

# IM VERGLEICH

PRODUKT-INFORMATIONEN  
FÜR DIE MERCEDES-BENZ  
VERTRIEBS-ORGANISATION

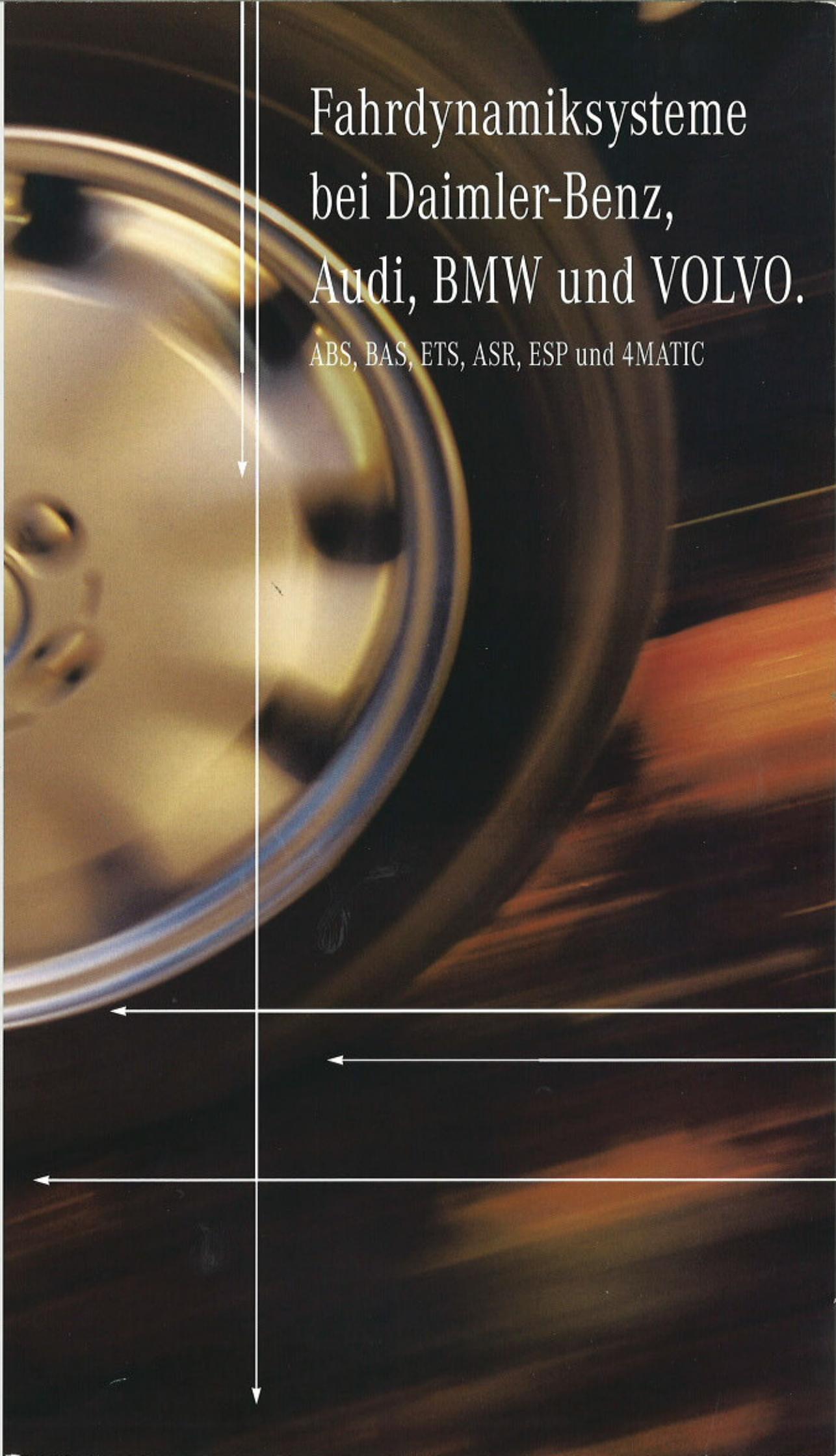
OKTOBER 1998



Mercedes-Benz

## Fahrdynamiksysteme bei Daimler-Benz, Audi, BMW und VOLVO.

ABS, BAS, ETS, ASR, ESP und 4MATIC



|  |          |
|--|----------|
| Von ABS bis ESP – die Entwicklung der Fahrdynamiksysteme.                      | Seite 3  |
| Front- oder Heckantrieb – eine Grundsatzfrage.                                 | Seite 4  |
| Mit ABS begann der Fortschritt ...   | Seite 6  |
| Computergesteuerte Notbremsung mit dem Bremsassistenten BAS.                   | Seite 8  |
| Elektronisch geregeltes Traktionssystem ETS.                                   | Seite 10 |
| EDS, TRACS und DSA – ähnlich wie ETS.  | Seite 12 |
| ASR – verbesserte Traktion und höhere Fahrzeugstabilität in allen Situationen. | Seite 14 |
| ASR, ASC + T, STC – die Systeme der anderen.                                   | Seite 16 |
| ESP – mehr Sicherheit und bessere Beherrschbarkeit ...                         | Seite 18 |
| ESP, DSC und DSTC – die Systeme der anderen.                                   | Seite 22 |
| 4MATIC – die Allradversion der E-Klasse.                                       | Seite 24 |
| Konkurrierende Allradfahrzeuge.  | Seite 28 |
| Alle Systeme im Vergleich.   | Seite 30 |
| Fahrdynamik und Fahrsicherheit.  | Seite 33 |

## Von ABS bis ESP – die Entwicklung der Fahrdynamiksysteme.

### Mit elektronischer Hilfe kritische Situationen meistern.

Ein Auto, das in der Kurve ausbricht oder beim Bremsen plötzlich quer steht, weil der Fahrbahnuntergrund unterschiedlich beschaffen ist – in solchen und ähnlichen Fällen mußte sich der Fahrer in der Vergangenheit vor allem auf sein fahrerisches Können verlassen. Heute unterstützen ihn moderne, elektronisch gesteuerte Sicherheitssysteme dabei, kritische Situationen besser zu überstehen.

### Systeme für ein Plus an Sicherheit.

Angefangen hat diese Entwicklung 1978 mit dem Antiblockiersystem ABS, auf dem alle bis heute bekannten eingesetzten Fahrdynamiksysteme aufbauen. ABS gehört inzwischen bei den meisten Herstellern, selbst in der Kompaktklasse, zur Serienausstattung. Acht Jahre später folgte die auf Verbesserung der Fahrstabilität ausgelegte Antriebsschlupfregelung ASR. Eine in seiner Funktion anders ausgelegte Variante ist das später entwickelte Elektronische Traktionssystem ETS. Bei Mercedes-Pkw löste ETS das Automatische Sperrdifferential ASD ab –

beide Systeme verbesserten in erster Linie die Traktion. Den augenblicklichen Höhepunkt auf dem Gebiet der Fahrdynamikregelungen stellt das Elektronische Stabilitätsprogramm ESP dar.

In Verbindung mit dem in allen Pkw serienmäßigen Bremsassistenten BAS verfügen Mercedes-Fahrer über ein Höchstmaß an aktiver Fahrsicherheit. Trotzdem kann nicht oft genug darauf hingewiesen werden, daß bei Übertreten der fahrphysikalischen Gesetze auch die perfektste Elektronik nicht weiterhelfen kann.

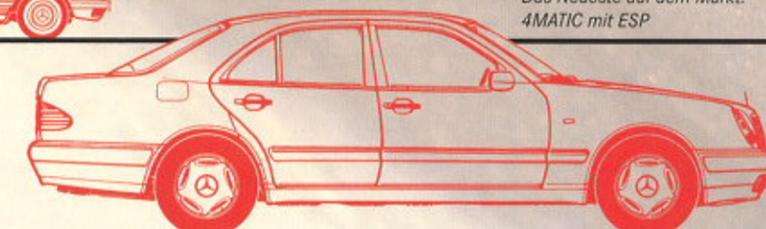
### Verwirrende Begriffsvielfalt.

ABS ist das einzige System, das von jedem Hersteller so genannt wird. Ansonsten existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Bezeichnungen. Hier soll diese Broschüre Klarheit schaffen – vor allem im Vergleich mit den Hauptwettbewerbern Audi, BMW und VOLVO.

1986  
Mercedes bringt ASR als SA für die S-Klasse-Baureihe 126, 8 Zylinder



1997  
Das Neueste auf dem Markt: 4MATIC mit ESP



1978  
Das erste Auto mit ABS auf Wunsch: die Mercedes-Baureihe 116, 280 S - 450 SEL 6.9



# Front- oder Heckantrieb – eine Grundsatzfrage.

## Stärken des Frontantriebs.

Grundsätzlich läßt sich beim Vergleich beider Antriebsarten sagen: Je kleiner ein Fahrzeug und je geringer seine Motorleistung, desto sinnvoller ist der Vorderradantrieb. Er ermöglicht die kostengünstige, kompakte Bauweise des Antriebsstranges – vor allem in Verbindung mit einem quer eingebauten Motor. Das wiederum erlaubt eine einfachere Hinterachskonstruktion mit

größeren Freiheiten bei der Gestaltung des Heckbereiches. Im Traktionsverhalten auf glatter Straße schneiden wenig beladene Fronttriebler besser ab als heckgetriebene Fahrzeuge und haben eine hohe Richtungsstabilität, z.B. bei Seitenwind.

## Schwächen des Frontantriebs.

Diesen Vorteilen stehen aber auch Nachteile gegenüber. Die größere Belastung der Vorderachse führt zu mehr Verschleiß (Antrieb, Lenkung, Bremsen, Federn, Radführung, Reifen) – die Betriebskosten steigen. Bei starkem Beschleunigen, bei hoher Zuladung im Kofferraum, Anhängerbetrieb und an Steigungen verringert sich die Traktion durch Entlastung der angetriebenen Vor-

derachse, und das Lenkverhalten wird negativ beeinflusst. Hohe Motorleistung läßt sich beim Frontantrieb nur schwer in den entsprechenden Vortrieb umsetzen. Im Vergleich zum Komfortverhalten und Handling heckgetriebener Fahrzeuge ist ein weitaus höherer konstruktiver Aufwand erforderlich, um die Antriebseinflüsse von der Lenkung fernzuhalten. Außerdem besitzen vorderachsgetriebene Fahrzeuge konzeptbedingt einen größeren Wendekreis als hinterachsgetriebene.

## Heckantrieb für größere, hubraumstarke Modelle.

In Pkw mit geringerer Leistung fallen die negativen Aspekte des Vorderradantriebes nicht so stark ins Gewicht. Bei größeren, hubraumstarken Modellen überwiegen jedoch generell die Vorzüge, wenn der vorn liegende Motor die Hinterräder antreibt. Dies gilt insbesondere beim Beschleunigen und Bremsen sowie für Komfort und Fahrverhalten, unabhängig vom Beladungszustand. Da macht sich die aufwendigere Hinterachskonstruktion mit Einzelradaufhängung positiv bemerkbar.

## Stichwort: Allradantrieb.

Bei der Frage, welcher Antriebsart der Vorzug zu geben ist, muß auch der Allradantrieb kurz erwähnt werden. Daß vier angetriebene Räder mehr können als zwei, leuchtet ein. Vor allem auf Schnee, Matsch und Schlamm ist der Traktionsgewinn erheblich. Aber es geht auch um höhere Fahrstabilität in allen Fahrsituationen, besonders bei leistungsstarken Fahrzeugen. Hier bietet Daimler-Benz mit seiner 4MATIC, der Allradversion der E-Klasse und der M-Klasse, eine technisch sehr gute Lösung mit Reserven für großen Fahrspaß auf allen Fahrbahnuntergründen – mehr dazu auf den Seiten 22 bis 25.



### Frontantrieb:

#### Vorteile

- Durch bauliche Vorteile gute Ausnutzung des Innenraums
- Gute Traktion bei wenig Zuladung
- Gute Richtungsstabilität, z.B. bei Seitenwind
- Leichtere Beherrschbarkeit im Grenzbereich

#### Nachteile

- Durch Doppelbelastung der Vorderachse erhöhter Verschleiß an Dämpfern, Radführungsgelenken, Reifen etc.
- Traktionsprobleme bei beladenem Kofferraum und/oder starker Motorleistung
- Spürbare Antriebseinflüsse wie vorderes Ausfedern beim Beschleunigen, Lenkradzittern etc.

### Heckantrieb:

#### Vorteile

- Antriebs- und Lenkachse voneinander getrennt
- Speziell bei hohen Motorleistungen besseres Fahrverhalten
- Gleichmäßigere Belastung beider Fahrzeugachsen
- Insgesamt mehr Fahrkomfort

#### Nachteile

- In unbeladenem Zustand frühzeitiger auftretende Traktionsprobleme bei glatter Fahrbahn
- Geringere Fahrstabilität bei glatten Fahrbahnuntergründen

# Mit ABS begann der Fortschritt in der aktiven Fahrsicherheit.

## Lenken statt Rutschen.

Die Pionierleistung auf dem Gebiet der Bremsentechnik stellt das heute in allen Mercedes-Modellen und beim Wettbewerb serienmäßige Antiblockiersystem ABS dar. Dank ABS können Fahrer bei Vollbremsungen auch während des Bremsvorgangs Hindernissen ausweichen, da ein Blockieren der Räder verhindert wird (ab ca. 8 km/h) und dadurch die Vorderräder lenkbar bleiben. ABS wirkt unabhängig von der Straßenbeschaffenheit, selbst bei einseitig glatter Fahrbahn.

