

Fahrdynamik-Testmanöver:

Bremsen aus Geradeausfahrt

Ziel des Fahrmanövers

Der Fahrdynamik-Test „Bremsen aus Geradeausfahrt nach DIN 70028 und darüber hinaus“ wird zur Beurteilung der **tatsächlichen Bremsverzögerung** und der dabei herrschenden **Fahrstabilität** durchgeführt. Der hierfür erforderliche Bremsdruck kann entweder durch den Fahrer mit Hilfe eines Verzögerungsmessgerätes eingeregelt werden oder eine Bremsmaschine übernimmt exakt reproduzierbar diese Aufgabe. Dabei kann der Fahrer die **Lenkradbetätigung** als Kursregelung verwenden (closed loop) oder er registriert die Fahrzeugbewegungen in den open-loop-Verfahren „free control“ (losgelassenes Lenkrad) oder „fixed control“ (festgehaltenes Lenkrad).

Ziel dieses fahrdynamischen Tests ist der Nachweis einer **fahrzeuggerechten Auslegung der Bremsanlage**, um bei gleichzeitig gutem Komfort (Ansprechverhalten, Betätigungskraft, u.a.) möglichst **kurze Bremswege** zu erzielen, die bei Gesamtfahrzeugbeurteilungen wie dem ams-Test überdurchschnittliche Beachtung findet. Laut Gesetzgebung muss sichergestellt sein, dass bis zu einer **Fahrzeugverzögerung von 0,8 g** und darüber die Vorderachse immer vor der Hinterachse blockiert, denn eine blockierende Hinterachse führt zu instabilem Fahrverhalten.

Die **Fahrbahnbedingungen** sind bei den Versuchen einheitlich zu gestalten: trocken, nass oder Niedrig-Reibwertstrecken. Die Fahrbahnneigung sollte in Längsrichtung $\leq 1\%$ betragen, in Querrichtung $\leq 0,2\%$. Der Kraftschlussbeiwert Reifen/Fahrbahn sollte $\mu \geq 0,9$ aufweisen. Speziell für ABS-Entwicklungen wird die Fahrstabilität bei unterschiedlichen Reibwerten der Fahrspuren auf den Fahrzeugseiten (μ_{Split}) oder bei Änderungen des Fahrbahnreibwerts quer zur Fahrtrichtung (μ_{Sprung}) bewertet. Dabei muss die Bremsanlage auf die optimale Kraftschlussausnutzung Fahrbahn/Reifen iterativ ausgelegt werden.



Versuchsdurchführung

Bei der Verzögerungsmessung ist zu beachten, dass der **Aufbau des Bremsdrucks** in kurzer Zeit geschieht. Nach weniger als 0,4 s müssen bereits 90 % des gewünschten Bremsdrucks erreicht sein. Um eine Reproduzierbarkeit des Versuches und auch die Vergleichbarkeit von Ergebnissen sicherzustellen, müssen der **Fahrbahnreibwert** bestimmt sein und die bei Bremsbeginn einzuhaltende **Ausgangstemperatur der Bremsen** definiert sein. Die Bremsdauer und der Bremsweg sind bestimmt ab Erreichen von 5 % des maximalen Bremsdrucks bis zum Stillstand des Fahrzeugs. In dem gezeigten Beispiel wird eine ABS-geregelte Vollbremsung aus der Geschwindigkeit von 100 km/h bis zum Stillstand vorgestellt.

Messgrößen

Nach Norm DIN 70028 müssen als „**Muss-Größen**“ erfasst werden:

- Fahrgeschwindigkeit
- Zeitpunkt Bremsbeginn
- Bremsweg über die definierte Messdauer
- Bremspedalkraft (oder Bremsdruck im Bremsen-Hauptzylinder)

Die folgenden „**Kann-Größen**“ empfehlen sich ebenso aufgezeichnet zu werden:

- Kräfte und Momente an den Rädern
- Schwimmwinkel, Schwimmwinkelgeschwindigkeit
- Gierwinkel, Gierwinkelgeschwindigkeit, Gierwinkelbeschleunigung
- Schräglaufwinkel an den Rädern
- Vorspurwinkel an den Vorderrädern
- Lenkraddrehwinkel

