

massiver LEICHTBAU

www.massiverLEICHTBAU.de

Phase III Hybrid-Pkw
und konventionelles
Lkw-Getriebe

2017 – 2018



Initiative Massiver Leichtbau Massivumformung und Stahlindustrie

Industrielle
Leichtbau-
Potenzialstudie
mit 24 Partnern

Phase I
Pkw

2013 – 2014

Industrielle
Leichtbau-
Potenzialstudie
mit 28 Partnern

Phase II
LNfz

2015 – 2016

Forschungs-
verbund
„Massiver
Leichtbau“

2015 – 2018

Industrielle
Leichtbau-
Potenzialstudie
mit 39
internationalen
Partnern

Phase III
Hybrid Pkw/
konv. Lkw

2017 – 2018

- **Phase I (2013 – 2014) – Mittelklasse-Pkw**
 - 15 Umformunternehmen
 - 9 Stahlhersteller
 - 42 kg Leichtbaupotenzial
- **Phase II (2015 – 2016) – Leichtes Nutzfahrzeug (bis 3,5 t)**
 - 17 Umformunternehmen
 - 10 Stahlhersteller
 - 1 Ingenieurdienstleister
 - 99 kg Leichtbaupotenzial
- **Phase III (2017 – 2018) – Hybrid-Pkw und konventioneller Lkw**
 - 22 Umformunternehmen
 - 12 Stahlhersteller
 - 3 Maschinenhersteller für Umformanlagen
 - 2 Automobilfirmen
 - Erstmalig eine internationale Kooperation (Westeuropa, USA, Japan)
 - 93 kg (Pkw) und 124 kg (Lkw) Leichtbaupotenzial
- **Forschungsverbund „Massiver Leichtbau“ (2015 – 2018)**
 - 64 Unternehmen aus der gesamten Prozesskette, 4 Forschungsvereinigungen und 10 Forschungsstellen
 - 6 Teilprojekte
 - Ziel: mit modernen Stahlwerkstoffen, Bauteilkonstruktionen und Fertigungsmethoden Fahrzeuge leichter machen

▶ **Deutliche Minderung des Energieverbrauchs und des CO₂-Ausstoßes durch NEUE konstruktive und stoffliche Leichtbaulösungen mit massivumgeformten Komponenten**

-42 kg Phase I Pkw



-99 kg Phase II LNfz



-93 kg Phase III Hybrid-Pkw



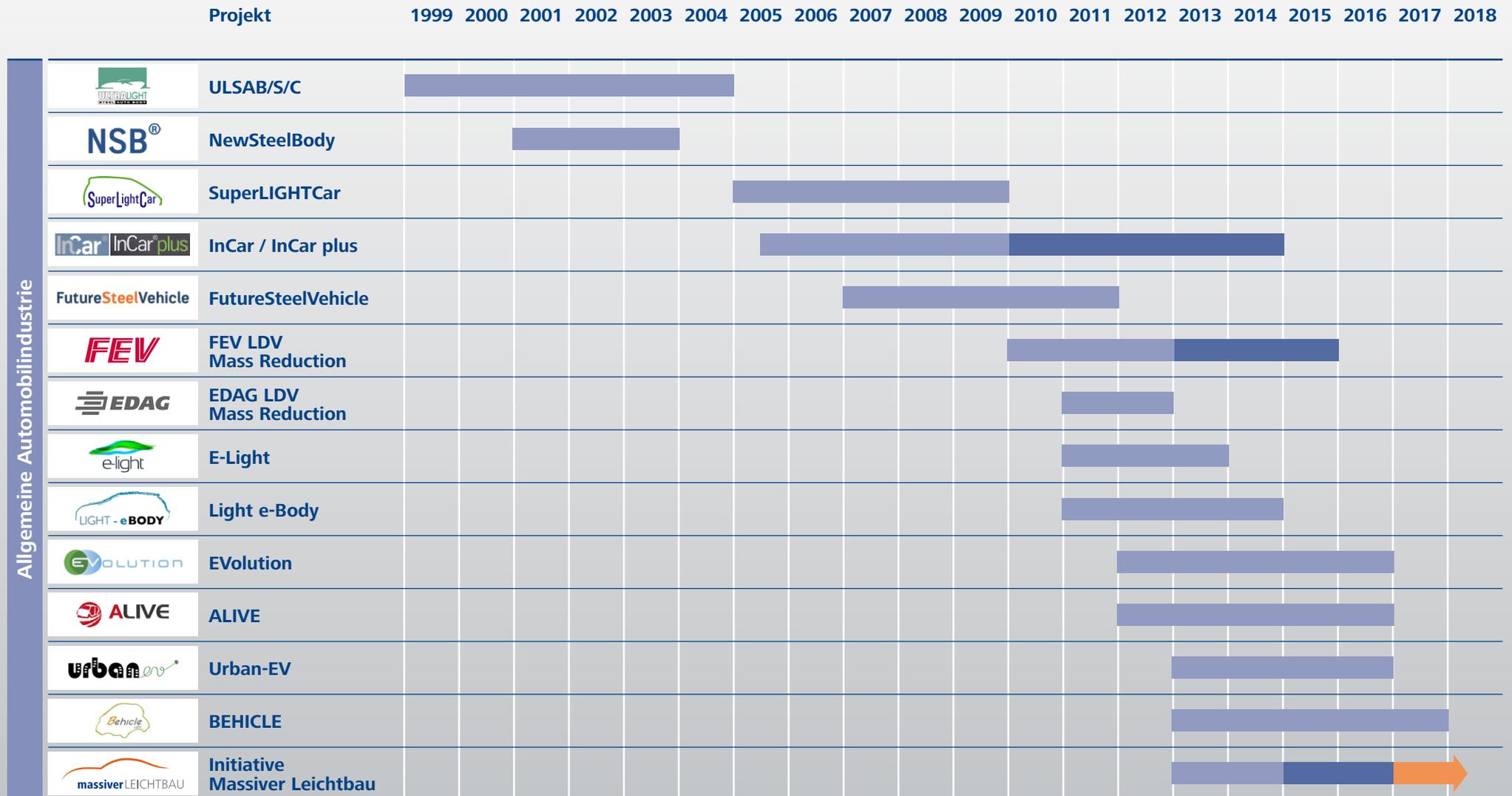
... in Antriebsstrang und Fahrwerk



Kooperationspartner der Initiative Massiver Leichtbau



Leichtbau-Forschungsprojekte – öffentliche F&E- und Metastudien



Haupttreiber

Emissionsgesetzgebung



- Reduktion der CO₂-Emission, um die Flottenziele zu erreichen → Zielvorgabe 2020 in der EU: 95 g CO₂/km
- Um die globale **CO₂-Gesetzgebung** zu erfüllen, ist eine signifikante **Effizienzsteigerung** erforderlich
- Regulierung der **Lärmemission** und zeitabhängiger **Lärmschutz**

Einfahrbeschränkungen



- Ausweitung der Umweltzonen
- Verschärfung der Einfahrbeschränkungen in Städten

Motivation für Leichtbau

Gewichtsspirale

Steigende Anforderungen:

Sicherheit [+kg]

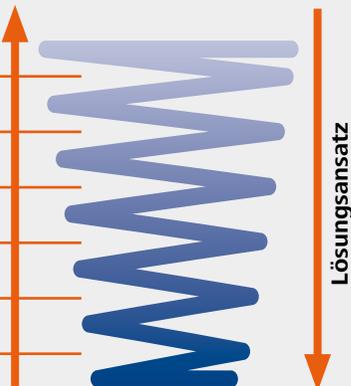
Komfort [+kg]

Fahrleistung [+kg]

Platzangebot [+kg]

Variabilität [+kg]

Qualität [+kg]



- Steigende Anforderungen führten zu steigender Fahrzeugmasse
- Umkehrung der Gewichtsspirale durch Leichtbau
- Zulieferer können einen Fertigungs-Know-how Beitrag leisten (Bottom-Up Ansatz)

Megatrends

Elektromobilität

- Potenzial für globale CO₂-Reduktion
- Lokale Emissions- und Geräuschreduzierung

Autonomes Fahren

- Potenzial für bessere Kraftstoffeffizienz
- Potenzial für weniger Unfälle
- Reduktion des Zeitaufwands

Leichtbau

- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs
- Schonung der Umwelt und Beitrag zur Nachhaltigkeit
- Reduktion von Ressourcen
- Erhöhung des Fahrerlebnisses und der Fahrsicherheit
- Kompensation Zusatzgewicht durch elektrischen Antriebsstrang und Aufwand Fahrsicherheit
- Erhöhung Zuladung

Haupttreiber

Emissionsgesetzgebung



- Um die globale **CO₂-Gesetzgebung** zu erfüllen, ist eine signifikante **Effizienzsteigerung** erforderlich
- Emissionsstandards erfordern neue Technologien
- Regulierung der **Lärmemission** und zeitabhängiger **Lärmschutz**

Kostenreduktion



- Im Nutzfahrzeugbereich ist **TCO** der wichtigste Faktor
- Innovation zur Senkung der **Anschaffungs-** und/oder **Betriebskosten**
- Leichtbau kann Transportkapazität (Zuladung) steigern
- Autonom angetriebene Fahrzeuge könnten das Personal um bis zu 90 % reduzieren

Einfahrbeschränkungen



- Insbesondere **innerstädtischer Lieferverkehr** mit Nutzfahrzeugen ist eingeschränkt
- In Zukunft ist mit einer deutlichen **Ausweitung der Umweltzonen** und einer **Zunahme der Einfahrbeschränkungen** zu rechnen

Neue Anforderungen



- Rahmenbedingungen wie der **zunehmende E-Commerce** erfordern globale Lösungen von OEMs und Zulieferern
- Diverse Kundenanforderungen machen immer mehr unterschiedliche Fahrzeugvarianten notwendig

Sekundärtreiber

Megatrends

Elektromobilität

- Potenzial für globale CO₂-Reduktion
- Lokale Emissions- und Geräuschreduzierung

Autonomes Fahren

- Reduktion der Personalkosten
- Potenzial für bessere Kraftstoffeffizienz
- Potenzial für weniger Unfälle

Leichtbau

- Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs bzw. Erhöhung der Nutzlast
- Steigerung der Energieeffizienz
- Reduktion von Ressourcen
- Schonung der Umwelt und Beitrag zur Nachhaltigkeit
- Verringerung der Straßenbelastung
- Reduzierung der Lärmbelastigung

Methodische Vorgehensweise

Umfeldanalyse

- Trends und Treiber der Pkw-Branche
- Analyse der Entwicklungen im Antriebsstrang
- Übersicht der öffentlichen Forschung

Benchmarking

- Systematische Zerlegung und Erfassung eines Referenzfahrzeugs
- Aufbau eines Online-Dokumentationstools zur Dokumentation und Auswertung

Workshops

- Durchführung von moderierten Workshops zu Antriebsstrang und Fahrwerk mit Experten der Initiative

und zusätzlich ...

1. Bestimmung des Fahrzeuggesamtgewichts

Referenzfahrzeug: Kompakt-SUV

Hybrides Antriebssystem, Systemleistung: 145 kW (197 PS)

Batterie: 1,6 kWh

Höchstgeschwindigkeit: 180 km/h

zGG: 2.205 kg

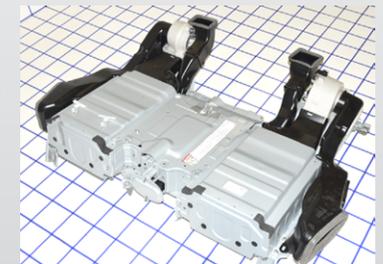
2. Zerlegung des Gesamtfahrzeugs



ICE



Getriebe



HV Batterie

3. Listen und Benennung aller Einzelteile

4. Einzelteilanalyse

Component Code	Naming Component	Weight [kg]	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Material	Number	Thread Type (z.B. M12)	Thread Pitch	Thread Length [mm]	SC
422010101	housing air conditioning compressor part	1,255	135	162	153	Aluminium					
422010102	flange air conditioning compressor	0,041	18	18	108	Steel	1	M8	1,25	103	n.a.
422010103	flange air conditioning compressor	0,041	8	8	117	Steel	2	M8/M8	1,25/1,25	n.a.	n.a.
422010104	flange air conditioning compressor	0,007	18	18	8	Steel	2	M8	1,25	n.a.	n.a.
422010105	flange air conditioning compressor part	0,53	115	48	131	Aluminium					
422010106	flange air conditioning compressor	0,006	12	12	25	Steel	6	M6	1	19	n.a.
422010107	flange air conditioning compressor	0,009	115	1	131	Steel					
422010108	flange air conditioning compressor part	0,002	65	2	77	Plastics					
422010109	flange air conditioning compressor part	0,359	100	49	100	Aluminium					
422010110	flange air conditioning compressor part	0,193	100	42	100	Aluminium					
422010111	flange air conditioning compressor part	0,174	132	100	46	Aluminium					
422010112	flange air conditioning compressor	0,005	10	10	33	Steel	3	M5	0,8	30	n.a.
422010113	flange air conditioning compressor	0,0003	10	10	1	Steel	3				
422010114	flange air conditioning compressor	0,01	133	100	5	Steel/Plastics					
422010115	flange air conditioning compressor	0,0002	22	22	6	Plastics					

... Getriebemodellierung

- Getriebemodell
- Bewertung der Einflussgrößen mit IPEK Karlsruhe
- Erarbeitung zulässiger Stahl-Alternativen
- Bewertung harter und weicher Einflussfaktoren auf die Getriebeauslegung

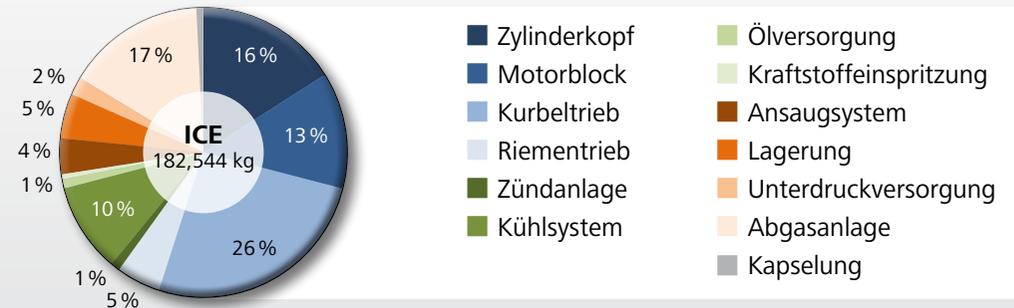
Ableitung von Leichtbaupotenzialen

- Identifizierung von Leichtbau-Potenzialen massivumgeformter Komponenten in Antrieb und Fahrwerk
- Umsetzung in konkrete Leichtbauvorschläge

Dokumentation

- Begleitende Powerpoint-Präsentation
- Aufbau einer Online-Datenbank

5. Gewichtsbilanzierung der Baugruppen



6. Fotodokumentation



Sonnenrad 2

Einbaulage

7. Datenbankimplementierung



Methodische Vorgehensweise

Umfeldanalyse

- Trends und Treiber der Lkw-Branche
- Analyse der Entwicklungen im Antriebsstrang
- Übersicht der öffentlichen Forschung

Benchmarking

- Systematische Zerlegung und Erfassung
- Aufbau eines Online-Dokumentationstools zur Dokumentation und Auswertung

Workshops

- Durchführung von moderierten Workshops zu Getriebe und Antriebsstrang mit Experten der Initiative

und zusätzlich ...

