

Drehmomentoptimiertes Kronrad-Differenzial

Perspektive zur Reduzierung von Bauraum und Gewicht

Heutige Standard-Fahrzeuggendifferenziale verfügen über ein Gehäuse, in dem die innere Kegelverzahnung für die Drehmomentübertragung gelagert ist. Mit seinem TPO-Differenzial – T/P-O steht für „Torque and package optimised“ – hat Tedrive ein gehäuseloses Differenzial entwickelt. Bei gleichbleibender Drehmomentübertragung weist dieses neue Kronrad-Differenzial weniger Gewicht und Bauraum auf. Der erforderliche Lagerabstand des Differenzials kann um bis zu 50 % reduziert werden.

1 Einleitung

Drei Schlüsselanforderungen, neben generellen Kostenbetrachtungen, beeinflussen die Fahrzeugentwicklung heute: Verringerung der CO₂-Emissionen, neue Gesetzgebungen und verbesserter Personenschutz. Dadurch wird der Fokus der Produktentwicklung auf den Bauraum und das Gewicht des Fahrzeugs und seiner Komponenten gerichtet. Um diese Anforderungen zu erfüllen, spielen besonders die Komponenten und Baugruppen eine Rolle, die wie ein Hybridantrieb oder das Differenzial in Front-, Heck- oder Allradantriebs-Fahrzeugen im Verborgenen ihre Arbeit verrichten.

Mit seinem TPO-Differenzial – T/P-O steht für „Torque and package optimised“ hat Tedrive ein bauraumoptimiertes und gehäuseloses Differenzial entwickelt, das sich auf die Optimierung von Gewicht und Bauraum bei gleichbleibender Drehmomentübertragung bezieht. Das TPO-Differenzial zeichnet sich durch sein geringes Gewicht aus und wird in allen Belangen den technischen Leistungs- und Geräuschanforderungen sowie den Kostenzielen der Automobilindustrie gerecht.

In der TPO-Ausführung wurden die sonst üblichen Differenzial-Kegelräder durch Kronräder beziehungsweise Zylinderräder ersetzt. Mit der neuen Entwicklung ist es möglich, den erforderlichen Lagerabstand des Differenzials um bis zu 50 % zu reduzieren. Nicht nur am Differenzial selbst können erhebliche Einsparungen an Massenträgheit, Gewicht und Bauraum erzielt werden, sondern auch an der gesamten Getriebeeinheit. Dadurch multiplizieren sich die Vorteile des TPO-Differenzials für das Fahrzeug. **Bild 1.**

2 Stand der Technik

Heutige Kfz-Differenziale verfügen über Gehäuse, in denen die innere Kegelverzahnung für die Kraftübertragung gelagert ist. Das Differenzial befindet sich zwischen den Antriebsrädern und soll das Antriebsmoment, welches direkt über das Getriebe oder die Kardanwelle eingeleitet wird, übertragen. Ebenso ist es Aufgabe des Differenzials, die durch wechselnde Straßenbeschaffenheit ver-

ursachen oder bei Kurvenfahrt auftretenden Drehzahlunterschiede zwischen den Antriebsrädern auszugleichen und so ein Verspannen der Abtriebswellen und ein Radieren der Reifen zu vermeiden. Die Ausgleichsräder des Differenzials wirken wie Wiegebalken und bringen die beiden mit ihnen kämmenden Abtriebsräder ins Drehmomentgleichgewicht. Hierdurch wird immer das gleiche Drehmoment an beide Räder abgegeben.

Die Abmessungen des Differenzialgehäuses werden vom Antriebsmoment bestimmt. So steigen mit dem Antriebsmoment die Abmessungen der inneren Differenzialverzahnung und hiermit auch die des Differenzialgehäuses. Um dennoch selbst bei großen Differenzial-Drehmomenten den notwendigen Bauraum kompakt zu halten, wird die Anzahl der Ausgleichsräder von zwei auf drei oder mehr erhöht. Die Folge ist eine komplexere Konstruktion mit einem überproportional höheren Gewicht und erhöhten Kosten.