Auswahl von Messsystemen zur Ermittlung der relevanten Kenngrößen aus dem fahrdynamischen Test „Bremsen aus Geradeausfahrt“:

Messlenkrad MSW

Das Messlenkrad MSW von CORRSYS-DATRON wurde entwickelt zur **simultanen Erfassung** von **Lenkraddrehwinkel**, **Lenkmoment** und **Lenkwinkelgeschwindigkeit**. Der Lenkwinkel und die daraus abgeleitete Lenkwinkelgeschwindigkeit werden mit einem berührungslosen, optischen Sensor erfasst. Der Lenkwinkel kann in zwei Messbereichen ($\pm 200^\circ$ oder $\pm 1250^\circ$) bei einer Winkelauflösung von $\pm 0.5^\circ$ gemessen werden, für die Lenkwinkelgeschwindigkeit steht ein Bereich von $\pm 1000^\circ/\text{s}$ zur Verfügung. Das Messlenkrad lässt sich einfach an die Lenksäule durch eine zentrale Bohrung montieren, die Einbautiefe ist relativ gering. CORRSYS-DATRON Artikelnummer: 14256.

Radvektorsensor RV4

Der Radvektorsensor von CORRSYS-DATRON ist ein **5-Gelenk-Messarm mit inkrementalen Drehwinkelsensoren**. Mit den 5 Winkelstellungen in den Gelenken und den bekannten Abständen zwischen den Gelenken ist es möglich, die **Radposition** in x-, y- und z-Richtung ($\pm 150 \text{ mm}$, $\pm 150 \text{ mm}$, $\pm 200 \text{ mm}$) mit einer Genauigkeit von ca. 1 mm aufzulösen. Zusätzlich wird die **Radlage** durch die Messung von Sturz- und Spurwinkel ($\pm 10^\circ$, $\pm 60^\circ$) mit der Genauigkeit von $0,2^\circ$ bzw. $0,1^\circ$ bestimmt. Mit dem Radwinkelsensor RV4 lassen sich die Verschiebung des Radmittelpunktes aufgrund von Achslastverlagerungen (einfache und kombinierte Lastfälle Bremsen und Beschleunigen), die Lageveränderung des Radmittelpunktes sowie Spur- und Sturzwinkeländerungen bei querdynamischen Fahrmanövern messtechnisch bestimmen. Über einen Passsitz lässt sich an dem Radzapfen des RV4 auch noch ein Schräglaufwinkelsensor anbringen. CORRSYS-DATRON Artikelnummer: 14619.

Strap-Down-Kreiselmessgerät mit GPS

Herzstück der Strap-Down-Inertial-Messplattform ADMA von GeneSys sind drei faseroptische Kreisel zur **Messung der Drehgeschwindigkeit** um die x-, y- und z-Achse und drei Beschleunigungsgeber für die drei horizontalen Koordinaten. Die Beschleunigungssignale werden gleichzeitig dazu genutzt, das System analytisch im horizontalen Zustand zu halten, indem Bezug auf den Erdschwerkraftvektor genommen wird. Mit den Kreiseln lassen sich alle Winkel in drei Dimensionen berechnen. Die hauptsächlichen Vorteile dieses Systems liegen in der **hohen Bandbreite** (50...400 Hz), in der **geringen Datenlatenz**, und in der Bereitstellung aller **translatorischen und rotatorischen Zustandsgrößen** in jeweils drei Raumachsen. Diese sind: Beschleunigung, Geschwindigkeit, Position, Drehgeschwindigkeit und Winkel, die sowohl im fahrzeugfesten, im horizontalen und im erdbezogenen Koordinatensystem ausgegeben werden. Mit Unterstützung von GPS werden kontinuierlich Driftfehler eliminiert und mit DGPS sogar eine **Positionsgenauigkeit im Zentimeterbereich** erzielt. GeneSys Artikelbezeichnung: ADMA-G (Automotive Dynamic Motion Analyzer mit DGPS).

