

# ATZ

09 September 2012 | 114. Jahrgang



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

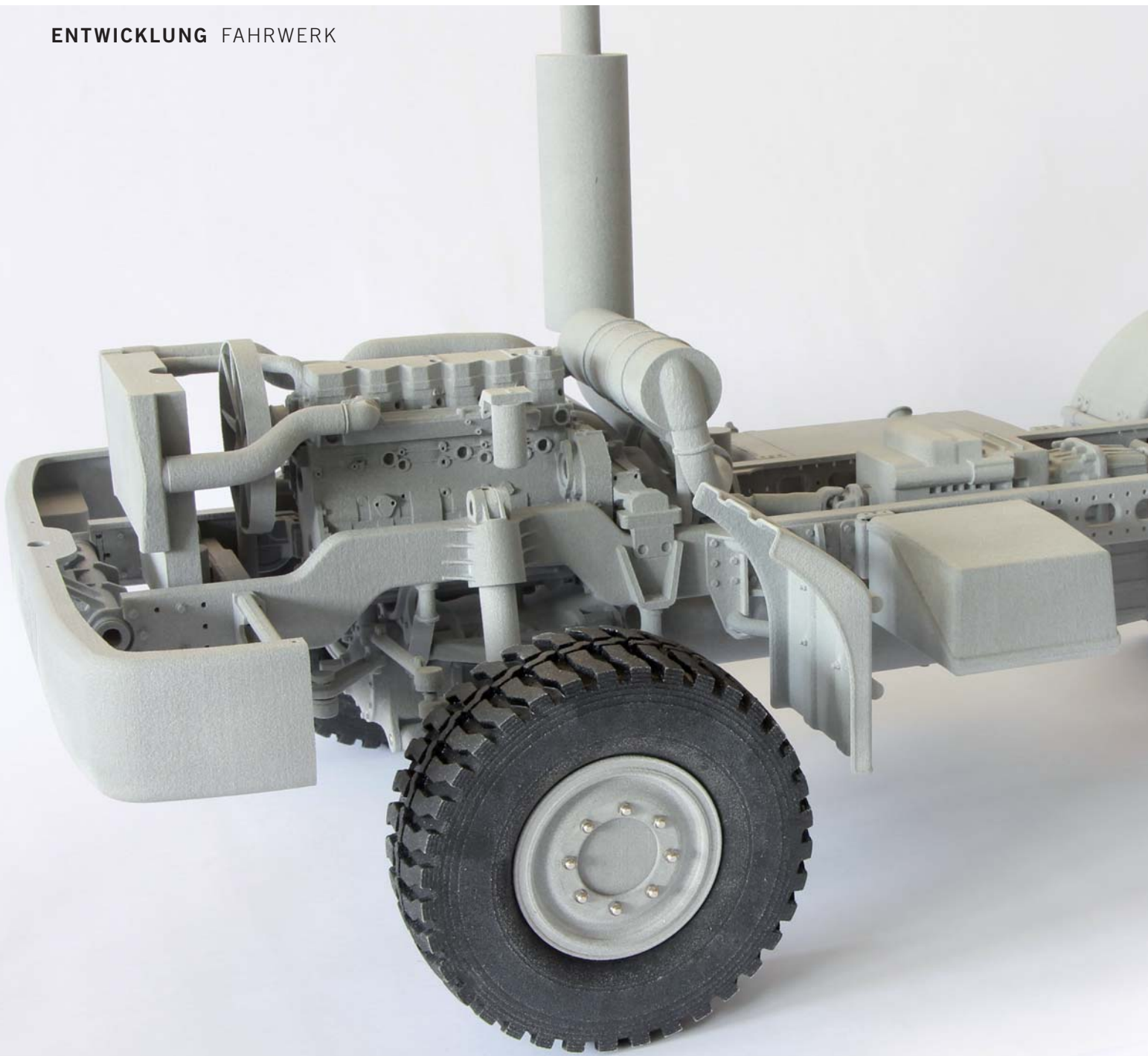
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**SONDERDRUCK / OFFPRINT**

aus / from ATZ 09|2012  
Springer Automotive Media  
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH



## LEICHTBAU-FAHRGESTELLENTWICKLUNG



## LEICHTBAU-FAHRGESTELL MIT EINZELRADAUFHÄNGUNG FÜR LEICHTE LKW

Die in Lkw heute üblichen Fahrgestelle mit starren Achsen haben große ungedeferte Massen. Das schränkt den Fahrkomfort ein und schadet dem Straßenbelag. Im Rahmen eines Forschungsprojekts, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert wurde, entwickelten die Ingenieure von Gratz Engineering konzeptionell ein Leichtbau-Fahrgestell mit Zentralrohr und Einzelradaufhängung. Damit kann das Fahrzeug eine höhere Nutzlast transportieren, gleichzeitig reduziert sich die Fahrbahnbelastung.



