

Konrad Reif (Hrsg.)

Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe

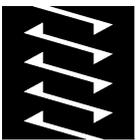
Konrad Reif (Hrsg.)

# Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe

mit Brennstoffzellen und alternativen Kraftstoffen

Mit 247 Abbildungen

Bosch Fachinformation Automobil



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Der Inhalt dieses Buches erschien bisher unter den Titeln:  
Hybridantriebe, Brennstoffzellen und alternative Kraftstoffe  
Elektronische Getriebesteuerung  
herausgegeben von der Robert Bosch GmbH, Plochingen

1. Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten  
© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2010

Lektorat: Christian Kannenberg | Elisabeth Lange

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.  
Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.  
[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg  
Technische Redaktion: Gabriele McLemore  
Satz: FROMM MediaDesign, Selters/Ts.  
Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin  
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1303-9

# Vorwort

Die Technik im Kraftfahrzeug hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der Einzelne, der beruflich mit dem Thema beschäftigt ist, muss immer mehr tun, um mit diesen Neuerungen Schritt zu halten. Mittlerweile spielen viele neue Themen der Wissenschaft und Technik in Kraftfahrzeugen eine große Rolle. Dies sind nicht nur neue Themen aus der klassischen Fahrzeug- und Motorentechnik, sondern auch aus der Elektronik und aus der Informationstechnik. Diese Themen sind zwar für sich in unterschiedlichen Publikationen gedruckt oder im Internet dokumentiert, also prinzipiell für jeden verfügbar; jedoch ist für jemanden, der sich neu in ein Thema einarbeiten will, die Fülle der Literatur häufig weder überblickbar noch in der dafür verfügbaren Zeit lesbar. Aufgrund der verschiedenen beruflichen Tätigkeiten in der Automobil- und Zulieferindustrie sind zudem unterschiedlich tiefe Ausführungen gefragt.

Gerade heute ist es so wichtig wie früher: Wer die Entwicklung mit gestalten will, muss sich mit den grundlegenden wichtigen Themen gut auskennen. Hierbei sind nicht nur die Hochschulen mit den Studienangeboten und die Arbeitgeber mit Weiterbildungsmaßnahmen in der Pflicht. Der rasche Technologiewechsel zwingt zum lebenslangen Lernen, auch in Form des Selbststudiums.

Hier setzt die Schriftenreihe „Bosch Fachinformation Automobil“ an. Sie bietet eine umfassende und einheitliche Darstellung wichtiger Themen aus der Kraftfahrzeugtechnik in kompakter, verständlicher und praxisrelevanter Form. Dies ist dadurch möglich, dass die Inhalte von Fachleuten verfasst wurden, die in den Entwicklungsabteilungen von Bosch an genau den dargestellten Themen arbeiten. Die Schriftenreihe ist so gestaltet, dass sich auch ein Leser zurechtfindet, für den das Thema neu ist. Die Kapitel sind in einer Zeit lesbar, die auch ein sehr beschäftigter Arbeitnehmer dafür aufbringen kann.

Die Basis der Reihe sind die fünf bewährten, gebundenen Fachbücher. Sie ermöglichen einen umfassenden Einblick in das jeweilige Themengebiet. Anwendungsbezogene Darstellungen, anschauliche und aufwendig gestaltete Bilder ermöglichen den leichten Einstieg. Für den Bedarf an inhaltlich enger zugeschnittenen Themenbereichen bietet die siebenbändige broschierte Reihe das richtige Angebot. Mit deutlich reduziertem Umfang, aber gleicher detaillierter Darstellung, ist das Hintergrundwissen zu konkreten Aufgabenstellungen professionell erklärt. Die schnelle Bereitstellung zielgerichteter Information zu thematisch abgegrenzten Wissensgebieten sind das Kennzeichen der 92 Einzelkapitel, die als pdf-Download zur sofortigen Nutzung bereitstehen. Eine individuelle Auswahl ermöglicht die Zusammenstellung nach eigenem Bedarf.

Im Laufe der Neukonzeption dieser Schriftenreihe ist es nicht möglich, alle Produkte gleichzeitig inhaltlich neu zu bearbeiten. Dies geschieht demnach Zug um Zug.

Der vorliegende Band „Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe“ behandelt Hybridantriebe, Betrieb von Hybridfahrzeugen, Elektroantriebe und Batterien für Hybridfahrzeuge, Brennstoffzellen, alternative Kraftstoffe, konventionelle Getriebe und deren Steuerung, zugehörige Sensorik, Steuergeräte und Aktoren. Er setzt sich aus den früheren gelben Heften „Hybridantriebe, Brennstoffzellen und alternative Kraftstoffe“ und „Elektronische Getriebesteuerung“ in der bisherigen Form zusammen. Eine inhaltliche Neubearbeitung wird folgen. Neu erstellt wurde das Stichwortverzeichnis, um die Inhalte dieses Buchs rasch zu erschließen.