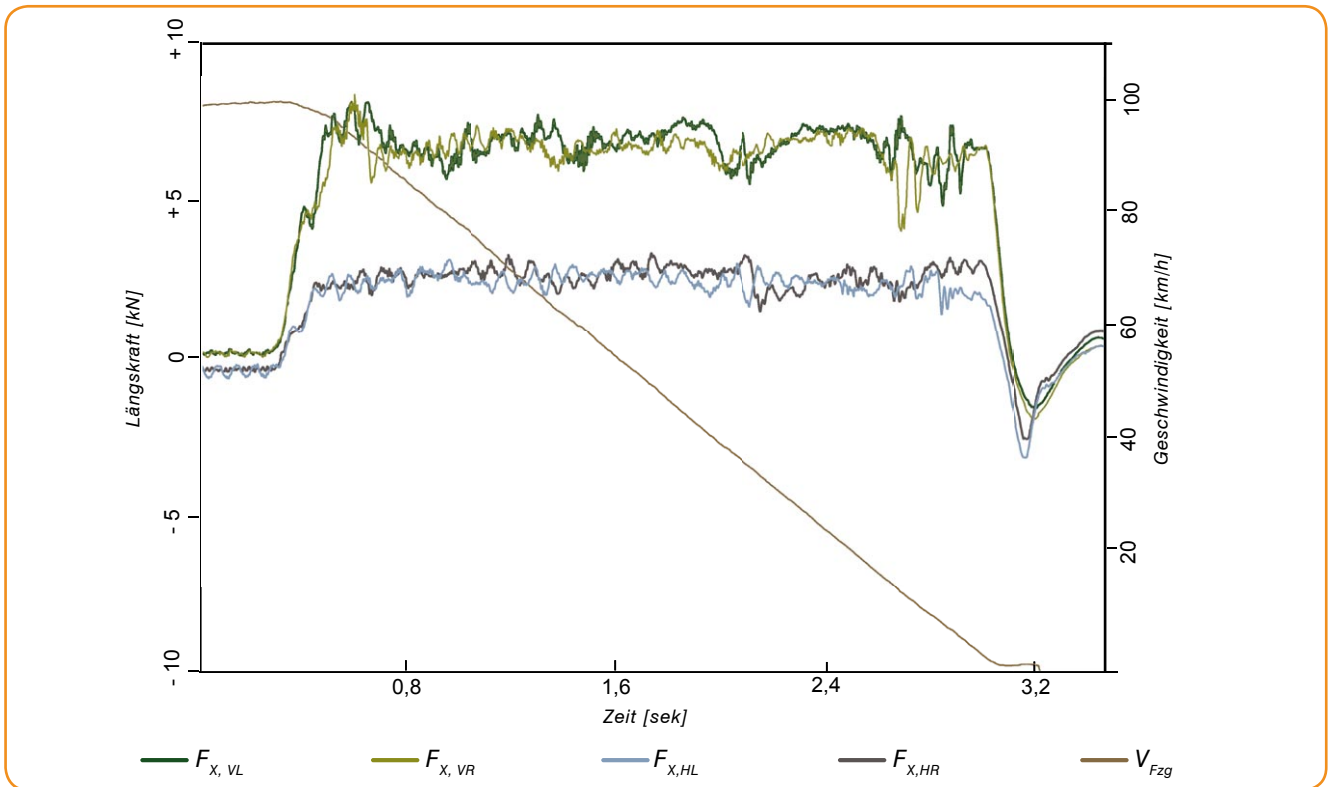
Radkraft-Dynamometer RoaDyn P650

Das Radkraft-Dynamometer von Kistler gibt es in den Ausführungsformen mit DMS-applizierten Messdosen und steif ausgelegten, vorgespannten piezoelektrischen Messsensoren. Das Messsystem RoaDyn P650 nutzt die **piezoelektrische Messtechnik** und ist gekennzeichnet durch eine **hohe Eigenfrequenz** bis 2 kHz und durch eine **hohe Empfindlichkeit** über den gesamten Messbereich ($F_x = 45 \text{ kN}$, $F_y = 24 \text{ k}$, $F_z = 45 \text{ kN}$). Es ist alterungsbeständig und verfügt über eine ausgezeichnete Stabilität und eine hohe Linearität. Mit dem Radkraft-Dynamometer wird die **Radkraftverteilung** in Umfangs-, Quer- und Vertikalrichtung sowie das Antriebs-, Sturz- und Rückstellmoment gemessen. Die Datenübertragung geschieht telemetrisch vom Rotor zum Stator, im Rotor eingebrachte Magnete erlauben durch Nutzung des Halleffektes die **Bestimmung des exakten Raddrehwinkels**. Die Bordelektronik System 2000 erlaubt die Selbstidentifizierung der eingesetzten Messradsensoren und berechnet online die genannten Messgrößen. Zusätzlich lassen sich noch weitere Analoignale am Radkraftdynamometer anschließen (z. B. Temperatursignale vom T³M-Messsystem vom TÜV SÜD Automotive). Kistler Artikelnummer 9298B1Q03. Für die Absicherung von ABS-Systementwicklungen werden alternativ Drehmoment-Messräder P103/P106 eingesetzt. Kistler Artikelnummer 9294B11.