## AUTOREN



**DIETMAR INGELFINGER**  
ist Abteilungsleiter Fahrzeuge  
bei der Gratz Engineering GmbH  
in Weinsberg.



**DIPL.-ING. (FH) MANUEL LIEDKE**  
ist Motorenentwickler und  
Projektleiter Forschungsprojekt  
ULTC bei der Gratz Engineering  
GmbH in Weinsberg.

## MOTIVATION

Nutzkraftwagen dienen dem sicheren und rationellen Transport von Personen und Gütern. Dabei bestimmt das Verhältnis von Nutzraum zu gesamtem Bauraum und von Nutzlast zu Gesamtgewicht den Grad der Wirtschaftlichkeit. Maße und Gewichte sind gesetzlich begrenzt. Stand der Technik bei Lkw sind Normalfahrgerüste mit blatt- oder luftgefederten starren Vorder- und Hinterachsen. Sie haben den Nachteil, dass die Räder sich bei der großen ungefederten Masse der Achsen gegenseitig beeinflussen, wenn die Fahrbahn einseitig uneben ist. Auch lassen sich Vorspur und Sturz nicht gezielt über anliegende Radkräfte oder fahrsituationsabhängige Einfederbewegungen beeinflussen, und ihre massive und relativ zum Aufbau bewegliche Querverbindung nimmt viel Raum in Anspruch. Das Tragwerk größerer Nutzfahrzeuge bildet meist ein Leiterrahmen mit Längs- und Querträgern. Ein solcher Rahmen bietet keine geeigneten Lastenleitungsstellen, um die Querkräfte aus einer Einzelradaufhängung (ERA) aufzunehmen. Die Anbindung einer ERA an einen Leiterrahmen schränkt vor allem die erreichbaren Federwege ein. Gegenüber den derzeit üblichen durchgängigen Starrachsen entstand im Projekt konzeptionell ein Leicht-



1 Zentralrohrrahmen

bau-Fahrgestellkonzept (Ultra Light Truck Chassis, ULTC) mit Zentralrohr und Einzelradaufhängung für die Gewichtsklasse 5,5 bis 12 t in der Fahrzeugklasse N2 mit einem 4×4-Fahrgewerk für unterschiedliche Radstände.

Ein wesentliches Merkmal von Einzelradaufhängungen im Vergleich zu Achsbrückenlösungen sind reduzierte ungefederte Massen. Die Federung ist umso besser und der Fahrkomfort umso höher, je kleiner die ungefederte Masse im Verhältnis zur gefederten Masse des Fahrzeugs ist. Außerdem leidet die Straße unter den dynamischen Radlastschwankungen durch schwere Achskörper, während die Räder bei Einzelradaufhängung sensibler federn. Denn bei geringeren ungefederten Massen treten in Folge der Vertikalbeschleunigungen geringere Kräfte auf. Also führt eine Einzelradaufhängung mit geringeren ungefederten Massen zu einer reduzierten Belastung des Fahrers und höherem Fahrkomfort, gleichzeitig schont sie Ladung und Straßen.

