

Regenerative Bremssysteme steigern die Reichweite und senken den CO₂-Ausstoß.

Welche Hybrid- und Elektrofahrzeuge gibt es?

Mild-Hybrid: Der Verbrennungsmotor wird durch einen leistungsschwachen Elektromotor unterstützt. Rein elektrisches Fahren ist nicht möglich.

Voll-Hybrid: Das Fahrzeug wird überwiegend vom Verbrennungsmotor angetrieben. Kurze Distanzen können rein elektrisch zurückgelegt werden.

Plug-in-Hybrid: Das Fahrzeug wird von einem Verbrennungsmotor angetrieben, kann aber längere Strecken rein elektrisch fahren. Die Hochvolt-Batterie kann über ein Ladegerät direkt an einer Steckdose aufgeladen werden.

Elektrofahrzeug: Das Fahrzeug wird ausschließlich von einem Elektromotor angetrieben. Die Hochvolt-Batterie wird an einer Steckdose aufgeladen.

Elektrofahrzeug mit Range-Extender: Das Fahrzeug wird ausschließlich von einem Elektromotor angetrieben. Ein kleiner Verbrennungsmotor kann die Batterie während der Fahrt aufladen.

Alternative Antriebstechnologien gewinnen an Bedeutung. Strenge Emissionsgesetze und die Endlichkeit fossiler Brennstoffe machen alternative Antriebskonzepte notwendig. Bosch entwickelt nicht nur den Verbrennungsmotor konsequent weiter, sondern arbeitet gleichzeitig intensiv an der Elektrifizierung des automobilen Antriebs.

Die Zukunftsfähigkeit der elektrischen Antriebe hängt stark von der Reichweite bzw. der Speicherkapazität ab. Nur mit leistungsfähigen Batterien, intelligentem Energiemanagement und der Rückgewinnung von Bremsenergie können Elektroautos Reichweiten erzielen, die für den alltäglichen Gebrauch ausreichend sind.

Durch Bremsen die Batterie laden. Beim Bremsen mit einem konventionellen Fahrzeug wird ein Großteil der Bewegungsenergie über die Reibungsbremse in Wärme umgewandelt und ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Das ist bei Hybrid- und Elektro-

fahrzeugen mit regenerativem Bremssystem anders. Sie können über den Elektromotor zumindest einen Teil der Bewegungsenergie rückgewinnen und in Form von elektrischer Energie in einer Hochvolt-Batterie speichern. Diesen Vorgang nennt man Rekuperation oder regeneratives Bremsen. Die gespeicherte Energie steht dem Elektromotor beim anschließenden Anfahren oder Beschleunigen zur Verfügung.

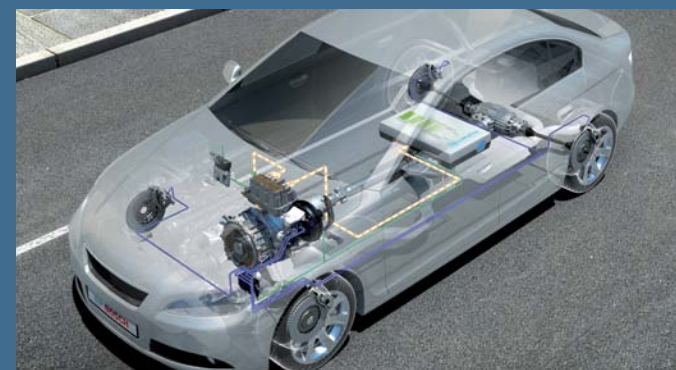
Regeneratives Bremsen ermöglicht es, bei Elektrofahrzeugen die Reichweite zu erhöhen und bei Hybridfahrzeugen den Verbrauch zu senken sowie die CO₂-Bilanz zu verbessern.

Gewinnen Energie zurück und speichern sie.

Bewegungsenergie wird über die Reibungsbremse in Wärme umgewandelt und an die Umwelt abgegeben.



Bewegungsenergie wird über den Generator in elektrische Energie umgewandelt und in der Hochvolt-Batterie gespeichert.



Aus Bewegungsenergie wird elektrische Energie.