# Inhaltsverzeichnis

## Hybridantriebe

Prinzip .....	10
Betriebsmodi .....	11
Start/Stop-Funktion .....	13
Hybridisierungsgrade .....	14
Antriebskonfiguration .....	16

## Betrieb von Hybridfahrzeugen

Hybridsteuerung .....	23
Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge .....	24
Betriebspunktoptimierung .....	26
Auslegung des Verbrennungsmotors .....	29

## Regeneratives Bremssystem

Strategien der regenerativen Bremsung .....	32
---	----

## Elektroantriebe für Hybridfahrzeuge

Antriebe für Parallelhybrid-Fahrzeuge .....	36
E-Maschine für den IMG-Antrieb .....	37
Steuergerät für Hybridantriebe .....	42
DC/DC-Wandler für die 12-V-Versorgung .....	45
Funktionen des E-Antriebs .....	46

## Bordnetze für Hybridfahrzeuge

Bordnetze für Fahrzeuge mit Start/Stop-System .....	48
Bordnetze für Mild- und Full-Hybridfahrzeuge .....	50
Aufbau des Batteriesystems .....	53
Batteriemanagementsystem .....	55
Elektrische Energiespeicher .....	58

## Brennstoffzellen für den Kfz-Antrieb

Funktionsprinzip .....	61
Hybridisierte Brennstoffzellen-Fahrzeuge .....	64
Betrieb des BZ-Systems .....	65
Komponenten des Brennstoffzellensystems .....	69
Wasserstoffspeicherung für mobile Anwendungen .....	75

## Alternative Kraftstoffe

Einsatz alternativer Kraftstoffe im Kfz .....	78
Alternative Kraftstoffe für Dieselmotoren .....	81
Alternative Kraftstoffe für Ottomotoren .....	85
Well-to-Wheel-Analyse .....	93
Treibhauseffekt .....	97

**Getriebe für Kraftfahrzeuge**

Getriebe im Triebstrang .....	98
Anforderungen an Getriebe .....	100
Handschaltgetriebe .....	101
Automatisierte Schaltgetriebe (AST) .....	102
Doppelkupplungsgetriebe (DKG) .....	106
Automatische Getriebe (AT) .....	108
Stufenlose Getriebe (CVT) .....	116
Toroidgetriebe .....	122

**Elektronische Getriebesteuerung**

Triebstrangmanagement .....	124
Markttrends .....	125
Steuerung automatisierter Schaltgetriebe AST .....	126
Steuerung von Automatikgetrieben .....	130
Steuerung stufenloser Getriebe .....	146

**Sensoren**

Einsatz im Kfz .....	148
Getriebe-Drehzahlsensoren .....	149
Mikromechanische Drucksensoren .....	150
Temperatursensoren .....	153
Positionssensor für Getriebesteuerung .....	154

**Sensorsignalverarbeitung**

Signalaufbereitung (Auswerte-IC) .....	155
--	-----

**Steuergerät**

Einsatzbedingungen, Aufbau, Datenverarbeitung .....	156
Steuergeräte für die elektronische Getriebesteuerung .....	162
Thermo-Management .....	169
Prozesse und Tools in der Steuergeräteentwicklung .....	171
Softwareentwicklung .....	172

**Elektrohydraulische Aktuatoren**

Anwendung und Aufgabe, Anforderungen .....	186
Aufbau und Arbeitsweise .....	187
Aktuatorausführungen .....	188
Simulation in der Entwicklung .....	197

**Module für Getriebesteuerung**

Anwendung .....	200
Modulausführungen .....	201
Literaturverzeichnis .....	204
Abkürzungen .....	205
Sachwortverzeichnis .....	207

# Autorenverzeichnis

## Hybridantriebe, Brennstoffzellen und alternative Kraftstoffe

### Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Allgeier,  
 Dr. rer. nat. Richard Aumayer,  
 Dr. rer. nat. Frank Baumann,  
 Dipl.-Ing. Michael Bildstein,  
 Dr.-Ing. Jochen Faßnacht (Bordnetze),  
 M. Sc. Ian Faye,  
 Dr. rer. nat. Ulrich Gottwick,  
 Dr.-Ing. Hans-Peter Gröter (Elektroantriebe),  
 Dr. rer. nat. Werner Grünwald,  
 Dr.-Ing. Karsten Mann,  
 Dr.-Ing. Boyke Richter (Hybridantriebe),  
 Dipl.-Ing. Arthur Schäfert,  
 Dr.-Ing. Dirk Vollmer,  
 Dipl.-Ing. Achim Wach (Brennstoffzellen),  
 Dr. rer. nat. Jörg Ullmann (Alternative Kraftstoffe)

## Elektronische Getriebesteuerung

### Autoren

Dipl.-Ing. D. Fornoff  
 (Entwicklung AST Aktuatoren),  
 D. Grauman (Verkauf AST Getriebeaktuatorik),  
 E. Hendriks (Produktmanagement  
 CVT-Komponenten),  
 Dipl.-Ing. T. Laux (Produktmanagement  
 Getriebesteuerung),  
 Dipl.-Ing. T. Müller (Produktmanagement  
 Getriebesteuerung),  
 Dipl.-Ing. A. Schreiber  
 (Entwicklung Steuergeräte),  
 Dipl.-Ing. S. Schumacher  
 (Entwicklung Aktuatorik und Module),  
 Dipl.-Ing. W. Stroh (Entwicklung Steuergeräte)

Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH, Stuttgart.

# Hybridantriebe

Ein Konzept zur Kraftstoffeinsparung, zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen und gleichzeitig zur Erhöhung von Fahrspaß und Fahrkomfort stellen elektrische Hybridfahrzeuge (Hybrid Electric Vehicle, HEV) dar. Sie verwenden zum Antrieb sowohl einen Verbrennungsmotor als auch mindestens einen Elektromotor (E-Maschine). Dabei gibt es eine Vielzahl von HEV-Konfigurationen, die zum Teil verschiedene Optimierungsziele verfolgen und die in unterschiedlichem Maße elektrische Energie zum Antrieb des Fahrzeugs nutzen.