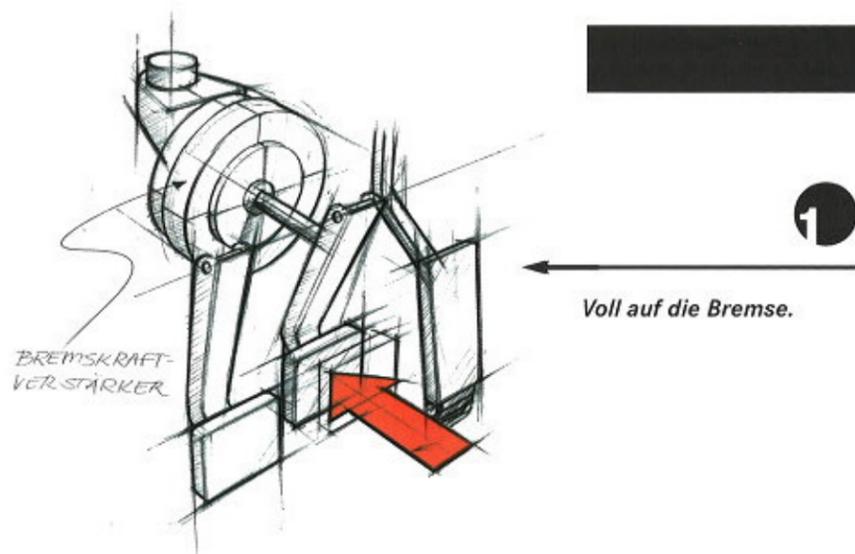
## So funktioniert ABS.

Sensoren an den Rädern messen die Raddrehzahl. Aus den Signalen der einzelnen Sensoren errechnet das elektronische Steuergerät eine Durchschnittsgeschwindigkeit, die etwa der Fahrzeuggeschwindigkeit entspricht. Durch Vergleich der Radgeschwindigkeit für ein Rad und der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Räder erkennt das Steuergerät, ob ein Rad zum Blockieren neigt. Sobald ein Rad zu blockieren droht, vermindert das System für das betreffende Rad den Bremsdruck bis zu einem festgelegten Schwellenwert diesseits der Blockier-

grenze. Das Rad kann wieder frei drehen, und der Bremsdruck wird erneut automatisch bis zum Maximum erhöht. Denn nur ein sich drehendes Rad kann Seitenführungskräfte aufbauen und somit Lenkbefehlen folgen. Dieses Wechselspiel – Bremsdruck verringern/Bremsdruck erhöhen – erfolgt, solange der Fuß den maximalen Bremsdruck auf dem Bremspedal aufrechterhält. Der Fahrer erkennt das Arbeiten des Systems durch spürbares Pulsieren des Bremspedals.

## EBV bei der A-Klasse.

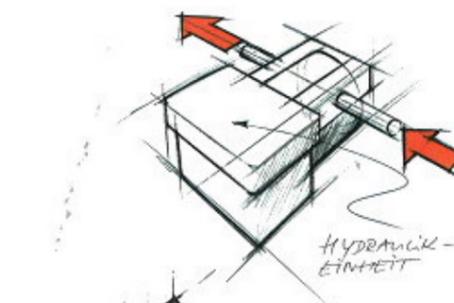
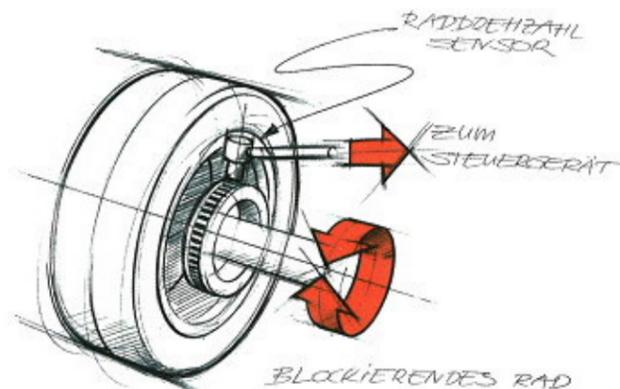
Speziell bei Frontantrieblern wie der A-Klasse (wie auch bei Audi und einigen VOLVO) arbeitet ABS in Kombination mit der Elektronischen Bremskraftverteilung EBV, die für optimale Bremskraft an den Hinterrädern sorgt. Bei einer Vollbremsung neigen die Hinterräder von „Fronttrieblern“ zum „Abheben“; deshalb überträgt EBV in diesem Fall weniger, beim normalen Bremsen dagegen verhältnismäßig mehr Bremskraft auf die Hinterräder. Beim Bremsen in beladenem Zustand wird den Hinterrädern noch mehr Bremskraft zugeteilt. Das führt zu einer besseren Ausnutzung der hinteren Bremskraft, zu höherer Bremsleistung und gleichmäßigerem Verschleiß der Bremsbeläge.



Voll auf die Bremse.

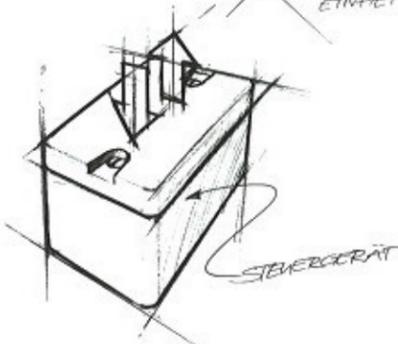
2

Ein Rad oder mehrere Räder blockieren. Das Fahrzeug ist nicht mehr lenkbar.



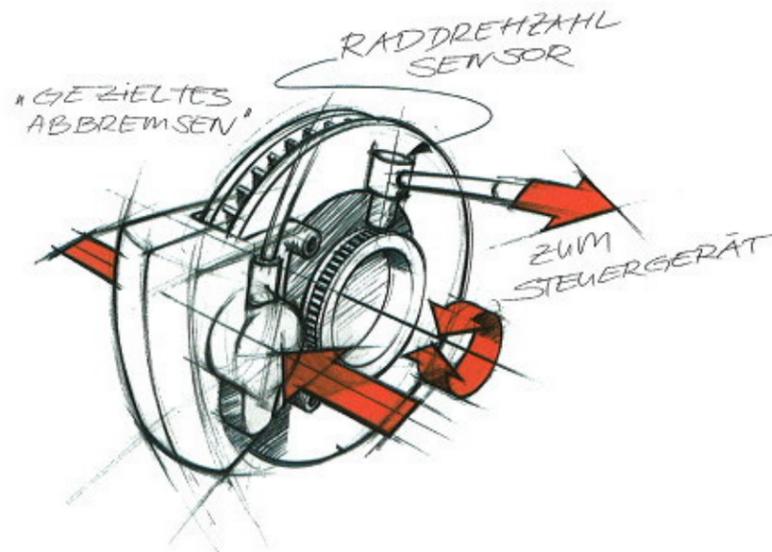
3

Das Steuergerät erkennt auf Grund des Raddrehzahlvergleichs die Blockierneigung. Signal zum kurzzeitigen Lösen der Bremse an Hydraulikeinheit (alternierend).



4

ABS verhindert durch wechselweises Betätigen und Lösen der Bremse das Blockieren der Räder und erhält so die Spurstabilität und Lenkfähigkeit.



## Kundennutzen von ABS:

- Ein Blockieren der Räder ist praktisch ausgeschlossen
- Hindernisse können auch bei Vollbremsungen umfahren werden:  
Das Fahrzeug bleibt lenkbar, da die Räder nicht blockieren
- Die Richtungsstabilität bleibt auch bei einer Vollbremsung erhalten
- Der Fahrer kann stets die maximale Bremskraft nutzen

# Computergesteuerte Notbremsung mit dem Bremsassistenten BAS.

## Das Problem.

Beim Bremsen begehen die meisten Autofahrer zwei typische Fehler: Entweder bremsen sie während des gesamten Bremsmanövers zu zaghaft, oder der Pedaldruck wird nach anfänglich zögerlichem Bremsen erst bei zunehmender Annäherung an das Hindernis allmählich verstärkt. Das verlängert den Bremsweg unnötig, weil ABS zu spät oder gar nicht zur Wirkung kommt.

## Weltneuheit.

Um das zu verhindern, hat Daimler-Benz als weltweit erster Automobilhersteller den elektronisch gesteuerten Bremsassistenten BAS ent-

wickelt, der den Bremsweg in Notsituationen entscheidend verkürzt. Er erkennt diese zweifelsfrei und leitet automatisch sofort eine Vollbremsung ein. Die wichtigsten Komponenten von BAS sind direkt in den Bremskraftverstärker integriert.

## Einfaches Prinzip mit großer Wirkung.

Der Bremskraftverstärker besteht im Prinzip aus zwei Kammern, die durch eine Membrane getrennt sind und unter ständigem Unterdruck stehen. Die Betätigung des Bremspedals bewirkt die Belüftung einer der Kammern und damit einen Druckunterschied, der im direkten Verhältnis zur Stellung des Bremspedals steht.

## Bremspedal unter ständiger Beobachtung.

Ein Membranwegsensoren im Bremskraftverstärker erfährt jede Bewegung der Membrane und damit des Bremspedals. Die gemessenen Werte werden zum BAS-Steuergerät geleitet und dort ausgewertet.

## Volle Kraft im Notfall.

Eine auffallend schnelle Veränderung der Stellung des Bremspedals wird vom BAS-Steuergerät als Notbremsung erkannt. Dabei wird über das Magnetventil umgehend eine der beiden Kammern des

Bremskraftverstärkers belüftet, wodurch sich innerhalb kürzester Zeit die volle Bremskraft aufbaut.

## Der Fahrer behält die volle Kontrolle.

Sobald der Fahrer vom Bremspedal geht, wird dies über einen Löseschalter an das Steuergerät gemeldet. Darauf wird das Magnetventil sofort wieder geschlossen, und die Notbremsung ist abgeschlossen.

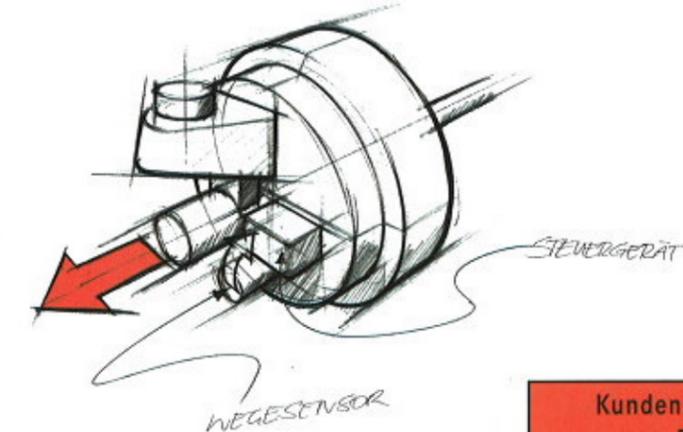
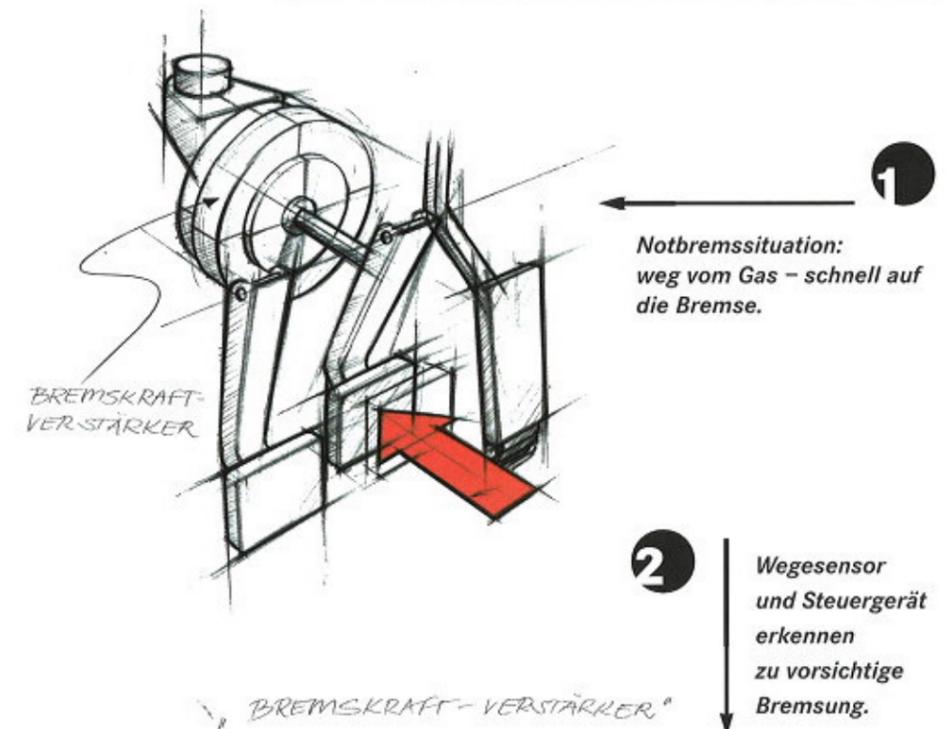
## Ein „lernfähiges“ System.