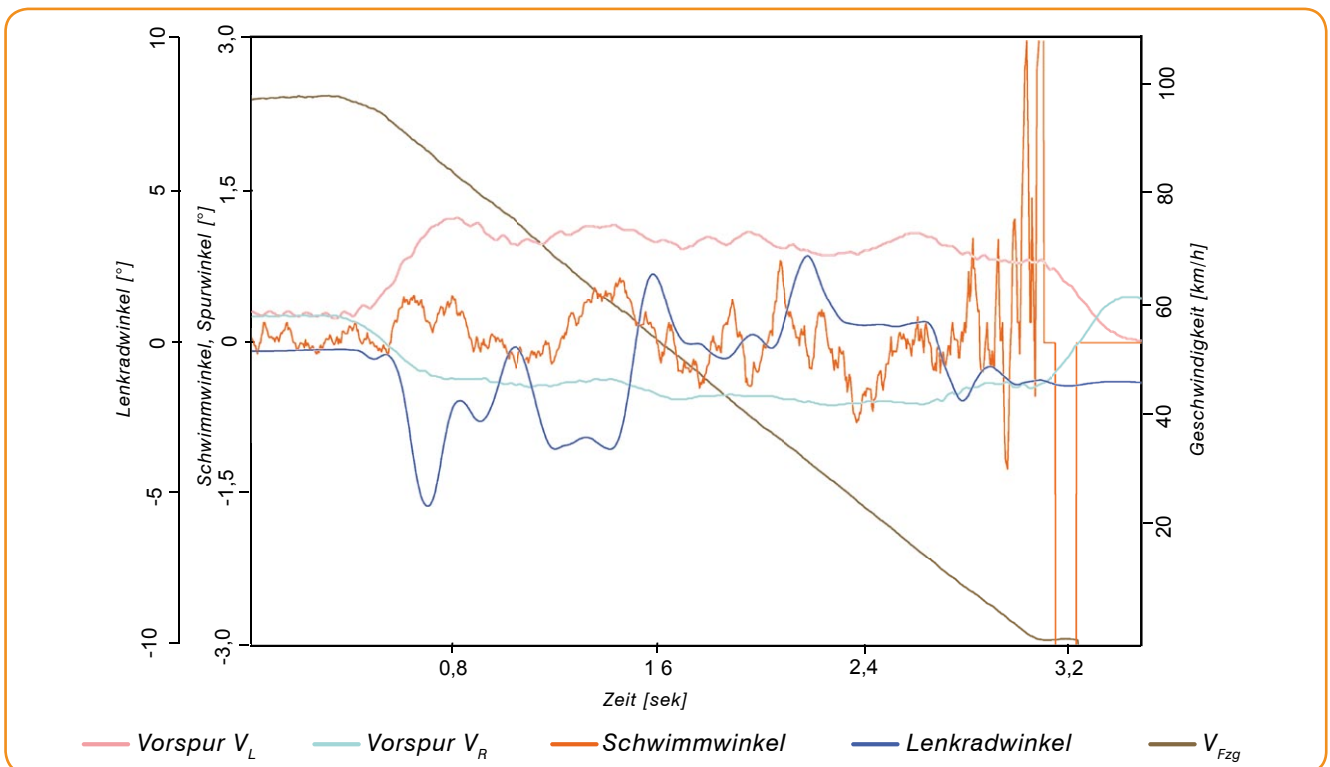
Zeitsynchrone Messdatenerfassung

Eine besondere Bedeutung bei allen fahrdynamischen Tests hat die Synchronität der Messdaten. Bislang konnten die Daten unterschiedlicher Sensoren und Sensorsysteme nur mit großen Fehlertoleranzen zueinander korreliert werden. Die Besonderheit in der Datenerfassungseinheit ist die Erzeugung eines hochpräzisen, Quarz-stabilisierten **Systemtaktes mit 80 MHz** und mit einer **Flankengenauigkeit von 2 ns**. Mit diesem Systemtakt werden alle Messdaten synchronisiert und mit einem **Echtzeitstempel** versehen. Zusätzlich kann der interne Systemtakt mit einem externen Taktsignal phasengleich gekoppelt werden, um so zum Beispiel über das pps-Signal eines GPS-Satelliten absolut zeitsynchron zu messen. Neben analogen und digitalen Informationen werden diverse CAN-Bus-Systeme, LAN und andere **asynchrone Schnittstellen mit dem Systemtakt synchronisiert**. Die verwendeten Videokameras besitzen einen externen Takteingang, mit dem jedes Einzelbild zeitgenau vom Messsystem gesteuert wird und daher auch hier eine exakte Synchronität erreicht wird. DEWETRON Artikelbezeichnung DEWE-501.