## Prinzip

Mit dem Einsatz von elektrischen Hybridantrieben (Bild 1) werden im Wesentlichen drei Ziele verfolgt: Kraftstoffeinsparung, Emissionsminderung und Erhöhung von Drehmoment und Leistung („Fahrspaß“). Je nach Zielsetzung werden dabei unterschiedliche Hybridkonzepte angewendet. Generell wird zwischen *Mild Hybrid*- und *Full Hybrid*-Fahrzeugen unterschieden, je nach ihrer Fähigkeit, auch rein elektrisch zu fahren.

Beim *Mild Hybrid* wird der Verbrennungsmotor durch einen Elektromotor unterstützt, der bei verschiedenen Betriebszuständen zusätzliche Antriebs- und

Bremsleistung liefert. Auch beim *Full Hybrid* wird der Verbrennungsmotor mit einem (oder zwei) Elektromotor(en) kombiniert. Er ermöglicht neben dem verbrennungsmotorischen Fahren und der Unterstützung durch den Elektromotor auch das rein elektrische Fahren.

Beide Hybridkonzepte verfügen über eine Start/Stopp-Funktionalität, wie sie von konventionellen Start/Stopp-Systemen bekannt ist. Beim Stehen, z. B. bei Ampelhalt, wird der Verbrennungsmotor ausgeschaltet. Durch die Vermeidung von Leerlaufphasen wird Kraftstoff eingespart. Ein automatisches Start/Stopp-System kann, unabhängig von der Hybridisierung, natürlich auch bei Fahrzeugen mit konventionellem Antrieb eingesetzt werden.

Sowohl Mild Hybrid als auch Full Hybrid-Systeme brauchen einen elektrischen Energiespeicher, der den antreibenden Elektromotor versorgt. In der Regel handelt es sich um eine Traktionsbatterie auf einem vergleichsweise hohen Spannungsniveau.

Die Kombination von elektrischer und verbrennungsmotorischer Antriebsquelle im Mild Hybrid und Full Hybrid hat verschiedene Vorteile gegenüber konventionellen Antriebssträngen:

1 Prinzip des Hybridantriebs am Beispiel eines Parallelsystems

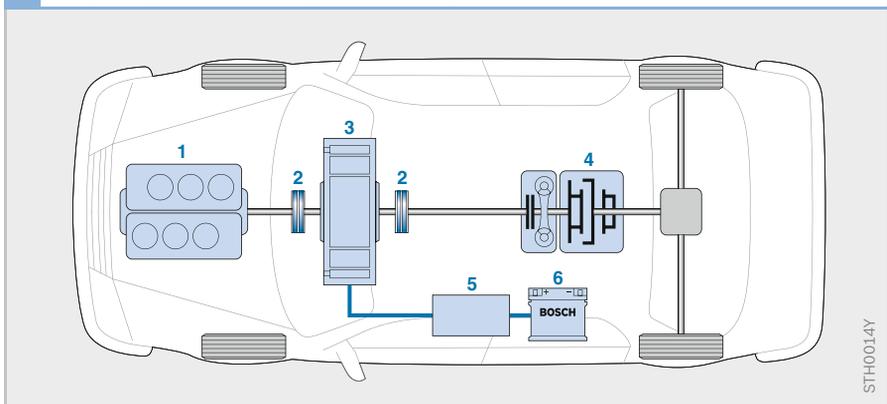


Bild 1

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Kupplung
- 3 E-Maschine
- 4 Getriebe
- 5 Inverter
- 6 Batterie

- ▶ Die E-Maschine bietet konstant hohe Drehmomente bei niedrigen Drehzahlen. Dadurch ergänzt sie in idealer Weise den Verbrennungsmotor, dessen Drehmoment erst bei mittleren Drehzahlen ansteigt. E-Maschine und Verbrennungsmotor zusammen können so aus jeder Fahrsituation heraus eine hohe Dynamik zur Verfügung stellen (Bild 2).
- ▶ Die Unterstützung durch den Elektromotor ermöglicht es, den Verbrennungsmotor vorwiegend im Bereich seines besten Wirkungsgrades zu betreiben oder in Bereichen, in denen nur geringe Schadstoffemissionen entstehen (Betriebspunktoptimierung).
- ▶ Die Kombination mit einem Elektromotor ermöglicht ggf. den Einsatz eines kleineren Verbrennungsmotors bei gleichbleibender Gesamtleistung (leistungsneutrales Downsizing).
- ▶ Die Kombination mit einem Elektromotor ermöglicht ggf. den Einsatz eines länger übersetzten Getriebes bei gleichbleibenden Fahrleistungen (Downspeeding).

Darüber hinaus ergibt sich bei den Hybridsystemen eine Möglichkeit zur Kraftstoffeinsparung durch Rückgewinnung von Bremsenergie. Durch generatorischen Betrieb des Elektromotors (oder ggf. über ei-

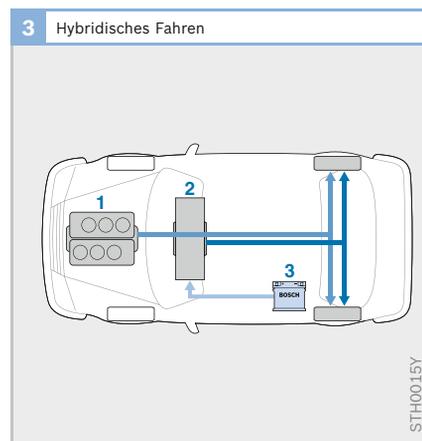
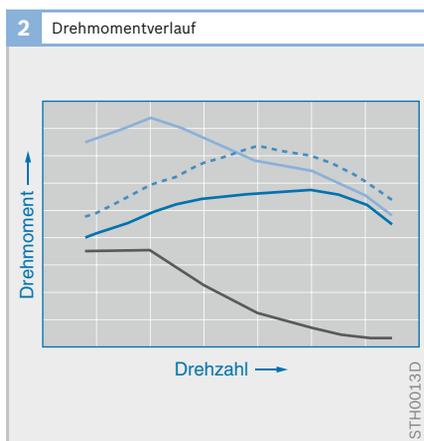
nen zusätzlichen Generator) kann beim Bremsen ein Teil der Bewegungsenergie des Fahrzeugs in elektrische Energie umgewandelt werden. Die elektrische Energie wird im Energiespeicher gespeichert und kann für den Antrieb genutzt werden.