## FAHRZEUGKATEGORIE

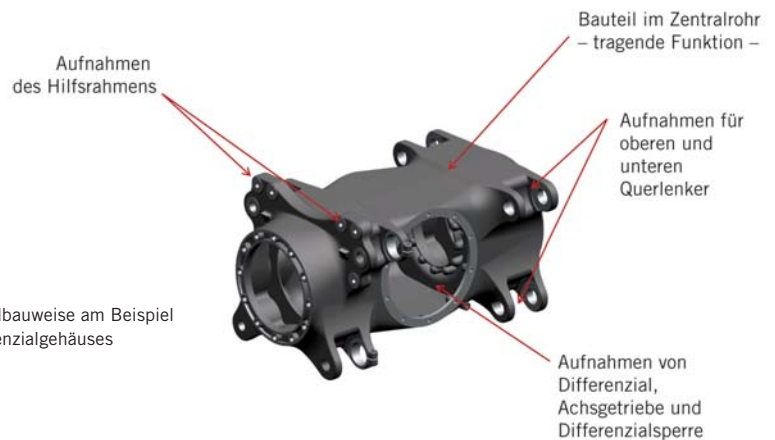
Um ein Fahrgestell für das ULTC-Projekt konstruieren und auslegen zu können, war es notwendig, sich für eine Fahrzeugkategorie und die entsprechende zulässige Gesamtmasse zu entscheiden. Es wurde festgelegt, ein 12-t-Fahrgestell mit dem kürzestmöglichen Radstand und zusätzlichem Allradantrieb als Basis für die Untersuchungen heranzuziehen. So sollte das Fahrgestell mit dem komplexesten Bauraum entstehen. Allerdings wurden auch weitere Varianten wie zum Beispiel 6×6- und 4×2-Varianten konzeptionell betrachtet, um sicherzustellen, dass die gefundenen Lösungen und Konzepte modular anwendbar sein würden.

## GEWICHTSEINSPARUNG

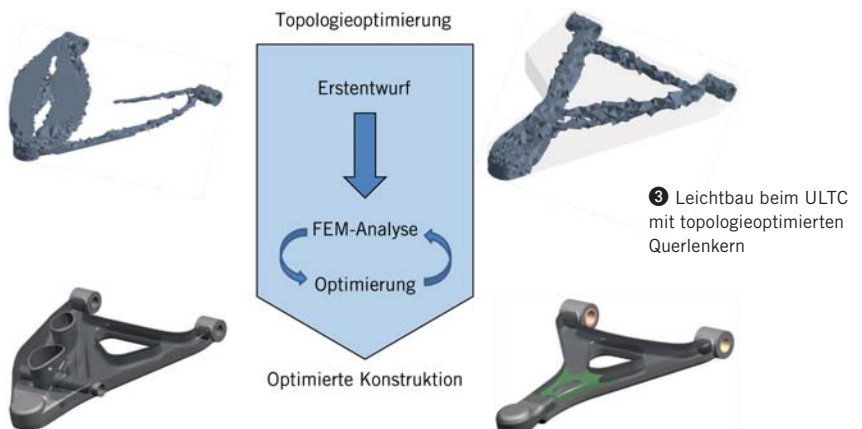
Anstelle des Leiterrahmens, der viel Gewicht und Platz beansprucht, entwickelten die Ingenieure im Projekt einen

Zentralrohrrahmen. Damit lassen sich trotz leichterer Bauweise große Flächenträgheitsmomente und Widerstandsmomente realisieren, die am Zentralrohr eine hohe Biege- und Torsionssteifigkeit bewirken. Entsprechend kommen zum Teil hochfeste Werkstoffe wie hoch- und höherfeste Stähle, beispielsweise Bleche aus TRIP-Stahl (Transformation Induced Plasticity) für die Querlenker (Zugfestigkeit von 780 N/mm<sup>2</sup> bei 21 % Bruchdehnung A80), als Werkstoffe in Frage. Der neu entwickelte Zentralrohrrahmen ohne Fahrwerk ist in 1 abgebildet. Seitlich oberhalb des Zentralrohrs sind zwei Längsträger angeordnet, um die Kabine und die weiteren Auf- und Anbauten auf-