Durch die Vernetzung mit den Steuergeräten von ABS, ASR oder ESP sowie mit der Motor- und Getriebeelektronik stellt sich BAS automatisch auf veränderte Fahrzeug-Parameter

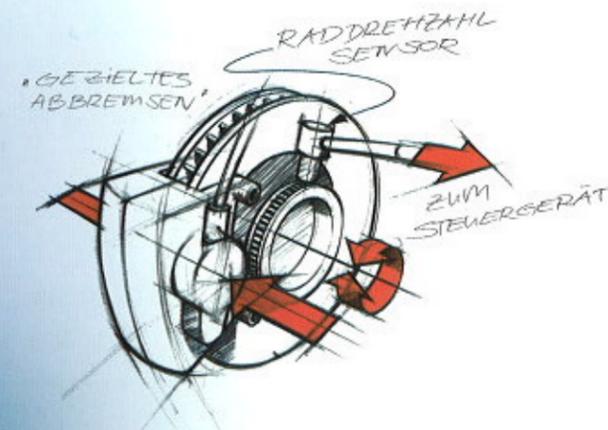
ein, d.h., es „lernt“ während der Fahrt ständig dazu, um den Bremsdruck jeder Situation optimal anpassen zu können. Dadurch kann eine erforderliche Vollbremsung immer genau im richtigen – vom Fahrer gewollten – Augenblick ausgelöst werden.

## BMW zieht nach.

Mit DBC (Dynamische Bremscontrol) bietet BMW bei den 8-Zylindern serienmäßig und in Verbindung mit DSC (SA) beim 528i seit September 1998 ein System an, das in Funktion und Wirkung mit BAS vergleichbar ist.



**3**  
BAS sorgt durch Herstellung der vollen Bremskraft für eine sofortige Vollbremsung unter Einbeziehung von ABS.



### Kundennutzen von BAS:

- BAS erkennt zweifelsfrei eine Notbremsungssituation und leitet automatisch eine Vollbremsung ein
- Bei der Vollbremsung wird sofort die volle Bremskraft ausgelöst; die ABS-Funktion bleibt voll erhalten
- Dadurch verkürzt sich der Bremsweg bei Notbremsungen erheblich
- BAS gehört in allen Mercedes-Modellen zur Serienausstattung (außer ML 230)

# Elektronisch geregeltes Traktionssystem ETS.

## Kontakt zur Straße halten.

Bei Traktionsproblemen helfen früher allein das automatische Sperrdifferential ASD, bei dem das Sperrmoment durch Lamellen im Differential aufgebaut wurde, oder der sehr aufwendige Allradantrieb. Heute übernehmen zwei weitgehend verschleißfreie Systeme diese Aufgabe: das elektronische Traktionssystem ETS bzw. die noch aufwendigere Antriebsschlupfregelung ASR (Seite 14/15).

## Antriebsräder gezielt abbremzen.

Das elektronische Traktionssystem ETS sorgt durch gezielten Bremseneingriff an den Antriebsrädern für ein Höchstmaß an Traktion. Das gilt sowohl beim Anfahren als auch beim Beschleunigen unter

extremen Bedingungen, etwa bei einseitig glatter Fahrbahn. Ein Eingriff in das Motormanagement findet nicht statt. ETS schaltet sich bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h automatisch zu und spätestens bei 80 km/h wieder ab. Eine ETS-Kontrolleuchte informiert den Fahrer über kritische Fahrbahnbedingungen und Störungen im System.

## Mehr als nur Traktionshilfe.

Informationen über den momentanen Fahrzustand liefern wie bei ABS die Raddrehzahlsensoren. Läuft ein Antriebsrad plötzlich deutlich schneller

als das andere, ist es offensichtlich am Durchdrehen. Jetzt erhöht ETS in der betreffenden Radbremse den Druck und bremst es automatisch ab. Das am durchdrehenden Rad aufgebaute Bremsmoment wird automatisch auf das nicht durchdrehende Rad als Antriebsmoment übertragen. Nähert sich die Raddrehzahl der des nicht schlupfenden Rades an, wird der Bremsdruck wieder abgebaut. Das Rad bleibt also immer im Bereich der bestmöglichen Traktion und hält das Fahrzeug in der Spur. Der Bremseneingriff kann schon beim Anfahren auf Fahrbahnen mit unterschiedlichen Griffigkeiten erfolgen und wirkt dann im Prinzip wie

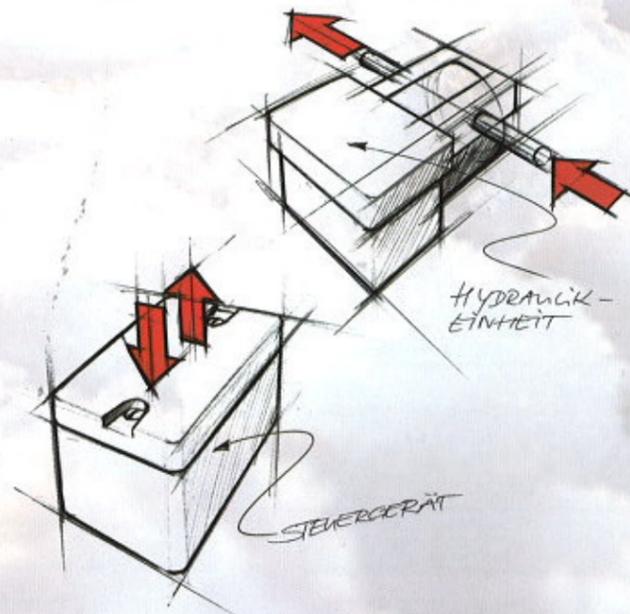
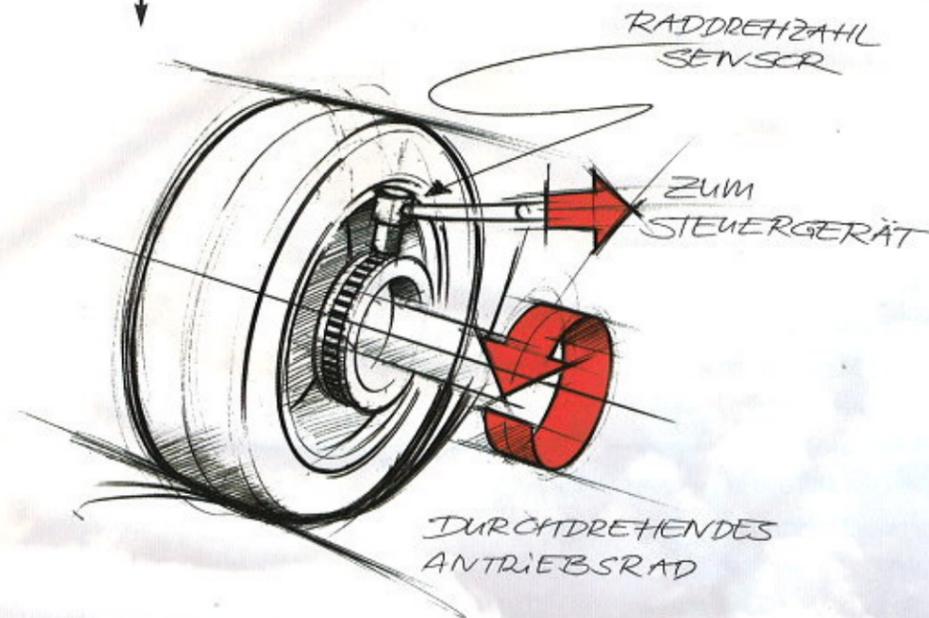
eine Differentialsperre; ein Bremseneingriff an beiden Antriebsrädern zur Fahrzeugstabilisierung bei durchdrehenden Rädern erfolgt ab 15 bis maximal 80 km/h.

Das im Mercedes-Benz Transporter Vito eingesetzte System GDB (geregelter Differentialbremse) ist in Funktion und Wirkung identisch mit ETS.



1

Glatter Untergrund:  
Ein Rad oder zwei Räder drehen durch.

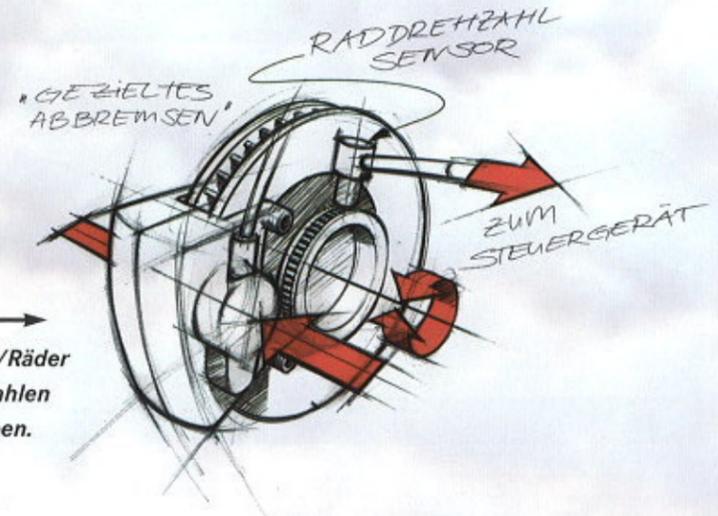


2

Steuergerät erkennt fehlende Traktion und gibt Hydraulikeinheit das Signal für einen Bremseneingriff.

3

ETS bremst durchdrehende/s Rad/Räder so lange ab, bis sich die Raddrehzahlen der Antriebsräder angeglichen haben. „Höchstmögliche Traktion“.



### Kundennutzen von ETS:

- Ermöglicht Anfahren auf Fahrbahnen mit stark unterschiedlichen Griffigkeiten und bei Glätte
- Durchdrehende Antriebsräder werden gezielt abgebremst
- ETS-Kontrolleuchte informiert den Fahrer über kritische Fahrbahnbedingungen und Störungen im System
- Verbessert die Fahrstabilität bei Kurvenfahrt
- Traktionsregelung bis 80 km/h
- Erhöht die aktive Sicherheit

# EDS, TRACS und DSA – ähnlich wie ETS.

## EDS von Audi.

Die von Audi angebotene und als Anfahrhilfe bezeichnete Elektronische Differentialsperre EDS kommt in Funktion und Aufbau ETS sehr nahe. Auch bei EDS findet kein Eingriff in das Motormanagement statt. Die Frontantriebsmodelle werden allerdings nur bis 40 km/h geregelt, die quattro-Modelle bis 80 km/h.

## TRACS von VOLVO.

TRACS (Traction Control System), das VOLVO als elektronische Antischlupfregelung und Anfahrhilfe bis 40 km/h Geschwindigkeit bezeichnet, ist in Aufbau und Funktion dem EDS von Audi gleichzustellen.

## DSA von VOLVO.

Das von VOLVO so bezeichnete Antischlupfsystem DSA (Dynamic Stability Assistance) funktioniert, ähnlich wie ASR, bei jeder Geschwindigkeit. Das System nutzt die Sensoren von ABS und das elektronische Motormanagement, um ein Durchdrehen der Räder zu vermeiden. Aber im Unterschied zu ASR erfolgt kein Bremseneingriff und die Motorkraft wird nicht über die Drosselklappe des Motors,

sondern über die eingespritzte Kraftstoffmenge beeinflusst. Dieser Vorgang wird vom Fahrer als starker Regeleingriff wahrgenommen.

▶ BMW bietet im Moment nur ein System mit gleichzeitigem Eingriff ins Motormanagement an. (Siehe Seite 17.)



|                        | Mercedes-Benz: ETS   | Audi: EDS  | VOLVO: TRACS   | VOLVO: DSA   |
|------------------------|--|--|--|--|
| <b>Funktion</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gezielter Bremseneingriff am durchdrehenden Antriebsrad</li> <li>• beidseitiger Bremseneingriff an durchdrehenden Antriebsrädern</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motormomenteingriff (Verringerung der eingespritzten Kraftstoffmenge)</li> <li>• <u>kein</u> Bremseneingriff</li> </ul> |
| <b>Nutzen</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traktion für problemloses Anfahren und Beschleunigen auf allen Fahrbahnbelägen</li> <li>• Fahrzeugstabilisierung bei höheren Geschwindigkeiten</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traktion für problemloses Anfahren auf allen Fahrbahnbelägen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traktion für problemloses Anfahren auf allen Fahrbahnbelägen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• geringeres Durchdrehen der Antriebsräder beim Anfahren</li> <li>• bessere Seitenstabilität</li> </ul>                   |
| <b>Wirkungsbereich</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• zuschaltend bis 40 km/h beim Anfahren</li> <li>• Wirkung bis 80 km/h spurstabilisierend an der Hinterachse</li> </ul>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirkung bis 40 km/h (Fronttriebler)</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirkung bis 40 km/h</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter Geschwindigkeitsbereich und</li> <li>• bei allen Fahrbahnbelägen</li> </ul>                                    |
| <b>Anzeige</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warnlampe im Kombi-Instrument</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  |

1

Abschalten des Motormomenteneingriffs möglich.

## Fazit.

Über ein vergleichbares Traktionssystem im Anfahrbereich hinaus bietet das ETS von Mercedes-Benz ein Plus an Fahrsicherheit:

- spurstabilisierender gezielter Bremseneingriff beim Beschleunigen und bei Kurvenfahrt

- Fahrzeugstabilisierung auch bei höheren Geschwindigkeiten über beidseitig gleichzeitigen Bremseneingriff an den Antriebsrädern im Bereich von 15 bis 80 km/h
- insgesamt höherer Wirkungsbereich (von 0 bis 80 km/h)

# Verbesserte Traktion und höhere Fahrzeugstabilität in allen Situationen.

## Die Elektronik kann's besser.

Während ETS den gezielten Bremseneingriff zur Traktionsverbesserung nutzt, sorgt ASR bei Bedarf zusätzlich für einen Eingriff in die Motorsteuerung und bietet so erhöhte Fahrstabilität vom Anfahren bis zur Höchstgeschwindigkeit. Dieser Sicherheitsgewinn macht sich vor allem bei leistungsstarken Autos bemerkbar, bei denen es unter winterlichen oder nassen Straßenbedingungen auch geübten Fahrern Mühe macht, das Gas so präzise und rasch zu dosieren, wie ASR das schafft.