## Betriebsmodi

Verbrennungsmotor und E-Maschine tragen je nach Betriebszustand und gefordertem Drehmoment in unterschiedlichem Maße zur Antriebsleistung bei. Die Hybridsteuerung legt die Momentenaufteilung zwischen den beiden Antrieben fest (s. Abschnitt *Betriebsstrategie*). Die Art des Zusammenwirkens von Verbrennungsmotor, E-Maschine(n) und Energiespeicher definiert die unterschiedlichen Betriebsmodi: Hybridisches und elektrisches Fahren, Boosten, Generatorbetrieb und rekuperatives Bremsen.

### Hybridisches Fahren

Hybridisches Fahren bezeichnet alle Zustände, in denen sowohl Verbrennungsmotor als auch Elektromotor Antriebsmoment erzeugen (Bild 3). Bei der Aufteilung des Antriebsmoments berücksichtigt die Hybridsteuerung neben dem Optimierungsziel (Kraftstoffverbrauch, Emissionen) insbesondere den Ladezustand des Energiespeichers.



**Bild 2**

- Resultierender Hybrid
- Standard-Motor, 1,6 l Hubraum
- Motor, downsized, 1,2 l Hubraum
- E-Maschine, 15 kW

**Bild 3**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie

### Rein elektrisches Fahren

Rein elektrisches Fahren, bei dem das Fahrzeug über längere Strecken alleine durch die E-Maschine angetrieben wird, ist nur beim Full Hybrid möglich. Der Verbrennungsmotor wird dafür von der E-Maschine abgekoppelt (Bild 4). In diesem Betriebsmodus kann das Fahrzeug nahezu lautlos und lokal emissionsfrei fahren.

### Boosten

Im Boost-Betrieb geben Verbrennungsmotor und E-Maschine positives Antriebsmoment ab. Für das maximale Vortriebsmoment des Fahrzeuges geben beide ihr maximales Drehmoment ab (Bild 6).

### Generatorbetrieb

Im Generatorbetrieb wird der elektrische Energiespeicher aufgeladen. Zu diesem Zweck wird der Verbrennungsmotor so betrieben, dass er eine größere Leistung abgibt, als für den gewünschten Vortrieb des Fahrzeuges erforderlich ist. Der überschüssige Leistungsanteil wird dem Generator zugeführt und in elektrische Energie umgewandelt, die im Energiespeicher gespeichert wird (Bild 5).

Auch im Schubetrieb wird der Energiespeicher über den Generator aufgeladen, sofern der Batterieladezustand dies erlaubt.

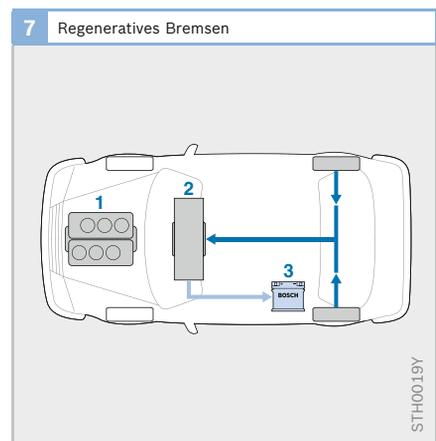
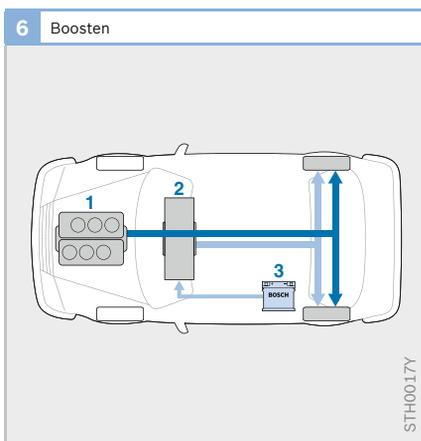
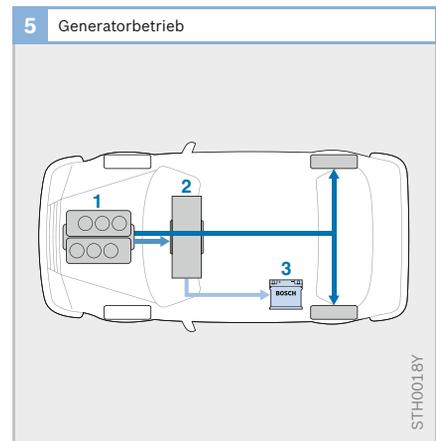


Bild 4 – 7

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie

### Regeneratives Bremsen

Beim regenerativen Bremsen wird das Fahrzeug nicht - oder nicht nur - durch das Reibmoment der Betriebsbremse abgebremst, sondern durch ein generatorisches Bremsmoment des Elektromotors. Der Elektromotor wird also generatorisch betrieben und wandelt kinetische Energie des Fahrzeugs in elektrische Energie um, die im Energiespeicher gespeichert wird (Bild 7).