3 Motivation

Die kompakte Verbrennungsmotor-Anordnung moderner Fahrzeuge mit begrenztem Bauraum im Motorraum und Unterboden zwingt die Getriebehersteller, auf komplexe Differenzialkonstruktionen zurückgreifen zu müssen. Nebenggregate für elektrische Lenkung, Abgasreinigung sowie Komponenten zur Steigerung der Fahrdynamik wie Doppel-

kupplungsgetrieben oder Torque-Vectoring-Modulen führen zu Bauraumkonflikten zwischen den einzelnen Baugruppen. Auch gesetzliche Anforderungen zur Verbesserung des Fußgängerschutzes schränken den Bauraum des Vorderwagens weiter ein. So muss der gesamte Motorblock abgesenkt werden, um den elastischen Strukturen der Motorhaube Raum zur Auslenkung zu geben. Die Er-

Die Autoren



MSc, Dipl.-Ing. (FH)
Torge Reinold
ist Manager für die Weiterentwicklung TPO-Differenziale und Drehmoment-Management bei der Tedrive Germany GmbH in Düren.



Dipl.-Ing. (FH)
Christoph Chatenay
ist Ingenieur für das PD-Drehmoment-Management bei der Tedrive Germany GmbH in Düren.

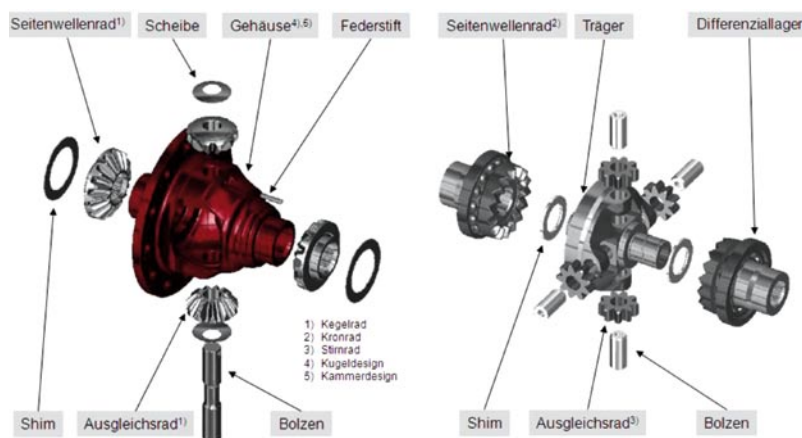


Bild 1: Bauteile eines herkömmlichen Kegelrad-Differenzials (links) im Vergleich mit dem neuen TPO-Differenzial (rechts)

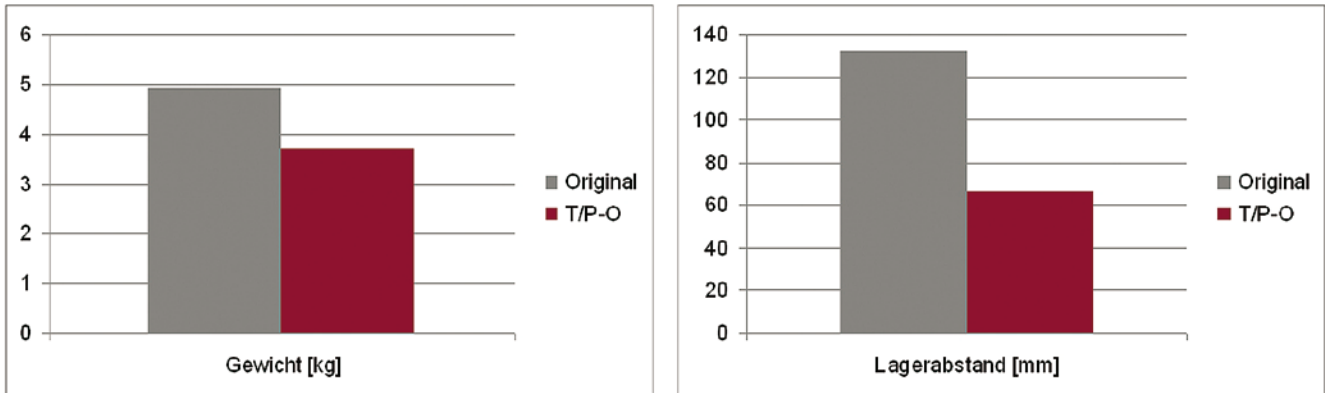


Bild 2: Aktueller Prototyp eines TPO-Differenzials im Gewichts- und Lagerabstandsvergleich mit einem herkömmlichen Originalhinterachsgehäuse

füllung dieser Anforderungen stellt dem Getriebe einen immer geringeren Bauraum zur Verfügung. Allradssysteme bei längsverbaubarer Motor-Getriebe-Einheit verschärfen die Problematik des knappen Bauraums, weil die Welle der Vorderachse die Kupplungsglocke oder Ölwanne durchqueren muss.