1. Referenz-Subsysteme

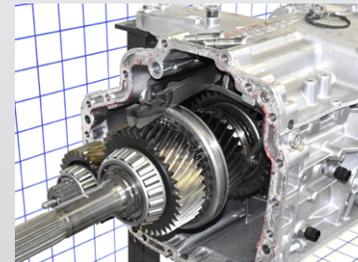
Drehmomentwandler:

- 12-Gang-Getriebe
- 290,34 kg

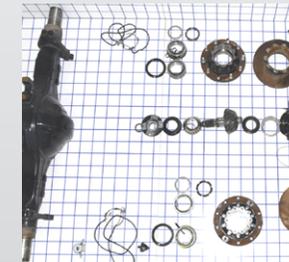
Hinterachse mit Differential und Kardanwelle:

- 618,91 kg

2. Zerlegung der Subsysteme



Drehmomentwandler



Hinterachse

3. Listen und Benennung aller Einzelteile

4. Einzelteilanalyse

Component Code	Naming Component	Weight [kg]	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Material	Number	Thread Type	Thread Pitch	Thread Length [mm]	SC
22104070101	Planet gear 1	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070102	Support planet gear 1	0.324	65	35	35	Stahl					
22104070103	Grub screw (type II) support planet gear 1	0.002	6	6	14	Stahl	1	M6	1	n.a.	n.a.
22104070104	Guard plate planet gear 1	0.019	6	66	65	Stahl	2				
22104070105	Guard plate planet gear 1	0.004	1	44	44	Stahl	2				
22104070106	Planet gear 2	0.006	40	5	5	Stahl	25				
22104070107	Planet gear 2	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070108	Support planet gear 2	0.324	65	35	35	Stahl					
22104070109	Grub screw (type II) support planet gear 2	0.002	6	6	14	Stahl	1	M6	1	n.a.	n.a.
22104070110	Guard plate planet gear 2	0.019	6	66	65	Stahl	2				
22104070111	Guard plate planet gear 2	0.004	1	44	44	Stahl	2				
22104070112	Planet gear 3	0.006	40	5	5	Stahl	25				
22104070113	Planet gear 3	1.305	42	91	91	Stahl					
22104070114	Support planet gear 3	0.324	65	35	35	Stahl					

... Getriebemodellierung

- Getriebemodell
- Bewertung der Einflussgrößen mit IPEK Karlsruhe
- Erarbeitung von alternativen Stahlwerkstoffen
- Bewertung harter und weicher Einflussfaktoren auf die Getriebeauslegung

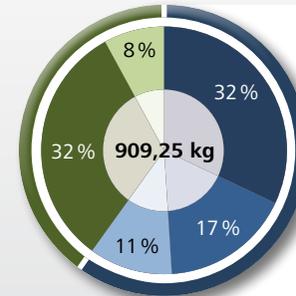
Ableitung von Leichtbaupotenzialen

- Identifizierung von Leichtbau-Potenzialen massivumgeformter Komponenten
- Umsetzung in konkrete Leichtbauvorschläge

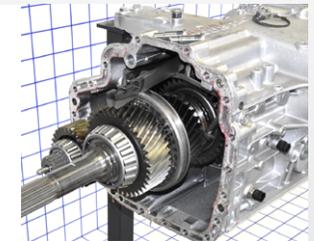
Dokumentation

- Begleitende Powerpoint-Präsentation
- Aufbau einer Online-Datenbank

5. Gewichtsbilanzierung der Subsysteme

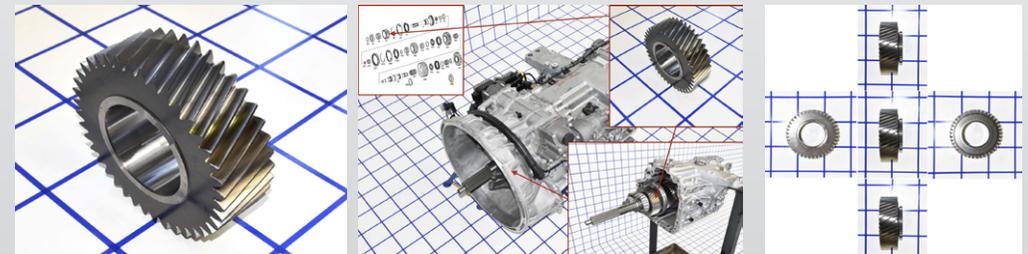


- Drehmomentwandler
- Ausgleichs- und Verteilergetriebe
- Antriebswellen
- Längs- und Querdynamik
- Bremssystem



Unterdruckversorgung

6. Fotodokumentation



Zahnrad Konstantstufe 1
Antriebswelle 1

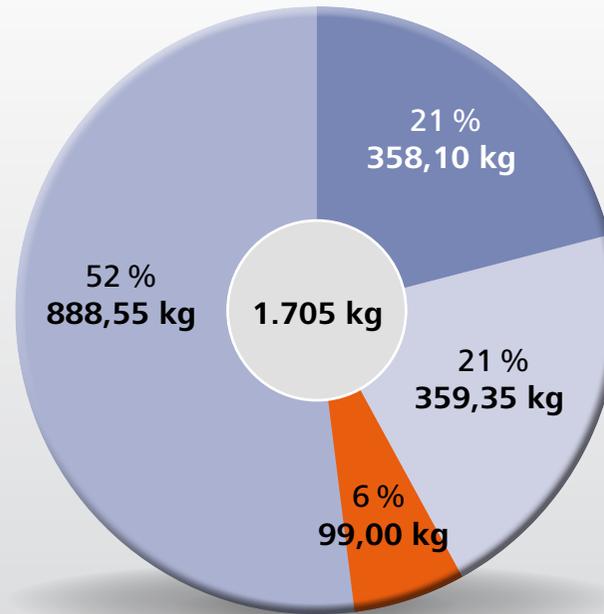
7. Datenbankimplementierung



Gewichtsbilanzierung Hybrid-Pkw

Referenzfahrzeug: Kompakt-SUV

- Hybrides Antriebssystem, Systemleistung: 145 kW (197 PS)
- Batterie: 1,6 kWh
- Höchstgeschwindigkeit: 180 km/h
- zGG: 2.205 kg

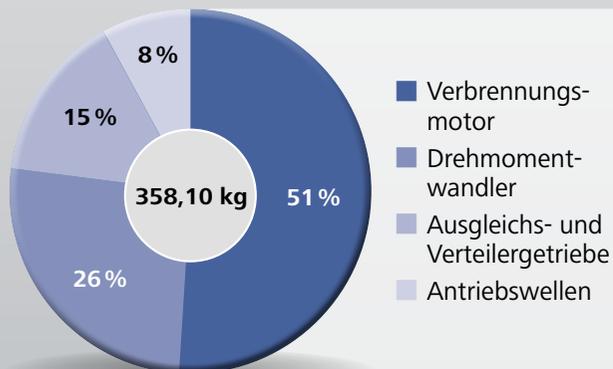


Analysierter Teil:

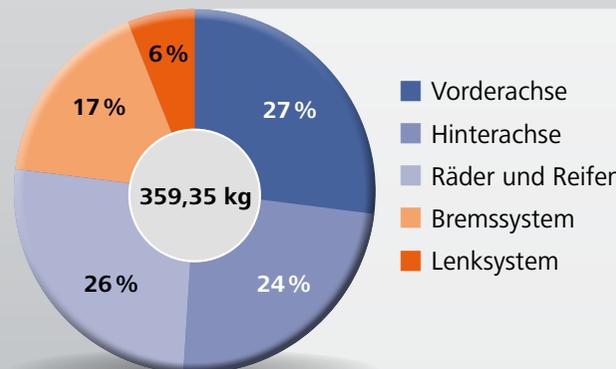
- Antriebsstrang
- Fahrwerk
- Elektronik
- plus
- Karosserie, Interieur, Elektronik etc.

Gewichtverteilung in analysierten Fahrzeugbereichen

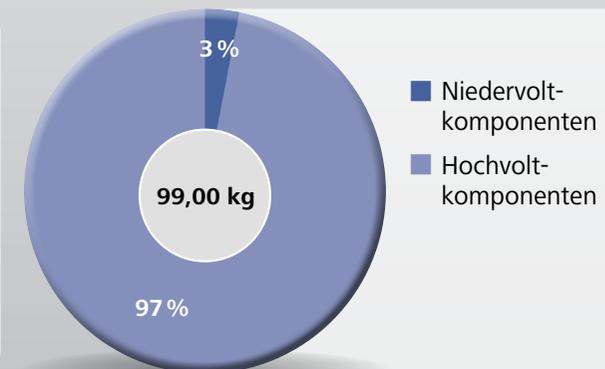
Antriebsstrang



Fahrwerk

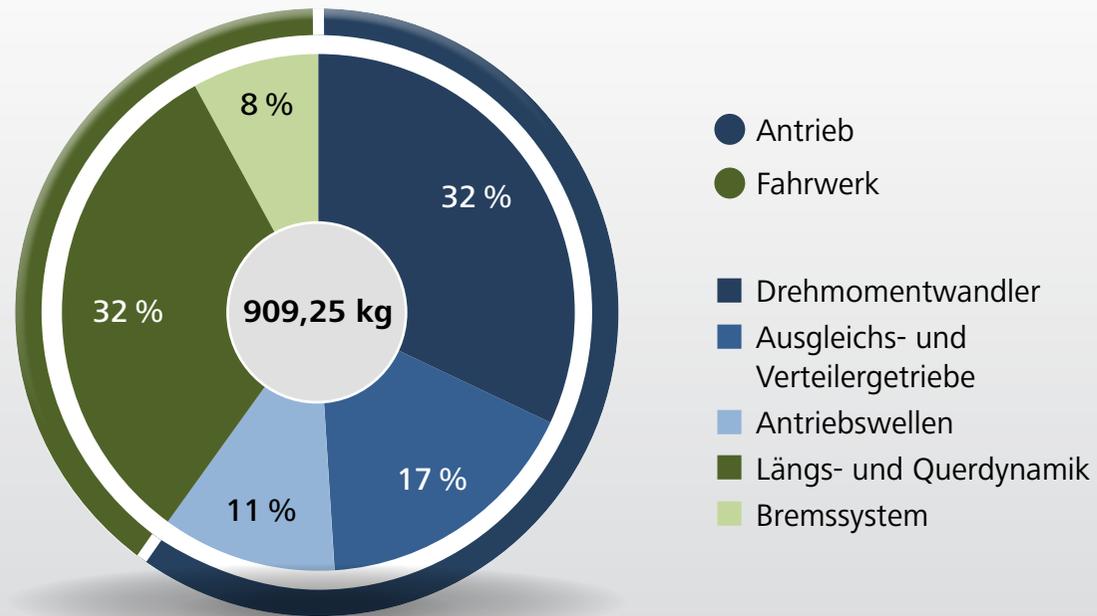


Elektronik



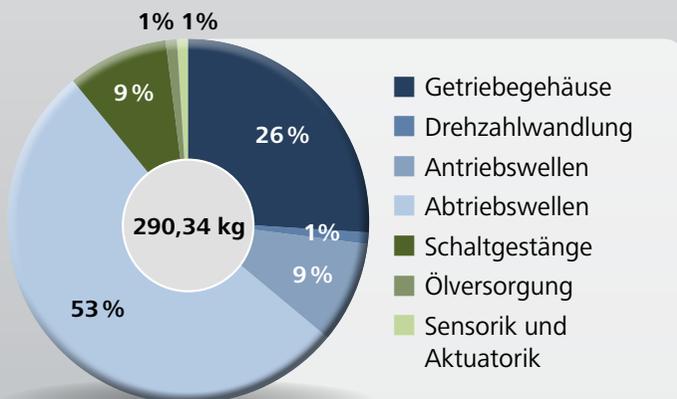
Referenz-Subsysteme:

- **Drehmomentwandler**
 - 12 Zahnräder
 - 290,34 kg
- **Hinterradaufhängung (inkl. Kardanwelle)**
 - 618,91 kg

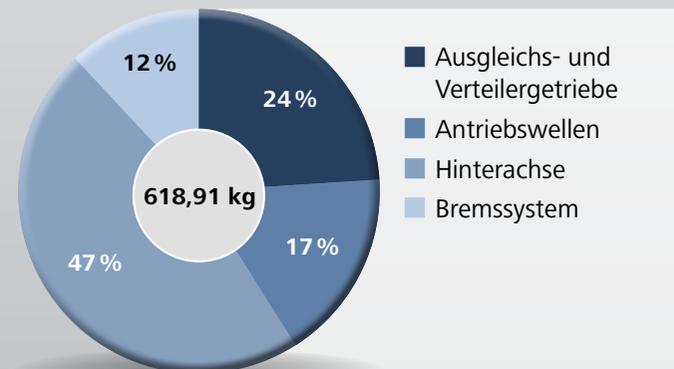


Gewichtverteilung der Subsysteme

Drehmomentwandler



Hinterradaufhängung



Workshops
mit **80 Experten**
aus **39 Unternehmen**

Analyse
von **4.067 Bauteilen**
des vollständigen Fahrzeugs
und der Nutzfahrzeug-
Subsysteme

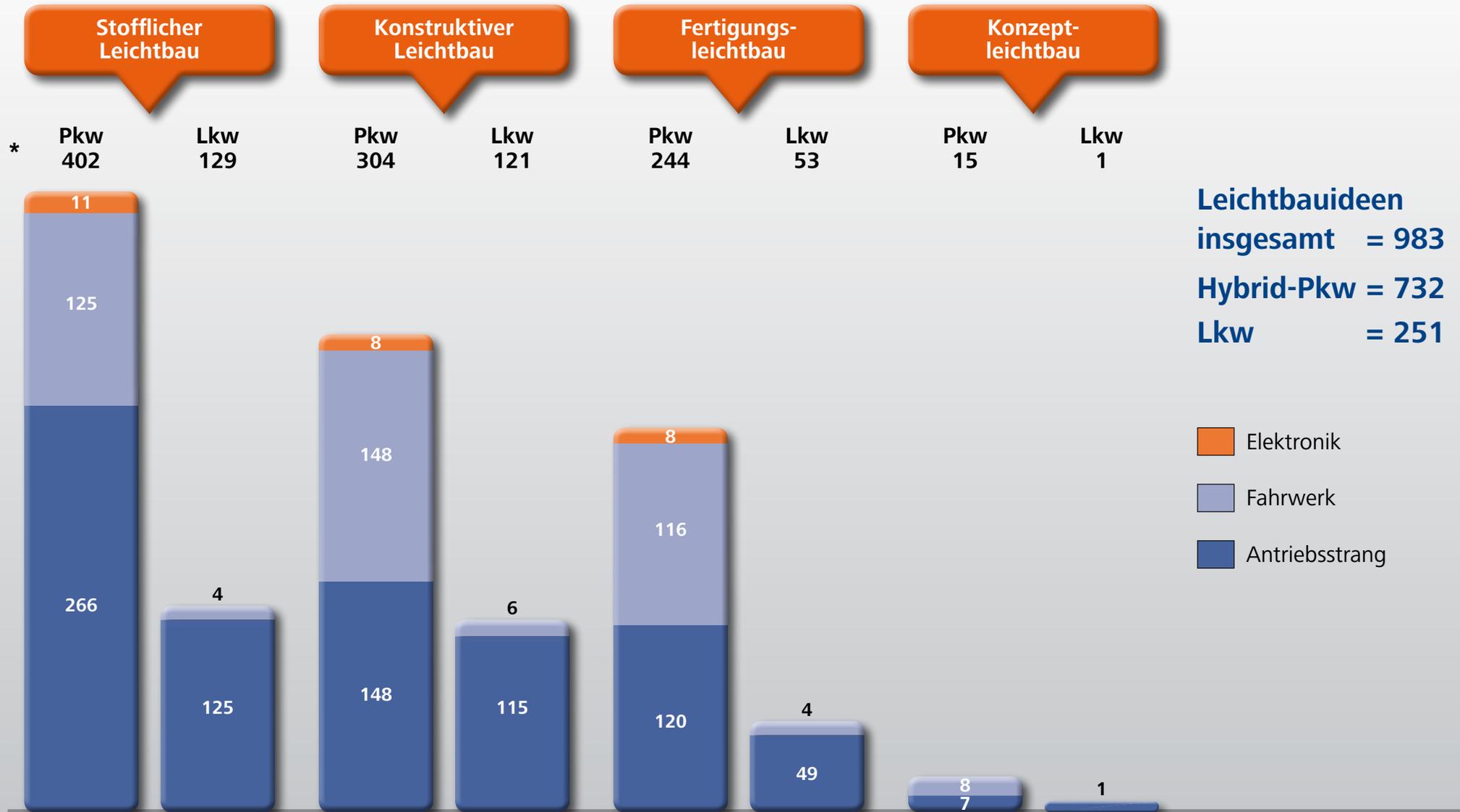
Formulierung
von insgesamt
983 Leichtbauideen,
die sich in verschiedene
Leichtbauarten gliedern
lassen

Hauptdokumentation
in der **Benchmarking-
Datenbank**

Impressionen aus den Workshops

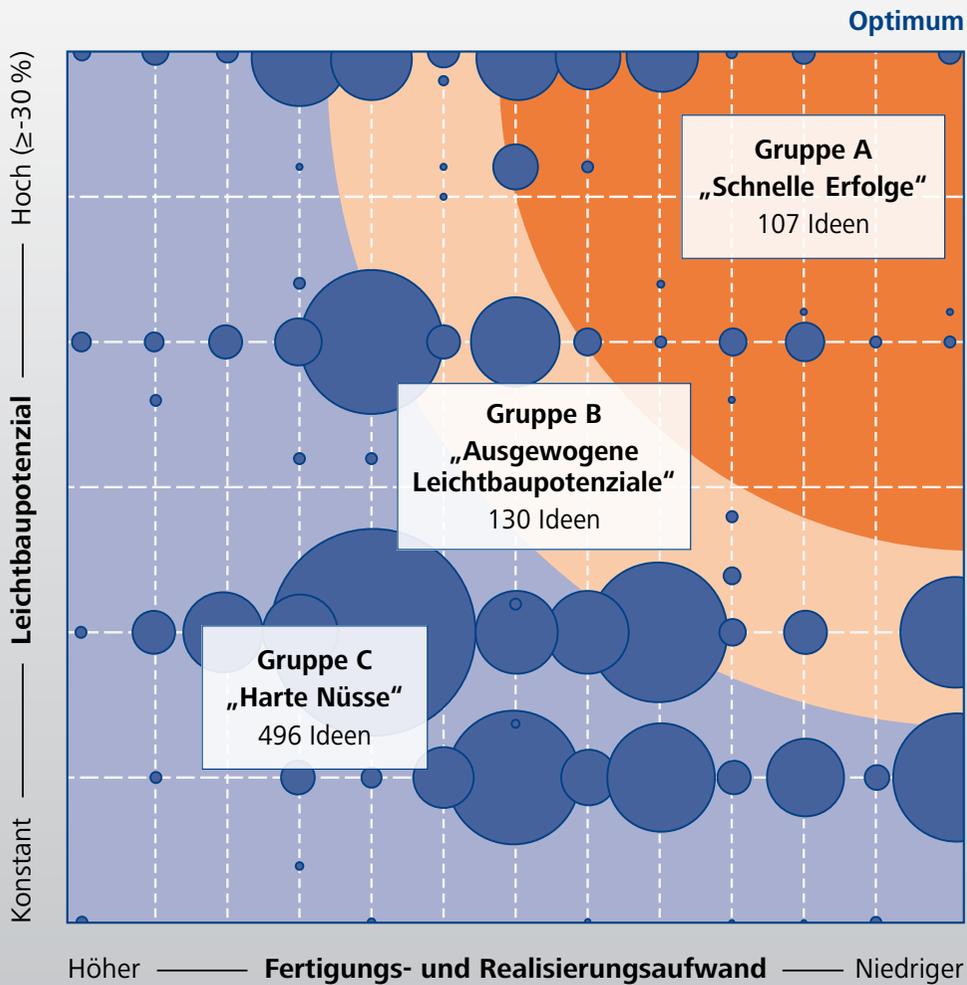


Auswertung der Leichtbauideen

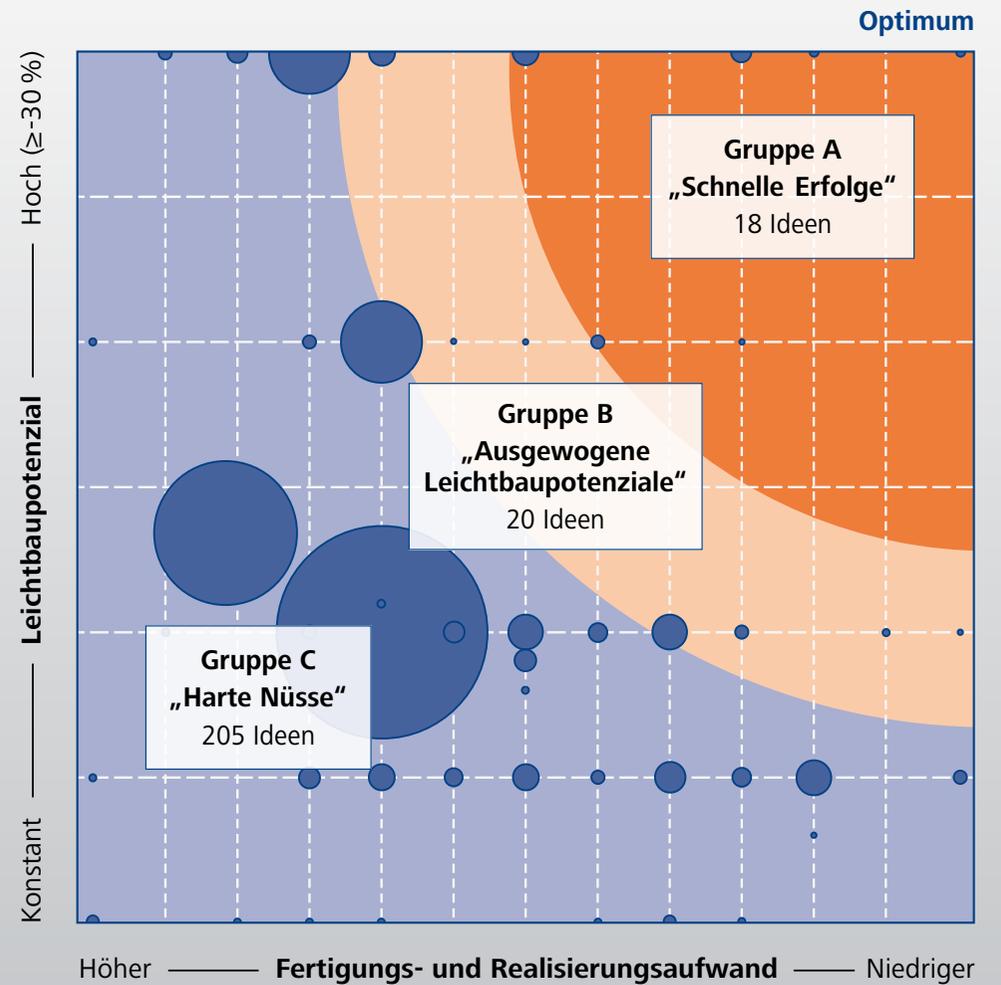


* Leichtbauideen können **häufig mehreren** Leichtbauarten zugeordnet werden.
 So bedingt der Einsatz eines neuen Materials unter Umständen auch ein adaptiertes Fertigungsverfahren.

