- ...

Geräuscentwicklung



Bergeversuche

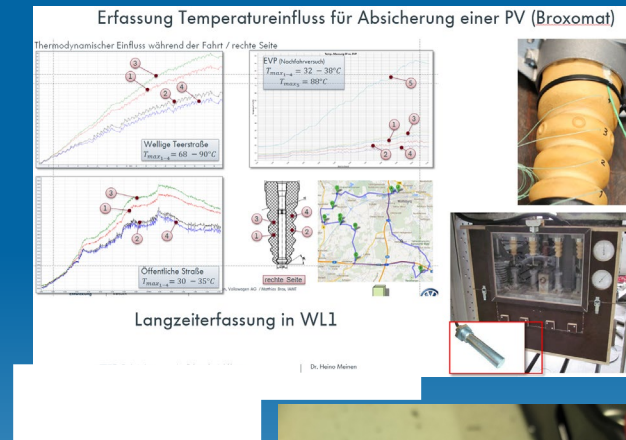


Weitere Sonderversuche: Kaltland

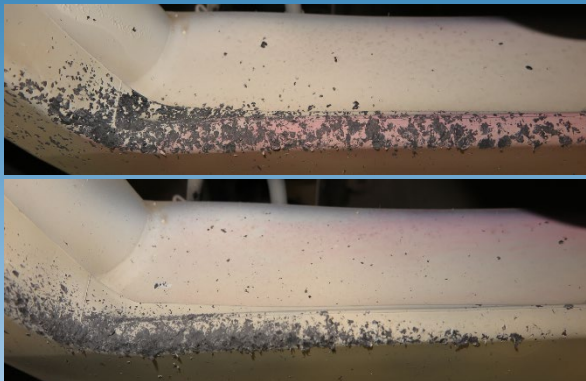
Geräuscentwicklung



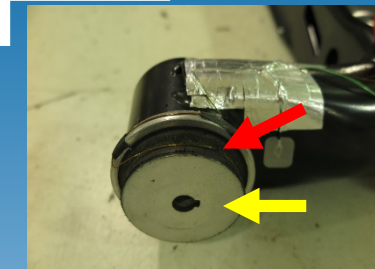
Temperaturverläufe



Steinschlaguntersuchung



Erstellung Warmland-EP



Weitere Sonderversuche

Verformung Federlenker:
(aus Gebrauchssicherheit)



Abriss Längslenker:
(Prinzipversuch)



Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende



JETZT ANMELDEN!
www.ATZlive.de

10. Internationales Münchner Fahrwerk-Symposium
25. und 26. Juni 2019 | München **ATZ** live

Challenges and benefits for lightweight chassis components focusing on rear axle development

Dr. Thomas Kersten,
Volkswagen AG
Dr. Sierk Fiebig,
Volkswagen AG



Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

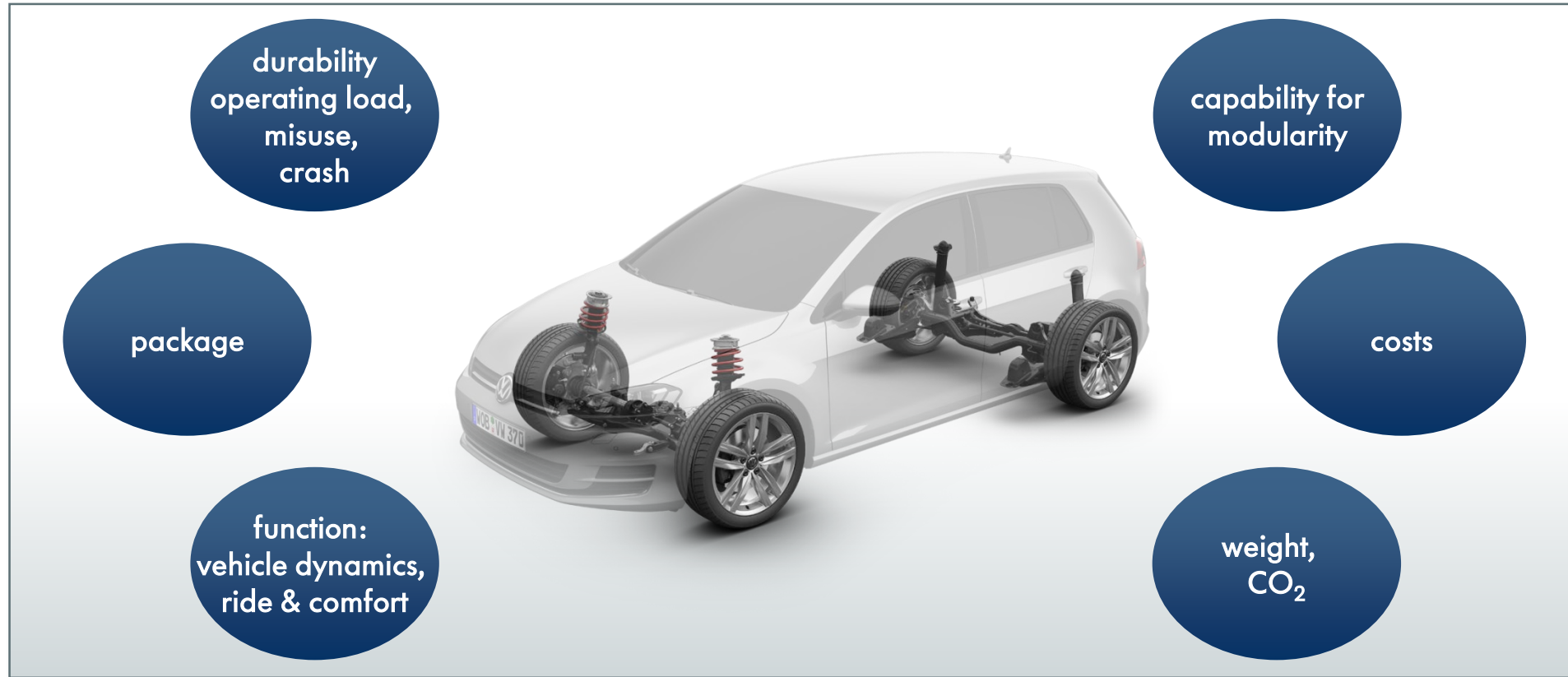
Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



Requirements for the chassis and its components



» the chassis is responsible for ~25% of vehicle weight and ~20% of costs

Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



Volkswagen rear axle development

customer requests:

- safety, vehicle ride and comfort, driving pleasure

tasks:

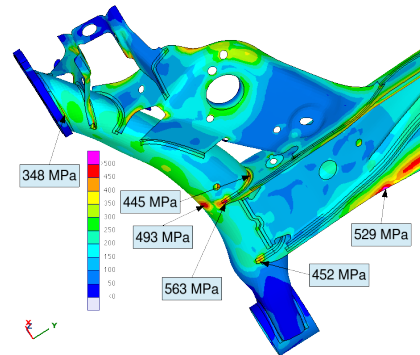
- engineering and kinematic design of rear axle systems
- numerical simulation and analysis
- component approval of functional and strength testing for all vehicle projects for Volkswagen brand