## So funktioniert ASR.

Je ein Sensor pro Rad erfasst die Drehzahlen aller Räder und verarbeitet diese Daten im Steuergerät. Gibt der Fahrer so viel Gas, daß die Antriebsräder durchdrehen beginnen, erkennt ASR ein für die momentanen Verhältnisse zu hohes Motor-Antriebsmoment. Über das elektronische Gaspedal (E-Gas) wird nun innerhalb von Millisekunden die Drosselklappe angesteuert und dadurch automatisch weniger Gas gegeben – selbst dann, wenn der Fahrer im Extremfall Vollgas gibt. Bei hohem Schlupf der Räder wird ein zusätzlicher Brems-

seneingriff vorgenommen, der bei mehr als 40 km/h aus Sicherheitsgründen an beiden Antriebsrädern gleichzeitig erfolgt.

## Doppelt sicher: ASR.

ASR nutzt zwei Regelkreise: den Brems- und den Motorregelkreis. Zusätzlich zum schlupfgeregelten Bremsen durch ABS verhindert ASR ein Durchdrehen der Antriebsräder und hat eine richtungsstabilisierende Wirkung bei jeder Geschwindigkeit. Das gilt beim Anfahren, Beschleunigen und während des gesamten Fahrbetriebes, z.B. bei einseitiger Fahrbahnglätte, in Kurven oder bei plötzlichen Ausweichmanövern. Daß die Reifen ihre Haftgrenze erreicht haben, wird durch Blinken der dreieckigen Warnlampe im Kombiinstrument signalisiert.

**Motorschleppmomentregelung MSR.** MSR ist in ASR integriert. MSR verhindert, daß die Antriebsräder durch die Motorbremswirkung im Schubbetrieb zu stark abgebremst werden und rutschen, wenn beispielsweise bei glatter Fahrbahn zurückgeschaltet oder in einem niedrigen

Gang das Gaspedal abrupt zurückgenommen wird. Bei beginnendem Schlupf wird das Bremsmoment des Motors durch dosiertes Öffnen der Drosselklappe reduziert. So wird das Fahrzeug stabilisiert, weil das Heck nicht ausbrechen kann.

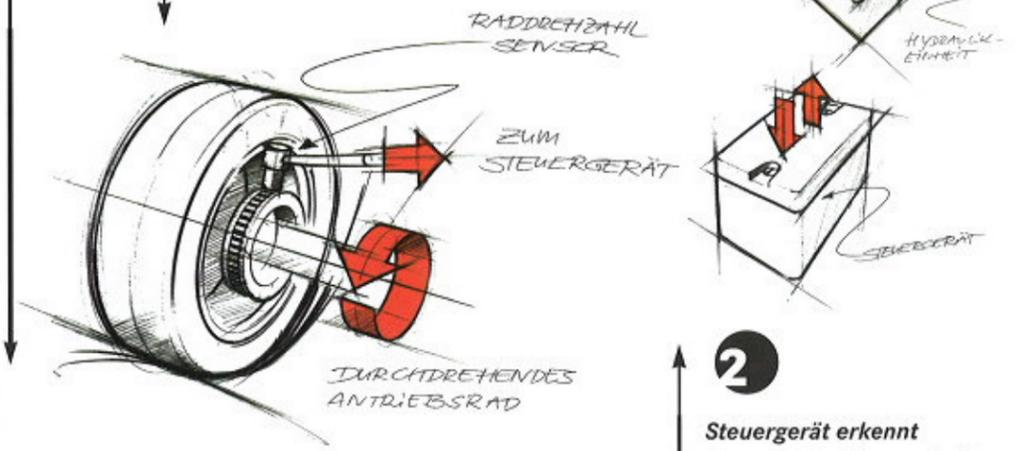
## ASR-Off.

Manchmal kann es beim Anfahren sinnvoll sein, ASR abzuschalten, um den Vortrieb zu verbessern. Vor allem, wenn der Fahrer in Tiefschnee, Sand oder Schotter festsetzt bzw. mit Schneeketten fährt. Dann wird das Motormoment nicht begrenzt, und die Antriebsräder können durchdrehen, um eine Fräswirkung zu erzielen. Bei abgeschaltetem ASR bleibt die ETS-Funktion erhalten.



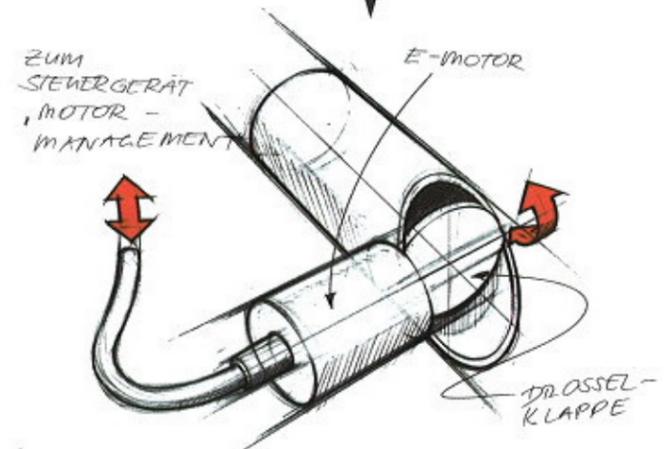
1

Glatter Untergrund:  
Ein Rad oder zwei Räder  
drehen durch.



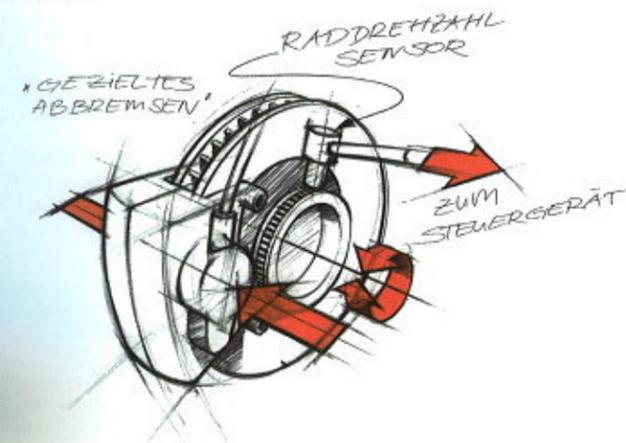
2

Steuergerät erkennt  
fehlende Traktion und gibt  
Motormanagement das  
Signal, Drehmoment über  
Drosselklappe zu verringern.



3

Reicht Motormomenteingriff nicht aus,  
werden bis 40 km/h das durchdrehende  
Antriebsrad, darüber beide Antriebsräder  
abgebremst.



## Kundennutzen von ASR:

- Hohe aktive Sicherheit: ASR mit integriertem MSR verhindert Ausbrechen des Wagenhecks
- ASR arbeitet über den gesamten Geschwindigkeitsbereich
- Fahrstabilität bei jeder Geschwindigkeit
- Verbessertes Traktionsvermögen z.B. bei Glätte
- Besonders vorteilhaft auf unterschiedlich griffiger Fahrbahn und in Kurven
- Warnlampe informiert in kritischen Fahrzuständen
- Abschaltbar bei Schneekettenbetrieb zur Traktionsverbesserung oder beim Anfahren

# ASR, ASC + T, STC - die Systeme der anderen.



### ASR auch bei Audi.

Bei einigen A6-Modellen und beim A8 mit Frontantrieb wird das in Funktion und Aufbau mit dem von Daimler-Benz praktisch identische ASR serienmäßig angeboten. In der Funktionsweise von ASR besteht zwischen front- und heckgetriebenen Fahrzeugen prinzipiell kein Unterschied.

### ASC + T von BMW.

Die Automatische Stabilitäts-Control + Traktions-Control entspricht in Aufbau und Funktion ASR und ist ebenfalls abschaltbar, um z.B. beim „Freischaukeln“ einen höheren Radschlupf zu ermöglichen. Im „Off“-Betrieb ist das System jedoch komplett ohne Funktion.

### STC von VOLVO.

STC (Stability and Traction Control) funktioniert wie eine Kombination von DSA und TRACS. Bei fehlender Traktion beim Anfahren bis 40 km/h wird durch gezielten Bremseneingriff die Traktion verbessert. Bei auftretendem Schlupf an den Antriebsrädern oberhalb 40 km/h und über den restlichen Geschwindigkeitsbereich wird das Drehmoment des Motors über die eingespritzte Kraftstoffmenge reduziert. Ein Bremseneingriff findet nicht statt!

▶ Bei den Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 4-Zylinder-Motoren (M 111) und ASR (z.B. E 200) der Änderungsjahre 97/1 bis 98/1 erfolgte der Regeleingriff ebenfalls über eine Kraftstoffabschaltung, bei den Modellen ab Juli 98 erfolgt der Motormomenteingriff über E-Gas und die Drosselklappe.



|                                | Mercedes-Benz: ASR   | Audi: ASR  | BMW: ASC + T  | VOLVO: STC  |
|--------------------------------|--|--|---|---|
| <b>Funktion</b>                | Traktion und Fahrstabilität durch <ul style="list-style-type: none"> <li>• gezielten Bremseneingriff am durchdrehend. Antriebsrad</li> <li>• Eingriff ins Motormanagement mit</li> <li>• Motorschleppmomentregelung</li> </ul> | • wie bei Mercedes-Benz  | • wie bei Mercedes-Benz   | • ähnlich ASR; jedoch keine Motorschleppmomentregelung  |
| <b>Nutzen</b>                  | • problemloses Anfahren u.<br>• Richtungsstabilisierung über den gesamten Geschwindigkeitsbereich und im Schiebetrieb  | • wie bei Mercedes-Benz  | • wie bei Mercedes-Benz   | • wie bei Mercedes-Benz; jedoch nicht im Schiebetrieb   |
| <b>Wirkungsbereich</b>         | • gesamter Geschwindigkeitsbereich in allen Fahrsituationen und bei allen Fahrbahnbelägen  | • wie bei Mercedes-Benz  | • wie bei Mercedes-Benz   | • gesamter Geschwindigkeitsbereich und bei allen Fahrbahnbelägen; Bremseneingriff nur bis 40 km/h |
| <b>Motor-managem.-eingriff</b> | • über Drosselklappe   | • wie bei Mercedes-Benz  | • wie bei Mercedes-Benz   | • über eingespritzte Kraftstoffmenge  |
| <b>„Off“-Schaltung</b>         | • Abschaltung des Motor-managementeingriffs;<br>• reine ETS-Funktion<br>Wirkung bis 80 km/h  | • Abschaltung des Motor-managementeingriffs;<br>• reine Traktionsfunktion<br>Wirkung bis 40 km/h (Fronttriebler) | • System ohne Funktion<br>keine unterstützende Wirkung mehr vorhanden | • Abschaltung des Motor-managementeingriffs;<br>• reine Traktionsfunktion<br>Wirkung bis 40 km/h  |
| <b>Anzeige</b>                 | • Warnlampe im Kombi-Instrument  | • wie bei Mercedes-Benz  | • wie bei Mercedes-Benz   | • wie bei Mercedes-Benz   |

1

First to market 1986.

### Fazit.

Während die Antriebschlupfregelungen von Mercedes-Benz, Audi und BMW in Funktions- und Wirkungsweise praktisch identisch bzw. vergleichbar sind, bietet VOLVO ein System an, bei dem als einzigem und erst ab ca. 40 km/h das Motormoment über die eingespritzte Kraft-

stoffmenge geregelt wird und bei dem keine Motorschleppmomentregelung integriert ist. Im „ASR-Off“-Betrieb bietet das System von BMW – da völlig ohne Funktion – keine unterstützende Wirkung mehr. Mercedes-Benz bietet im „ASR-Off“-Bereich mit der noch zur Verfügung stehenden ETS-Funktion und dem

höheren Wirkungsbereich (bis 80 km/h) noch mehr Fahr-sicherheit.

# Mehr Sicherheit und bessere Beherrschbarkeit im Grenzbereich.

## „Der vielleicht größte Durchbruch“ in der aktiven Sicherheit.

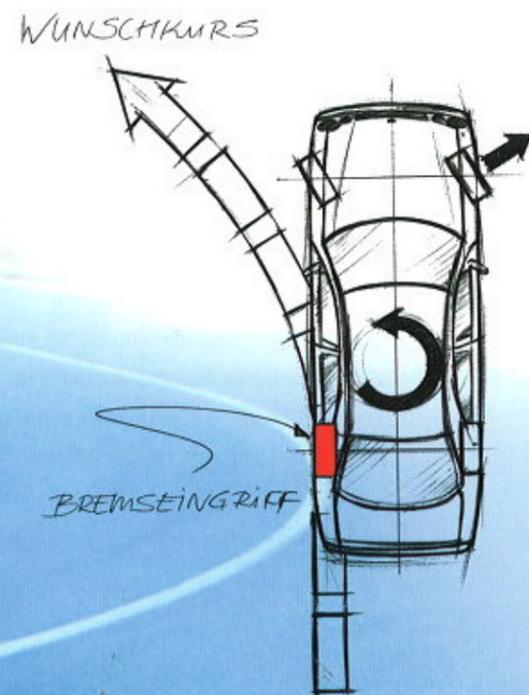
So loben Fachjournalisten ESP als „höchste Ausbaustufe“ der Daimler-Benz Fahrodynamikregelungen. Es schließt die Funktionen aller übrigen Systeme (ABS, BAS, ETS und ASR) ein und ergänzt sie um eine Steuerlogik, die sich auf eine umfassende Sensorik stützt. Sie erfaßt die sogenannte Giergeschwindigkeit (Bewegung des Fahrzeugs um die Hochachse), den Lenkwinkel, die Querschleunigung,

den Bremsdruck im Hauptbremszylinder, das Tempo, die Raddrehzahlen etc. Signalisieren die Sensoren ein instabiles Verhalten des Fahrzeugs, dann hält ESP durch gezielte Bremseneingriffe an den Vorder- und Hinterrädern sowie durch eine Verringerung oder Erhöhung des Motordrehmoments das Fahrzeug sicher in der Spur.