Hybrid-Pkw

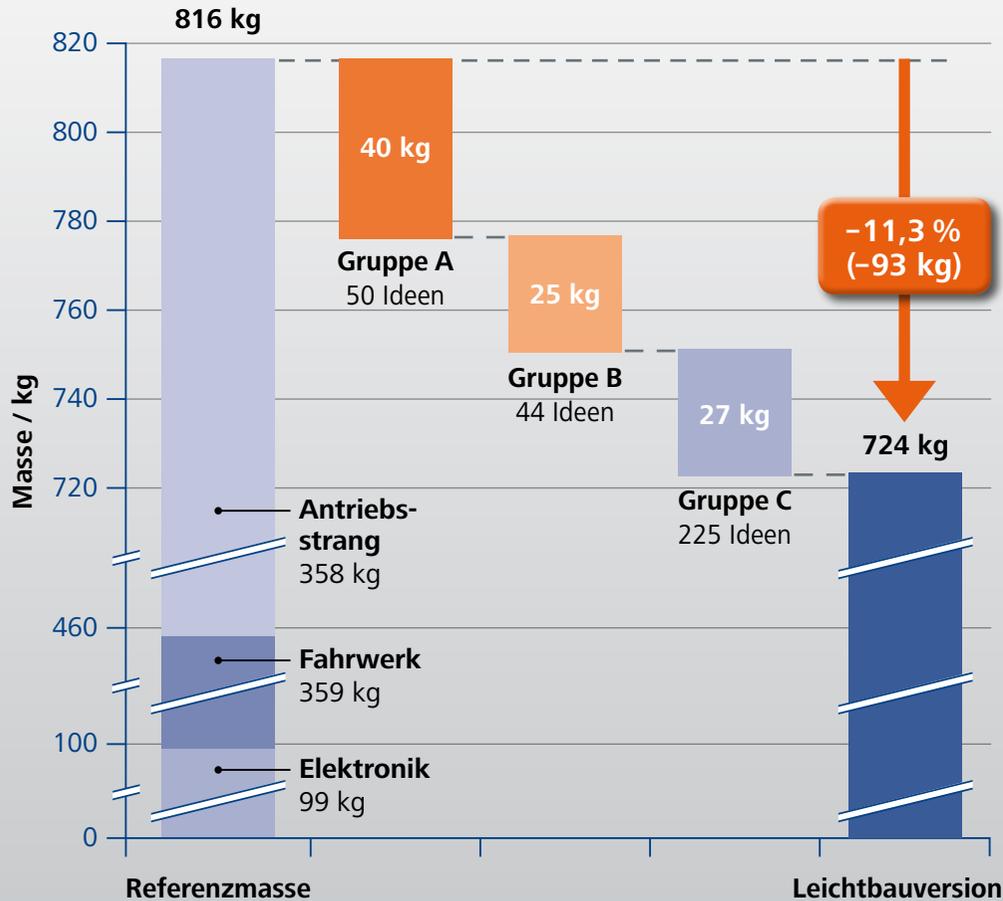


Konventioneller Lkw

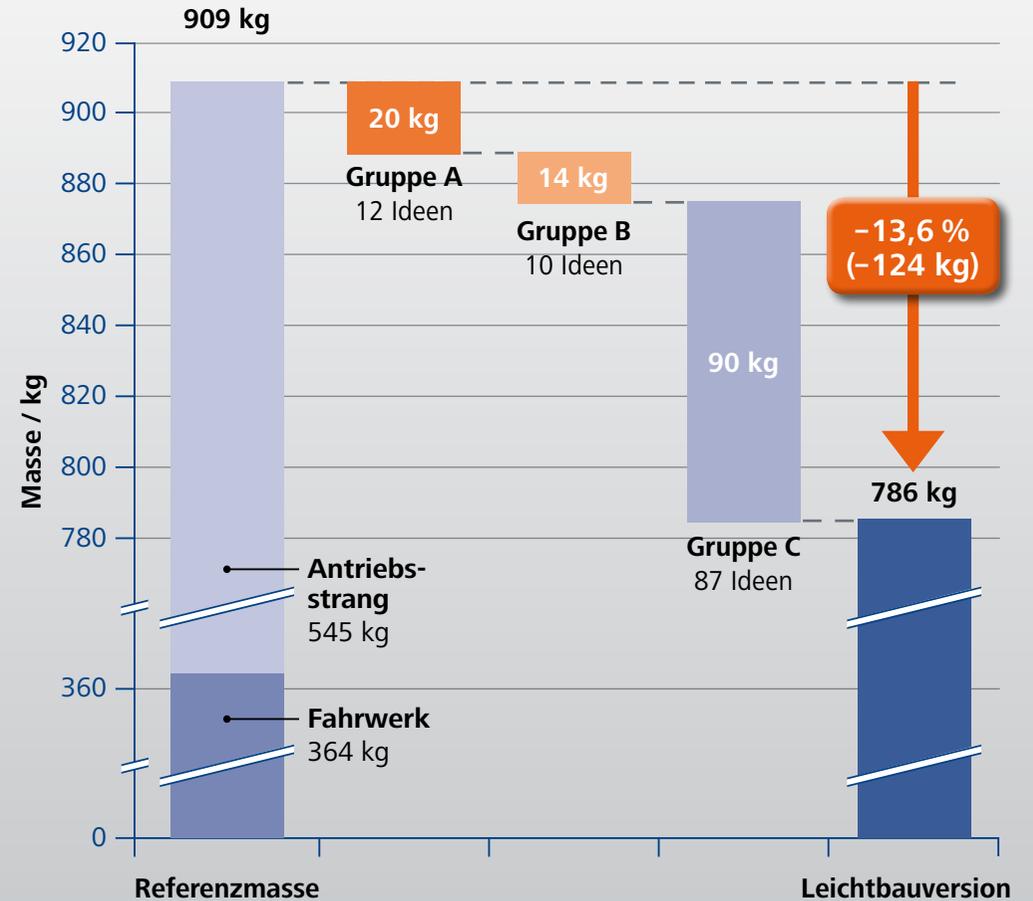


Die blauen Punkte zeigen die Anzahl der Ideen auf diesem Punkt.

Hybrid-Pkw



Konventioneller Lkw

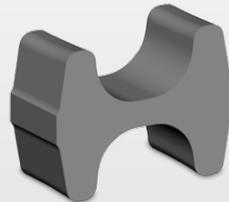


Verbrennungsmotor

1. Pleuel

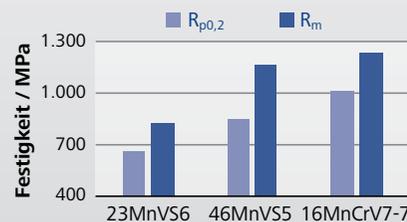
Serie

- 23MnVS3
- m = 572 g



Leichtbauvorschläge

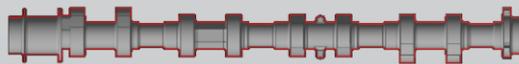
- Verringerung Querschnitt Pleuelschaft
- 46MnVS5: $\Delta m = 51 \text{ g}$ (10%)
- 16MnCrV7-7: $\Delta m = \sim 75 \text{ g}$ (~15%)



2. Nockenwelle

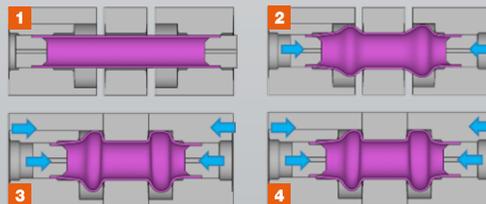
Serie

- Gegossene Vollwelle
- m = 2.400 g



Leichtbauvorschlag

- Ausformung aus Stahlrohr mit Innenhochdruckumformung
- $\Delta m = 1.800 \text{ g}$ (400%)



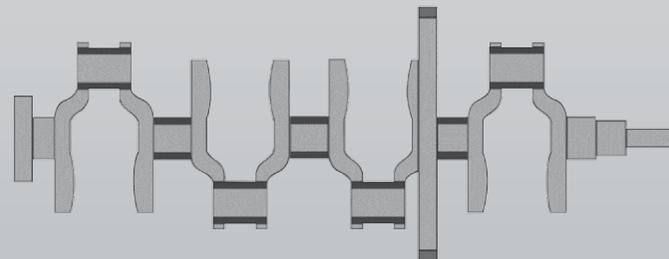
3. Kurbelwelle

Serie



Leichtbauvorschläge

- **Werkstoffliche Vorschläge** → geschätzt $\Delta m = 1.700 \text{ g}$ (11%)
 - SolamB1100
 - Höherfester 46MnVS5
 - 46MnVS6 oder Bainit
 - Mikrolegierter C50
 - Schwefelgehalt reduzieren
- **Konstruktiver Vorschlag** → $\Delta m = 5.100 \text{ g}$ (42%)
 - Einzelteile mit Taschen oder Hohlräumen schmieden
 - Fügen mit hohlen Lagern durch Laserschweißen

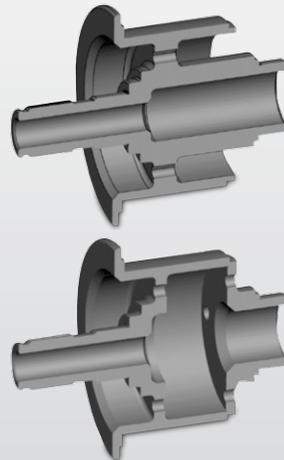


Vordere E-Maschine und Antriebsstrang

4. Rotorwelle

Serie

- Zweiteilige Lösung: zentraler Schaft mit Presssitz im Außenteil
- $m = 3.180 \text{ g}$



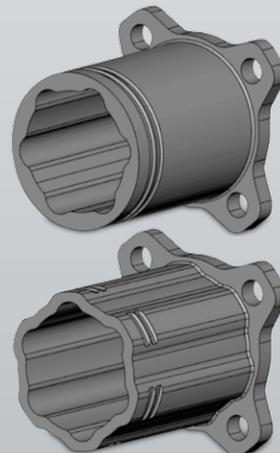
Leichtbauvorschlag

- Zweiteilige Lösung
- Lagerflansch rechts: Laserschweißen oder schrumpfen
- $\Delta m = 701 \text{ g}$ (29%)

5. Tripoden

Serie

- Außen rund
- $m = 957 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Außen umformtechnisch mit Kontur
- 50CrMnB5-3 (H50)
- $\Delta m = 156 \text{ g}$ (19%)

6. Antriebswelle

Serie

- Aus Stange zerspannt
- $m = 2.160 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Aus Rohr rundgeknetet
- Verzahnung axialgeformt
- Ressourceneffizientere Fertigung
- Variable Wandstärken spanlos herstellbar
- Innerer Hinterschnitt
- $\Delta m = 860 \text{ g}$ (66%)

Antriebsstrang

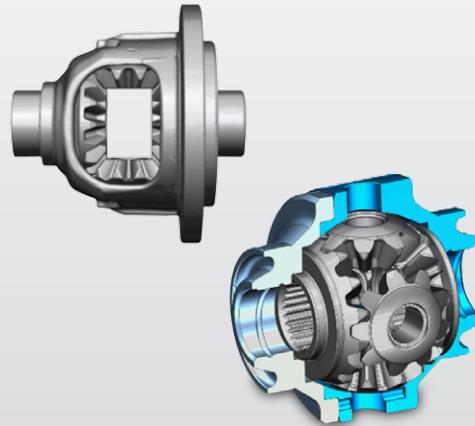
7. Differential

Serie

- Klassisches Gußgehäuse
- 4-Rad-Differential
- $m = 6.600 \text{ g}$

Leichtbauvorschlag

- 6-Rad-Differential
- Kompaktere Bauweise
- Gehäuse geschweißt
- $\Delta m = 3.630 \text{ g}$ (122 %)



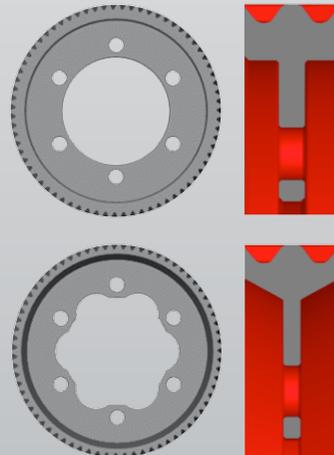
8. Eingangsrad

Serie

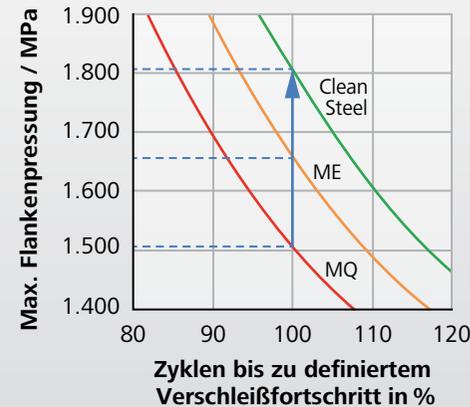
- Klassisches, allseitig zerspantes rundes Rad
- $m = 1.381 \text{ g}$

Leichtbauvorschlag

- Variable Wandstärke unterhalb der Zähne
- Konturierte Lochung
- 16MnCrV7-7 (H2):
Härtbarkeit $\uparrow \rightarrow$ Zahnbreite \downarrow
- $\Delta m = 353 \text{ g}$ (34 %)



9. Werkstoffe für Zahnräder



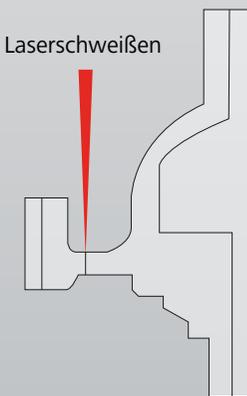
- Einfluss der Stahlreinheit auf die Lebensdauer
- Vor allem oxidische Einschlüsse beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit
- $\Delta m = 10 - 30 \%$, je nach Belastungszustand der Komponenten und Ausgangs-Reinheitsgrad

10. Differential

Serie



Laserschweißen



Leichtbauvorschlag

- Von Verschraubung auf Laserschweißen wechseln
- Werkstoffdopplung vermeiden
- $\Delta m = \sim 1.000 \text{ g}$ ($\sim 13 \%$)

Fahrwerk – 1

11. Zahnstange Lenkung

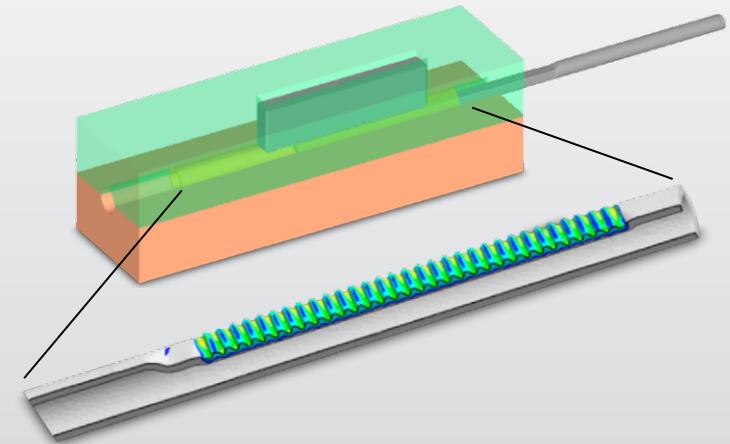


Serie

- Vollmaterial
- Verzahnung zerspanend eingebracht und induktiv gehärtet
- $m = 2.611 \text{ g}$