design



e.g. 5-control-arm axle with electric drive

simulation



e.g. stress/strength simulation of a twist beam axle MQB

testing

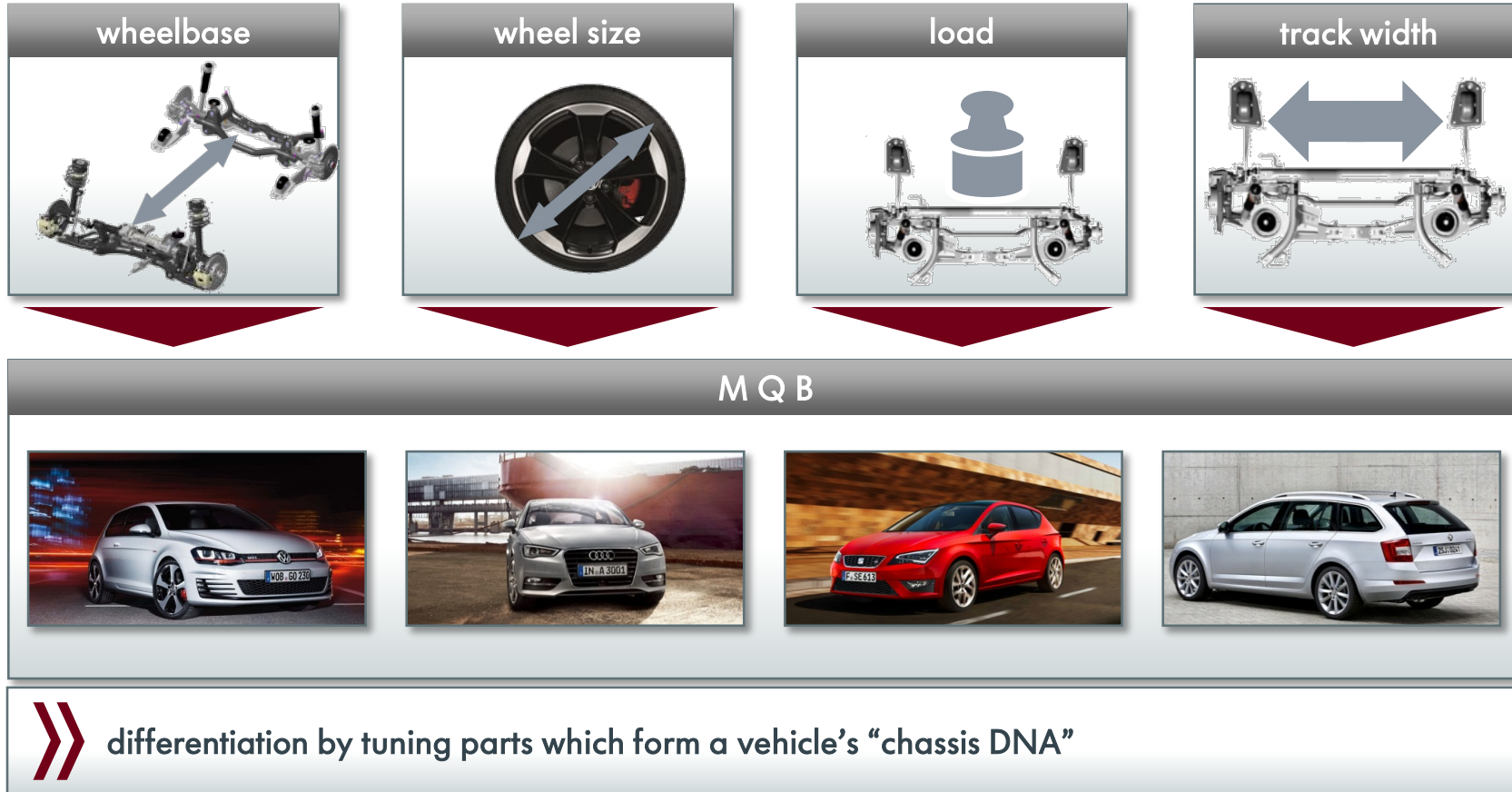


e.g. bollard test



close collaboration between design, simulation und testing during development process