## Ausbruchsversuche rechtzeitig verhindern.

Wenn der Fahrer spürt, daß sein Fahrzeug in einer zu schnell angefahrenen Kurve untersteuert – also über die Vorderräder nach außen drängt, läuft er größte Gefahr, von der Fahrbahn abzukommen. ESP erkennt diese Notlage, lange bevor sie vom Fahrer wahrgenommen wird, und nimmt einen gezielten Bremseneingriff am kurven-

inneren Hinterrad vor. Dadurch wird ein Moment aufgebaut, das der Fliehkraft (zum Kurvenrand) entgegenwirkt und das Fahrzeug in die Kurve zieht. Das ist weit effektiver als ein Abbremsen über alle vier Räder und erheblich sicherer in solchen Grenzsituationen.



„UNTERSTEUERNDES FAHRZEUG“

## Schleudern im Ansatz unterbinden.

Auch das Übersteuern des Fahrzeugs, wenn in einer zu schnell angefahrenen Kurve das Heck auszubrechen droht, erkennt ESP schon im Ansatz. Dann wird sofort mit einem gezielten Bremseneingriff das kurvenäußere Vorderrad abgebremst, um diese kritische Situation zu entschärfen. An der Vorderachse wird ein entsprechendes Gegenmoment aufgebaut, um das Fahrzeug wieder spur-

stabil zu machen. Beim schnellen Spurwechsel, wenn der Fahrer einem Hindernis ausweichen will, hält ESP das Fahrzeug ebenfalls in der Balance und sorgt in jeder Phase des Spurwechsels durch gezieltes Anbremsen einzelner Räder für erhöhte Fahrstabilität.



„ÜBERSTEUERNDES FAHRZEUG“

**Mit ESP immer sicher in der Spur.**

Was ESP nicht nur auf trockener Straße, sondern auch bei Glätte, Nässe, Rollsplit und anderen widrigen Fahrbahnzuständen leistet, schafft kein Fahrer mit bloßen Lenk- und Bremsmanövern. ESP ist deshalb über den gesamten Geschwindigkeitsbereich und unter allen Fahrbedingungen

einsatzbereit: beim Bremsen, Beschleunigen oder freien Rollen. Wird ESP aktiv, dann mahnt eine Kontrollleuchte im Cockpit zu vorsichtiger Fahrweise, denn die fahrphysikalischen Gesetze kann auch ESP nicht überlisten.

**ESP-Off.**

Bei ausgeschaltetem System (ESP-Off-Schalter) bleiben die ETS-Funktionen für optimale Traktion beim Anfahren – z.B. im Schneekettenbetrieb –

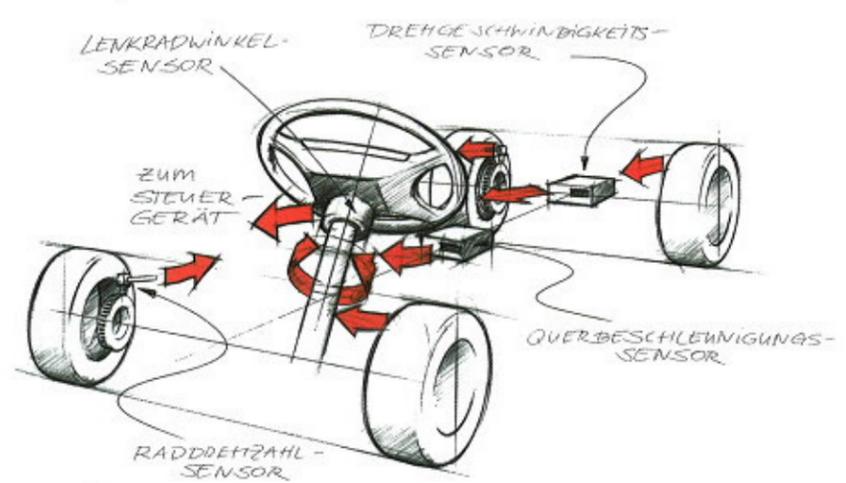
erhalten. Der Bremseneingriff erfolgt einzeln an den Antriebsrädern bis maximal 40 km/h zuschaltend.

**Das Plus.**

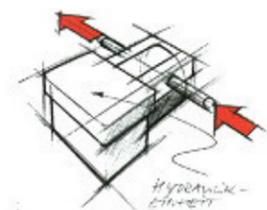
Bei allen Mercedes-Pkw mit ESP schaltet sich im „ESP-Off-Betrieb“ beim Betätigen der Bremse die volle ESP-Funktion wieder zu. Wird die Bremse gelöst, ist der vorherige Zustand (ESP-Off) wieder aktiviert.

**ESP-Off bei der A-Klasse.**

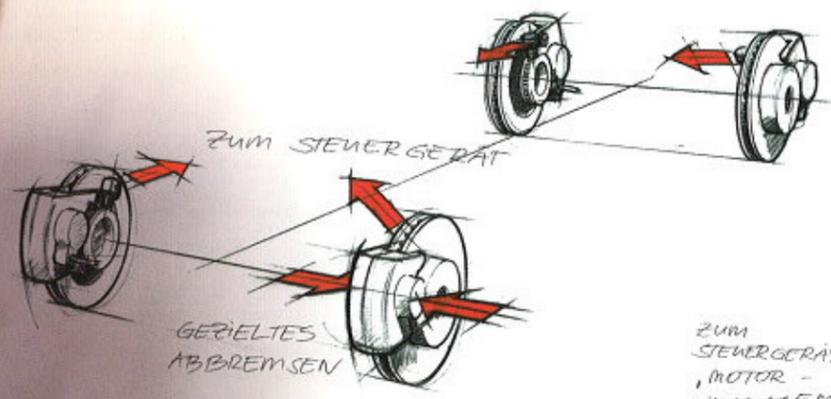
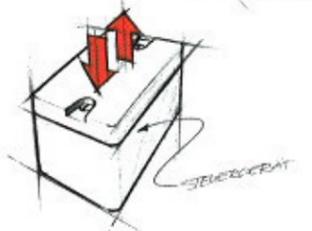
In der A-Klasse hat man bei gedrücktem Off-Schalter die zum „Freischaukeln“ und bei Schneekettenbetrieb nötige Fräswirkung der Räder bis 50 km/h. Denn es wird nur der Motoreingriff bis 50 km/h abgeschaltet, das restliche System bleibt aktiv. Mit ESP weist die A-Klasse eine Sicherheitskomponente auf, die in diesem Fahrzeugsegment auch in Jahren noch nicht zum serienmäßigen Standard gehören wird.



**1** Über verschiedene Sensoren erkennt ESP einen instabilen Fahrzustand oder fehlende Traktion.

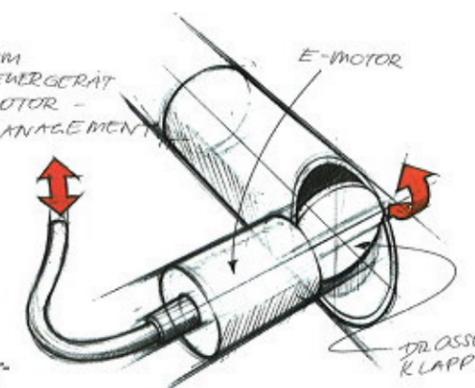


**2** Steuergerät gibt Signale für einen gezielten Bremseneingriff (Hydraulikeinheit) und ggfs. die Anpassung des Motormoments (Drosselklappe).



**3** ESP veranlaßt einen gezielten Bremseneingriff.

**4** ESP sorgt für die Anpassung des Motormoments über die Drosselklappe.



**Kundennutzen von ESP:**

- Fahrstabilität im gesamten Geschwindigkeitsbereich: beim Bremsen, Beschleunigen und freien Rollen
- Hohes Unfallvermeidungspotential durch Verhindern des Schleuderns beim Ausweichen, zu schnell angefahrenen Kurven, Fahrfehlern oder beim Bremsen
- Bessere Traktion beim Anfahren auf glatter oder unbefestigter Fahrbahn
- Warnlampe informiert in kritischen Fahrzuständen
- „ESP-Off“-Schalter für mehr Schlupf (zum „Freischaukeln“, bei Schneekettenbetrieb etc.); ETS-Funktion bleibt erhalten
- Beim Bremsen in „ESP-Off“ wird die volle ESP-Funktion zugeschaltet; Lösen der Bremse aktiviert wieder den ESP-Off-Betrieb

# ESP, DSC und DSTC – die Systeme der anderen.

## Mehr Sicherheit für alle.

Wie ABS und ASR hatte auch die Fahrdynamikregelung ESP ihre Premiere in einem Mercedes. 1995 wurde das Elektronische Stabilitätsprogramm in der S-Klasse erstmals der Fachwelt vorgestellt. Auf einem zugefrorenen See konnte das elektronische System damals eindrucksvoll seine Qualitäten unter Beweis stellen. Den mit ESP verbun-

denen hohen Sicherheitsstandard kann und will Daimler-Benz nicht für sich allein reklamieren. „Mehr Sicherheit für alle“ heißt die Devise. So wird auch ESP in absehbarer Zukunft zum automobilen Standard gehören. Und die Entwicklung geht weiter, wenngleich es manchmal so scheint, als ob die Grenzen des Machbaren erreicht wären.

## ESP auch bei Audi.

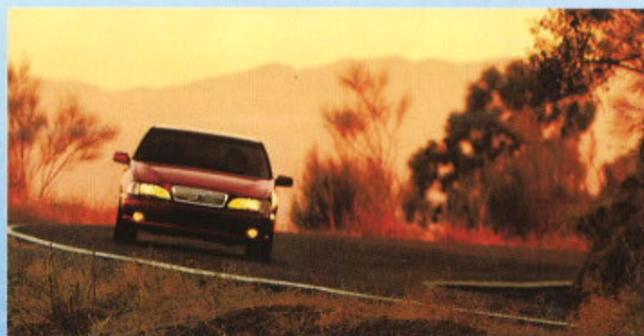
Von seiner Funktion und Wirkungsweise her ist das von Audi angebotene System vergleichbar mit dem ESP von Daimler-Benz. Prinzipiell macht es keinen Unterschied, ob mit ESP ausgerüstete Fahrzeuge front- oder heckgetrieben sind. Bei Audi ist man aber der Meinung, daß Fronttriebler mit ESP ihren heckgetriebenen Konkurrenten, ebenfalls mit ESP ausgerüstet, überlegen seien. Die Argumente für diese angebliche Überlegenheit bleibt Audi allerdings schuldig. Bei abgeschaltetem ESP im Audi bleibt die Elektronische Differentialsperre EDS nur bis 40 km/h aktiv.

## BMW mit DSC.

Laut BMW gewährleistet die Dynamische Stabilitäts-Control über ASC + T hinaus vor allem in Kurven eine hohe Fahrstabilität. Anhand der Drehzahlen aller Räder, der Lenkradbewegung sowie der Fahrgeschwindigkeit werden die Querschleunigung und ein Durchdrehen der Räder bereits im Ansatz erkannt. Wie ASC greift DSC dann in das Motormanagement ein und reduziert das Antriebsmoment. Die ATZ 3/97 berichtet, daß bei dem ab 1996 im BMW 750i serienmäßigen DSC-System u.a. die Sensorik um einen Gierraten-, Querschleunigungs- und Drucksensor erweitert wurde. Damit dürfte dieser neueste Bautyp dem Leistungsvermögen des ESP von Daimler-Benz entsprechen. Im „DSC-Off“-Betrieb ist jedoch auch dieses System komplett abgeschaltet.