Regeneratives Bremsen wird auch als rekuperatives Bremsen oder als Rekuperation bezeichnet.

## Start/Stop-Funktion

Sowohl Mild Hybrid als auch Full Hybrid verfügen über eine Start/Stop-Funktionalität (Bild 8). Aber auch Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb können mit einem Start/Stop-System ausgestattet werden.

### Funktion

Wird das Fahrzeug angehalten, so prüft das Motorsteuergerät, ob

- ▶ kein Gang eingelegt ist,
- ▶ der Drehzahlsensor des Antiblockiersystems Null angibt,

- ▶ der elektronische Batteriesensor genügend Energie für einen Startvorgang meldet.

Sind diese Bedingungen erfüllt, so wird der Motor automatisch abgeschaltet.

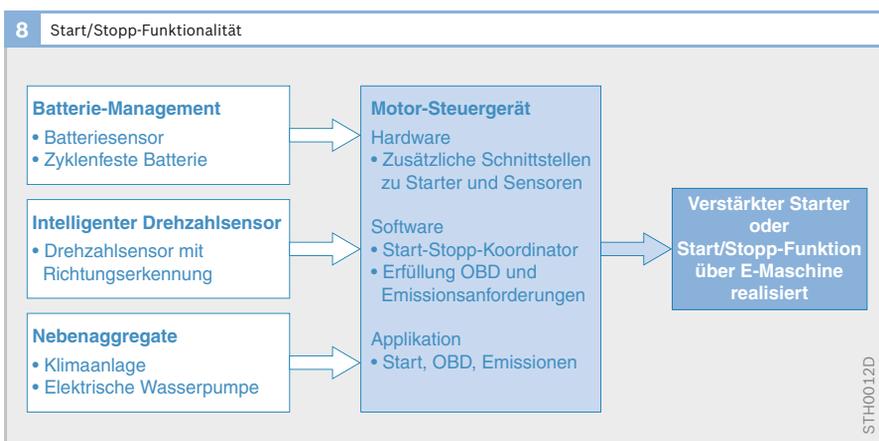
Sowie die Kupplung betätigt wird, bekommt der Starter das Signal, den Motor wieder zu starten. Der Motor wird schnell und leise gestartet und ist sofort wieder betriebsbereit.

### Komponenten

Beim Start/Stop-System ersetzt ein verstärkter Starter (Bild 9, Pos. 1) den konventionellen Starter.

Das Start/Stop-System erfordert eine angepasste Motorsteuerung (4), die zusätzliche Schnittstellen zu Starter und Sensoren hat. Da das Start/Stop-System ein emissionsrelevantes System ist, muss es die Anforderungen der OBD (On-Board-Diagnose) erfüllen, d.h. es muss im Fahrbetrieb überwacht werden und abgasrelevante Fehler müssen im Fehlerspeicher des Steuergerätes abgelegt werden.

Die Batterie (2) muss aufgrund der vielen zu bewältigenden Startvorgänge zyklenfest sein. Sie wird von einem Batteriesensor überwacht, der vor dem automatischen Abschalten des Verbrennungs-



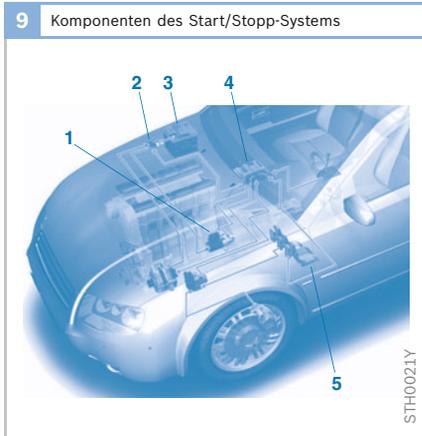


Bild 9

- 1 Starter
- 2 Batteriesensor
- 3 Batterie
- 4 Motorsteuergerät mit Start/Stop-Funktion
- 5 Pedale und Sensoren

motors den Ladezustand der Batterie prüft und an das Motorsteuergerät meldet.

Nebenaggregate wie z. B. der Klimakompressor, die normalerweise über den Verbrennungsmotor angetrieben werden und auch während der Stillstand-Phasen erforderlich sind, müssen elektrisch angetrieben oder durch andere Lösungen ersetzt werden. Dies gilt auch für den Mild Hybrid und den Full Hybrid, bei denen die Start/Stop-Funktionalität über die E-Maschine realisiert werden kann.

### Kraftstoffersparung

Durch das Start/Stop-System können im Neuen Europäischen Fahrzyklus 3,5 % bis 4,5 % Kraftstoff eingespart werden.

## Hybridisierungsgrade

Der Hybridisierungsgrad gibt an, in welchem Maße die Aufteilung der Antriebsleistung zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine variiert werden kann. Je nach Grad der Hybridisierung werden Mild Hybrid und Full Hybrid unterschieden. Sie differieren wesentlich in der Leistung der E-Maschine bzw. bezüglich des Anteils, den der Elektroantrieb zur gesamten Antriebsleistung beiträgt. Auch unterscheiden sie sich bezüglich des Energieinhaltes des elektrischen Speichers.