Challenges for the modular rear axle assembly matrix



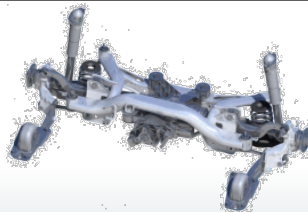
The modular rear axle assembly matrix

axle types

MQB multilink axle



multilink 2x4



multilink 4x4

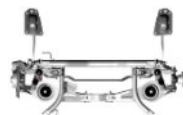
twist beam



twist beam axle

wheel carrier distances

MQB-A1



track width 1



track width 2



track width 2+

MQB-B1/A2

MQB-A1



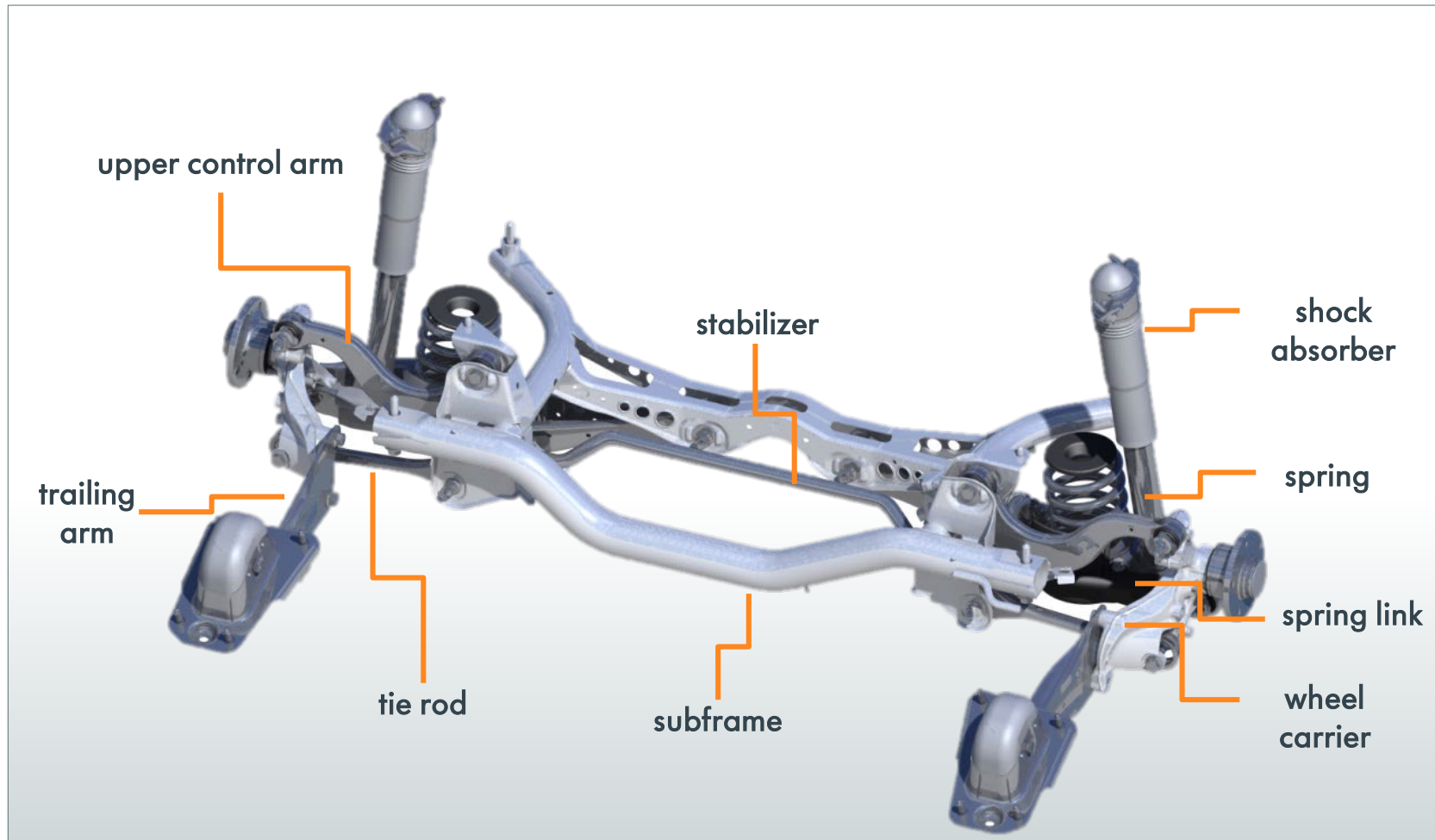
track width 1



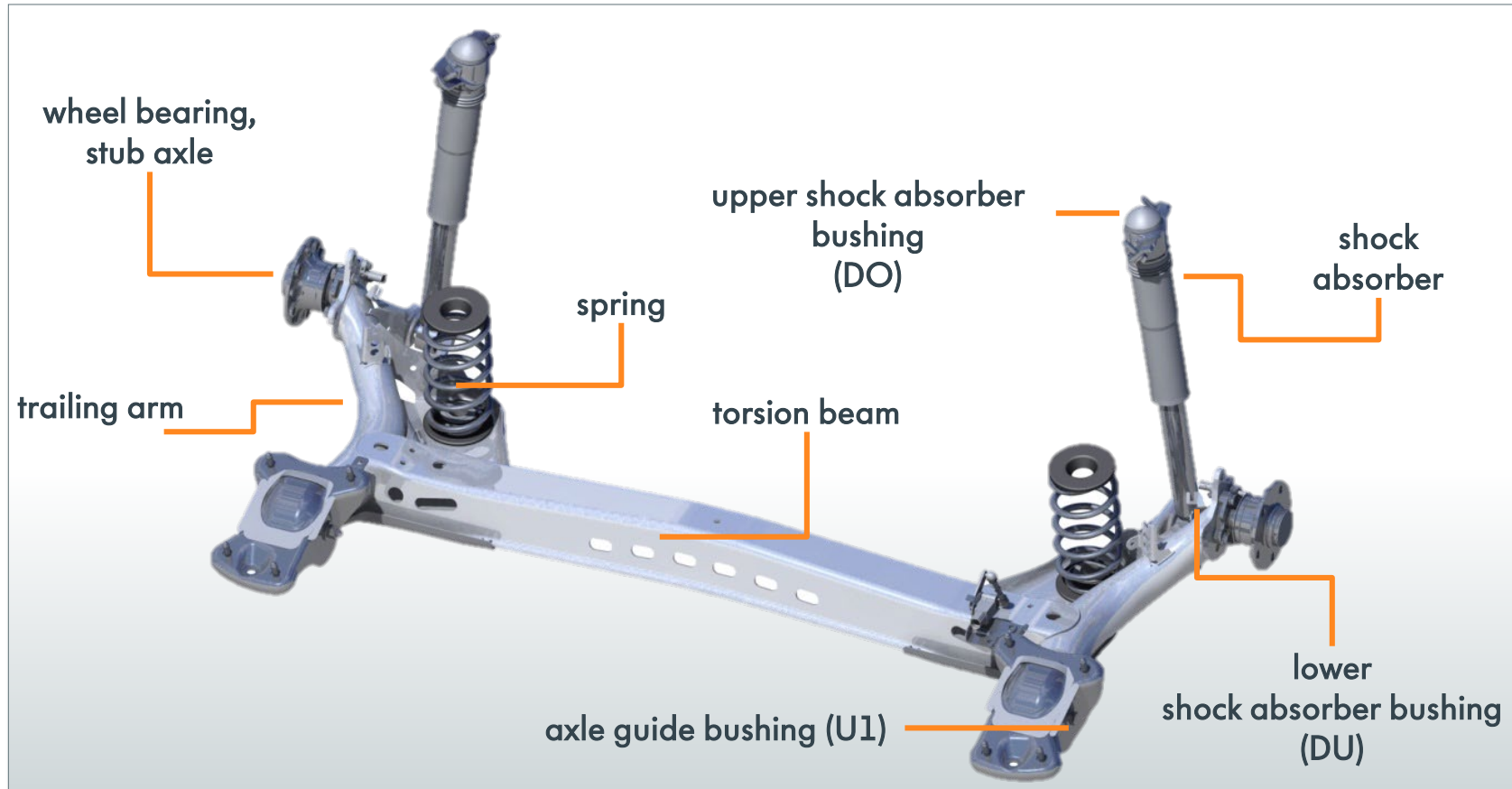
track width 1+



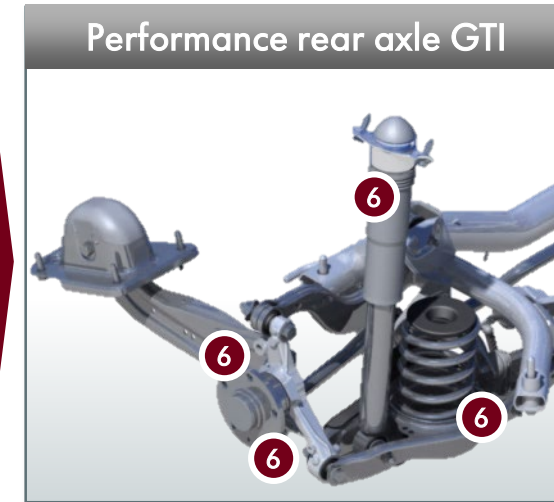
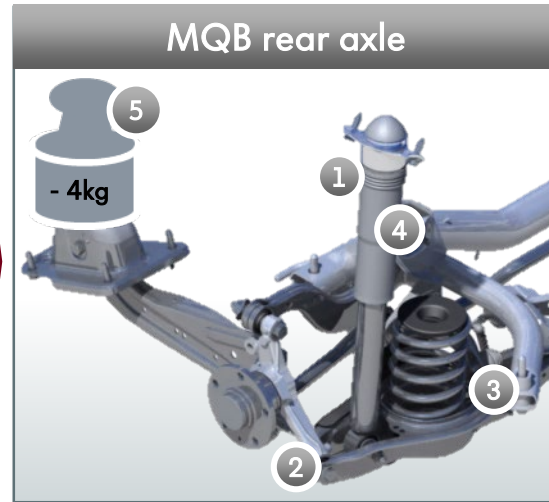
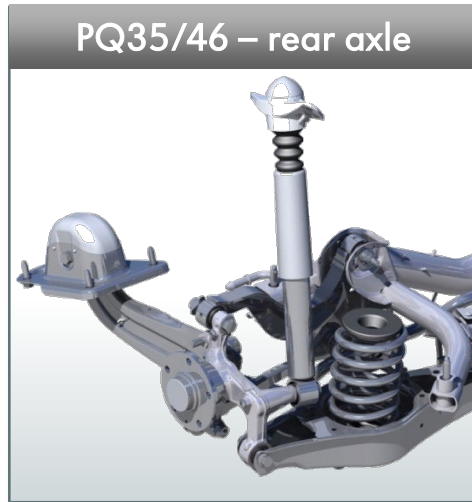
MQB multilink axle (2x4)



MQB Twist beam rear axle



Further development of the rear axle in detail



Optimizations on the rear axle

- ① shock absorber upright
improved package for the fuel filler neck
- ② shock absorber on spring control arm/
reduction of internal forces/
screwing dependent on track width
- ③ stabilizer on spring control arm
- ④ more suspension travel +/-110mm
- ⑤ lightweight design
- ⑥ GTI-specific tuning of
shock absorber, springs, stabilizer
and specific track- / camber adjustment

Approval criteria in chassis testing



- gravel, dirt and dust
- natural tracks



- temperature
- environment media

+ driving stability



- localization
- test specifications



- special maneuver
- misuse

+ driving pleasure



Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



GRP-X-Axle

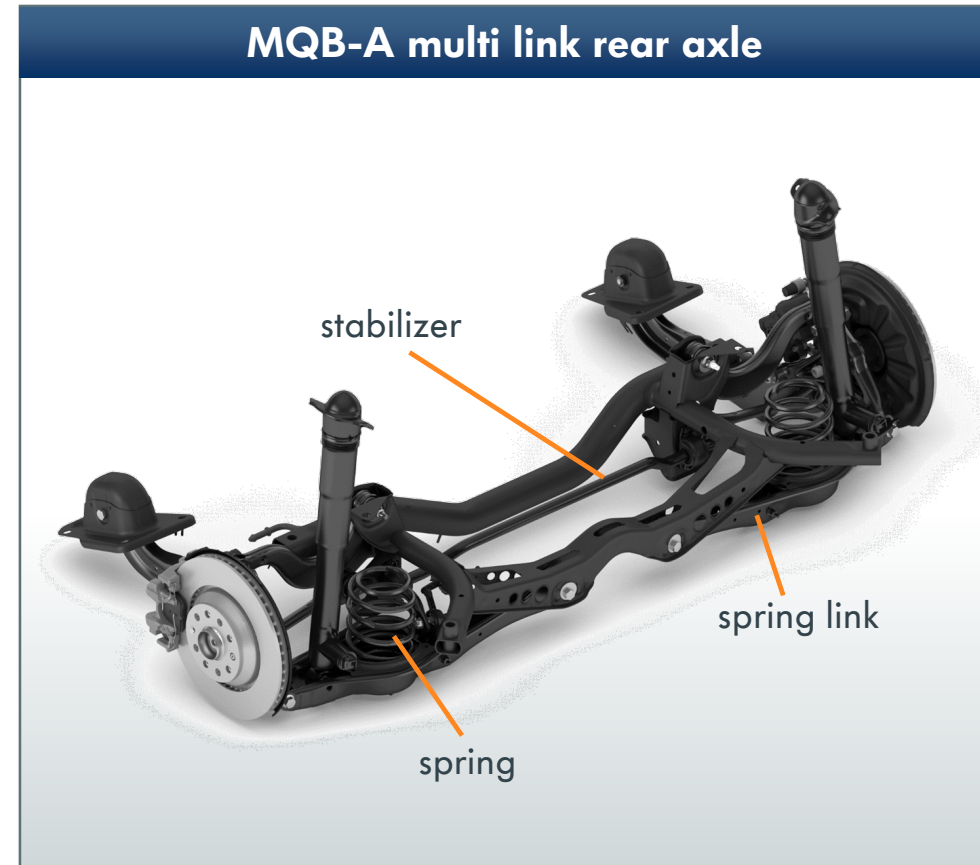
reference axle

product characteristics of the Golf axle

- low weight of the rear axle
- costs: very cost effective
- high production value

targets

- high weight reduction
- acceptable costs
- same kinematic points as MQB-axles
- definition of a concept for variation of spring rates and stand heights



strong lightweight design due to fibre reinforced composites

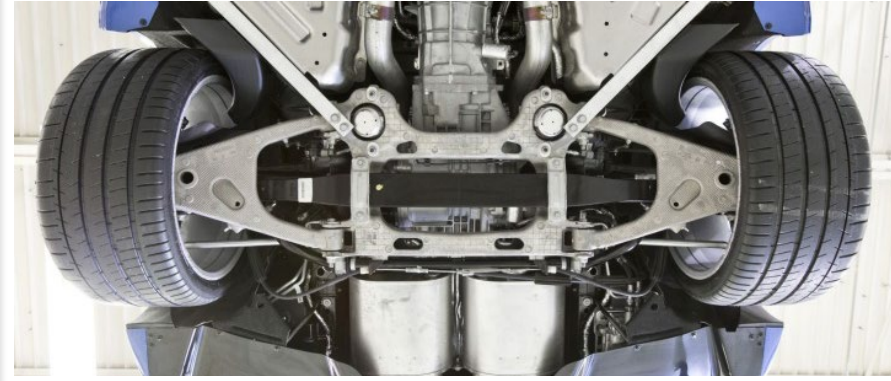
GRP-X-Axle

competitive analyses

ZF composite (GRP)



Corvette C7 (steel)



Volvo XC90 (GRP)



Volkswagen Caddy



GRP-X-Axle

fiber reinforced plastics in chassis-parts

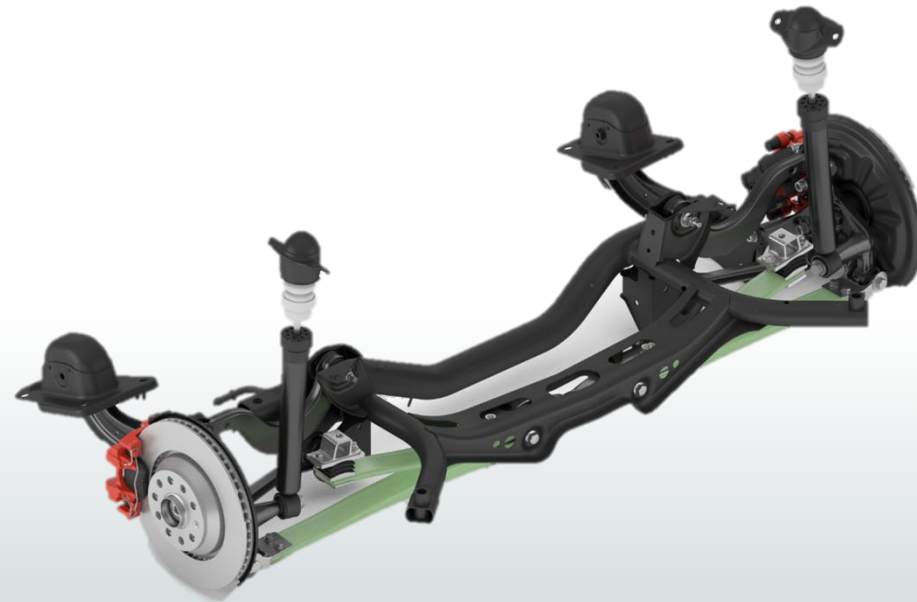
technic

- substitution of
 - springs
 - spring links
 - anti-roll bar
- variation of springs by different geometries and fiber volume content

potential

- weight reduction up to 54%
- unique feature:
first car with wheel-piloting GRP-springs
- acceptable costs