Neben den Bauraumproblemen gilt es heutzutage, das Fahrzeuggewicht zu reduzieren. Die CO₂-Emissionswerte und die Fahrzeugdynamik sind hierbei die Motive.

4 TPO-Differenzial – Aufbau und Vorteile

Bereits seit dem Ende des 19. Jahrhunderts finden sich Patente über gehäuselose Differenziale. Das TPO-Differenzial greift die Idee des gehäuselosen Differenzials wieder auf, um sich dieses Konzept zur Bauraum- und Gewichtsoptimierung zu Nutze zu machen.

Das klassische Differenzialgehäuse wurde hierbei durch einen scheibenförmigen Träger ersetzt, Bild 1. Die beiden Seitenwellenräder werden auf zwei seitlichen Trägerzapfen gleitgelagert. Ebenso wie das klassische Differenzial verfügt die TPO-Konstruktion über zwei oder mehr Ausgleichsräder, ähnlich einem normalen Kegelradsatz. Die Ausgleichsräder sind drehbar im Träger gelagert.

In Bild 1 wurden die sonst üblichen Differenzial-Kegelräder durch Kron- beziehungsweise Zylinderräder ersetzt. Durch diese Umstellung erfolgt die Einstellung des Verdrehspiels der Differenzialverzahnung nur noch über die Seitenwellenräder. Die geradverzahnten Aus-

gleichsstirnräder bedürfen prinzipbedingt keiner axialen Justierung.

Die Anbindung der Achsübersetzung erfolgt wie bisher durch eine Kegel- oder Stirnradverzahnung über den Außendurchmesser des Trägers. Hier sind geschweißte oder verschraubte Lösungen möglich. Das TPO-Differenzial ist für Anwendungen als Front-, Mitten- oder Hinterachsdifferenzial konzipiert.

Optional lässt sich die radiale Gleitlagerung (Standard) der Seitenwellenräder auf den Trägerzapfen durch Nagellager ersetzen. Hierdurch lässt sich bei Bedarf die innere Reibung des Differenzials gezielt minimieren und der Wirkungsgrad des TPO-Differenzials steigern.

Durch verschleißfeste Reibbeläge kann die innere Reibung des Differenzials heraufgesetzt und so beim Anfahren auf rutschigem Untergrund eine gewünschte Sperrwirkung erzielt werden.

4.1 Gewicht und Bauraum

In einem ersten Prototyp wurde ein herkömmliches Seriedifferenzial durch ein TPO-Differenzial im selben Achsgehäuse ersetzt. Alle Komponenten des Hinterachsgehäuses, außer dem eigentlichen Differenzial, wurden übernommen. Deutlich lässt sich der gewonnene Bauraum erkennen, **Bild 2**.

Das vergleichbare Seriedifferenzial wird mit Drehmomentspitzen von bis zu 10.000 Nm belastet. Unter Berücksichtigung dieser Spitzenwerte konnte deutlich aufgezeigt werden, dass es mit der neuen Konstruktion möglich ist, den erforderlichen Lagerabstand des Differenzials um bis zu 50 % zu reduzieren. Da bei der TPO-Konstruktion allein die

notwendigen Zahnradgeometrien der Ausgleichs- und Seitenwellenräder die Lagerbreite bestimmen, konnte der Lagerabstand theoretisch von 132 auf 66 mm reduziert werden, während gleichzeitig die Masse des Differenzials von 4,92 auf 3,69 kg verringert werden konnte, **Bild 3**. Hierdurch kann nicht nur am Differenzial selbst erheblich Massenträgheit, Gewicht und Bauraum optimiert werden, sondern auch an der gesamten Getriebeeinheit. Dadurch multiplizieren sich die Vorteile des Differenzials für das Fahrzeug.

Diese Konstruktionsfreiheit, einen größeren Bauraum zu schaffen, um entweder Sperren zu implementieren oder die Abmessungen des Achsgehäuses auf ein benötigtes Minimum zu reduzieren, ermöglicht dem Konstrukteur, die Variantenvielfalt von Getrieben und Antriebskonzepten neu zu überdenken. Dem Wunsch einer Baureihe kann nachgekommen werden.