Leichtbauvorschlag

- Ausgangsmaterial Rohr
- Einformen der Verzahnung mit verzahntem Stempel über Dorn
- $\Delta m = 1.338 \text{ g}$ (95 %)



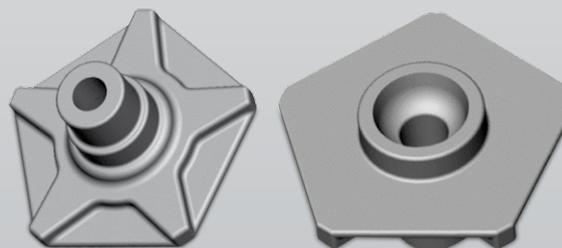
12. Radnabe

Serie



- Induktiv gehärteter Stahl
- $m = 1.637 \text{ g}$

Leichtbauvorschlag A



- Rotationssymmetrie verlassen
- Steifigkeitsoptimierte Abstützungen
- $\Delta m = 436 \text{ g}$ (36 %)

Leichtbauvorschlag B



- Bremsscheibe direkt an Radnabe anbinden
- Entfall Topf an der Bremsscheibe
- $\Delta m = \sim 400 \text{ g}$ (+ leichtere Bremsscheibe)

Fahrwerk – 2

13. Stabilisator

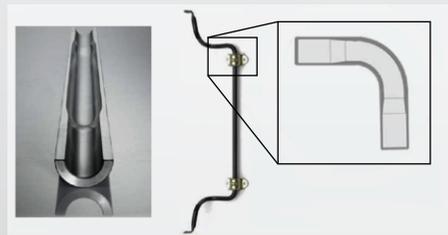
Serie

- Rohr mit konstanter Wandstärke
- $m = 3.880 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Rohr mit variabler Wandstärke
- Verdickung im Bogenbereich
- $\Delta m = 1.550 \text{ g}$ (66,5 %)



14. Schwenklager

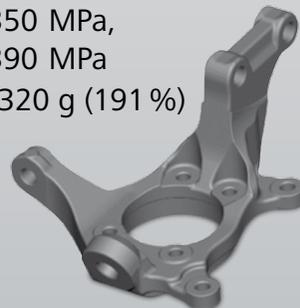
Serie

- Gusseisen
- $m = 5.060 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Geschmiedetes Aluminium
- $R_{p0,2} = 350 \text{ MPa}$,
 $R_m = 390 \text{ MPa}$
- $\Delta m = 3.320 \text{ g}$ (191 %)



15. Federbein-Domlager

Serie

- Bauteil aus mehreren Blechteilen mit Gummilager gefügt
- $m = 960 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Al-Schmiedeteil
- Gummilager eingebördelt
- $\Delta m = \sim 200 \text{ g}$ ($\sim 25 \%$)



16. Querlenker hinten

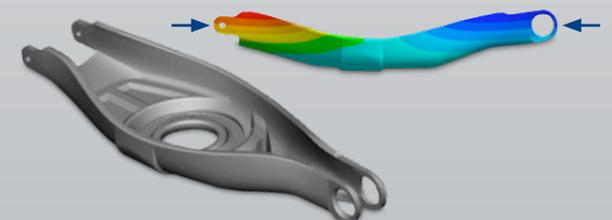
Serie

- Schweißkonstruktion aus Blechtiefzieh- und Stanzbiegebauteilen
- $m = 3.080 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Al-Schmiedeteil (hier noch vereinfacht)
- Steifigkeit in Längsrichtung +4 %
- $\Delta m = 310 \text{ g}$ (11 %)

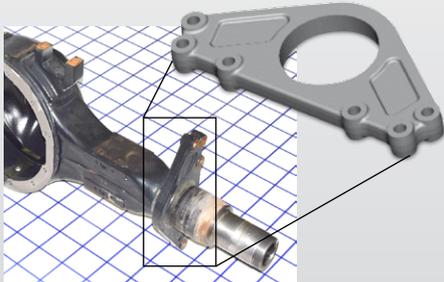


Leichtbaupotenziale im Lkw

17. Bremsträger Hinterachse

Serie

- Schmiedebauteil
- $m = 10.320 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

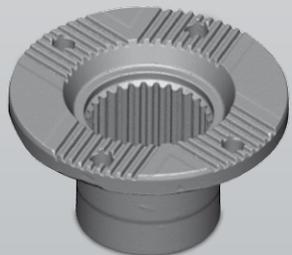
- Schmiedebauteil mit filigraneren Strukturen und Lochungen
- $\Delta m = 2.320 \text{ g}$ (29%)



18. Anschlussflansch Kardanwelle

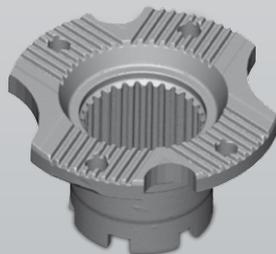
Serie

- Serienmasse $m = 4.000 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Wegnahme von Werkstoff an geringer belasteten Bereichen
- $\Delta m = 420 \text{ g}$ (11,7%)



19. Vorgelegewelle Getriebe

Serie

- Vollwelle
- $m = 23.990 \text{ g}$



Leichtbauvorschlag

- Hohlwelle rundgeknetet, Ausgangsmaterial Rohr
- $\Delta m = 6.540 \text{ g}$ (37,5%)



20. Verbindungselemente

Serie



Leichtbauvorschlag

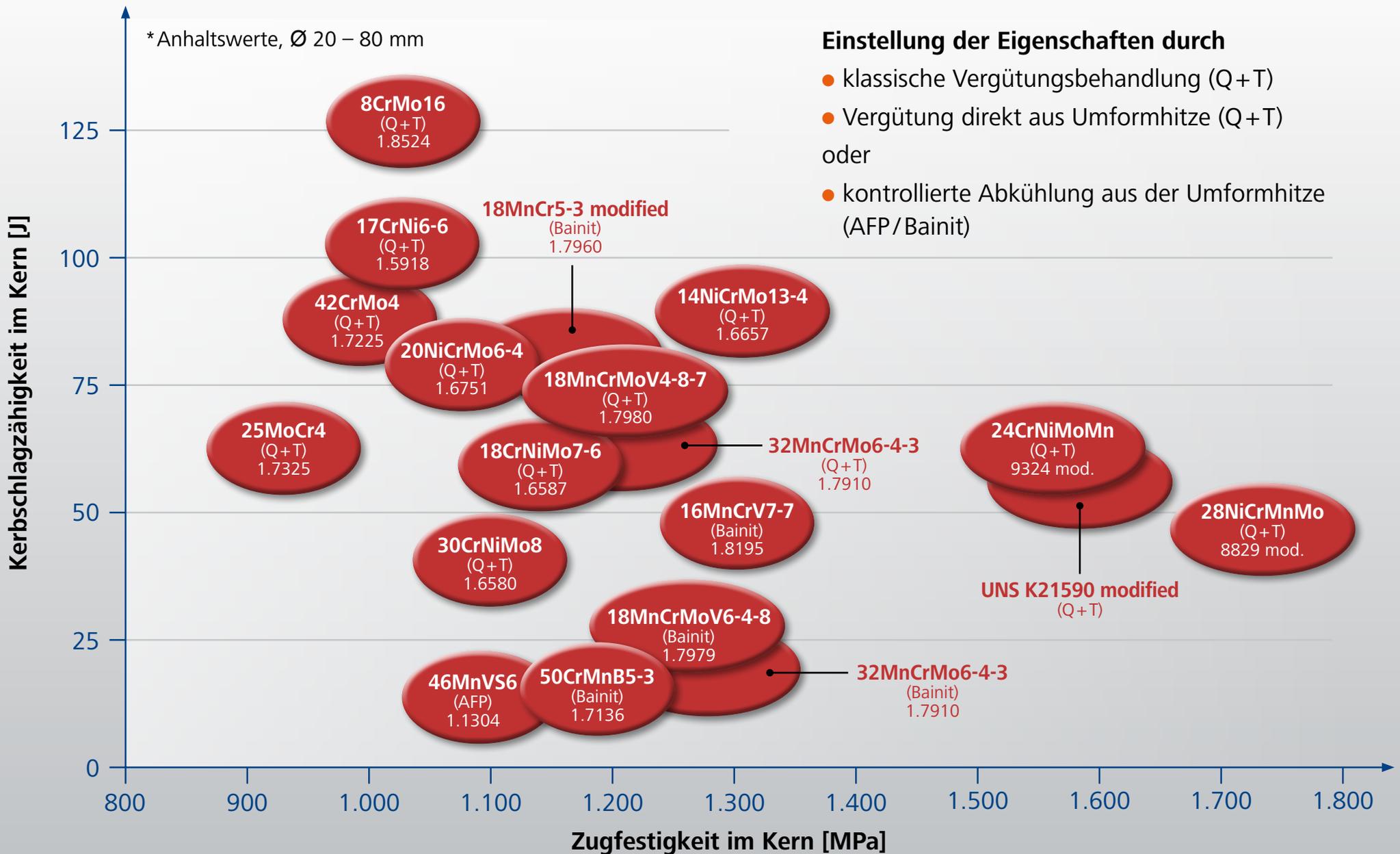
- Downsizing durch Festigkeitsklasse 15.9U
 - Leichtbaukopf
 - $\Delta m_{\text{Hybrid-Pkw}} = 5.600 \text{ g}$
 - $\Delta m_{\text{Lkw}} = 1.600 \text{ g}$
- 
- M10

Die Vielfalt hochfester Stähle – Stähle mit hohen Festigkeiten bei gleichzeitig hohen Zähigkeiten der Werkstoffe

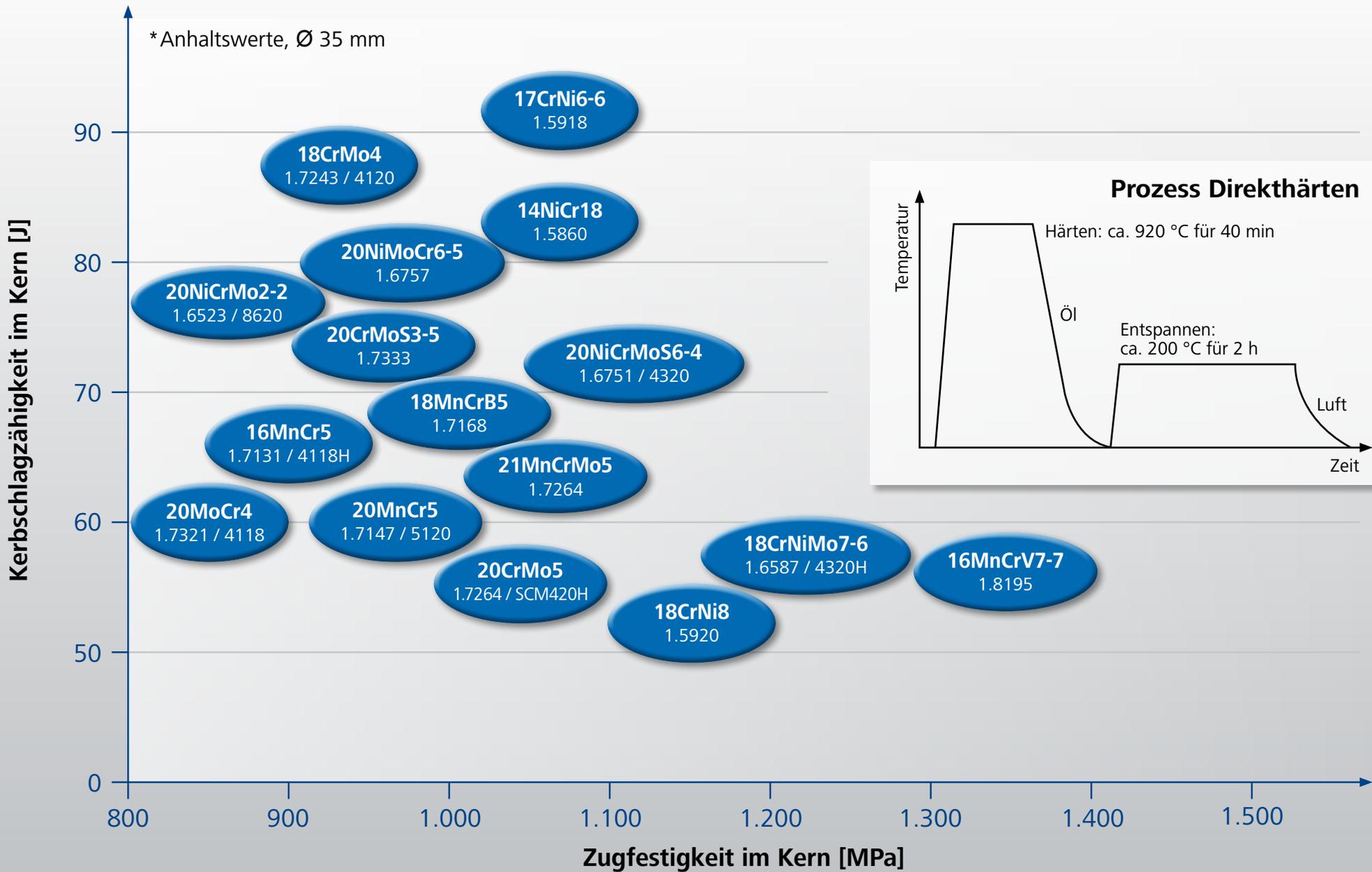
- ▶ **Stahlvielfalt führt zu anwendungsbezogener Bauteilauslegung**
- ▶ **Hohe Festigkeiten bei gleichzeitig hoher Zähigkeit ermöglicht stofflichen Leichtbau**
- ▶ **Werkstoffstammbäume erlauben gezielte und produktbezogene Werkstoffauswahl**