## VOLVO mit DSTC.

Mit der Dynamischen Stabilitäts- und Traktionskontrolle DSTC – ab 1999 im S 80 – bietet VOLVO ein dem ESP vergleichbares Fahrdynamiksystem.



|                                | Mercedes-Benz: ESP  | Audi: ESP  | BMW: DSC   | VOLVO: DSTC  |
|--------------------------------|---|--|--|--|
| <b>Funktion</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gezielter Bremseneingriff an einem oder mehreren Rädern zur Stabilisierung des Fahrzeugs</li> <li>• zusätzlicher Eingriff ins Motormanagement und</li> <li>• Motorschleppmomentregelung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gezielter Bremseneingriff an einem oder mehreren Rädern zur Stabilisierung des Fahrzeugs</li> <li>• zusätzlicher Motormanagementeingriff möglich</li> </ul> |
| <b>Nutzen</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• verbesserte Traktion oder Richtungsstabilisierung bei instabilen Fahrzuständen (z.B. Über- o. Untersteuern, Ausweichmanöver ...)</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ähnlich wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  |
| <b>Wirkungsbereich</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter Geschwindigkeitsbereich</li> <li>• bei allen Fahrsituationen</li> <li>• im freien Rollen und</li> <li>• im Schiebebetrieb</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• gesamter Geschwindigkeitsbereich und</li> <li>• bei allen Fahrbahnbelägen</li> </ul>  |
| <b>Motor-managem.-eingriff</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• über Drosselklappe</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• über eingespritzte Kraftstoffmenge</li> </ul>   |
| <b>„Off“-Schaltung</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschaltung des Motor-managementeingriffs; reine ETS-Funktion Wirkung bis 80 km/h</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschaltung des Motor-managementeingriffs; reine Traktionsfunktion Wirkung bis 40 km/h</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• System ohne Funktion keine unterstützende Wirkung mehr vorhanden</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschaltung des Motor-managementeingriffs; reine Traktionsfunktion</li> </ul>   |
| <b>Anzeige</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Warnlampe im Kombi-Instrument</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• wie bei Mercedes-Benz</li> </ul>  |

1

First to market 1995.

## Fazit.

Die Stabilitätsprogramme von Mercedes-Benz, Audi und BMW sind in Funktion und Wirkung praktisch identisch. VOLVO bietet ein dem ESP ähnliches System an, bei dem jedoch als einzigem das Motormoment über die eingespritzte Kraftstoffmenge

geregelt wird und keine Motorschleppmomentregelung integriert ist. Im „ESP-Off“-Betrieb bietet das System von BMW – da völlig ohne Funktion – keine unterstützende Wirkung mehr. Mercedes-Benz bietet im „ESP-Off“-Betrieb mit der noch zur Verfügung stehenden ETS-Funktion und dem

höheren Wirkungsbereich (bis 80 km/h) zusätzliche Fahrstabilität. Bei Mercedes-Benz und BMW steht beim Bremsen im „ESP-Off“-Betrieb die volle ESP-Funktion als weiteres Plus zur Verfügung.

# Die Allradversion der E-Klasse.

## Höchste Fahrsicherheit.

Der permanente Allradantrieb der E-Klasse stellt mit seinem Zugewinn an Fahrsicherheit einen echten Produktvorteil dar. Kaum eine Fahrsituation, der die 4MATIC nicht gewachsen wäre. Den sicherheitsbewußten Fahrern von Allradfahrzeugen kommen die technisch fortschrittlichen 4MATIC-Pkws entgegen.

## Heckbetonte Auslegung.

Die 4MATIC-Modelle werden momentan ausschließlich mit den zwei leistungsstärksten 6-Zylinder-V-Motoren und automatischem 5-Gang-Getriebe ausgerüstet. Sie besitzen einen permanenten Allradantrieb mit einem einstufigen Verteilergetriebe. Den Drehzahlausgleich zwischen den Achsen übernimmt ein Zentraldifferential. Es verteilt das

Antriebsmoment konstant im Verhältnis 35 zu 65 auf die Vorder- und Hinterachse. Diese bewußt heckbetonte Momentenverteilung stellt die beste Voraussetzung für sicheres Fahrverhalten und Fahrkomfort bei Pkws in dieser Klasse dar.

## 4MATIC + ETS.

Der E 280 4MATIC hat serienmäßig das elektronische Traktionssystem 4ETS, das die

Differentialsperren herkömmlicher Allradsysteme ersetzt. Das senkt die Anschaffungskosten, spart Kraftstoff durch weniger Gewicht und verbessert das Preis-Wert-Verhältnis für die Kunden.

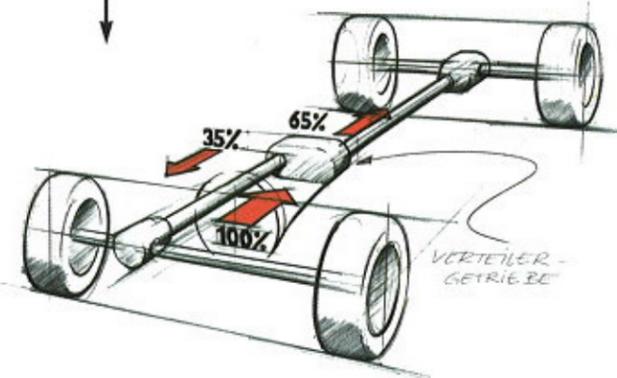
4ETS wird aktiv, wenn eines oder mehrere Antriebsräder durchdrehen. Diese Räder werden so lange abgebremst, bis eine bestimmte Geschwindigkeitsdifferenz zur Referenzgeschwindigkeit des Fahrzeugs unterschritten wird. Parallel dazu erfolgt eine Momenterhöhung am nicht durchdrehenden Rad der jeweils gleichen Achse. Das

am durchdrehenden Rad aufgewendete Bremsmoment wird als Antriebsmoment auf das nicht durchdrehende Rad übertragen. Bei zwei durchdrehenden Rädern einer Achse wird durch Abbremsen das Moment zur anderen Achse übertragen.

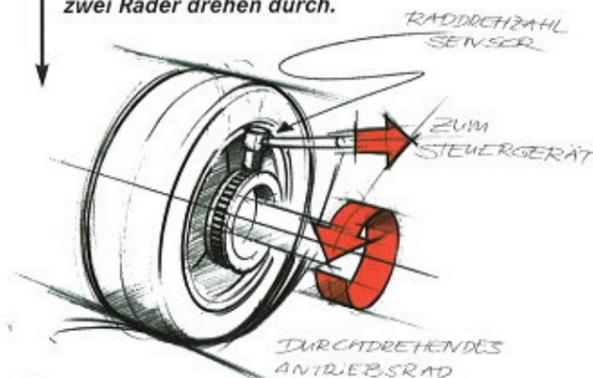
4ETS sorgt beim Anfahren und Beschleunigen für eine deutlich bessere Traktion und mehr Stabilität in Kurven. Die Lenkfähigkeit bleibt auch bei unterschiedlicher Fahrbahneschaffenheit erhalten. Das bringt mehr Fahrstabilität, kritische Situationen lassen sich „automatisch“ besser meistern, und der Fahrer wird spürbar entlastet.



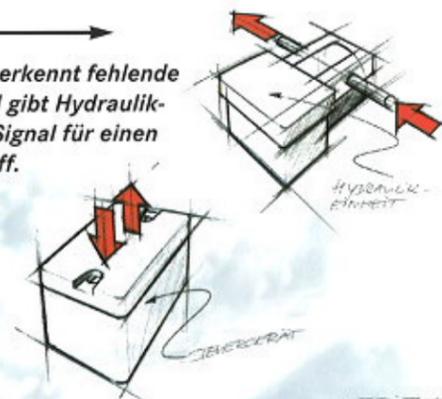
**1** Das Verteilergetriebe verteilt die Kraft konstant im Verhältnis 35:65 (vorne/hinten).



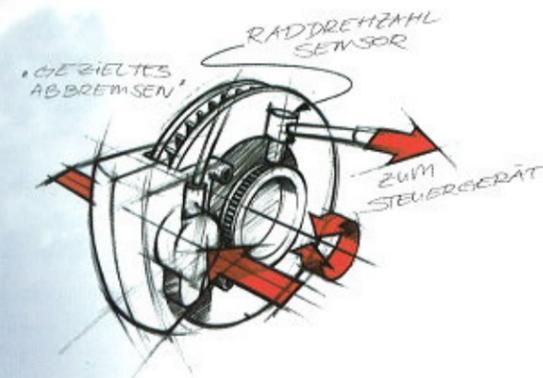
**2** Glatter Untergrund: Ein Rad oder zwei Räder drehen durch.



**3** Steuergerät erkennt fehlende Traktion und gibt Hydraulikeinheit das Signal für einen Bremsengriff.



**4** 4ETS bremst durchdrehende/s Rad/Räder so lange ab, bis Traktion hergestellt ist.



### Kundennutzen der 4MATIC mit ETS:

- Hohes Maß an Fahrsicherheit bei jeder Fahrbahneschaffenheit
- Heckbetonte Kraftverteilung 35 : 65 für sicheres, komfortables, dynamisches Fahrverhalten
- Leistungsfähiger Vortrieb
- Leichtes und eindeutiges Handling, gute Lenkfähigkeit und bestmögliche Traktion beim Anfahren und Beschleunigen – vor allem in Kurven
- Der automatische Bremsengriff mittels 4ETS simuliert die Wirkung von bis zu drei Differentialsperren
- Gewichtsvorteile durch den Verzicht auf Differentialsperren
- Hervorragende Seitenführungskraft
- Geringe Seitenwindempfindlichkeit
- Kleiner Wendekreis
- 4ETS Serie im E 280

# Noch mehr Fahrsicherheit: 4MATIC plus ESP.

## Konkurrenzlos sicher, ASR inklusive.

Eine weitere Steigerung der Fahrsicherheit bietet die 4MATIC in Kombination mit dem Elektronischen Stabilitätsprogramm ESP. Zu den Vorteilen von ESP mit gezieltem Bremseneingriff an einzelnen Rädern und (bei Bedarf) zusätzlicher Dosierung des Motormoments, kommt bei ESP im 4MATIC noch ein entscheidender Vorteil dazu: eine systembedingt integrierte Antriebsschlupfregelung an Vorder- und Hinterachse über den gesamten Geschwindigkeitsbereich – das bietet bis jetzt weltweit kein Mitbewerber serienmäßig.

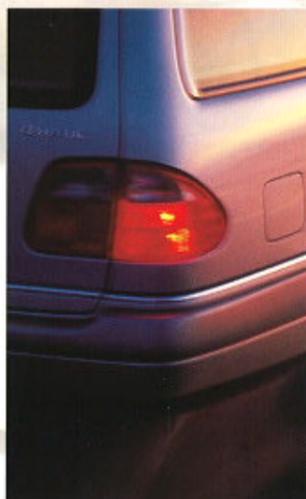


## Die Sichersten ihres Segments.

Die Kombination mit ESP macht die 4MATIC-Modelle zu den weltweit fahrsichersten Allradfahrzeugen ihres Segments.

## Ein Blick auf die M-Klasse.

Der permanente Allradantrieb des ML 230 ist serienmäßig mit dem elektronischen Traktionssystem 4ETS kombiniert. Die Kombination mit ESP kommt ab dem ML 320 serienmäßig zum Einsatz. Damit ist Traktion auf jedem Untergrund gewährleistet. Die M-Klasse besitzt ein Verteilergetriebe in Planetenbauweise mit Zentralfifferential – es



Aber wie bei allen elektronischen Hilfssystemen gilt auch hier: Die Gesetze der Fahrphysik lassen sich nicht außer Kraft setzen. Werden sie übertreten, ist ein Unfall die unvermeidliche Folge.

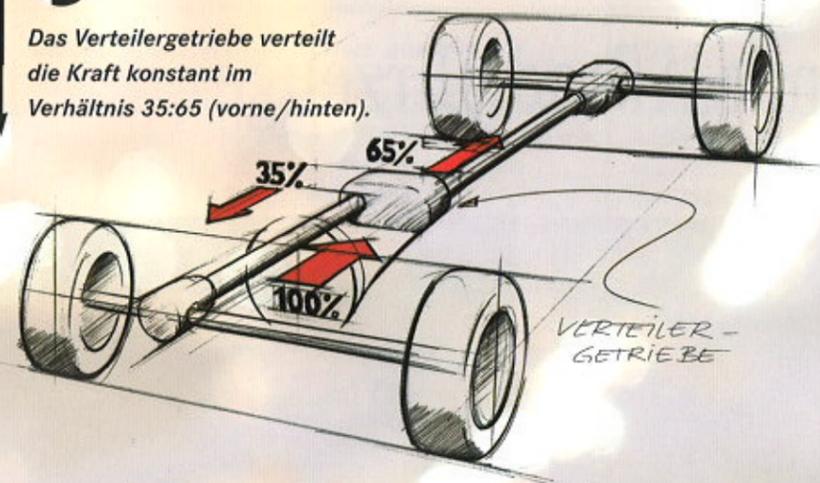
verteilt das Antriebsmoment im Verhältnis 50 zu 50 auf Vorder- und Hinterachse. Bei einem oder mehreren durchdrehenden Rädern erfolgt der korrigierende Bremseneingriff am jeweiligen Rad wie oben beschrieben. Zudem kann bei stehendem Fahrzeug von der Straßenübersetzung (1:1) in die Geländeübersetzung (2,64 : 1) umgeschaltet werden. Im ersten Gang hat die

Damit das Fahrverhalten noch rechtzeitig korrigiert werden kann, macht eine blinkende Warnlampe im Kombiinstrument auf das Erreichen solcher fahrphysikalischer Grenzbereiche aufmerksam. Ist ESP vom Fahrer manuell ausgeschaltet, bleiben die Traktionsregelung im unteren Geschwindigkeitsbereich (ETS-Funktion) sowie die volle Stabilisierungsfunktion (ESP-Funktion) während eines Bremsvorgangs aktiv.

M-Klasse dann eine der niedrigsten Kriechgeschwindigkeiten ihrer Klasse. Zusätzliche Sicherheit bietet ein eigener Gelände-ABS-Modus, der nur für die Vorderräder wirkt und so die Lenkbarkeit des Fahrzeugs auch bei niedriger Geschwindigkeit gewährleistet, wenn die Räder bei einer Vollbremsung blockieren.