Beim Bremsen schaltet der Elektromotor des Hybrid- oder Elektrofahrzeugs auf Generatorbetrieb um. Die Räder übertragen die Bewegungsenergie über den Antriebsstrang zum Generator. Der Generator dreht sich, ähnlich wie der Dynamo eines Fahrrads, und wandelt dadurch einen Teil der Bewegungsenergie in elektrische Energie um. Diese wird in einer Hochvolt-Batterie gespeichert. Das generatorische Bremsmoment des Elektromotors, das bei der Energieerzeugung entsteht, bremst das Fahrzeug. Sobald mehr Bremsleistung nötig ist als der Generator bereitstellen kann, wird zusätzlich über die Reibungsbremse verzögert.

Der praktische Nutzen.

Die Bremsleistung des Generators reicht in vielen Fällen aus, um das Fahrzeug, wie vom Fahrer gewünscht, abzubremsen. Die Reibungsbremse (= konventionelle Bremse) kommt seltener zum Einsatz, zum Beispiel

erst bei hohen Verzögerungen, sehr niedrigem Tempo sowie im Stillstand. Regeneratives Bremsen trägt bei Elektrofahrzeugen zu einer Erhöhung der Reichweite bei. Bei Hybridfahrzeugen hilft es Kraftstoff zu sparen sowie den CO₂- und Schadstoffausstoß zu reduzieren – insbesondere beim häufigen Abbremsen und Beschleunigen im Stadtverkehr. Durch die Nutzung des Generators zum Bremsen verringert sich zudem der Verschleiß der Bremsen und die Bildung von Bremsstaub wird reduziert.

Energierückgewinnung: ein komplexer Vorgang.

Für eine effiziente Energierückgewinnung regelt das regenerative Bremssystem das Zusammenspiel zwischen Reibungsbremse und Generator. Gleichzeitig stellt es sicher, dass sich Verzögerungsverhalten und Pedalgefühl nicht von konventionellen Bremssystemen unterscheiden.

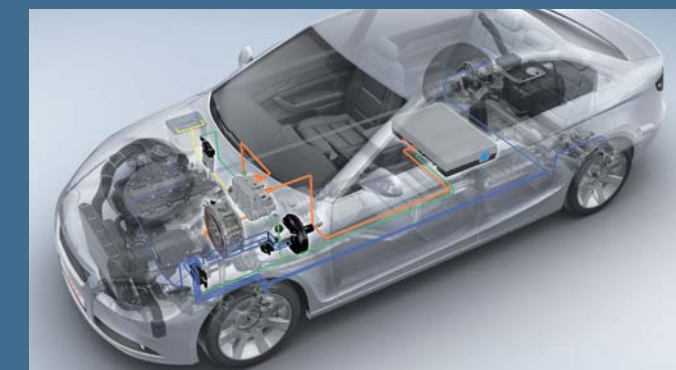
Das Bremspotenzial des Generators ist von der Drehzahl bzw. der Fahrge-

windigkeit abhängig. Bei niedriger Drehzahl ist das Bremsmoment am größten, bei hoher oder sehr niedriger Drehzahl, z.B. kurz vor dem Stillstand, kann kein ausreichendes Bremsmoment mehr bereitgestellt werden. Dann muss die Reibungsbremse aktiviert werden. Das Bremsmoment des Generators ist proportional zur Generatorleistung und wird zusätzlich vom Ladezustand der Batterie beeinflusst. Nur wenn die Hochvolt-Batterie nicht voll geladen ist, kann vom Generator ein Bremsmoment zur Verfügung gestellt werden.

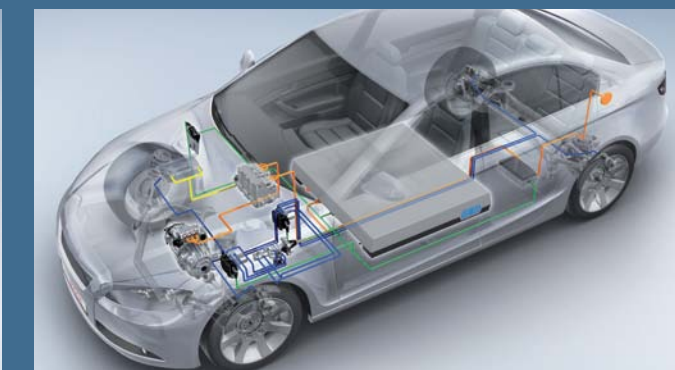
Die Aufteilung des Bremsmoments zwischen Reibungsbremse und Generator berücksichtigt Sicherheits-, Komfort- und Effizienzkriterien. Im Falle eines instabilen Fahrzustands wird meist ausschließlich über die Reibungsbremse verzögert, da radindividuelle Eingriffe des Antiblockiersystems (ABS) oder Elektronischen Stabilitäts-Programms (ESP®) notwendig sind.