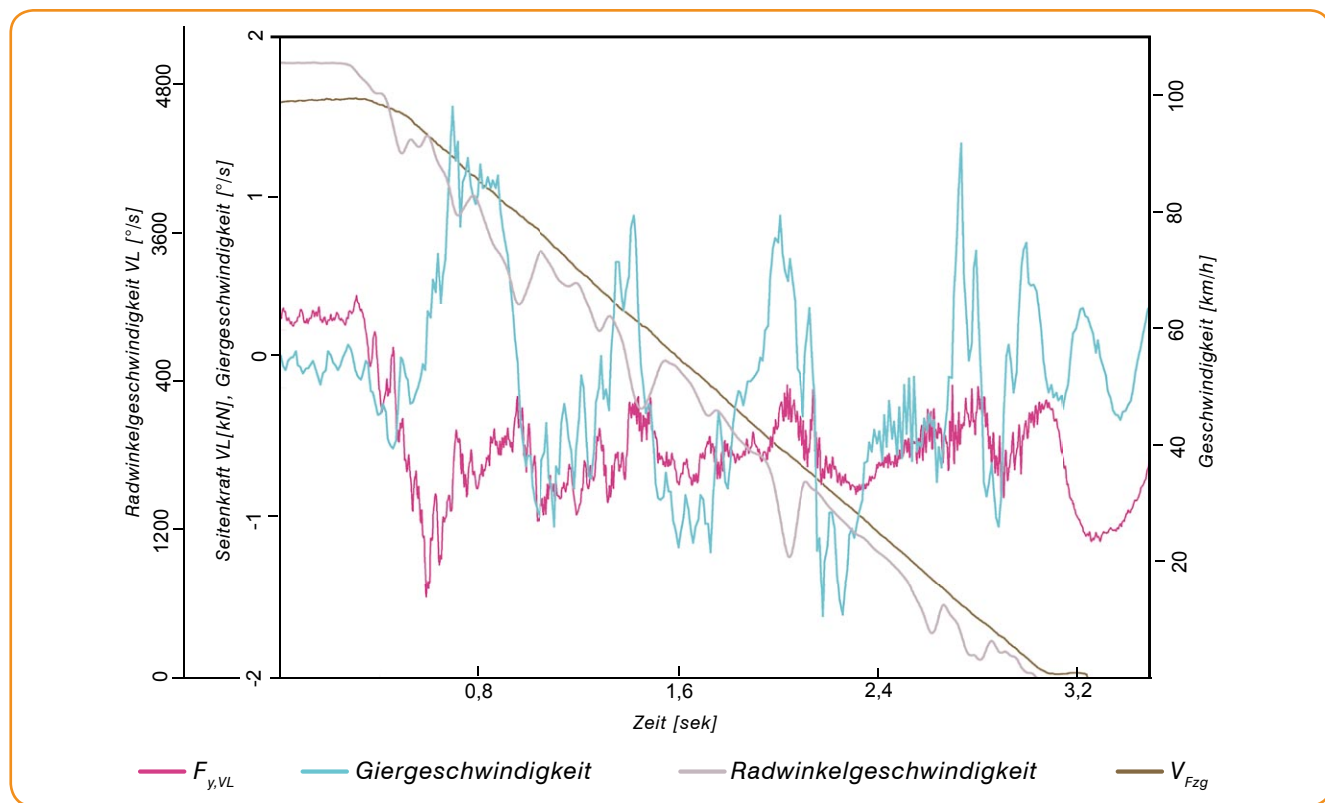
Datenauswertung



Im Diagramm sind die **Längskräfte** (Verzögerungskräfte) an allen vier Rädern über die Fahrzeuggeschwindigkeit aufgetragen. Die Ausgangsgeschwindigkeit beträgt **100 km/h**, und es wird mit maximalem Bremsdruck eine geregelte **ABS-Bremung** bis zum Fahrzeug-Stillstand durchgeführt. Das Bremskraft-Verhältnis von Vorderachse zur Hinterachse beträgt nach klassischer Auslegung ca. 3:1. Alle vier Räder unterliegen der Antiblockier-Regelung, das heißt kurz vor Erreichen der Blockiergrenze wird der Bremsdruck zurückgenommen, dadurch sinkt die Längskraft, um kurz darauf wieder mit erneut ansteigendem Bremsdruck anzusteigen. Man kann 12-13 Regelvorgänge pro Sekunde ablesen. Als **durchschnittliche Bremsverzögerung** wurde der Wert von ca. **10 m/s²** gemessen.



Die **Vorspurwinkel an den Vorderrädern**, die bei Achseinstellung auf den Wert von ca. 10° eingestellt werden, erhöhen sich ab Beginn der ABS-Bremung gegensinnig um ca. ±1° und tragen somit erheblich zur Stabilisierung in Geradeausrichtung bei. Der **Fahrzeug-Schwimmwinkel** pendelt um Werte von maximal ±1°, erst bei dem Fahrzeugrucken kurz vor Stillstand stellen sich größere Werte ein, die aber fahrdynamisch keine Relevanz haben. Ein weiteres Indiz für den stabilen Geradeauslauf während der Bremsung zeigt der Verlauf des Lenkradwinkels, der sich lediglich im Bereich von ±1° um die Null-Grad-Stellung bewegt. Die gleichen Charakteristika wie die Vorspurwinkel weisen die Schräglaufwinkel an den Vorderrädern und die Seitenkräfte auf.