4.2 Leistungs- und Geräuschverhalten

Die Einführung des TPO-Differenzials anstelle des Seriedifferenzials im selben Achsgehäuse zeigt die gleichen Leistungswerte bei Drehmomentübertragung, Drehzahldifferenzierung und Dauerhaltbarkeit in den bisherigen Untersuchungen wie μ -Split-Tests und Erprobungsfahrten nach Spezifikation.

Die Schwingungsuntersuchungen (NVH) bestätigen den sauberen Eingriff der Hypoid-Kegelrad-Verzahnung mit der des Ritzels. Die Darstellung zeigt die vergleichbaren Ergebnisse einer Schalldruckpegelmessung für eine Beschleunigungsfahrt von 40 auf 120 km/h, **Bild 4**.

4.3 Montage

Neben den beschriebenen technischen Vorteilen besitzt das TPO-Differenzial ebenfalls positive Auswirkungen auf die Prozesse in der Getriebefertigung. Es gilt in diesem Zusammenhang deutlich hervorzuheben, dass durch die Verwendung seitlich aufgesteckter Seitenwellenräder kein aufwändiges Einschwenken des Differenzials in ein Hinterachsgehäuse mehr nötig ist. Der Träger kann mit dem montierten Kegelrad geradlinig in das Getriebegehäuse eingefahren werden, **Bild 5**. Die Seitenwellenräder werden daraufhin zusammen mit den vormontierten Differenziallagern seitlich durch die Gehäusebohrungen montiert. Hierdurch wird der Montageprozess deutlich vereinfacht und verkürzt.

4.4 Schnittstellen

Als Schnittstelle zu den Abtriebswellen sind die Seitenwellenräder jeweils mit einer Steckverzahnung versehen. Diese Steckverzahnungen befinden sich aber nicht wie üblich in der Nähe der Diffe-

renzialmitte, sondern jeweils in den äußeren Enden der Seitenwellenräder. Dies ermöglicht es, die Abtriebswellen des

Fahrzeugs mit deutlich kürzeren Wellenenden auszustatten, was den Montageprozess und die Konstruktion der Ab-

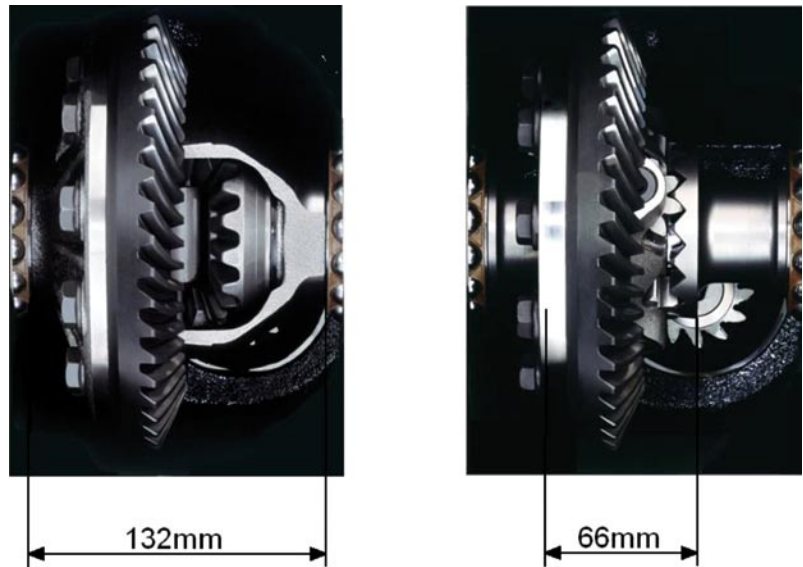


Bild 3: Vergleich von Gewicht und Lagerabstand: herkömmliches Kegelrad-Differenzial (links) gegenüber CAE-verbessertem TPO-Differenzial (rechts)



TISC verbindet Ihre Simulationswerkzeuge



TISC bietet Ihnen eine Co-Simulationsumgebung, mit der sich komplexe Simulationen bis hin zu einem Gesamtfahrzeugmodell aufbauen lassen.