Gefügeabhängige Festigkeit und Zähigkeit von Stabstahl

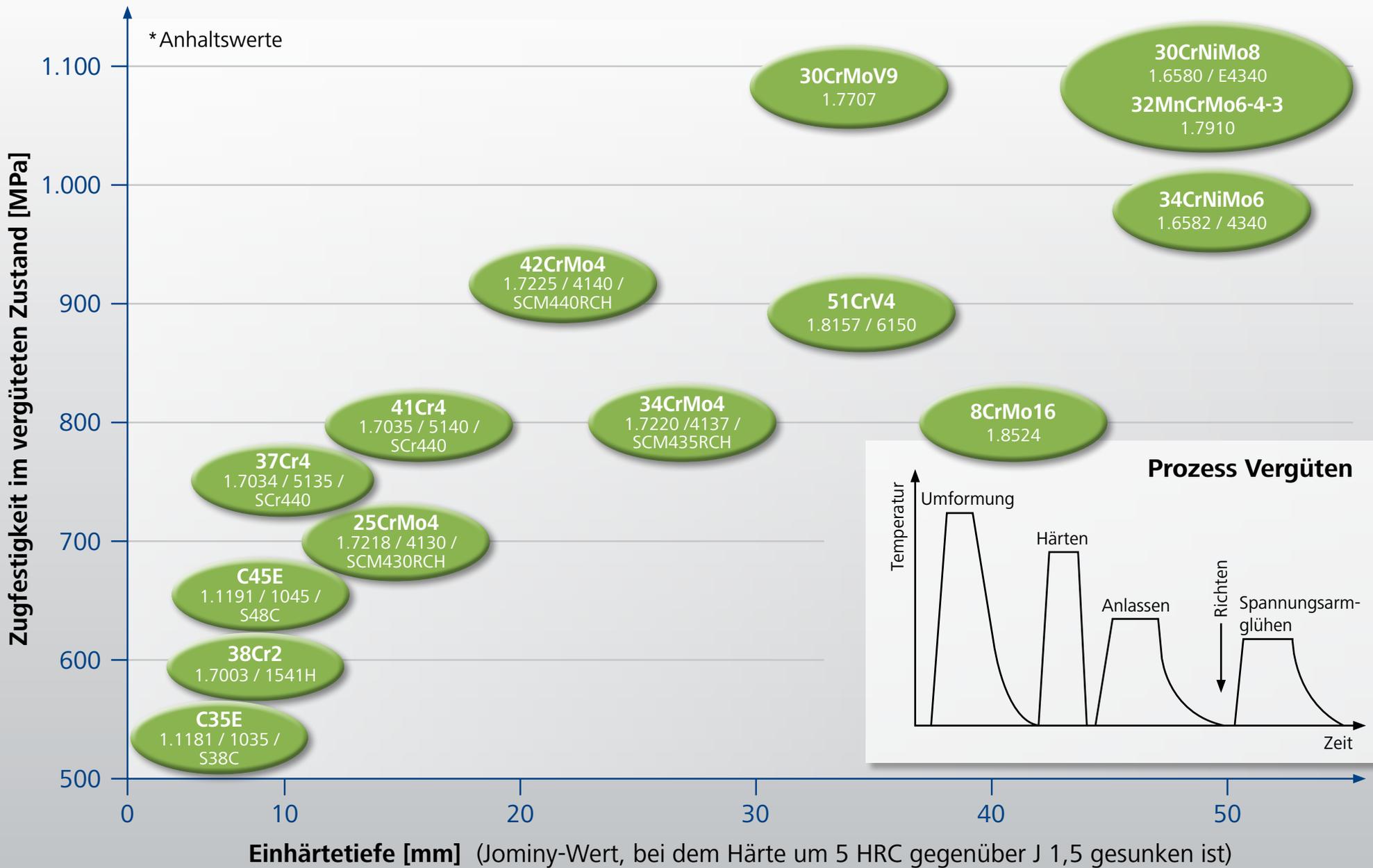




Werkstoffstammbaum „Einsatzstähle“*



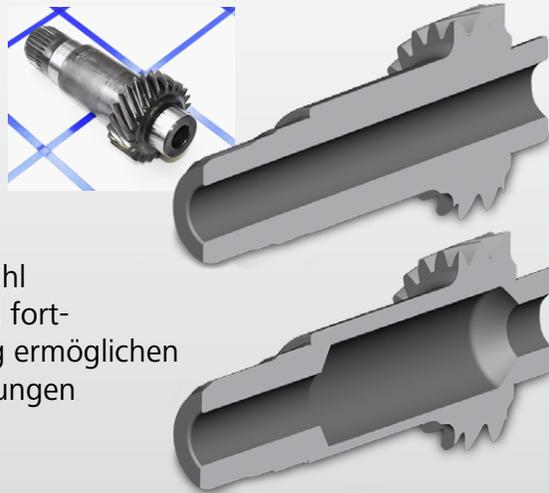
Werkstoffstammbaum „Vergütungsstähle“*



1. Antriebswelle Differential

Serie

- Einsatzstahl SCr420H
- $m = 1.182 \text{ g}$



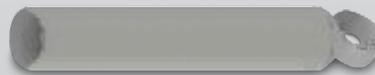
Potenzial

- Höherfester Einsatzstahl 16MnCrV7-7 (H2) und fortgeschrittene Fertigung ermöglichen Querschnittsverringerungen
- $m = 875 \text{ g}$
- $\Delta m = 307 \text{ g}$ (35%)

2. Stoßdämpfer

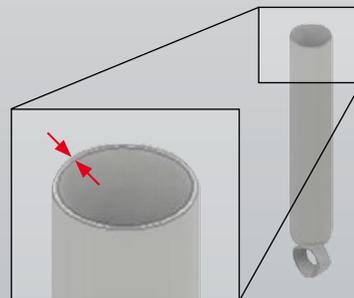
Serie

- Stahlrohr, z. B. E235 (1.0308)
- Wandstärke 2,8 mm
- $m = 1.054 \text{ g}$



Potenzial

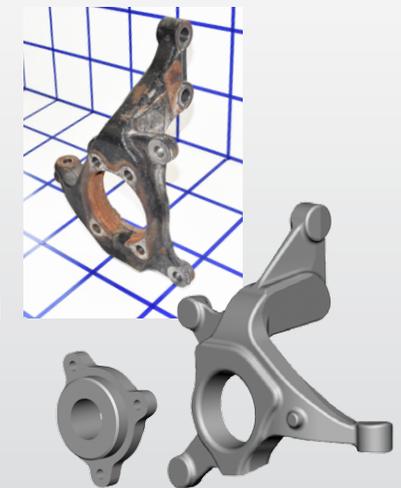
- Höherfestes Stahlrohr FB590
- Wandstärke 2,0 mm
- $m = 804 \text{ g}$
- $\Delta m = 250 \text{ g}$ (31%)



3. Radträger vorne links

Serie

- Gusseisen ($R_m = 400 - 600 \text{ MPa}$)
- $m = 5.060 \text{ g}$



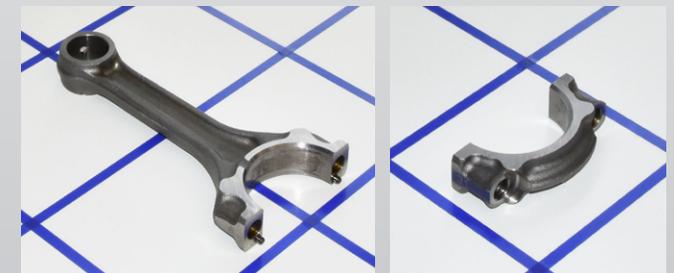
Potenzial

- Stahlschmiedeteil aus ferritisch-perlitischem oder bainitischem Stahl
- $R_m = 1.100 \text{ MPa}$
- $m \approx 4.100 \text{ g}$
- $\Delta m \approx 960 \text{ g}$ (23%)

4. Pleuel

Serie

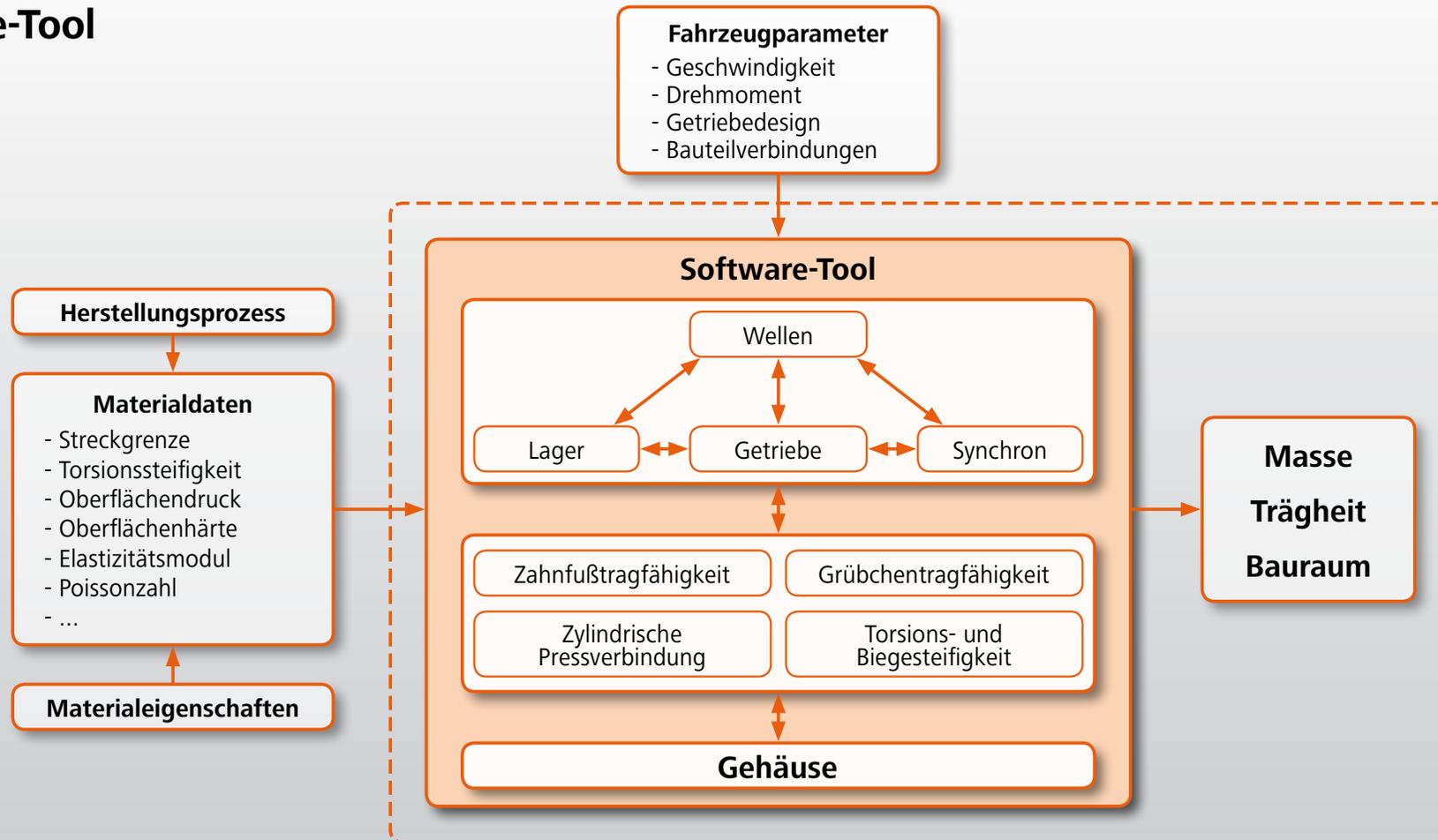
- 23MnVS3
- $m = 572 \text{ g}$



Potenzial

- Höherfester Stahl 36/46MnVS6Mod $\rightarrow \Delta m \approx 35\%$
- Weitere höherfeste Stähle: 27/30/38 MnVS6 u.ä.; 16MnCrV7-7, S40C + P