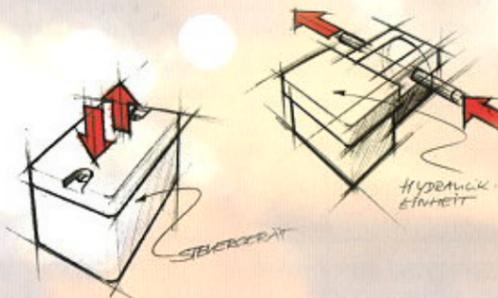
1

Das Verteilergetriebe verteilt die Kraft konstant im Verhältnis 35:65 (vorne/hinten).



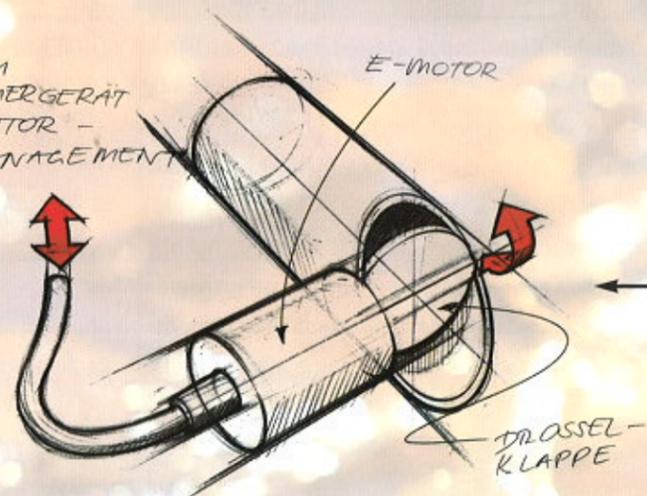
2

Das Steuergerät erkennt instabilen Fahrzustand oder fehlende Traktion und gibt Signale für einen gezielten Bremseneingriff (Hydraulikeinheit) und ggfs. die Anpassung des Motormoments (Drosselklappe).



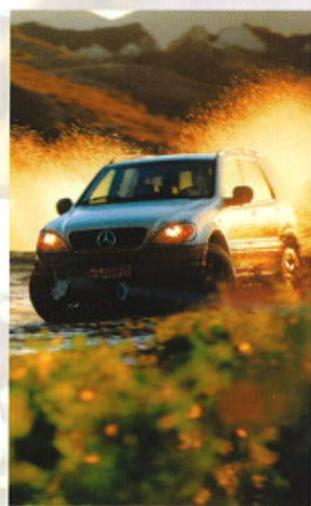
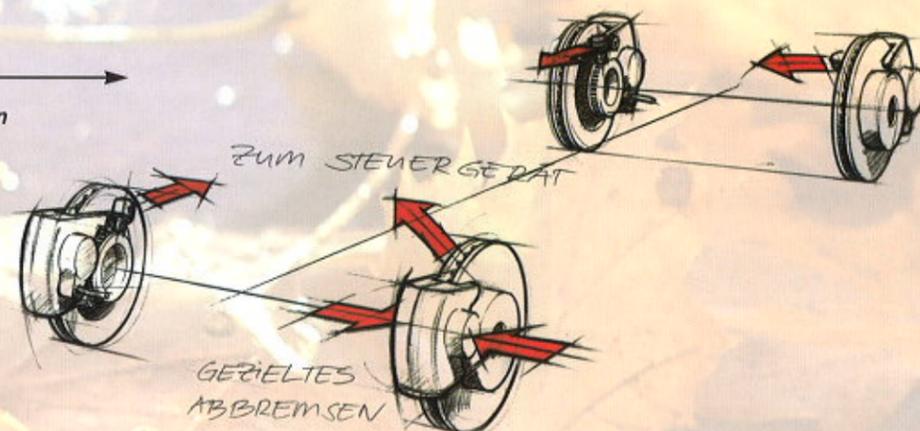
3

4ESP sorgt ggfs. für die Anpassung des Motor-moments über Drosselklappe.



4

4ESP veranlaßt einen gezielten Bremseneingriff.



# Konkurrierende Allradfahrzeuge.



## Audi A8 4.2 quattro und 3.7 quattro.

Diese beiden quattros haben einen permanenten Allradantrieb über Verteilergetriebe (Momentenverteilung Vorder-/Hinterachse 50 : 50). Beide Fahrzeuge können auf Wunsch mit ESP ausgerüstet werden. Serienmäßig steht den quattros die Elektronische Differentialsperre EDS zur Verfügung. EDS arbeitet selbsttätig beim Anfahren und bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h. Alle zum Durchdrehen neigenden Räder werden automatisch abgebremst. Dabei wird EDS durch den Sperreingriff im Mittendifferential unterstützt: Bei Bedarf sperrt eine vollauto-

matische Lamellenkupplung das Mittendifferential und verteilt dadurch die Antriebskräfte so auf beide Achsen, daß die Achse mit der höheren Traktion vorrangig bedient wird.

## BMW 525ix touring und Limousine.

Ein aktuelles Allradmodell von BMW steht noch aus. Das 5er-Modell der vorletzten Generation hat einen permanenten Allradantrieb mit heckbetonter Momentenverteilung (64% auf die Hinterachse, 36% auf die Vorderachse). Im Bedarfsfall ändern

automatisch zuschaltende Sperrdifferential (elektromagnetisch im Verteilergetriebe; elektrohydraulisch im Hinterachsgetriebe; Vorderachsgetriebe ohne Sperre) diese Grundmomentenverteilung entsprechend den physikalischen Gegebenheiten. Dabei ist theoretisch eine Momentenverteilung von bis zu 100% auf eine Achse möglich.

## VOLVO V70 AWD (All Wheel Drive).

Der VOLVO hat ebenfalls einen permanenten Allradantrieb über eine Visco-Kupplung, die automatisch die Zug-

kraft auf das Räderpaar mit der besten Traktion überträgt. Bei konstanter Geschwindigkeit auf gerader, trockener Straße wird die Antriebsleistung im Verhältnis 95 : 5 auf die Vorderräder übertragen. Greifen die Vorderräder z.B. nicht mehr, ist es genau umgekehrt. Um die Leistung auf die Räder jeder Achse korrekt zu verteilen (nur beim Anfahren und bis 40 km/h), kommt vorne TRACS zum Einsatz (bremst automatisch jedes Vorderrad ab, das durchdrehen beginnt) und hinten das Multifunktionale Sperrdifferential MSD (automatische, elektronisch-hydraulisch gesteuerte Lamellenkupplung), das, falls eines der Hinterräder durchdrehen beginnt, die Kraft auf das Rad ohne Schlupf umverteilt.



|                             | Mercedes-Benz: 4MATIC   | Audi: quattro   | BMW: iX <sup>3</sup>   | VOLVO: AWD  |
|-----------------------------|---|---|--|---|
| <b>Funktion</b>             | • 4 permanent angetriebene Räder in Kombination mit ETS oder ESP <sup>1</sup>   | • 4 permanent angetriebene Räder in Kombination mit EDS oder ESP (SA)   | • 4 permanent angetriebene Räder in Kombination mit automatisch zuschaltenden Sperrdifferentialen                    | • 4 permanent angetriebene Räder in Kombination mit TRACS für Vorderräder und MSD für Hinterräder   |
| <b>Kraftvert.</b>           | • 35:65 konstant (v/h)  | • 50:50 variabel  | • 36:64 variabel   | • 95:5 variabel   |
| <b>Sperren</b>              | • keine   | • Mittendifferentialsperre  | • Zentralfifferential- und Hinterachsdiff.-Sperre  | • MSD hinten und Visco-kupplung in der Mitte  |
| <b>Nutzen</b>               | • bestmögliche Traktion auf allen Fahrbahnbelägen und<br>• in allen Fahrzuständen<br>• günstige Verbrauchswerte   | • bestmögliche Traktion auf allen Fahrbahnbelägen   | • bestmögliche Traktion auf allen Fahrbahnbelägen  | • gute Traktion auf allen Fahrbahnbelägen   |
| <b>Wirkungsweise</b>        | • bestmögliche Traktion bei guter Fahrstabilität m. 4ETS<br>• bestmögliche Fahrstabilität bei guter Traktion m. ESP (E 320 4MATIC Serie) und<br>• bestmögliche Traktion im „ESP-Off“-Modus <sup>2</sup> | • prinzipiell gleich wie Mercedes-Benz, aber ESP immer SA   | • nur auf bestmögliche Traktion ausgelegt (bedingt durch den Produktionszeitraum der Fahrzeuge)                      | • Auslegung auf gute Traktion, bezogen auf die Kraftverteilung (Vorderräder)  |
| <b>Anzeige</b>              | • Warnlampe im Kombi-Instrument für Traktions- oder Stabilitätsregelung   | • wie bei Mercedes-Benz   | • geschaltete Sperren werden im Kombi-Instrument angezeigt   | • wie bei Mercedes-Benz   |
| <b>Gewicht/ Platzbedarf</b> | • Gewichtszuwachs gering, da nur Verteilergetriebe<br>• keine Sperren<br>• kein zusätzlicher Platzbedarf  | • Gewichtszuwachs mittel, da ein Mittendifferential mit Sperre<br>• hoher Platzbedarf<br>• eingeschränkter Kofferraum | • Gewichtszuwachs hoch, da zwei Differenziale mit automatisch zuschaltenden Sperren<br>• eingeschränkter Platzbedarf | • Gewichtszuwachs hoch, da Different. u. Visco-kupplung<br>• Vorderachse keine Sperre, Hinterachse automatisch zuschaltend<br>• kein zusätzlicher Platzbedarf, da nur als Kombi |
| <b>Wartung</b>              | • kein zusätzlicher Aufwand   | • zusätzlicher Aufwand  | • zusätzlicher Aufwand   | • zusätzlicher Aufwand  |

**1**

Systembedingt integrierte ASR-Funktion bei ESP an Vorder- und Hinterachse über gesamten Geschwindigkeitsbereich.

**2**

Volle ESP-Funktion b. Bremsen und Rücksprung in den Off-Modus b. Lösen der Bremse.

**3**

Momentan kein Allradmodell im Angebot.

### Fazit.

Die Allradfahrzeuge von Mercedes-Benz und Audi sind hinsichtlich ihrer Auslegung auf bestmögliche Traktion und Fahrstabilität im Prinzip gleich zu bewerten, wobei

Mercedes-Benz unter anderem den geringsten Gewichtszuwachs und günstigere Kraftstoffverbrauchswerte aufweisen kann. Während beim E 320 4MATIC das ESP mit seinen signifikanten Vorteilen zum Serienumfang zählt, bietet Audi das Stabilitätsprogramm für die quattro-Modelle nur auf Sonderwunsch an.

Der VOLVO V70 AWD mit seiner – bezogen auf die Kraftverteilung – rein traktionsorientierten Auslegung des Allradantriebs und seinem im Vergleich höchsten Gewichtszuwachs ist im Hinblick auf Fahrsicherheit und Wirtschaftlichkeit weniger konkurrenzfähig als der Audi.

# Alle Systeme im Vergleich.

|                                  | Mercedes-Benz  | Audi  | BMW  | VOLVO                                   |
|----------------------------------|--|---|--|---|
| <b>Antiblockiersystem</b>        | ABS  | ABS   | ABS  | ABS                                     |
| <b>Bremsassistent</b>            | BAS<br>serienmäßig    | -   | DBC                     | -                                       |
| <b>Traktions-system</b>          | ETS<br>Wirkung bis 80 km/h   | EDS<br>Wirkung bis 40 km/h (Fronttriebler)<br>Wirkung bis 80 km/h (quattro) | -  | TRACS<br>Wirkung bis 40 km/h            |
| <b>Antriebs-schlupf-regelung</b> | ASR  | ASR   | ASC + T  | DSA/STC                                 |
| <b>„Off“-Schaltung</b>           | Wirkung bis 80 km/h   | Wirkung bis 40 km/h   | System ohne Funktion   | keine Regelung<br>Wirkung bis 40 km/h   |
| <b>Stabilitäts-programm</b>      | ESP  | ESP   | DSC  | DSTC                                    |
| <b>„Off“-Schaltung</b>           | ETS-Funktion bleibt erhalten   | Wirkung bis 40 km/h   | System ohne Funktion  | Wirkung bis 40 km/h erst 1999 verfügbar |

|                                   | Mercedes-Benz   | Audi  | BMW   | VOLVO   |
|-----------------------------------|---|---|---|---|
| <b>Allrad-antrieb (permanent)</b> | 4MATIC<br>in Kombination mit ETS oder ESP   | quattro<br>in Kombination mit EDS oder ESP (SA) | iX<br>mit automatisch zuschaltenden Differentialsperren  | AWD<br>in Kombination mit TRACS für Vorderräder und MDS für Hinterräder |
| <b>Kraftverteilung (v/h)</b>      | 35:65 konstant  | 50:50 variabel                                  | 36:64 variabel  | 95:5 variabel   |

 Systembedingter Vorteil.

 Lieferbar seit Sept. 1998. Serie nur für 8-Zylinder, SA für 528i, aber nur in Verbindung mit DSC.

 Systembedingt integrierte ASR-Funktion bei ESP an Vorder- und Hinterachse über den gesamten Geschwindigkeitsbereich.