Über ein zentrales Programm konfigurieren und steuern Sie die Co-Simulation – TISC kontrolliert dabei die beteiligten Softwarewerkzeuge und regelt den Datenaustausch zwischen diesen. Momentan existieren Schnittstellen zu ASCET, CANape, CFX, Flowmaster, Fluent, KULL, LabVIEW, MATLAB/Simulink, Modelica unter Dymola und SimulationX, STAR-CD, THESEUS-FE und WAVE. Auf Wunsch entwickeln wir für Sie weitere Schnittstellen, auch zu Ihren In-House-Lösungen.

Überzeugen Sie sich von den Vorteilen der Co-Simulation! Wir beraten Sie gerne und unterstützen Sie darüber hinaus auch bei der Umsetzung Ihres Projektes.

TISC ist ein Produkt der TLK-Thermo GmbH
Weitere Informationen finden Sie unter: www.tlk-thermo.de

triebswellen vereinfacht. Denn bei dieser Konstruktionsweise benötigen die Innengelenke der gesteckten Abtriebswellen weder einen Dichtringsitz noch einen Gleitlagersitz im Differenzial. Dies vereinfacht die Fertigung und erlaubt eine Gewichtsreduzierung der Abtriebswellen und sowie eine Befüllung des Achshäuses oder der Getriebeeinheit bereits bei deren Montage.

Endkontrollen können ohne zusätzlichen Adapter durchgeführt werden. Die kompaktere Bauweise des TPO-Differenzials ermöglicht zudem eine längere Ausführung der Abtriebswellen, was wiederum die Verwendung von Innen- und Außengelenken mit kleineren Arbeitswinkeln erlaubt.

4.5 Umwelt

In einer Zeit stetig steigender Erdölpreise bietet das TPO-Differenzial ein großes Potenzial für eine merkliche Schmierölmengenreduzierung, bedingt durch seinen geringen Bauraumbedarf und die dadurch mögliche kompaktere Auslegung des Getriebegehäuses. Unter Berücksichtigung des Wärmehaushaltes lässt sich hier ein nicht zu unterschätzender Beitrag zur Kostenreduzierung und zur Schonung der Umwelt leisten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das TPO-Differenzial-Projekt bei Tedrive wurde begonnen mit einer Grundsatzuntersuchung, in der die generelle Machbarkeit geklärt wurde. Hierbei wurden

insbesondere die Bauteilbelastungen, die Deformationen und die Fertigungsmöglichkeiten betrachtet. Anschließend wurde das Prinzip in einem ersten Hardware-Konzept umgesetzt und auf einem Hinterachsprüfstand auf seine Betriebstauglichkeit untersucht.

Die dort gewonnenen, vielversprechenden Ergebnisse führten dazu, dass weitere neue Varianten seriennaher Prototypen aufgebaut wurden. Diese neuen Varianten wurden in die Hinterachse eines Fahrzeugs appliziert und belegten, dass das TPO-Differenzial im realen Fahrbetrieb geeignet ist, den zu erwartenden Belastungen sicher Stand zu halten und es auch in Bezug auf sein Fahrbarkeits-, Geräusch- und Vibrationsverhalten sowie seine Drehmomentbelastbarkeit einem

klassischen Seriidifferenzial gegenüber gleichwertig ist.

Derzeit sind weitere Prototypen in der Untersuchung, an denen tribologische Versuche zur Optimierung der Reibverluste durchgeführt werden. Zukünftige Entwicklungsarbeiten werden zum Ziel haben, das Prinzip des TPO-Differenzials in Sperrdifferenzialen, in Mittendifferenzialen und bei Hinterachsgetrieben mit Torque Vectoring zum Einsatz zu bringen. Auch werden Überlegungen, wie die Innengelenke kostengünstig und montagegerecht in das Differenzial integriert werden können, eingehend untersucht werden.

Aufgrund seiner Trägerbauweise ist es möglich, mit vertretbarem Fertigungsaufwand von einer Konstruktion mit zwei Ausgleichsrädern auf Konstruktionen mit drei oder mehr Ausgleichsrädern zu wechseln. Hierdurch ist die Basis für ein kostengünstiges und hoch flexibles Baukastensystem gegeben. ■