Hier zeigt sich am Verlauf der Radwinkelgeschwindigkeit die **Wirksamkeit der Regeleinriffe**. Immer wieder erhöht sich die Raddrehzahl bei Nachlassen des Bremsdruckes, um dann mit steigender Verzögerungskraft weiter abzunehmen. An dem zeitlichen Verlauf von der Seitenkraft vorn links und der Giergeschwindigkeit erkennt man den Phasenverzug der Giergeschwindigkeit, was aus der Massenträgheit des Fahrzeugs resultiert. Die absolut gemessenen Werte für die Giergeschwindigkeit betragen ±1,5° und sprechen für eine **sehr gute Fahrstabilität**.

Resümee

Kenngößen für das **Verzögerungsvermögen** eines Fahrzeugs sind zum Beispiel:

- der Bremsweg als Funktion der Ausgangsgeschwindigkeit
- oder die mittlere Verzögerung als Funktion des Bremsdrucks.

Die **mittlere Bremsverzögerung** lässt sich bei der Bremsung aus der Ausgangslängsgeschwindigkeit $v_{x,0}$ und dem Bremsweg $s_{B,x}$ bis auf Stillstand berechnen zu:

$$a_x = \frac{v_{x,0}^2}{s_{B,x}}$$

Zur Beurteilung der **Fahrstabilität und Kurshaltung** sind zum Beispiel folgende Kenngrößen aus der Literatur bekannt:

- Seitenabweichung über den Bremsweg
- Giergeschwindigkeit über die Bremsdauer (mittlere Verzögerung)