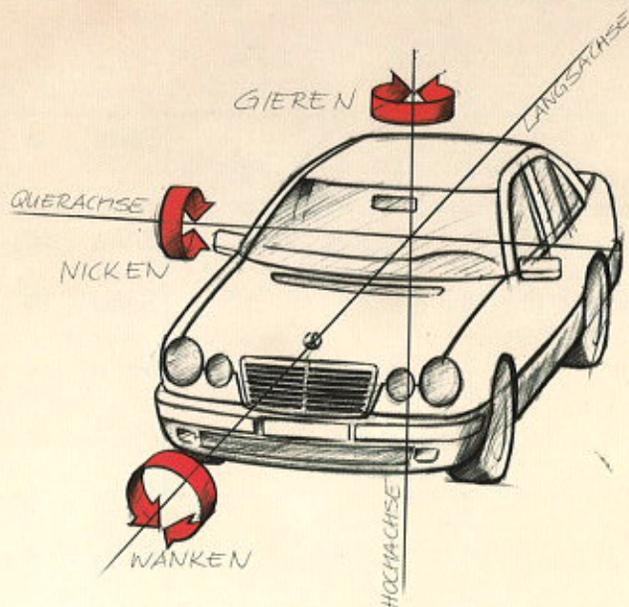
 Volle ESP-Funktion beim Bremsen und Rücksprung in den Off-Modus beim Lösen der Bremse.

 Technischer Rückstand bedingt durch den Produktionszeitraum.

# Fahrdynamikregelungen und die häufigsten Abkürzungen.

|                 |  |              |           |
|-----------------|--|--------------|-----------|
| <b>ABS:</b>     | Antiblockiersystem<br>(Mercedes-Benz, Audi, BMW, VOLVO)  | <b>Seite</b> | <b>6</b>  |
| <b>ASC + T:</b> | Automatische Stabilitäts-Control + Traktions-Control (BMW – entspricht ASR)                              | <b>Seite</b> | <b>16</b> |
| <b>ASD:</b>     | Automatisches Sperrdifferential (bei Mercedes-Benz abgelöst durch ETS)                                   | <b>Seite</b> | <b>10</b> |
| <b>ASR:</b>     | Antriebsschlupfregelung (Mercedes-Benz, Audi)  | <b>Seite</b> | <b>14</b> |
| <b>AWD:</b>     | All Wheel Drive (VOLVO)  | <b>Seite</b> | <b>28</b> |
| <b>BAS:</b>     | Bremsassistent (Mercedes-Benz – Weltneuheit)   | <b>Seite</b> | <b>8</b>  |
| <b>DBC:</b>     | Dynamische Brems-Control (BMW – vergleichbar BAS)  | <b>Seite</b> | <b>8</b>  |
| <b>DSA:</b>     | Dynamic Stability Assistance (VOLVO – vergleichbar ASR)  | <b>Seite</b> | <b>12</b> |
| <b>DSC:</b>     | Dynamische Stabilitäts-Control (BMW – entspricht ESP)  | <b>Seite</b> | <b>22</b> |
| <b>DSTC:</b>    | Dynamische Stabilitäts- und Traktionskontrolle ohne MSR<br>(ab 1999 im VOLVO S80 – vergleichbar ESP)     | <b>Seite</b> | <b>22</b> |
| <b>EBV:</b>     | Elektronische Bremskraftverteilung (Audi, VOLVO S80 und A-Klasse)  | <b>Seite</b> | <b>6</b>  |
| <b>EDS:</b>     | Elektronische Differentialsperre (Audi – entspricht ETS)   | <b>Seite</b> | <b>12</b> |
| <b>ETS:</b>     | Elektronisches Traktionssystem (Mercedes-Benz)   | <b>Seite</b> | <b>10</b> |
| <b>ESP:</b>     | Elektronisches Stabilitätsprogramm (Mercedes-Benz, Audi)   | <b>Seite</b> | <b>18</b> |
| <b>GDB:</b>     | Geregelte Differentialbremse (Mercedes-Benz; wird nur beim Vito so genannt;<br>gleiche Funktion wie ETS) | <b>Seite</b> | <b>10</b> |
| <b>ix:</b>      | Allradsystem BMW (derzeit nicht mehr im Angebot)   | <b>Seite</b> | <b>24</b> |
| <b>MSD:</b>     | Multifunktionales Sperrdifferential (VOLVO)  | <b>Seite</b> | <b>28</b> |
| <b>MSR:</b>     | Motorschleppmomentregelung (Mercedes-Benz – in Verbindung mit ASR und ESP)                               | <b>Seite</b> | <b>14</b> |
| <b>quattro:</b> | Allradsystem Audi  | <b>Seite</b> | <b>24</b> |
| <b>STC:</b>     | Vergleichbar ASR (VOLVO S80)   | <b>Seite</b> | <b>16</b> |
| <b>TRACS:</b>   | Traction Control System (VOLVO – vergleichbar ETS)   | <b>Seite</b> | <b>12</b> |
| <b>4MATIC:</b>  | Allradsystem Mercedes-Benz   | <b>Seite</b> | <b>24</b> |

# Fahrdynamik und Fahrsicherheit.



## Was ist Fahrdynamik?

Der Begriff beschreibt die Bewegungseigenschaften eines Pkw, die vom Fahrverhalten abhängig sind: seine Quer-, Längs- und Vertikaldynamik, also das Nicken (Bewegung des Fahrzeugs um die Querachse), Wanken (Bewegung des Fahrzeugs um die Längsachse) und Gieren (Bewegung des Fahrzeugs um die Hochachse). Diese Bewegungen in Grenzen zu halten und auf möglichst hohem Komfortniveau beherrschbar zu machen ist Aufgabe des Fahrwerks.

## Fahrsicherheit und Fahrkomfort.

Seit Beginn der automobilen Entwicklung geht es darum, die Fahrsicherheit der Automobile kontinuierlich zu verbessern und gleichzeitig den Fahrkomfort zu steigern. Die Suche nach einem Optimum in beiden Disziplinen wirft einen Zielkonflikt auf. Denn um ein hohes Maß an Fahrsicherheit zu erreichen, sollten die Räder eines Automobils möglichst gleichmäßig auf die Fahrbahn gedrückt werden. Doch die Kraft, mit der die Räder Kontakt zur Straße haben, schwankt im Rhythmus der Fahrbahnebenheiten – die Techniker

sprechen von „Radlastschwankungen“. Je größer diese Schwankungen sind, desto schlechter ist der Fahrbahnkontakt – mit entsprechenden Folgen für die Fahrsicherheit.

## Fahrdynamikregelungen sind Fahrsicherheitssysteme.

Den sicheren Grip der Räder auf der Fahrbahn beeinflussen aber nicht nur Wellen, Fugen, Risse und Löcher, sondern vor allem witterungsbedingte Zustände wie Nässe, Glätte, Eis, Schnee, Rollsplit etc. oder blitzschnell zu absolvierende Fahrmanöver wie eine Vollbremsung und/oder das Ausweichen vor einem plötzlich auftauchenden Hindernis. Da müssen die in dieser Broschüre behandel-

ten Fahrdynamiksysteme ihre Bewährungsprobe bestehen. Das ESP in den Mercedes-Modellen mit den integrierten Funktionen von ABS, BAS, ETS und ASR stellt dabei im Augenblick das Maß aller Dinge dar. Bis an die fahrdynamischen Grenzen heran bietet es ein Maximum an Traktions- und Bremssicherheit sowie Fahrstabilität in allen denkbaren Situationen: beim Anfahren, Beschleunigen und freien Rollen; auf ebener Geradeausstrecke genauso wie an Steigungen oder in Kurven; auf jedem, auch fahrbahnseitig verschiedenem Untergrund. Elektronische Assistenzsysteme wie ESP sind dabei, in allen Automobilen Standard zu werden, weil sie Unfälle vermeiden helfen und entscheidend zur Verringerung der physischen und psychischen Beanspruchung der Autofahrer beitragen.

# Fahrdynamikkräftungen und die häufigsten Abkürzungen

| Abkürzung       | Bezeichnung              | Einheit | Formel  | Einflussfaktoren   |
|-----------------|--------------------------|---------|---|--|
| $F_{\text{G}}$  | Gravitationskraft        | N       | $F_{\text{G}} = m \cdot g$                                  | Wagenmasse, Erdbeschleunigung                                |
| $F_{\text{N}}$  | Normalkraft              | N       | $F_{\text{N}} = F_{\text{G}} \cdot \cos(\alpha)$            | Winkel der Fahrbahn  |
| $F_{\text{R}}$  | Rollwiderstand           | N       | $F_{\text{R}} = F_{\text{N}} \cdot \mu_{\text{R}}$          | Reibkoeffizient, Normalkraft                                 |
| $F_{\text{W}}$  | Widerstandskraft         | N       | $F_{\text{W}} = F_{\text{R}} + F_{\text{Wd}}$               | Rollwiderstand, Luftwiderstand                               |
| $F_{\text{Wd}}$ | Luftwiderstand           | N       | $F_{\text{Wd}} = c_{\text{w}} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ | Widerstandsbeiwert, Luftdichte, Frontfläche, Geschwindigkeit |
| $F_{\text{A}}$  | Antriebskraft            | N       | $F_{\text{A}} = M \cdot a$                                  | Motorleistung, Drehmoment                                    |
| $F_{\text{B}}$  | Bremskraft               | N       | $F_{\text{B}} = F_{\text{W}}$                               | Widerstandskraft   |
| $F_{\text{Z}}$  | Zugkraft                 | N       | $F_{\text{Z}} = F_{\text{A}} - F_{\text{W}}$                | Antriebskraft, Widerstandskraft                              |
| $F_{\text{Y}}$  | Querkräfte               | N       | $F_{\text{Y}} = F_{\text{N}} \cdot \sin(\alpha)$            | Winkel der Fahrbahn  |
| $F_{\text{X}}$  | Längskräfte              | N       | $F_{\text{X}} = F_{\text{N}} \cdot \cos(\alpha)$            | Winkel der Fahrbahn  |
| $F_{\text{Zf}}$ | Zugkraft Feder           | N       | $F_{\text{Zf}} = c \cdot \Delta l$                          | Federkonstante, Federweg                                     |
| $F_{\text{Zd}}$ | Zugkraft Dämpfer         | N       | $F_{\text{Zd}} = c_{\text{d}} \cdot v$                      | Dämpferkonstante, Geschwindigkeit                            |
| $F_{\text{Zs}}$ | Zugkraft Stoßdämpfer     | N       | $F_{\text{Zs}} = c_{\text{s}} \cdot \dot{v}$                | Stoßdämpferkonstante, Beschleunigung                         |
| $F_{\text{Zt}}$ | Zugkraft Torsionsdämpfer | N       | $F_{\text{Zt}} = c_{\text{t}} \cdot \dot{\phi}$             | Torsionsdämpferkonstante, Drehgeschwindigkeit                |
| $F_{\text{Zr}}$ | Zugkraft Reibdämpfer     | N       | $F_{\text{Zr}} = c_{\text{r}} \cdot \phi$                   | Reibdämpferkonstante, Drehwinkel                             |
| $F_{\text{Zv}}$ | Zugkraft Vordämpfer      | N       | $F_{\text{Zv}} = c_{\text{v}} \cdot v$                      | Vordämpferkonstante, Geschwindigkeit                         |
| $F_{\text{Zh}}$ | Zugkraft Hinterräder     | N       | $F_{\text{Zh}} = F_{\text{Z}} \cdot \frac{L_{\text{h}}}{L}$ | Wahlgewicht, Achsabstände                                    |
| $F_{\text{Zv}}$ | Zugkraft Vorderachse     | N       | $F_{\text{Zv}} = F_{\text{Z}} \cdot \frac{L_{\text{v}}}{L}$ | Wahlgewicht, Achsabstände                                    |
| $F_{\text{Zf}}$ | Zugkraft Feder           | N       | $F_{\text{Zf}} = c \cdot \Delta l$                          | Federkonstante, Federweg                                     |
| $F_{\text{Zd}}$ | Zugkraft Dämpfer         | N       | $F_{\text{Zd}} = c_{\text{d}} \cdot v$                      | Dämpferkonstante, Geschwindigkeit                            |
| $F_{\text{Zs}}$ | Zugkraft Stoßdämpfer     | N       | $F_{\text{Zs}} = c_{\text{s}} \cdot \dot{v}$                | Stoßdämpferkonstante, Beschleunigung                         |
| $F_{\text{Zt}}$ | Zugkraft Torsionsdämpfer | N       | $F_{\text{Zt}} = c_{\text{t}} \cdot \dot{\phi}$             | Torsionsdämpferkonstante, Drehgeschwindigkeit                |
| $F_{\text{Zr}}$ | Zugkraft Reibdämpfer     | N       | $F_{\text{Zr}} = c_{\text{r}} \cdot \phi$                   | Reibdämpferkonstante, Drehwinkel                             |
| $F_{\text{Zv}}$ | Zugkraft Vordämpfer      | N       | $F_{\text{Zv}} = c_{\text{v}} \cdot v$                      | Vordämpferkonstante, Geschwindigkeit                         |
| $F_{\text{Zh}}$ | Zugkraft Hinterräder     | N       | $F_{\text{Zh}} = F_{\text{Z}} \cdot \frac{L_{\text{h}}}{L}$ | Wahlgewicht, Achsabstände                                    |
| $F_{\text{Zv}}$ | Zugkraft Vorderachse     | N       | $F_{\text{Zv}} = F_{\text{Z}} \cdot \frac{L_{\text{v}}}{L}$ | Wahlgewicht, Achsabstände                                    |