Sind maßgeschneidert für den Weg in die Zukunft.

Hybridfahrzeug mit vakuum-basiertem regenerativen Bremssystem



Elektrofahrzeug mit vakuum-unabhängigem regenerativen Bremssystem



Regenerative Bremssysteme von Bosch.

Fahrzeuge, die überwiegend mit Verbrennungsmotor fahren, wie Mild- und Voll-Hybride, erzeugen Vakuum für den klassischen Bremskraftverstärker. Dagegen können Plug-in-Hybride und Elektroautos kein ausreichendes Vakuum für den Bremskraftverstärker bereitstellen. Das Portfolio von Bosch umfasst deshalb sowohl vakuum-basierte als auch vakuum-unabhängige regenerative Bremssysteme – individuell auf die unterschiedlichen Antriebskonzepte zugeschnitten.

Die vakuum-basierte Einstiegsversion.

Bei der Einstiegsversion wird das Standardbremssystem leicht modifiziert und erfüllt damit niedrige Rekuperationsanforderungen. Das Bremspedal ist, wie gewöhnlich, direkt mit dem Vakuum-Bremskraftverstärker verbunden. Das Bremsregelsystem des Fahrzeugs wird um eine spezielle Software erweitert und als Steuereinheit für regeneratives Bremsen genutzt.

Beim Bremsen wird anhand der Bremspedalposition ein generatorisches Bremsmoment vom Elektromotor angefordert. Bremst der Fahrer nur leicht, wird das Fahrzeug allein durch die Bremswirkung des Elektromotors verzögert. Bei stärkerer Bremsung wird zusätzlich zum generatorischen Bremsmoment ein Reibbremsmoment aufgebaut. Leichte Schwankungen in der Verzögerungsleistung, zum Beispiel kurz vor Fahrzeugstillstand, kann der Fahrer mit dem Bremspedal ausgleichen.

Die vakuum-basierte Version für höhere Anforderungen.

Bosch bietet auch vakuum-basierte regenerative Bremssysteme an, die höhere Rekuperation ermöglichen. Durch Änderungen am Hydraulikaggregat des ESP® können sie beim Bremsen das Bremsmoment der Reibungsbremse stufenlos an das aktuelle generatorische Bremsmoment anpassen, um ein gewünschtes Gesamtbremsmoment einzuhalten. Das nennt man Momentenverblendung. Dieser Vorgang wird durch eine Soft-

ware im ESP® gesteuert und ist für den Fahrer nicht spürbar.

Die vakuum-unabhängige Version für höchste Anforderungen.

Vakuum-unabhängige regenerative Bremssysteme erfüllen höchste Rekuperationsanforderungen und eignen sich insbesondere für Plug-in-Hybride und reine Elektroautos.

Statt des konventionellen Vakuum-Bremskraftverstärkers werden hier eine elektrisch-hydraulische Bremsbetätigungseinheit sowie ein Bremsdruckmodulationssystem eingesetzt. Bremspedal und Bremskraftverstärker sind voneinander entkoppelt, um das Bremspotenzial des Generators optimal auszunutzen und erst dann mit der Reibungsbremse zu verzögern, wenn das generatorische Bremsmoment nicht mehr ausreicht. Dank der Momentenverblendung wird die Energierückgewinnung beim Bremsen vom Fahrer praktisch nicht wahrgenommen.

Welches regenerative Bremssystem für welches Fahrzeug?

Bosch bietet für Hybrid- und Elektrofahrzeuge maßgeschneiderte Lösungen zum regenerativen Bremsen an. Das Portfolio umfasst sowohl vakuum-basierte als auch vakuum-unabhängige regenerative Bremssysteme.