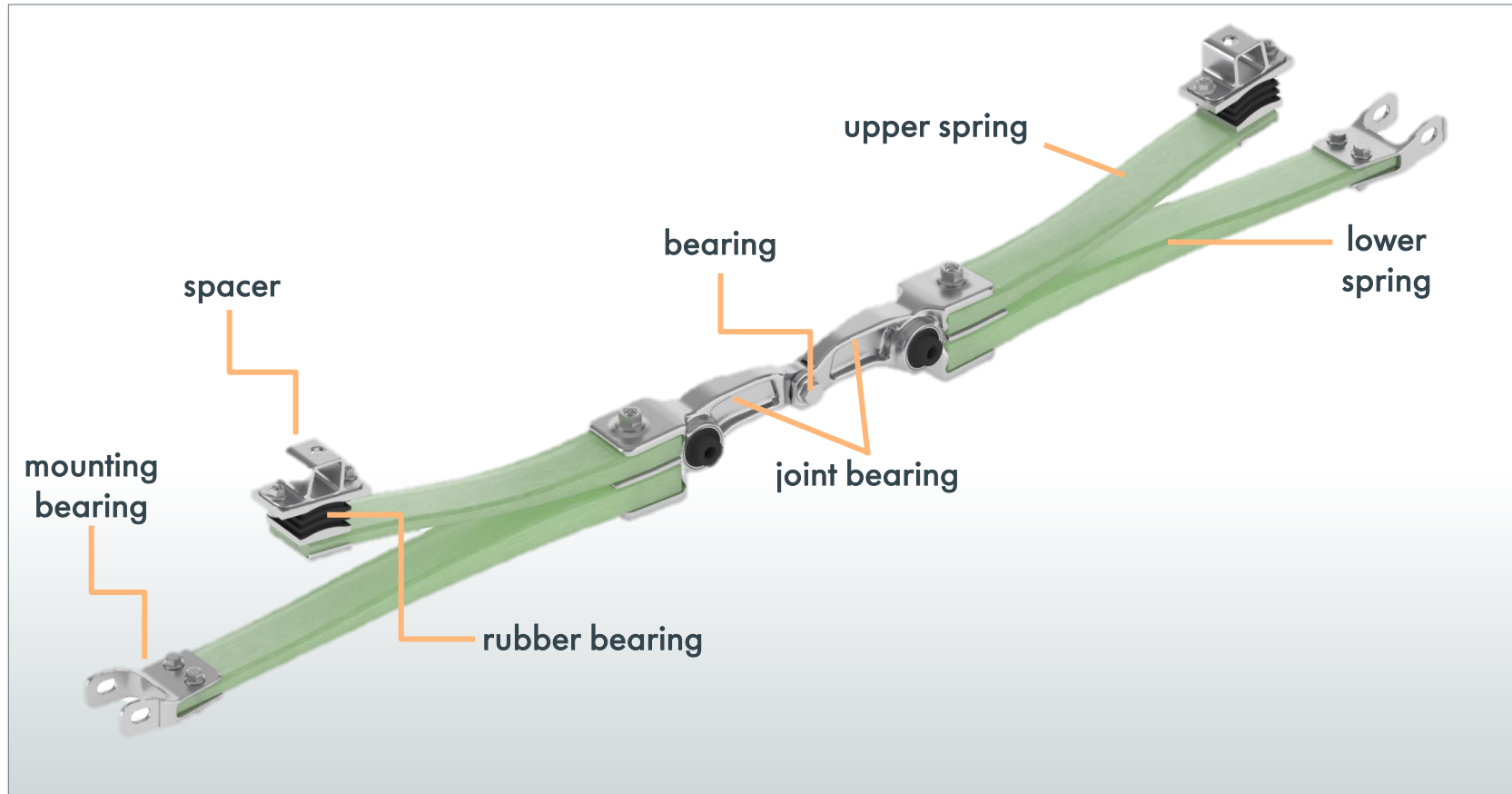
GRP-X-springs for Golf GTI



new concept for axles with potential of dramatical weight reduction while taking equal costs

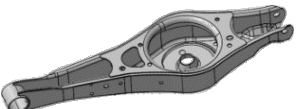
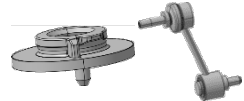
MQB GRP-X-Axle

detailed design



GRP-X-Axle

weight comparison

series-concept Golf	
total weight	100%
stabilizer 	14%
2x springs 	32%
2x spring links 	38%
coupling bar + several small parts 	16%

X-spring-concept Golf	
total weight	47%
GRP springs 	27%
joint-bearing 	8%
mounting bracket 	3%
spacer and rubber bearing 	9%

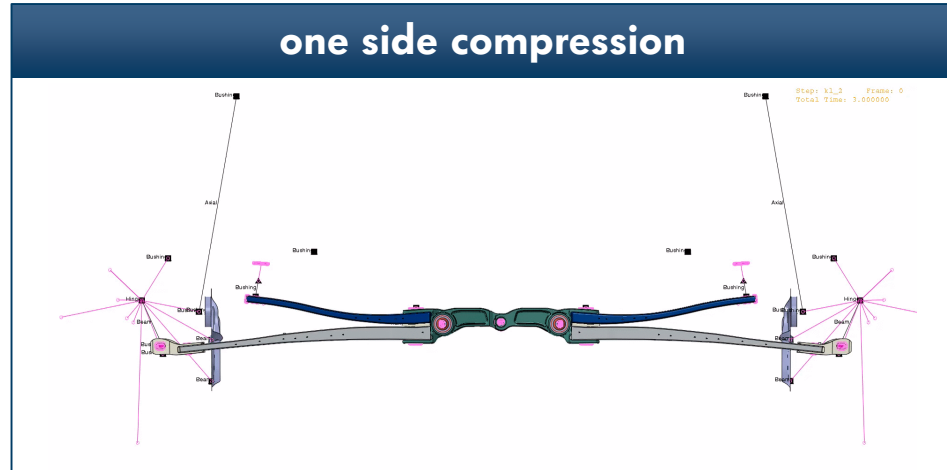
» the GRP-X-Spring design is a combination of strong lightweight design and robustness

GRP-X-Axle

function analysis

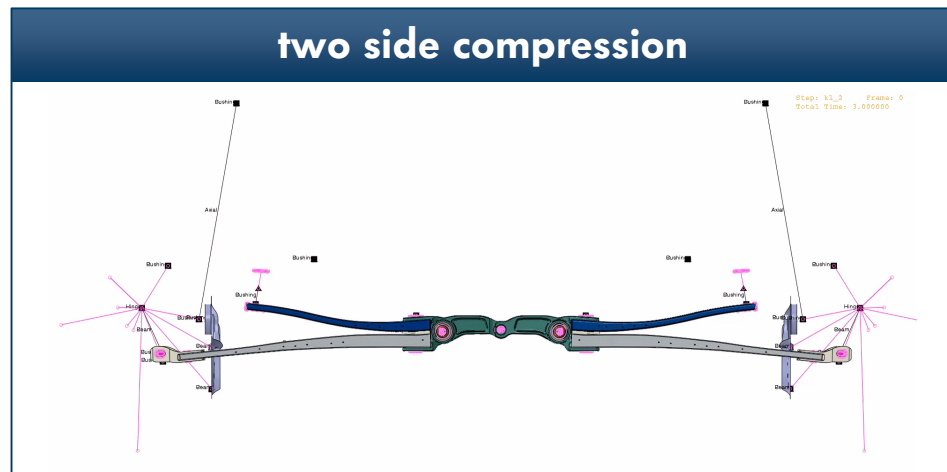
load case 01 – extreme curves

- one side compression
- without rotation of joint bearing around U3-bearing-point
- most loads carried by lower spring



load case 02 – vertically kick

- two side compression
- joint bearings rotate around U3-bearing-point
- most loads carried by upper spring



GRP-X-Axle

test status

test in test rig

- ✓ test of load cases used for design
- ✓ measurement of spring rate and rate of anti-roll bar
- ✓ successful endurance test



test in car

- ✓ build-up of prototype car
- ✓ determination of kinematics
- ✓ cold climate testing
- practical test of comfort and driving dynamics



GRP-X-Axle

conclusion

successful predevelopment of an axle with fiber-glass reinforced plastics material