## Mild Hybrid

### Funktion

Der Mild Hybrid (Bild 10) bietet neben der Start/Stop-Funktion die Möglichkeit des rekuperativen Bremsens (1) sowie der Drehmomentunterstützung durch die E-Maschine (2). Die E-Maschine liefert ein zusätzliches Drehmoment, das sich zum Drehmoment des Verbrennungsmotors addiert. Dafür stellt der Energiespeicher (4) eine elektrische Leistung von üblicherweise bis zu 20 kW bereit. Diese wird im Wesentlichen zum Anfahren und Beschleunigen bei niedrigen Motordrehzahlen eingesetzt.

Rein elektrisches Fahren ist nur möglich, indem der Verbrennungsmotor mitgeschleppt wird, da er nicht von der E-Maschine abgekoppelt werden kann. Energetisch sinnvoll ist ein derartiger Betriebszustand nur dann, wenn das Schleppmoment des Verbrennungsmotors nicht zu groß ist. Daher werden Mild Hybrids oft mit Verbrennungsmotoren kombiniert, die die Möglichkeit der Zylinderabschaltung aufweisen.

### Aufbau

Der Mild Hybrid wird als Parallelhybrid realisiert, d. h. Verbrennungsmotor und E-Maschine sind auf derselben Welle positioniert (Kurbelwelle).

Neben dem herkömmlichen Niedervolt-Bordnetz (14 V) zur Versorgung der Verbraucher ist ein Traktionsbordnetz mit einer deutlich höheren Spannungslage vorhanden, das den elektrischen Antrieb speist.

Zum detaillierten Aufbau s. Abschnitt *Parallelhybrid*.

### Kraftstoffersparung

Die Kraftstoffersparung eines Mild Hybrids gegenüber dem konventionellen Fahrzeug kann im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bis zu 15 % betragen.

## Full Hybrid

### Funktion

Der Full Hybrid (Bild 10) kann, im Gegensatz zum Mild Hybrid, über längere Strecken allein mit dem elektrischen Antrieb fahren. Der Verbrennungsmotor dreht sich während des elektrischen Fahrens nicht mit. Die Spannungslage des Traktionsbordnetzes bzw. der Batterie liegt meist zwischen 200 und 350 V.

### Aufbau

Der Full Hybrid kann mit parallelem oder seriellem Energiefluss realisiert sein oder eine Kombination aus parallelem und seriellem Energiefluss aufweisen. Der parallele Energiefluss kann durch einen E-Antrieb dargestellt werden. Um einen seriellen Leistungsfluss zu realisieren, müssen zwei E-Antriebe im Antriebsstrang vorhanden sein.

Beim Parallelhybrid mit zwei Kupplungen (P2-HEV) ist eine Trennkupplung zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine vorhanden. Dadurch kann für das rein elektrische Fahren der Verbrennungsmotor von der E-Maschine abgekoppelt werden.

Zum detaillierten Aufbau s. Abschnitt *Parallelhybrid*.

Einen Full Hybrid mit kombiniertem seriellem und parallelem Leistungsfluss stellt das leistungsverzweigende System dar, bei dem das zentrale Getriebeelement ein Planetengetriebe ist.

Zum detaillierten Aufbau s. Abschnitt *Leistungsverzweigender Hybrid*.

### Kraftstoffeinsparung

Die Kraftstoffeinsparung eines Full Hybrids kann im Neuen Europäischen Fahrzyklus bis zu 30 % betragen.

## Plug-In-Hybrid

Full-Hybride können alternativ auch als Plug-In-Hybride ausgeführt werden. Diese bieten die Möglichkeit, die Traktionsbatterie extern (z.B. aus der Steckdose) über ein entsprechendes Ladegerät zu laden. Dabei ist der Einsatz einer größeren Batterie im Fahrzeug sinnvoll, um so kürzere Strecken rein elektrisch zurücklegen zu können und den Hybridantrieb nur für längere Fahrten zu nutzen.

Nachteile in Bezug auf Kosten und Gewicht der größeren Batterie stellen gegenwärtig die größte Herausforderung für Plug-In-Hybride dar. Darüber hinaus führt die begrenzte Ladeleistung der Haussteckdose zu langen Ladezeiten.

10 Komponenten des Hybridsystems (Mild und Full Hybrid)

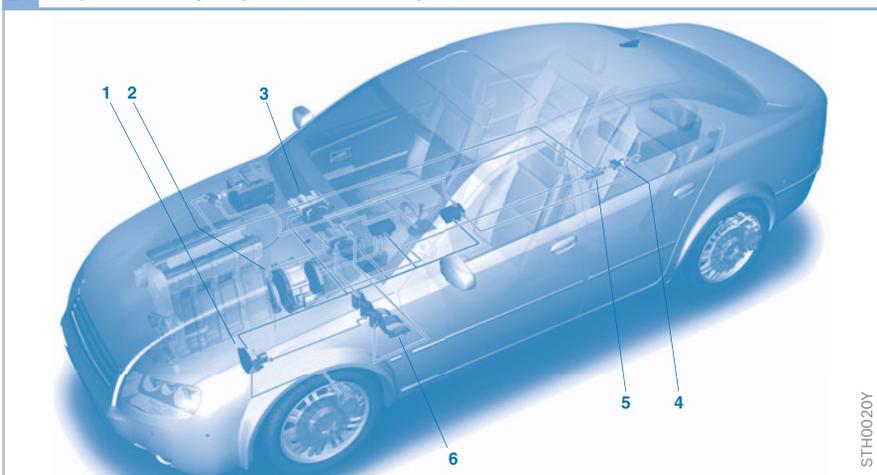


Bild 10

- 1 Regeneratives Bremssystem
- 2 E-Maschine (IMG)
- 3 Hybrid- und Motorsteuergerät
- 4 Hochvoltbatterie und Batteriemanagementsystem
- 5 Inverter
- 6 Pedale und Sensoren

STH0020Y

## Antriebskonfigurationen

### Serieller Hybridantrieb

Der serielle Hybridantrieb (S-HEV) wird durch die Reihenschaltung der Energiewandler (E-Maschinen und Verbrennungsmotor) gekennzeichnet (Bild 11). Für die serielle Anordnung sind neben dem Verbrennungsmotor zwei Elektromotoren erforderlich, wobei einer generatorisch und der andere motorisch arbeitet. Der Verbrennungsmotor ist nicht mit der Antriebsachse verbunden.