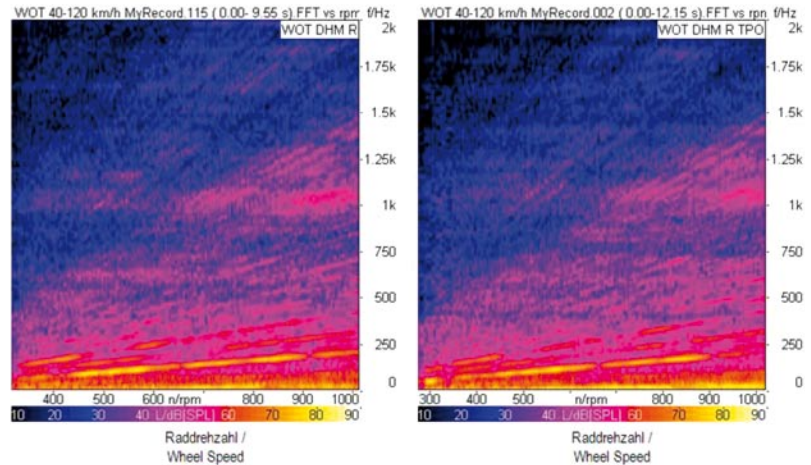


Bild 4: Messung des Schalldruckpegels bei Beschleunigungsfahrt von 40 auf 120 km/h: herkömmliches Differenzial (links) gegenüber dem TPO-Differenzial (rechts) (Schalldruckpegel in Höhe des Passagiers)

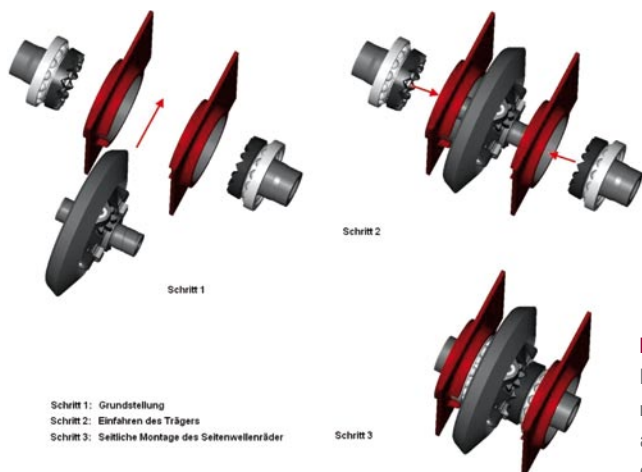


Bild 5: Vereinfachte Differenzialmontage bei Hinterachsgetrieben in drei Schritten

Download des Beitrags unter www.ATZonline.de

ATZ online

ATZ

Read the English e-magazine. Order your test issue now: SpringerAutomotive@abo-service.info



Bringt Produktivität in Bewegung.

Läuft die Produktion, rollen automobiler Innovationen erfolgreich auf der Straße. Das technische und wissenschaftliche Wissen dafür gibt es jetzt kompakt und exklusiv in ATZproduktion. Mit allem, was Produktionsmethoden und -verfahren effizienter und wirtschaftlicher macht und Qualität nachhaltig sichert. Eröffnen Sie sich als Abonnent das Online-Fachartikelarchiv und sparen Sie 10% bei Veranstaltungen des vieweg technology forums. Jetzt unter www.ATZonline.de



ATZproduktion. Lesen macht kurzen Prozess.

Ja, ich möchte ATZproduktion jetzt gratis testen!

Bitte senden Sie mir unverbindlich die nächste Ausgabe von ATZproduktion zu. Möchte ich die Zeitschrift danach weiterlesen, brauche ich nichts weiter zu tun. Ich erhalte die Zeitschrift zum Preis von nur € 85,- (Mitglieder von VDI oder ÖKV € 62,-), zzgl. Versandkosten. Das Abonnement kann ich jederzeit zur nächsten erreichbaren Ausgabe kündigen. Zuviel gezahlte Beträge für nicht gelieferte Ausgaben erhalte ich zurück. Möchte ich nicht weiter lesen, melde ich mich innerhalb von 10 Tagen nach Erhalt des zweiten kostenlosen Probeheftes schriftlich. (GWV-Fachverlage GmbH, Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach, Albrecht F. Schirmacher, AG Wiesbaden, HRB 9754.)

**Einfach Coupon ausfüllen und faxen an 06 11. 78 78 - 4 23
oder online bestellen unter www.ATZonline.de**

Firma Vorname / Name

Funktion Branche

Straße und Nr. (kein Postfach) PLZ / Ort

Telefon Fax

Datum / Unterschrift

E-Mail