- same cost level as current series
- weight reduction of ~7kg
- improvement of corrosive issues

successful testing of the axle

- result at axle-test-rig are ok
- positive feedback at first driving experiences



transferability of concept into other vehicle classes is proved

Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

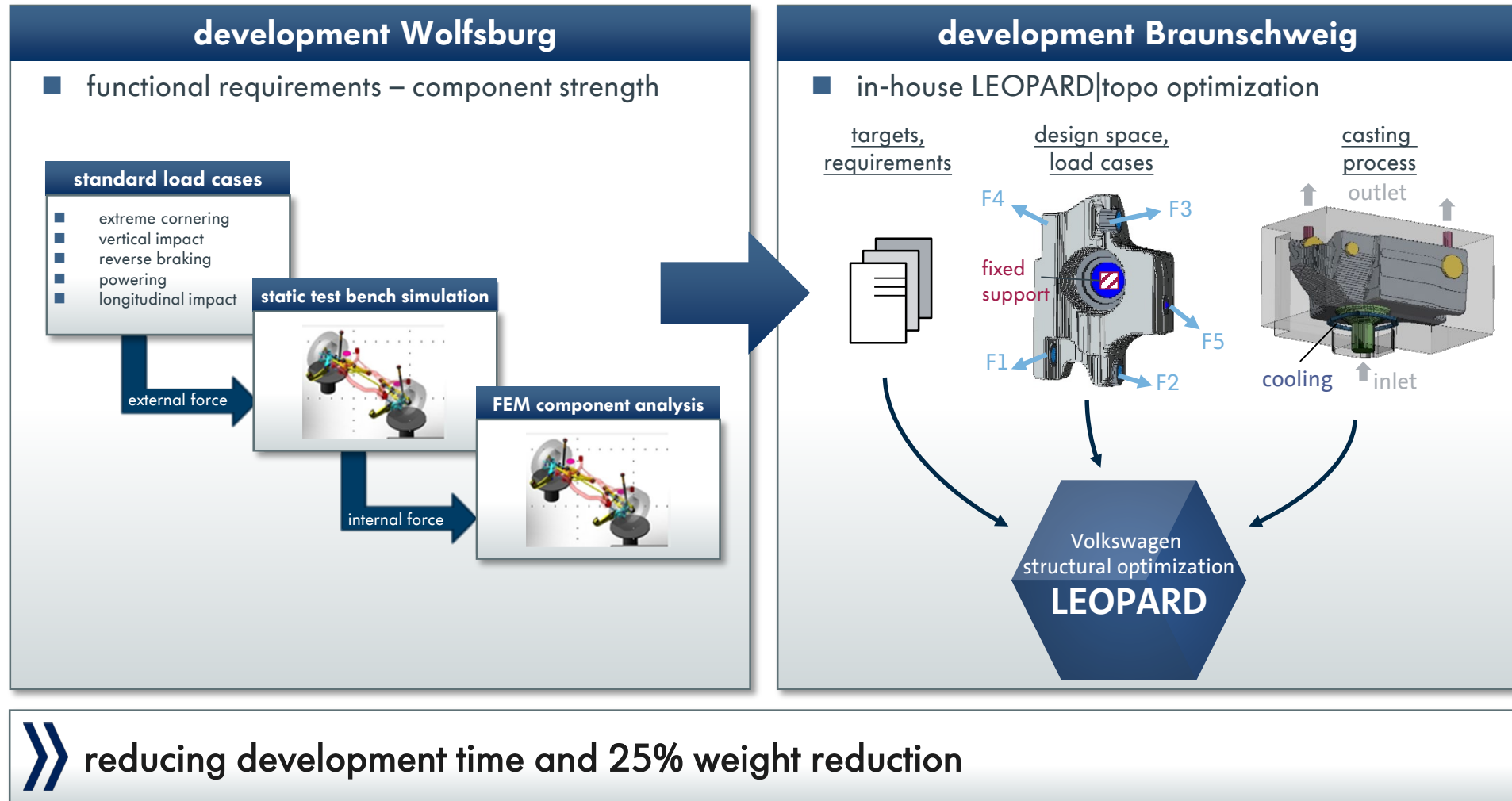
Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



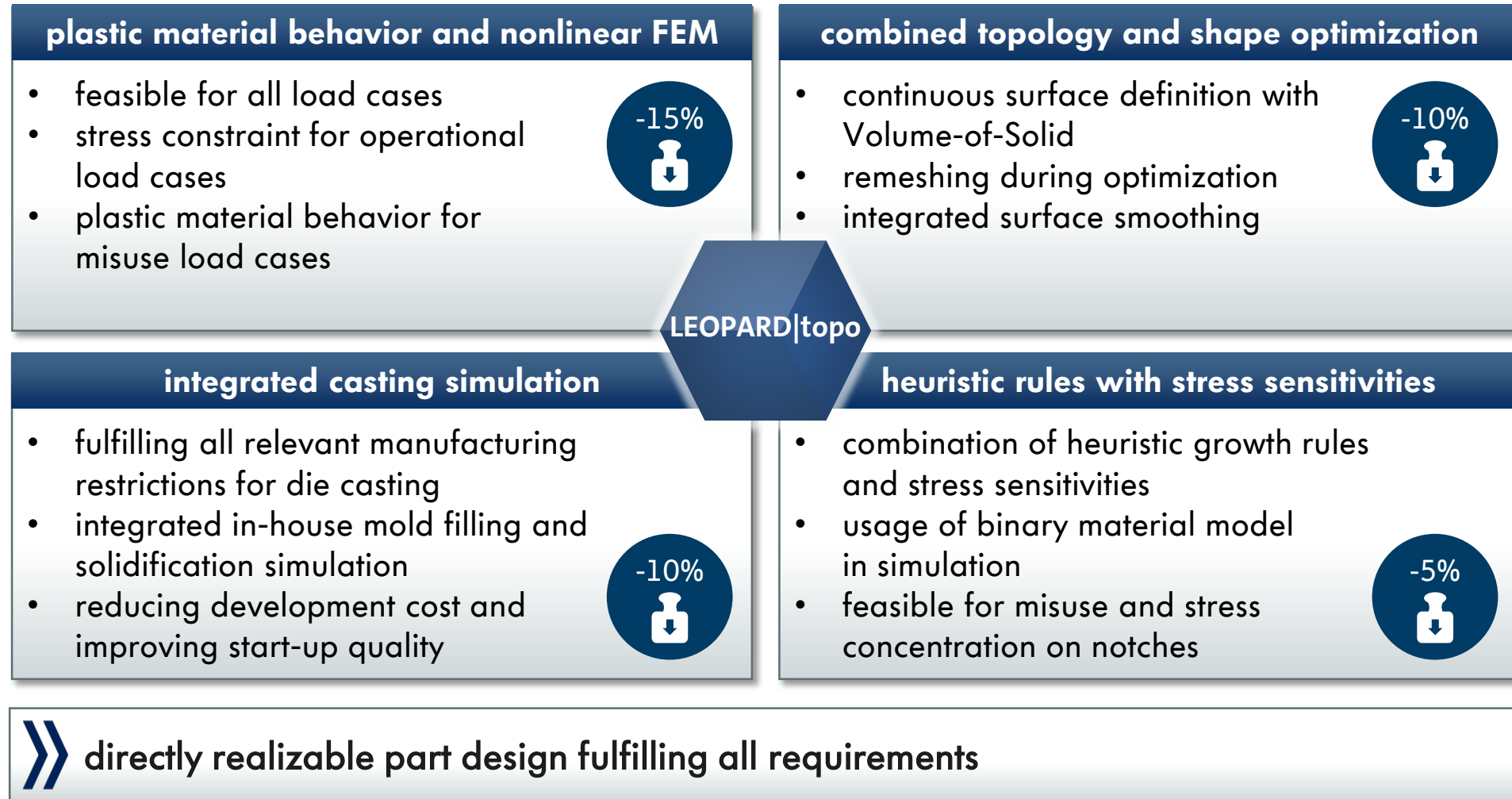
lightweight design with LEOPARD|topo optimization

example: wheel carrier



in-house optimization LEOPARD|topo for cast parts

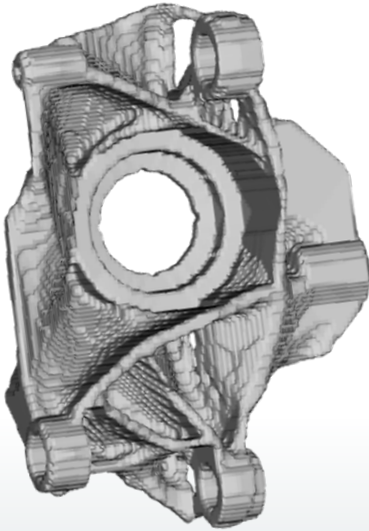
highlights



in-house optimization LEOPARD|topo for cast parts

wheel carrier optimization

commercial software



no misuse

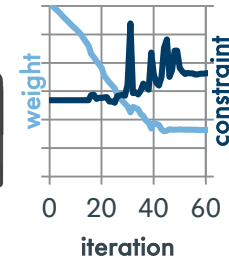
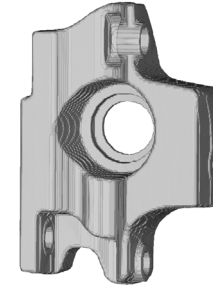
not castable