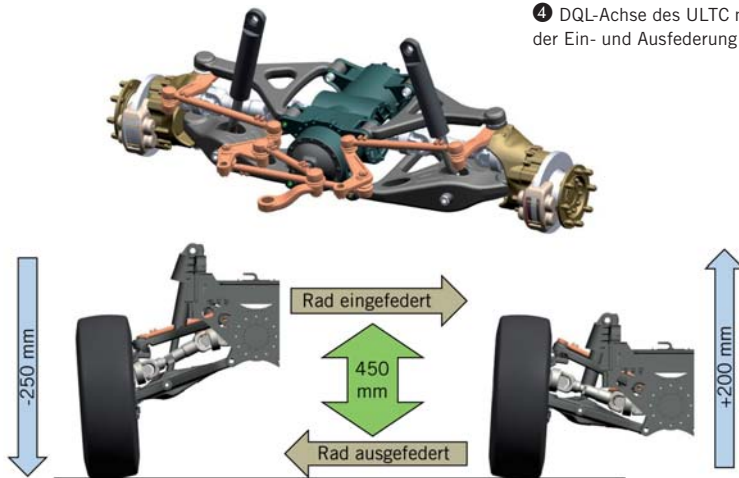
zunehmen. Weiter lässt sich der hintere Teil der Längsträger der jeweiligen Last- und Aufbausituation anpassen, sodass ein zusätzlicher Hilfsrahmen entfallen kann. Die Fahrwerks- und Aufbaukräfte werden direkt in das Zentralrohr eingeleitet. Der Zentralrohrrahmen erlaubt eine integrale Bauweise, wie 2 am Beispiel des Differenzialgehäuses zeigt. Der Antrieb erfolgt über Quergelenkwellen in einer Konstruktion, die unterhalb des maximalen Beugewinkels der Antriebswellen bleibt, sodass kein erhöhter Verschleiß zu erwarten ist. Die Radaufhängung am Zentralrohrrahmen wird über Doppelquerlenker (DQL), 3, ausgeführt. Fünf relevante Lastfälle lieferten die Daten für die Kräfte und Momente. So konnten die Ingenieure mit dem Programm Ansys V12 per Finite-Elemente-Methode (FEM) eine Festigkeitsrechnung durchführen. Die Strukturfindung erfolgte per Topologieoptimierung. Man gelangte zum Konzept des Zweischalenelements, das mit seiner geschlossenen Struktur ein großes Flächenträgheits- und Widerstandsmoment besitzt.



2 Integralbauweise am Beispiel des Differenzialgehäuses



4 DQL-Achse des ULTC mit Kinematik der Ein- und Ausfederung



## KINEMATIKAUSLEGUNG

Bei der Auslegung der DQL-Achse achteten die Ingenieure genau auf Robustheit und Lebensdauer. Diese Eigenschaften sind für Nutzfahrzeuge besonders wichtig, zum Beispiel hinsichtlich des Reifenverschleißes. Beim Einfedern sollte der Sturz negativ tendieren, beim Ausfedern positiv. Das wirkt dem Beugewinkel der Antriebswelle entgegen und erhöht ihre Übertragungsfähigkeit. Die Spurweitenänderung sollte hauptsächlich beim Einfedern gering bleiben, damit der Reifen weniger auf der Fahrbahn radiert und weniger Reifenverschleiß auftritt. Außerdem sollten möglichst geringe Lenkkräfte entstehen. Um diese Ziele zu erreichen, führten die Entwickler den oberen Querlenker kürzer aus als den unteren und versahen ihn mit einem positiven Schrägstellungswinkel. Das lässt den Sturz beim Einfedern in negative, beim Ausfedern in positive Bereiche tendieren. Das Wankzentrum liegt nah an der Fahrbahn und der Beugewinkel der Antriebswelle reduziert sich. Ein parallel zur Fahrbahn ausgerichteter Querlenker erhöht die Bodenfreiheit auf 429 mm unter der Achse für die Allradvarianten. Das Ergebnis für den eingefederten und den ausgefederten Zustand zeigt 4.

## ERGEBNISSE

Im Projekt entstand ein Leichtbau-Fahrgestellkonzept mit Einzelradaufhängung für die Gewichtsklasse 5,5 bis 12 t (Fahrzeugklasse N2 mit einem zulässigen Gesamtgewicht bis zu 12 t) mit 4×4-Fahrwerk, 5. Sein Leergewicht liegt bei ungefähr 5150 kg. Im Vergleich zu Fahr-

zeugen der Klasse N2 mit konventionellen 4×4-Fahrwerken mit Starrachsen beträgt die Gewichtseinsparung im Durchschnitt 4 bis 6 %. Es gibt durchaus weiteres Einsparpotenzial, da viele Einzelteile noch nicht optimiert wurden, wie zum Beispiel Radträger, Lenkungsteile und Getriebe. Auch der Rahmen lässt sich laut FEM-Analyse noch leichter darstellen. Ein wichtiges Ziel der Einzelradaufhängung betraf die ungefederten Massen: Sie sollten geringer ausfallen als bei vergleichbarer Starrachse. Die ungefederte Masse des ULTC beträgt für eine Achse 436 kg (Querlenker, Radträger, Bremse, Antriebswelle, Kolben, Federung, Vorgelege, komplette Lenkung, ohne Räder). Vergleicht man diese Einzelradaufhängung mit einer üblichen Starrachse, ergibt sich eine deutliche Einsparung von etwa 20 %.