Zunächst wird die Bewegungsenergie des Verbrennungsmotors von einem Generator (3) in elektrische Energie umgesetzt. Der Pulswechselrichter (Inverter, 5) wandelt die Leistung gemäß Fahrerwunsch und versorgt den zweiten Elektromotor (4), der für den Antrieb der Räder verantwortlich ist. Die Leistung, die zur Bewegung des Fahrzeugs erforderlich ist, wird ausschließlich vom Elektromotor (4) auf die Antriebswelle übertragen.

Vorteil dieser Triebstranganordnung ist es, dass der Betriebspunkt des Verbrennungsmotors frei gewählt werden kann, solange die angeforderte elektrische Energie bereitgestellt wird. Je nach Betriebsstrategie kann der Verbrennungsmotor mit seiner Leistung dem aktuellen

Bedarf folgen oder er kann gleichmäßig im effizientesten Betriebspunkt arbeiten und überschüssige Energie an die Batterie abgeben. Der Betrieb im effizientesten Betriebspunkt ermöglicht besonders niedrige Schadstoffemissionen - mit Ausnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

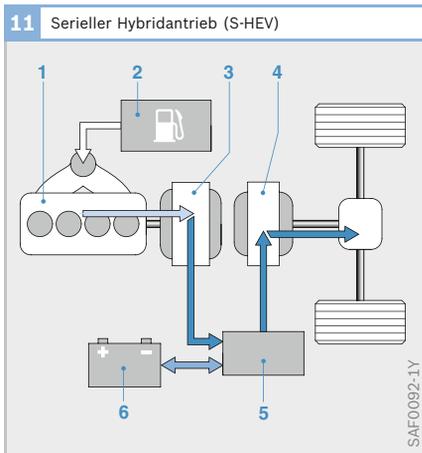
Es ist zu beachten, dass beide E-Maschinen groß genug dimensioniert sein müssen, um die Leistung des Verbrennungsmotors aufnehmen bzw. abgeben zu können. Die große Leistungsfähigkeit der E-Maschinen hat zudem den Vorteil, dass auch starke Fahrzeugverzögerungen rekupriert werden können.

Ein Nachteil dieser Anordnung besteht in der mehrfachen Energieumwandlung und den damit verbundenen Wirkungsgradverlusten. Ausgehend von den üblichen mittleren Verlusten der einzelnen Komponenten ergibt sich ein Gesamtverlust von etwa 30%. Weitere Nachteile sind hohe Kosten, Bauteilgröße und ein hohes Mehrgewicht. Daher ist der Einsatz in Personenkraftwagen stark eingeschränkt.

Einsatzbereiche für den seriellen Hybridantrieb liegen bei schweren Nutzfahrzeugen, wie zum Beispiel diesel-elektrischen Antrieben in Lokomotiven, sowie bei Bussen, die im Stadtverkehr mit großem Stop-and-Go-Anteil eingesetzt werden.

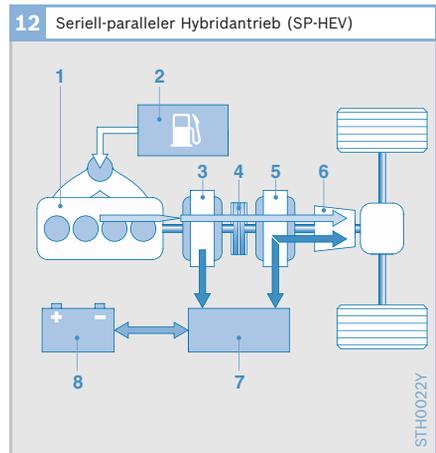
**Bild 11**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Generator
- 4 Elektromotor
- 5 Inverter
- 6 Batterie



**Bild 12**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Generator
- 4 Kupplung
- 5 Elektromotor
- 6 Getriebe
- 7 Inverter
- 8 Batterie



Eine Sonderform des seriellen Konzepts stellt der seriell-parallele Hybrid (SP-HEV) dar (Bild 12). Der Unterschied zum seriellen Triebstrangaufbau besteht in einer Kupplung, die die beiden elektrischen Maschinen verbindet. Ist die Kupplung geöffnet, verhält sich das System wie der zuvor beschriebene S-HEV. Bei geschlossener Kupplung kann der Verbrennungsmotor seine Leistung direkt an die Antriebsachse abgeben, was einer parallelen Antriebsstrangtopologie entspricht. Die Nachteile des S-HEV bezüglich Kosten, Bauraum und Mehrgewicht bleiben grundsätzlich bestehen, allerdings können die elektrischen Maschinen kleiner ausgeführt werden, da die übertragbare Leistung im seriellen Betrieb nicht die volle angestrebte Antriebsleistung des Fahrzeugs umfassen muss. Der serielle Betriebsbereich kann auf kleinere Leistungen beschränkt werden, da bei höheren Geschwindigkeiten und Leistungsanforderungen der parallele Betrieb vorzuziehen ist, auch wegen eines besseren Gesamtantriebswirkungsgrads.