no integrated shape optimization

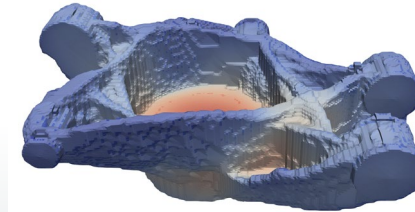
LEOPARD structural optimization



optimization
process



casting
simulation



all mechanical requirements fulfilled



castable without geometrical changes



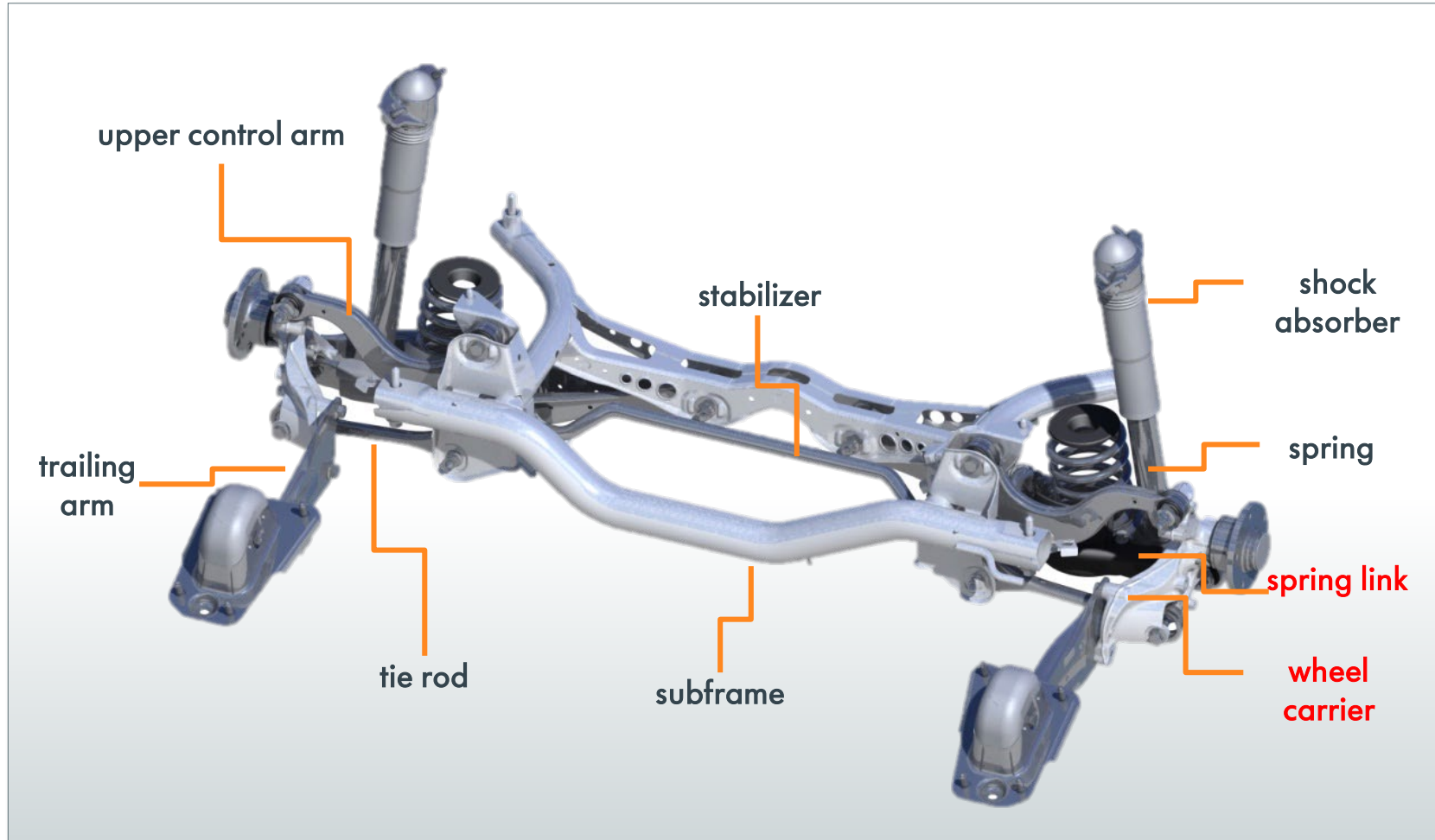
integrated smoothing and shape optimization



clear advantages in the development process with in-house optimization software

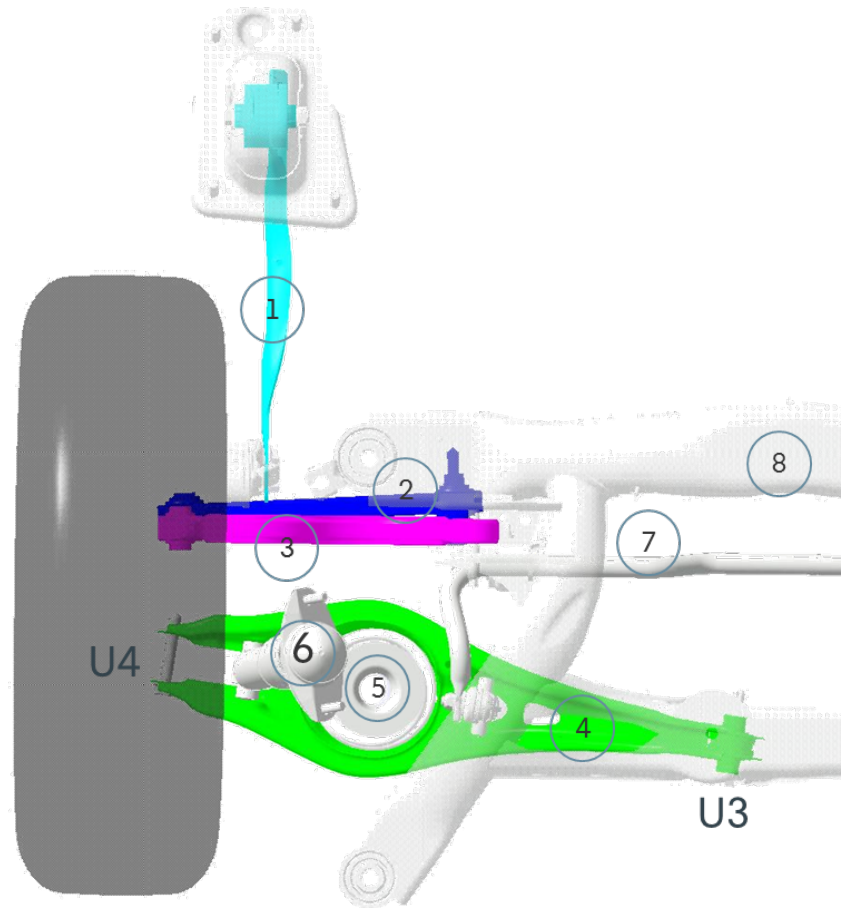
MQB multilink rear axle

overview



Spring link optimization

rear axle kinematic

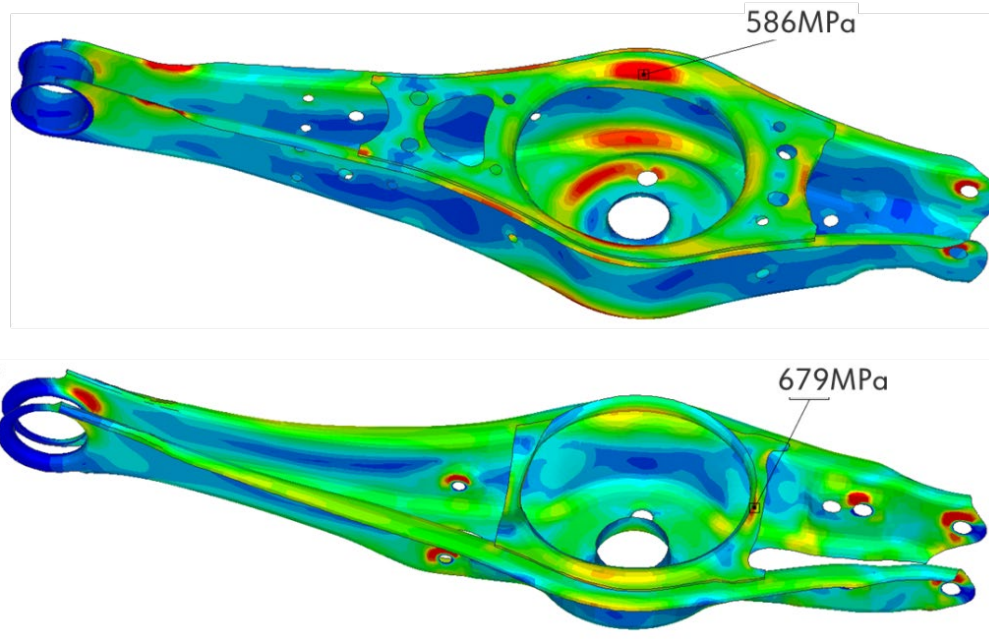


- 1 trailing arm
- 2 tie rod
- 3 upper control arm
- **4 spring link**
- 5 spring
- 6 shock absorber
- 7 stabilizer
- 8 subframe



Spring link (loadcase longitudinal impact)

Golf V vs. Golf VII



v. Mises stress comparison (FEM)

- **above:** Golf V Weight: 5.0 kg/vehicle
- **below:** Golf VII Weight: 4.0 kg/vehicle
- **lightweight design measures:** shape optimization, manufacturing concept, material selection
- **potential:** 1.0 kg/vehicle, ~20 % of component
...although shock absorber and stabilizer forces must be absorbed additionally!

» 20% weight reduction through structural changes despite higher load!

Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

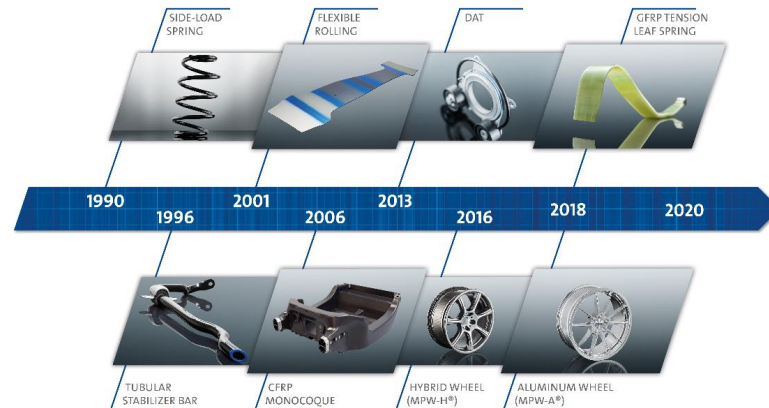
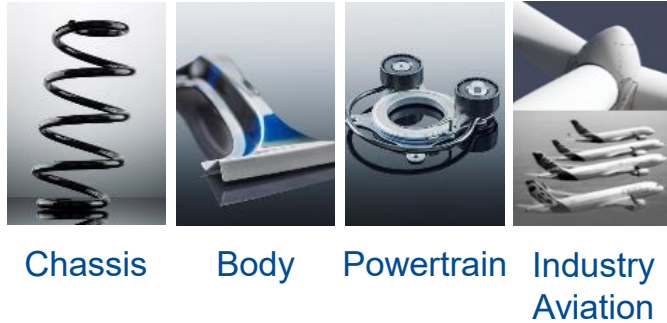
Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion

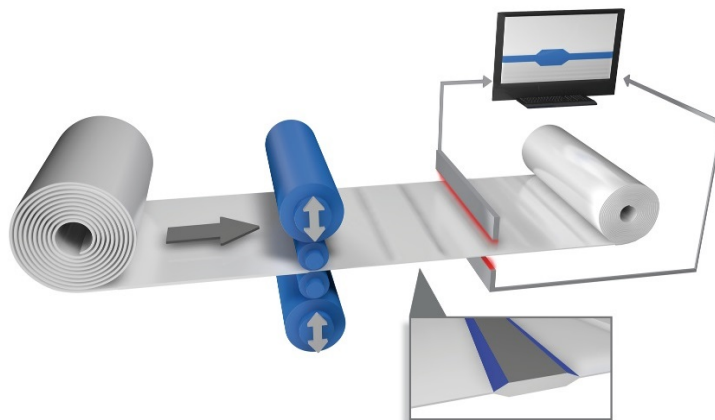


Cooperation with suppliers



- founded as family business in 1916
- 2.4 billion €, 15,000 employees at 50 sites
- market and innovation leader for automotive lightweight parts
- maximum vertical integration from raw material to product
- global footprint with advanced technology worldwide according to customer locations

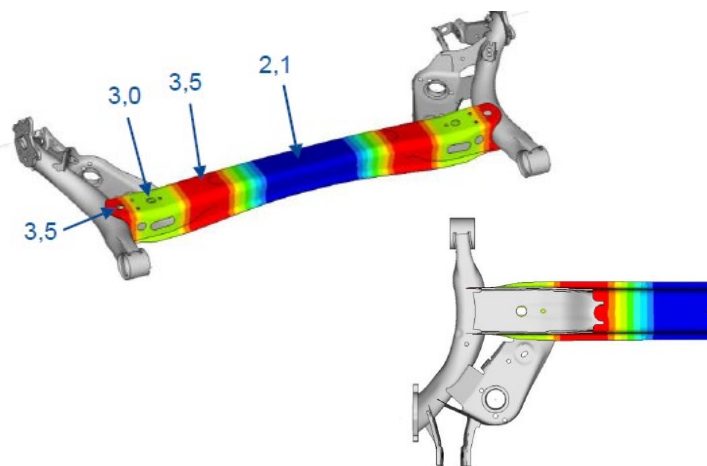
source:



- Tailor Rolled Blanks is based on a cold rolling process with variable rolling gap
- Flexibility of the process enables the use of one part design for different vehicle derivatives
- Objective: lightweight design with -20% mass reduction for twist beam axles at same or improved performance

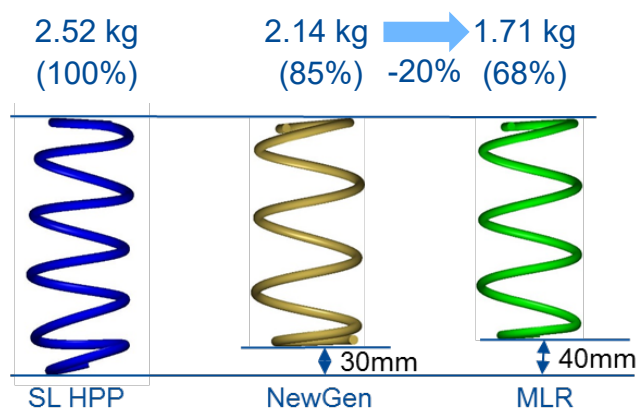
Innovation & future concepts

- Design of a holistic axle concept for two different roll rates
- Perpetuation of all constraints: package, stiffness, strength, ...



<i>weight</i>		re-calculation VW-series production	Mubea TRx-profile
axle beam	[kg]	8,11	6,22 -1,89 (-23,3%)
insert plates	[kg]	1,95	1,73 -0,22 (-11,3%)
sum	[kg]	10,06	7,95 -2,11 (-21%)

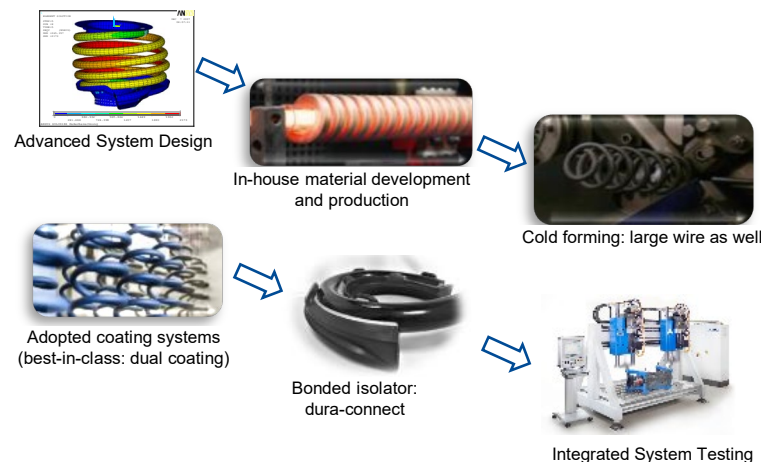
source:



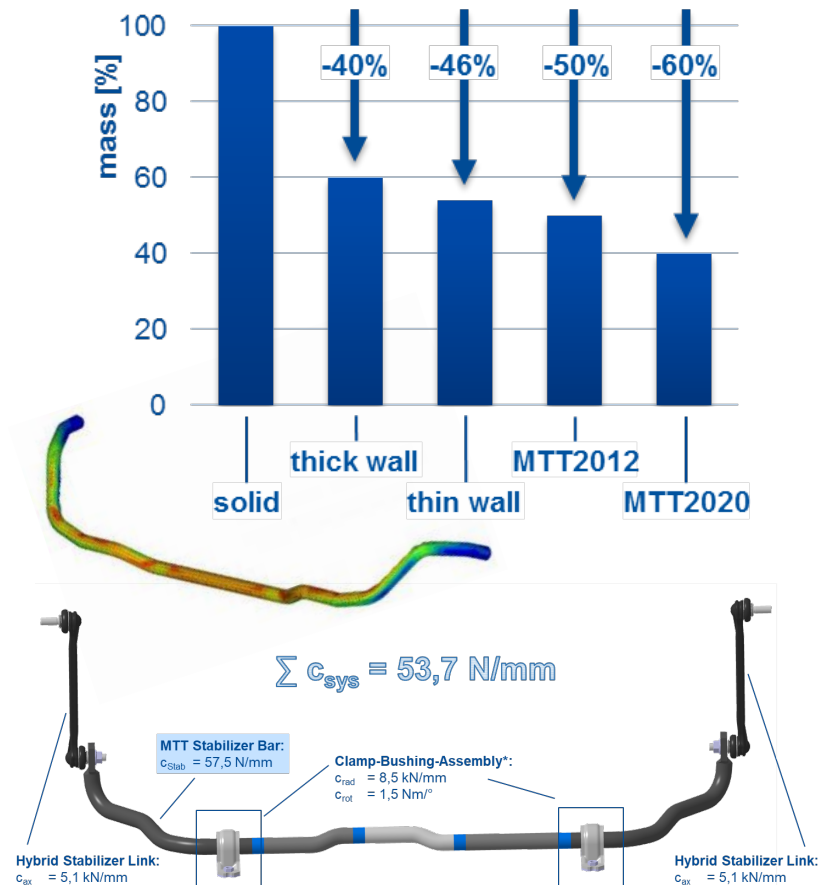
- Lightweight and functional optimization thru advanced material design and processes
- Optimal value added: wire, coil spring, isolator
- Objective: Solutions for CASE: high loads/spring rates, NVH

Innovation & future concepts

- 15% mass reduction through SLM2150 technology
- Enhanced surface protection due to adopted coating systems
- Elimination critical spring area through dura-connect (bonded isolator)
- Additional 15 % mass reduction potential by MLR package
- Enhanced cold forming capabilities tailored to high spring rates
- NVH as part of an integrated system design for coil springs



source:



- Lightweight and functional optimization thru advanced material design and processes
- Optimal value added: tube, stab bar, clamps, bushings, links
- Objective: optimal stab bar system design

Innovation & future concepts

- Lightweight Stab Bar - MTT2020
 - 20% mass reduction over MTT2012
 - Tailor Tube - MTT featuring three wall thicknesses
 - Highest material (tube) yield strength - SBT1900
- Stab Bar Systems
 - Integrated design of stab bar systems (iMOG)
 - Integrated design of stab bar-link joint
 - System testing with static and dynamic rate, NVH-analysis and road load data under development

source:

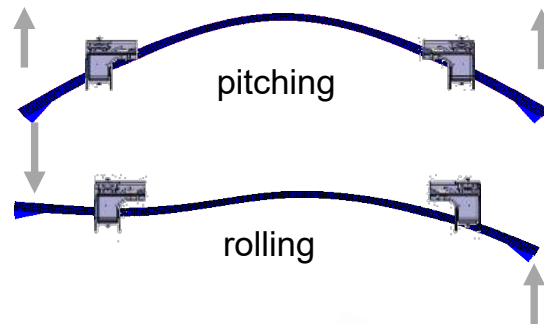


Longitudinal Leaf Springs



- Combined suspension knowhow and GFRP (Glas Fiber Reinforced Plastics) material expertise
- Objective: 70%+ mass reduction over steel leaf springs (up to 50kg reduction for pick-up trucks), robustness, ride performance advantages

Transversal Leaf Springs



Composite Components



Innovation & future concepts

- GFRP Leaf Springs (LS) with linear characteristics and Tension Leaf Springs (TLS) with progressive characteristics, safe failure and improved NVH
- Very competitive lightweight oncost
- Worldwide first development of a GFRP Transversal LS with pitching and rolling characteristics – high customer interest!
- Advanced development for multiple chassis components i.e. CFRP (Carbon Fiber) Stab Bar

source:

Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

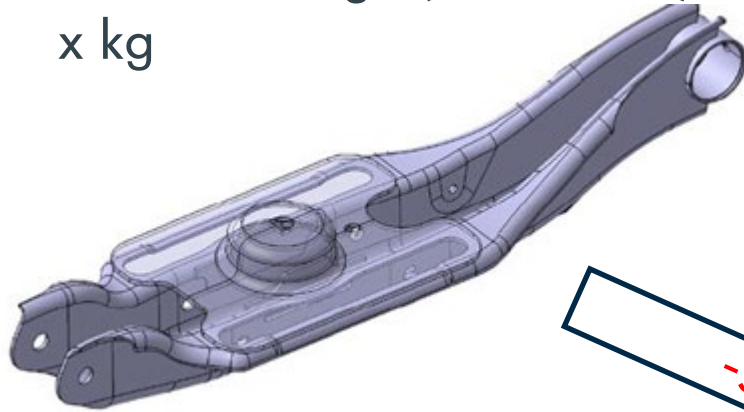
Summary and conclusion



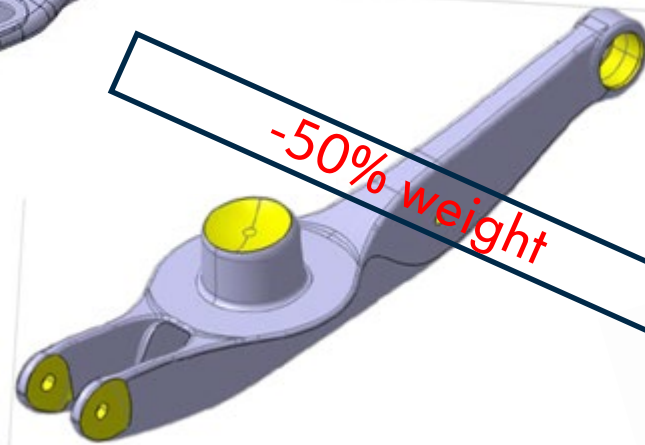
Spring link concepts (e-vehicle)

concept comparison

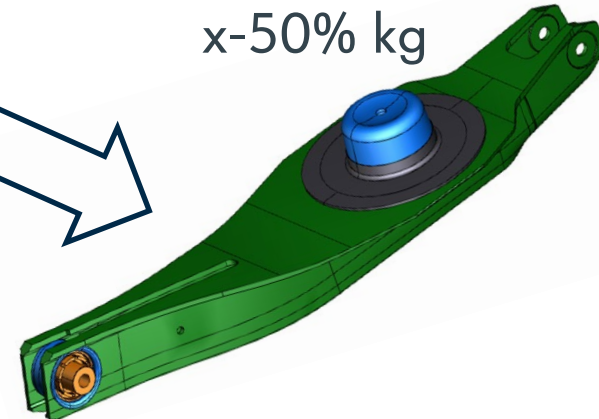
welded design (sheet steel)
x kg



aluminum casting (CPC)
x-20% kg



extruded aluminum
sheath
x-50% kg



-50% weight



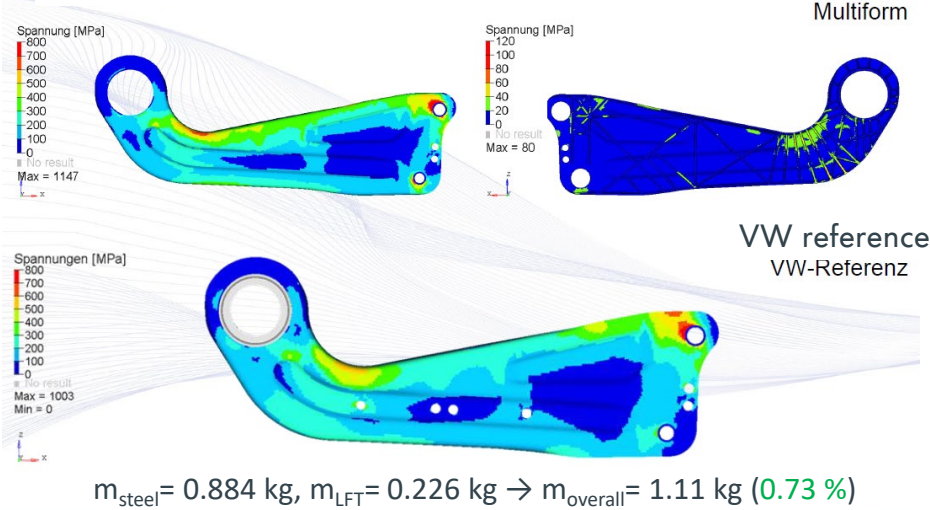
50% weight reduction through material and manufacturing process selection

Associated partnership multiform project

steel forming parts

MQB rear axle trailing arm (demonstrator)

tension



hybrid component:

sheet steel with plastic
insert

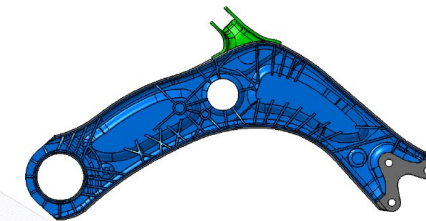
MQB front axle track control arm (demonstrator)

■ VW original part



- control arm (3.8 mm): 2,505 g
- bushing: 151 g
- sum = 2,656 g

■ finished part



- control arm (2.4 mm): 1,426 g
- connection (3.8 mm): 205 g
- LFT: 314 g
- bushing: 152 g
- sum = 2,097 g (79%)



~20% weight reduction through material and manufacturing process selection



Agenda

Introduction – chassis requirements

Rear axle development @ Volkswagen

Conceptual lightweight design in rear axle system

GRP-X Axle

Examples of lightweight design in rear axle development

Lightweight design using simulation tools

Manufacturing process (twist beam axle with TRB, MLR, Tailored Tubes)

Effective of manufacturing processes (hybrid components)

Summary and conclusion



Summary and conclusion

trends in automotive industry enforce lightweight design

chassis generates 25% of costs and 20% of weight

entire design concepts must be inducted in early development phases

efficient weight reduction per component through...

structural optimization

material choice/combination

utilization of manufacturing processes





JETZT ANMELDEN!
www.ATZlive.de

10. Internationales Münchner Fahrwerk-Symposium
25. und 26. Juni 2019 | München **ATZ** live

Challenges and benefits for lightweight chassis components focusing on rear axle development

Dr. Thomas Kersten,
Volkswagen AG
Dr. Sierk Fiebig,
Volkswagen AG



Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Resümee der Vorlesung - Evaluierung



Was hat Ihnen gefallen?

Was ist verbesserungswürdig...uvm. ?

→ Evaluierungsbogen

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung



Noch Fragen ?

Agenda 17.12.2021

Uhrzeit	TOP
08.30-09.00	Rückblick, Essentials Vorlesungen 19.11.21 + 03.12.21
09.00-10.00	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung I
10.00-10.30	Pause
10.30-11.30	Festigkeitsauslegung Achsen: Rechnerische Auslegung II
11.30-13.00	Mittagspause plus Q's & A's Vorbereitung
13.00-14.00	Achserprobung und Freigabe
14.00-14.15	Pause
14.15-15.00	Innovationen und Leichtbau in der Achsentwicklung
15.00-15.30	Resümee der Vorlesung - Evaluierung
15.30-16.00	Fragen und Antworten zur Vorlesung und Prüfung
16.00	Ende

Ende



**Vielen Dank...frohes Fest, guten Rutsch
....und viel Erfolg bei der Prüfung !!!**