Weitere Vorteile sind:

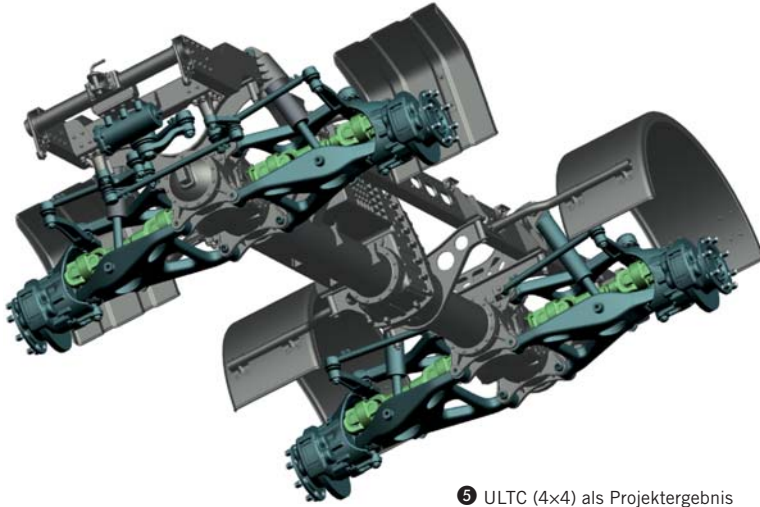
- : Durch die hydropneumatische Federung können die Stabilisatoren entfallen. Da ein Stabilisator einer einseitigen Einfederung bei einer maximalen Federwegsdifferenz von 450 mm entgegenwirken würde, wäre er ohnehin nicht einsetzbar. Daher erfolgt der Ausgleich der Wankbewegung aktiv durch die Hydropneumatik, was auch eine kinematische Sturzänderung bei Kurvenfahrt verhindert.
- : Die Räder können einzeln einfedern und beeinflussen sich nicht gegenseitig.
- : Die Einzelradaufhängung kann besser in das Package eines Nutzfahrzeugs oder Transporters eingepasst werden.
- : Indem die Lage des Wankzentrums variiert und damit das Wankmoment beeinflusst werden kann, bestehen

mehr kinematische Auslegungsmöglichkeiten gegenüber einer Starrachse. Die Einzelradaufhängung verbessert den Komfort. Der Anteil der ungefederten Massen verringert sich, insbesondere weil das Achsgetriebe vom Rahmen aufgenommen wird. Bei gleichzeitiger Verwendung einer hydropneumatischen Federung ermöglicht es die Einzelradaufhängung, eine sogenannte Skyhook-Aufhängung abzubilden. Schließlich entstand in der Entwicklung ein Baukastensystem, das zu Vereinfachungen und Kosteneinsparungen führen kann: Die Vorder- und die Hinterachse bestehen – von der Lenkung abgesehen – aus den gleichen Bauteilen. So lassen sich auch mehrachsige Fahrgestelle leicht realisieren. Die Querlenker sind wechselseitig herstellbar.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Allgemeinen beträgt der Einfederweg bei Lkw mit Starrachsen nur ungefähr 80 mm. Außer bei der Luftfederung erfolgt keine Anpassung der Federraten an die verschiedenen Beladungszustände. Die derzeitige unbefriedigende Situation, insbesondere die zunehmenden daraus entstehenden Schäden im Straßenunterbau, führte zum ULTC-Entwicklungsprojekt. Leichte Lkw mit Einzelradaufhängung sollen die Straßen schonen.