Software-Tool

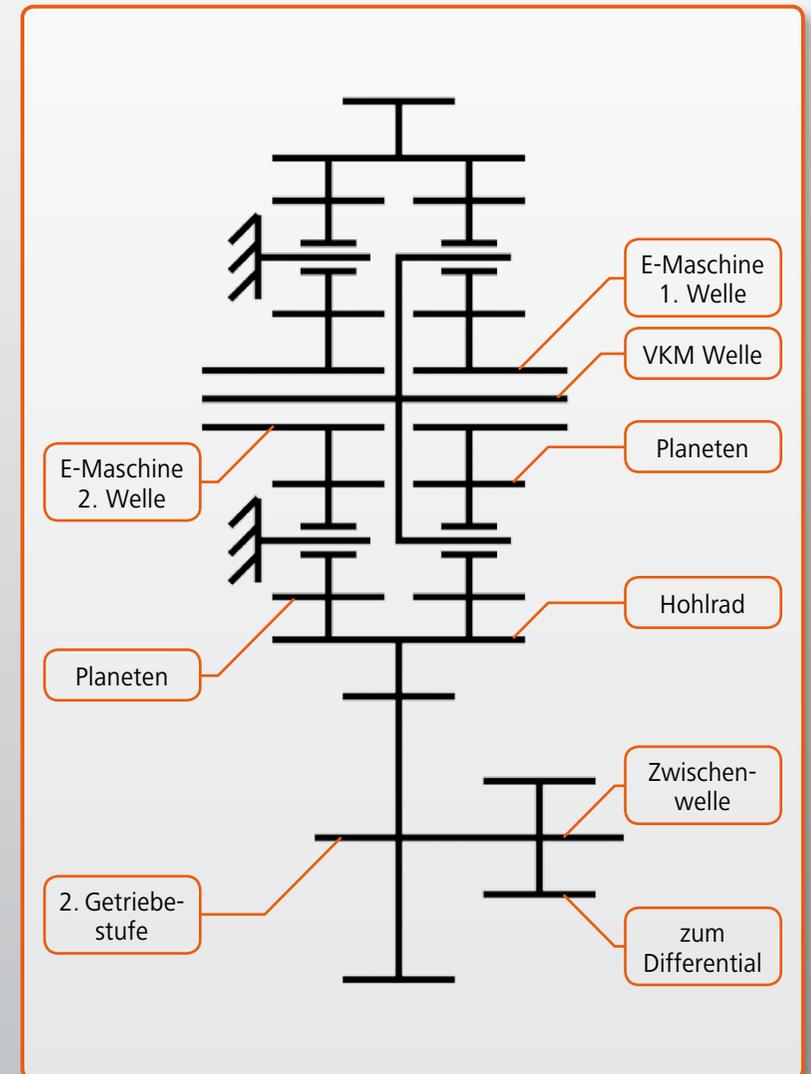


- Dimensionierung der Wellen nach DIN 743
- Dimensionierung der Zahnräder nach DIN 3990
- Dimensionierung des Planetengetriebes nach VDI 2157
- Dimensionierung der zylindrischen Pressverbindung nach DIN 7190

Software-Tool

- Entwicklung eines Modells zur groben Auslegung/ Berechnung von Design und Masse von Getrieben
- Modell erstellt und verifiziert für:
 - e-CVT-Hybrid-Getriebe, SCr420H, SCM420H (ähnlich zu 25CrMo4)
 - 12-Gang-Lkw-Getriebe, 25MoCrS4, 30MnSiV6, 20MoCrS4
- Evaluation der beeinflussenden Variablen der Materialcharakteristiken zur Getriebedimensionierung
- Untersuchung der realen Einflüsse hochfester Stähle
- Evaluation der „weichen Einflussfaktoren“ aus ISO 6336, Teil 5

Funktionales Layout des e-CVT-Hybrid-Getriebes



Software-Tool e-CVT-Hybrid-Getriebe

Software Tool planetary gearbox

Input variables

Dimension gear wheels

σ_{p0}	Permitted pitting resistance	1500	1500	N/mm ²
σ_s	Permitted tooth strenght	1000	1000	N/mm ²
E	E-Modul gear wheels	208000	208000	N/mm ²

Dimension gear shafts

τ_{sw}	Permitted swelling torsional tension	270	270	N/mm ²
τ_{sb}	Permitted bending fatigue strength	450	450	N/mm ²

Engine parameters

Power combustion engine	114	kW
Power electric engine	105	kW
Power generator	50	kW
Input torque: petrol engine	208	Nm
Input torque: electric engine	270	Nm
Input torque: generator	135	Nm
Input speed at maximum power of the combustion engine	4500	1/min

Total weight of the gear box

Weight of the reference gear box	104,1	kg
Weight of the optimized gear box	104,1	kg
Weight saving in kg	0,000	kg
Weight savin in %	0,000	%

Inertia of the shafts and gear wheels

Inertia of the reference gear box	0,0019	kg*m ²
Inertia of the optimized gear box	0,0019	kg*m ²
Inertia saving in kg*m ²	0,000	kg*m ²
Inertia saving in %	0,000	%

Shaft length

	reference	optimized	saving	
VKM-shaft	173,5	173,50	0,00	mm
MG1-shaft	85	85,00	0,00	mm
MG2-shaft Inside	170	170,00	0,00	mm
MG2-shaft Outside	76	76,00	0,00	mm
Hollow wheel shaft	81	81,00	0,00	mm
Intermediate shaft	143	143,00	0,00	mm

GT: pitting resistance (flank pressure)
ZT: tooth strenght (tooth root tension)

Gear wheel width

	sun gear 1	planetary gear	ring gear 1	sun gear 2	planetary gear	ring gear 2	GS1_Z1	GS1_Z2	GS2_Z1	GS2_Z2	
Reference gear box	30,00	28,50	29,50	21,00	17,20	23,00	25,00	25,00	38,70	33,00	mm
Optimized gear box	30,00	28,50	29,50	21,00	17,20	23,00	25,00	25,00	38,70	33,00	mm
Width savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm
Dimension after	GT	GT	ZT	GT	GT	ZT	ZT	ZT	ZT	ZT	

Gear wheel mass

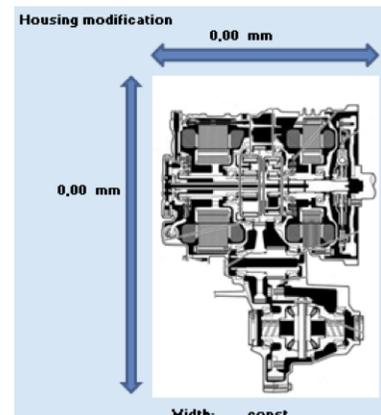
	sun gear 1	planetary gear	ring gear 1	sun gear 2	planetary gear	ring gear 2	GS1_Z1	GS1_Z2	GS2_Z1	GS2_Z2	
Reference gear box	0,262	0,785	0,222	0,209	0,267	0,131	0,585	2,300	1,604	3,580	kg
Optimized gear box	0,262	0,785	0,222	0,209	0,267	0,131	0,585	2,300	1,604	3,580	kg
Mass savings	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	kg



IPEK
Institut für Produktentwicklung
am Karlsruher Institut für Technologie

Housing modification

0,00 mm



0,00 mm

Total weight change 0,000 kg

Width: const.

Housing weight			
Width	reference 550	optimized 550,00	saving 0,00 mm
Length	reference 435,00	optimized 435,00	saving 0,00 mm
Height	reference 405,00	optimized 405,00	saving 0,00 mm
Weight	reference 26,833	optimized 26,833	saving 0,000 kg

shaft weight			
VKM-shaft	reference 0,674	optimized 0,674	saving 0,000 kg
MG1-shaft	reference 1,298	optimized 1,298	saving 0,000 kg
MG2-shaft Inside	reference 0,966	optimized 0,966	saving 0,000 kg
MG2-shaft Outside	reference 1,160	optimized 1,160	saving 0,000 kg
Hollow wheel shaft	reference 3,209	optimized 3,209	saving 0,000 kg
Intermediate shaft	reference 1,151	optimized 1,151	saving 0,000 kg

Input Values:

- pitting resistance
- tooth root stress
- E module
- torsional tension, pulsating
- bending fatigue strength
- power
- torque
- rotational speed

Output Values:

- Transmission weight
- Reduction in transmission weight

Output Values:

- Transmission width
- Transmission height
- Transmission length
- Reduction in transmission geometry

Output Values:

- inertia
- Reduction in transmission inertia

Input variables

Dimension gear wheels

σ_{HP}	Permitted pitting resistance	1500	1500	N/mm ²
σ_P	Permitted tooth strength	1000	1000	N/mm ²
E	E-Modul gear wheels	206000	206000	N/mm ²

Dimension gear shafts

T_{GS}	Permitted swelling torsional tension	270	270	N/mm ²
T_{GS}	Permitted bending fatigue strength	450	450	N/mm ²

Engine parameters

Power	50	kW
Input torque	139	Nm
Input speed	3435	1/min

Total weight of the gear box

Weight of the reference gear box	40.578	kg
Weight of the optimized gear box	40.578	kg
Weight saving in kg	0.000	kg
Weight saving in %	0.000	%

Inertia of the shafts and gear wheels

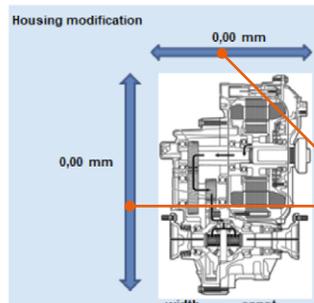
Inertia of the reference gear box	0.024	kg·m ²
Inertia of the optimized gear box	0.024	kg·m ²
Inertia saving in kg·m ²	0.000	kg·m ²
Inertia saving in %	0.000	%

Shaft length

	reference	optimized	saving	
Rotorshaft	102	102.00	0.00	mm
Input shaft	60	60.00	0.00	mm
Intermediate shaft	147	147.00	0.00	mm
Output shaft right	101.55	101.55	0.00	mm
Output shaft left	127	127.00	0.00	mm
Differential housing	138.4	138.40	0.00	mm

GT: pitting resistance (flank pressure)
ZT: tooth strength (tooth root tension)

Housing modification



Total weight change 0,000 kg

Housing weight

	reference	optimized	saving	
Width	385	385.00	0.00	mm
Length	306.00	306.00	0.00	mm
Height	275.00	275.00	0.00	mm
Weight	9.690	9.690	0.000	kg

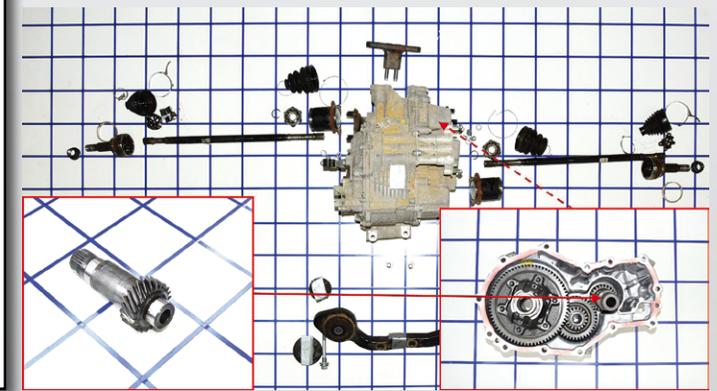
Shaft weight

	reference	optimized	saving	
Rotorshaft	6.845	6.845	0.000	kg
Input shaft	1.027	1.027	0.000	kg
Intermediate shaft	0.731	0.731	0.000	kg
Output shaft right	1.544	1.544	0.000	kg
Output shaft left	1.077	1.077	0.000	kg
Differential housing	0.585	0.585	0.000	kg

IPEK
Institut für Produktentwicklung
am Karlsruher Institut für Technologie

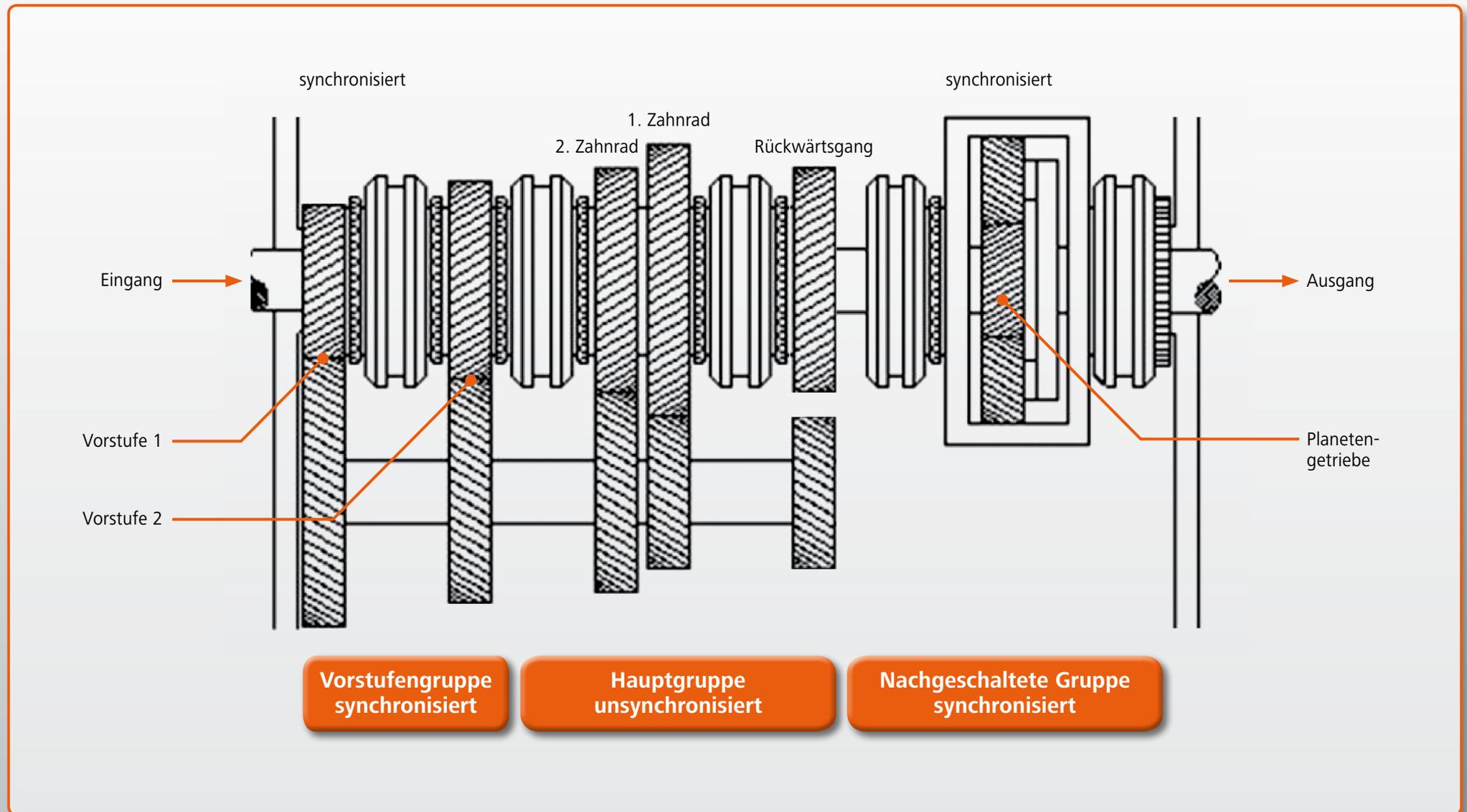
Änderung Gewicht
je nach Änderung Belastbarkeit