Vergleicht man die beiden Konzepte von Starrachse und Einzelradaufhängung unter technischen Gesichtspunkten, so spricht zwar für die Starrachse, dass sie einfach und kostengünstig in Konstruktion, Herstellung und Wartung ist. Nachteilig sind jedoch ein relativ hoher Bauraumbedarf im Fahrzeug, die schwere Ausführung mit bis zu 750 kg ungefederter Masse (ohne Räder) bei 8 t Achslast sowie die Tatsache, dass die fahrdynamischen Parameter Sturz, Spreizung, Nachlaufwinkel und Vorspur nur in begrenztem Umfang variabel sind. Dagegen ist die Einzelradaufhängung deutlich aufwendiger und kostenintensiver als die Starrachse. Sie bietet aber die Möglichkeit einer Gewichtseinsparung und den weiteren Vorteil der nahezu freien Wählbarkeit der fahrdynamischen Parameter und Radaufhängungsgrößen. Damit lässt sich das Konzept gut an die herrschenden Randbedingungen anpassen. Die Räder einer Achse beeinflussen sich im Unterschied zur Starrachse nicht gegenseitig. Das gesamte Achsgetriebe (Differenzialgehäuse) federt nicht mit, sodass



5 ULTC (4x4) als Projektergebnis

die ungefederten Massen deutlich geringer sind. Da im Fall der Einzelradaufhängung das Achsgetriebe und die Achsbrücke nicht an der Ein- und Ausfederbewegung teilnehmen, ist gegenüber Blattfederaggregaten ein geringerer Einbauraum nötig. Das schafft Freiräume für eine bessere Raumnutzung, beispielsweise mit Komponenten zur Abgasnachbehandlung. Anstelle des Leiterrahmens, der viel Gewicht und Platz

beansprucht, kam ein Zentralrohrrahmen zum Einsatz, der mehr Bodenfreiheit ge-



**DOWNLOAD DES BEITRAGS**  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)



**READ THE ENGLISH E-MAGAZINE**  
order your test issue now:  
[springervieweg-service@springer.com](mailto:springervieweg-service@springer.com)

währt (Allradvariante) oder zur Verbesserung der Ladehöhe beiträgt.

## DANKE

Der Dank der Autoren gilt der EuroNorm Gesellschaft für Qualitätssicherung und Innovationsmanagement mbH für die Betreuung des Projekts, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Weiterhin gilt der Dank den Co-Autoren und Mitarbeitern von Gratz Engineering, Weinsberg: Dipl.-Ing. (FH) Rolf Weyrauch, Dipl.-Ing. (FH) Uwe Becker, Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Ritter und Michael Bürger sowie den Geschäftsführern der Gratz Engineering GmbH Dipl.-Ing. (FH) Klaus Schächtele und Dipl.-Ing. (FH) Peter Gratz in Weinsberg. Ebenfalls bedanken sich die Autoren bei Dr.-Ing. Klaus Mager, Ingenieurbüro Mager, Bad Dürkheim, für die administrative Unterstützung bei der Durchführung des Projekts.

Weitere Informationen siehe [www.Gratz.de](http://www.Gratz.de)



**Gratz Engineering GmbH**  
Linsenbergrasse 9  
74189 Weinsberg  
+49-7134-9899-0  
+49-7134-9899-49  
[info@gratz.de](mailto:info@gratz.de)

**Dieburg**  
Schlossgartenweg 3  
64807 Dieburg  
+49-6071-9295-0  
+49-6071-9295-29  
[dieburg@gratz.de](mailto:dieburg@gratz.de)

**Mannheim**  
Saarburger Ring 45  
68229 Mannheim  
+49-621-391804-40  
+49-621-391804-49  
[mannheim@gratz.de](mailto:mannheim@gratz.de)

**Stuttgart**  
Berlingerstrasse 2  
71254 Ditzingen  
+49-7156-3050-000  
+49-7156-3050-199  
[stuttgart@gratz.de](mailto:stuttgart@gratz.de)

**Gratz Simulation GmbH**  
Schlesische Straße 5  
63584 Gründau-Lieblös  
+49-6051-788022-0  
+49-6051-788022-9  
[simulation@gratz.de](mailto:simulation@gratz.de)

**Gratz Prototyping GmbH**  
Dammweg 21  
64807 Dieburg  
+49-6071-499598-0  
+49-6071-499598-49  
[prototyping@gratz.de](mailto:prototyping@gratz.de)

**Hamburg**  
Billbrookdeich 80  
22113 Hamburg  
+49-40-730910-0  
+49-40-730910-29  
[hamburg@gratz.de](mailto:hamburg@gratz.de)

**München**  
Boschstrasse 12  
82178 Puchheim  
+49-89-8006518-0  
+49-89-8006518-99  
[muenchen@gratz.de](mailto:muenchen@gratz.de)