Änderung Abmessungen
je nach Änderung Belastbarkeit



Zahnflankenfestigkeit/MPa	Zahnfußfestigkeit/MPa	Schwellige Torsionsfestigkeit/MPa	Biegeermüdungsfestigkeit/MPa	Δ Gewicht/g
1.500 → 1.800	1.000	270	450	-129
1.500 → 1.800	1.000 → 1.200	270	450	-1.216
1.500 → 1.800	1.000 → 1.200	270 → 324	450	-1.722
1.500 → 1.800	1.000 → 1.200	270 → 324	450 → 540	-1.875

Funktionales Layout des Lkw-Getriebes



Software-Tool Lkw-Getriebe

Software Tool commercial vehicle

Input variables

Dimension gear wheels

σ_{HP}	Permitted pitting resistance	1500	1500	N/mm ²
σ_S	Permitted tooth strenght	1000	1000	N/mm ²
E	E-Modul gear wheels	206000	206000	N/mm ²

Dimension gear shafts

T_{sw}	Permitted swelling torsional tension	430	430	N/mm ²
T_{sb}	Permitted bending fatigue strength	450	450	N/mm ²

Engine parameters

Input torque	3300	Nm
Input speed at maximum power	2000	1/min

Total weight of the gear box

Weight of the reference gear box	283,3	kg
Weight of the optimized gear box	283,3	kg
Weight saving in kg	0,0	kg
Weight savin in %	0,0	%

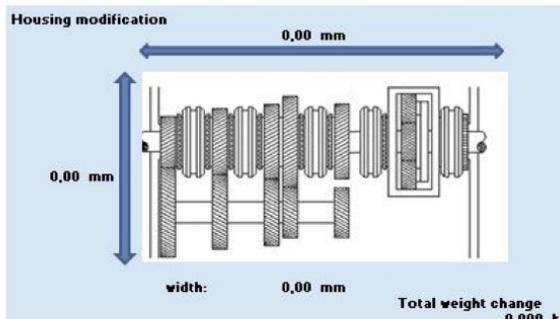
Inertia of the shafts and gear wheels

Inertia of the reference gear box	0,143	kg*m ²
Inertia of the optimized gear box	0,143	kg*m ²
Inertia saving in kg*m ²	0,000	kg*m ²
Inertia saving in %	0,0	%

Shaft length

	reference	optimized	saving	
Input shaft	446,50	446,50	0,00	mm
Forward shaft	544,00	544,00	0,00	mm
Forward 1+2	165,00	165,00	0,00	mm
Forward 3	128,00	128,00	0,00	mm
Intermediate shaft	517,00	517,00	0,00	mm
Planetary shaft	64,50	64,50	0,00	mm
Reversal of rotation	118,50	118,50	0,00	mm
Output shaft	288,00	288,00	0,00	mm

GT: pitting resistance (flank pressure)
ZT: tooth strenght (tooth root tension)



Housing modification

0,00 mm

0,00 mm

width: 0,00 mm

Total weight change 0,000 kg

IPEK
Institute of Product Engineering
at Karlsruhe Institute of Technology

Input Values:

- pitting resistance
- tooth root stress
- E module
- torsional tension, pulsating
- bending fatigue strength
- torque
- rotational speed

Output Values:

- Transmission weight
- Reduction in transmission weight

Output Values:

- Transmission width
- Transmission height
- Transmission length
- Reduction in transmission geometry

Output Values:

- inertia
- Reduction in transmission inertia reduced of 1st gear

Housing weight

	reference	optimized	saving	
Width	558	558,00	0,00	mm
Length	917,00	917,00	0,00	mm
Height	550,00	550,00	0,00	mm
Weight	72,120	72,120	0,000	kg

Shaft weight

	reference	optimized	saving	
Input shaft	9,51	9,51	0,00	kg
Forward shaft	16,42	16,42	0,00	kg
Forward 1+2	3,18	3,18	0,00	kg
Forward 3	3,49	3,49	0,00	kg
Intermediate shaft	14,81	14,81	0,00	kg
Planetary shaft	0,33	0,33	0,00	kg
Reversal of rotation	0,47	0,47	0,00	kg
Output shaft	21,30	21,30	0,00	kg

Gear wheel width

	Vor1 Z1	Vor1 Z2	Vor2 Z1	Vor2 Z2	G3 Z1	G3 Z2	G4 Z1	G4 Z2	R1	R2	R3	sun gear	planetary gear	ring gear
Reference gear box	56,50	56,00	54,50	54,00	61,50	61,50	80,00	77,00	53,00	49,00	48,00	44,00	42,00	50,00
Optimized gear box	56,50	56,00	54,50	54,00	61,50	61,50	80,00	77,00	53,00	49,00	48,00	44,00	42,00	50,00
Width savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dimension after	GT	GT	GT	GT	GT	ZT	GT	ZT	GT	GT	ZT	GT	GT	ZT

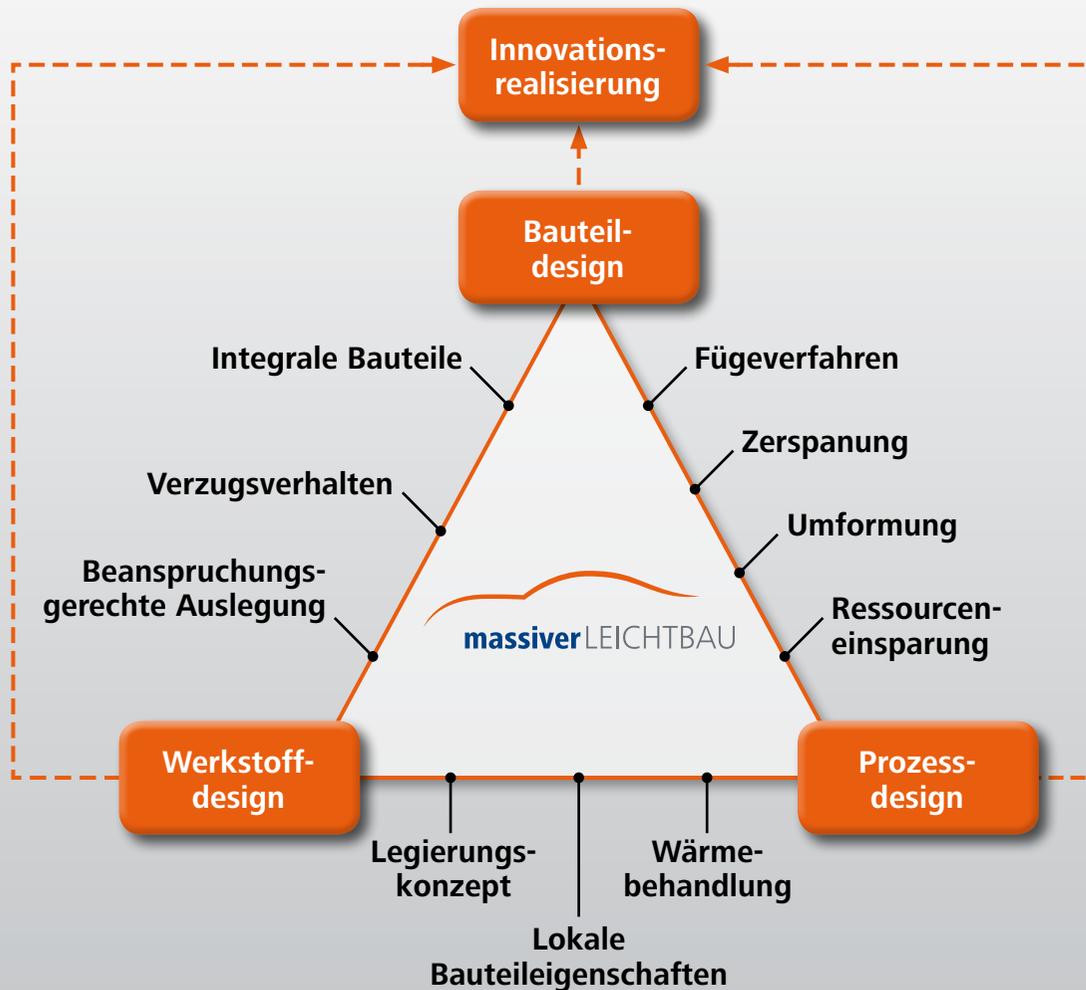
Gear wheel mass

	Vor1 Z1	Vor1 Z2	Vor2 Z1	Vor2 Z2	G3 Z1	G3 Z2	G4 Z1	G4 Z2	R1	R2	R3	sun gear	planetary gear	ring gear
Reference gear box	8,08	3,42	5,76	5,10	1,53	7,78	1,21	12,58	0,46	3,10	6,34	0,78	1,31	4,80
Optimized gear box	8,08	3,41	5,76	5,10	1,53	7,78	1,21	12,58	0,46	3,10	6,34	0,78	1,30	4,80
Mass savings	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Ergebnisse

- Das Leichtbaupotenzial in Bezug auf die Masse für eine Optimierung der Materialeigenschaften um 10 % ergibt sich:
 - für das e-CVT-Hybrid-Getriebe zu circa 3,5 kg
 - für das 12-Gang-Lkw-Getriebe zu circa 17 kg
- Das Modell zeigt weiterhin:
Eine weitere Erhöhung der Materialfestigkeit der Zahnräder und Wellen könnte zur weiteren Gewichtseinsparung führen.

Der Forschungsverbund „Massiver Leichtbau“



Der Forschungsverbund „Massiver Leichtbau – Innovationsnetzwerk für Technologiefortschritt in Bauteil-, Prozess- und Werkstoff-Design für massivumgeformte Bauteile der Automobiltechnik“ ist entstanden aus dem Ideenwettbewerb „Leittechnologien für KMU“ des BMWi-IGF über die AiF.

- ▶ Ziel: Mithilfe neuer Stahlwerkstoffe sowie Bauteilkonstruktionen und Fertigungsmethoden auch den Antriebsstrang von Automobilen – vom Motor über das Getriebe bis zu den Radlagerungen – noch leichter zu machen und trotzdem höchste Lebensdauererwartungen zu erfüllen.

Mehrkomponenten-Zahnräder

<p>Werkstoff Geometrie Fertigungsverfahren</p> <p>Gewichtsreduktion Drehmoment (statisch)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 18CrNiMo7-6 ● Vollkörper ● Gedreht  <ul style="list-style-type: none"> ● 0 % ● 794 Nm* / 889 Nm** 	<ul style="list-style-type: none"> ● 18CrNiMo7-6 ● 4 x Bohrungen ● Gedreht/gefräst  <ul style="list-style-type: none"> ● -25 % ● 192 Nm* 	<ul style="list-style-type: none"> ● 18CrNiMo7-6 ● Umfangsnut ● Gedreht/gefräst  <ul style="list-style-type: none"> ● -25 % ● 333 Nm*
<p>Werkstoff Geometrie Fertigungsverfahren</p> <p>Gewichtsreduktion Drehmoment (statisch)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● DC04 (Blech) ● Leichtbaustruktur ● Tiefgezogen  <ul style="list-style-type: none"> ● -44,5 % ● 433 Nm** 	<ul style="list-style-type: none"> ● Dualphasenstahl ● Leichtbaustruktur ● Geschnitten/paketi  <ul style="list-style-type: none"> ● -30,5 % ● 627 Nm* / 776 Nm** 	<ul style="list-style-type: none"> ● C15 ● Leichtbaustruktur ● Umformfügen  <ul style="list-style-type: none"> ● -30 % ● 1.200 Nm

Die Forschungsvereinigungen

Der Forschungsverbund wird seit dem 01.05.2015 durch die ...



FOSTA Forschungsvereinigung
Stahlanwendung e.V.
(Federführung)



Arbeitsgemeinschaft Wärme-
behandlung und Werkstoff-
technik e.V., Bremen (AWT)



Forschungsvereinigung
Antriebstechnik e.V.,
Frankfurt (FVA)



Forschungsgesellschaft
Stahlverformung e.V.,
Hagen (FSV)

... aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert. Die Laufzeit beträgt 3 Jahre.

Zusätzliche Leichtbaupotenziale zu den Ergebnissen aus Phase I und II sind in ca. zwei Jahren zu erwarten. Erst die wissenschaftliche Absicherung der dynamischen Belastung neuer Werkstoffe aus den im Mai 2015 gestarteten fünf Forschungsprojekten garantiert weitere Ergebnisse.

Die Initiative Massiver Leichtbau erwartet aus dem Forschungsverbund zusätzliche Gewichtsoptimierungsmöglichkeiten.

Ergebnistransfer

- Aktuelle Informationen unter www.massiverLEICHTBAU.de
- Veröffentlichungen
- Vortragsveranstaltungen und Ausstellungen
- TechDays „Massiver Leichtbau“ bei Automobilfirmen und Systemlieferanten
- **Kontakt:**
Industrieverband Massivumformung e. V.
Dorothea Bachmann Osenberg
Telefon: +49 2331 958830
E-Mail: info@massiverLEICHTBAU.de