### Paralleler Hybridantrieb

Im Unterschied zu den seriellen und leistungsverzweigenden Konzepten wird bei parallelen Antriebsstrangtopologien nur eine E-Maschine benötigt (Bild 13). Diese kann sowohl generatorisch als auch motorisch betrieben werden und ist mechanisch mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors verbunden. Es handelt sich um eine Momentenaddition, bei der die Drehmomente der Antriebe (Verbrennungsmotor und E-Maschine) frei variiert werden können, während die Drehzahlen in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Außerdem ist bei geschlossener Kupplung eine rein mechanische Kraftübertragung vom Verbrennungsmotor auf die Antriebsachse möglich, unabhängig vom Zustand der E-Maschine. Der Gesamtwirkungsgrad liegt dadurch höher als bei den anderen Hybrid-Topologien.

Die direkte Anbindung der E-Maschine an den Verbrennungsmotor wirkt sich al-

lerdings nachteilig auf die Wahlfreiheit des Betriebspunktes aus, da die Drehzahlen beider Aggregate durch die Getriebeübersetzung und die Fahrgeschwindigkeit festgelegt sind. Diese können durch eine Getriebschaltung verändert werden, jedoch nur für beide Aggregate in gleicher Weise. Bei Verwendung eines Stufengetriebes kann die Drehzahl des Antriebsverbunds aus E-Maschine und Verbrennungsmotor also nicht kontinuierlich frei gewählt werden.

Ein grundlegender Vorteil des Parallelhybrids ist die Möglichkeit, den konventionellen Antriebsstrang in weiten Bereichen beizubehalten. Dies wirkt sich sowohl auf Bauraum und Fahrzeugherstellung als auch auf das gewohnte Fahrverhalten und die Kundenakzeptanz positiv aus. Der Entwicklungs- und Implementierungsaufwand der parallelen Antriebsstrangtopologie für Pkw ist im Vergleich zu seriellen und leistungsverzweigenden Konzepten niedrig, da geringere elektrische Leistungen erforderlich sind und die notwendigen Anpassungen bei der Umstellung eines konventionellen Antriebsstrangs kleiner ausfallen.

Der parallele Hybridantrieb wird anhand der Anzahl der Kupplungen und der Positionierung der E-Maschine weiter unterteilt. Im Folgenden werden die gebräuchlichsten Ausführungen erläutert.

#### Parallelhybrid mit einer Kupplung

Beim Parallelhybrid mit nur einer Kupplung (P1-HEV; Bild 13) ist die E-Maschine starr mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors verbunden, sodass die E-Maschine nicht unabhängig vom Verbrennungsmotor betrieben werden kann. Daher muss beim regenerativen Bremsen der Verbrennungsmotor mitgeschleppt werden, d. h. das Schlepptomment des Verbrennungsmotors geht als Rekuperationspotenzial verloren. Rein elektrisches Fahren ist zwar theoretisch möglich, jedoch

muss auch dabei der Verbrennungsmotor mitgeschleppt werden. Die daraus resultierenden Verluste sowie Geräusch- und Schwingungsprobleme verbieten diesen Fahrbetrieb. Lediglich rein elektrisches Gleiten ist ab einer bestimmten Geschwindigkeit darstellbar. Dabei bringt die E-Maschine das Vortriebsmoment zum Halten der Geschwindigkeit sowie die Schleppleistung des Verbrennungsmotors auf.

In der einfachsten Variante des P1-HEV wird ein Kurbelwellen-Startergenerator (KSG) eingesetzt, wobei die E-Maschine nur für den Start des Verbrennungsmotors und die Bordnetzversorgung zuständig ist. Durch einen zusätzlichen elektrischen Speicher und eine höhere Leistungsfähigkeit der E-Maschine kann ein vollwertiger Mild-Hybrid aufgebaut werden, der zusätzlich eine Unterstützung des Verbrennungsmotors durch die E-Maschine und eine Rückgewinnung der Bremsenergie ermöglicht.

**Parallelhybrid mit zwei Kupplungen**

Um rein elektrisches Fahren sowie regeneratives Bremsen in vollem Umfang (ohne Schleppverluste) zu ermöglichen, ist eine zusätzliche Kupplung zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine er-

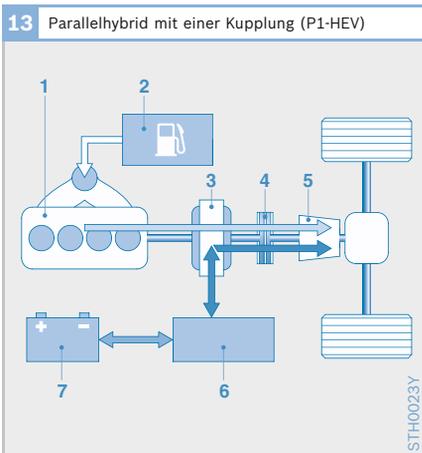
forderlich (Bild 14). Entsprechend der Anzahl der Kupplungen wird diese Topologie als P2-HEV bezeichnet. In Rekuperationsphasen oder zum elektrischen Fahren wird der Verbrennungsmotor durch Öffnen der zweiten Kupplung vom Antriebsstrang getrennt und ausgeschaltet. Somit kann die Verzögerungsenergie des Fahrzeugs ohne Schleppverluste zurückgewonnen und in der Batterie gespeichert werden. Begrenzt wird die Rekuperation lediglich durch die Leistungsgrenzen der E-Maschine.

Auch zum elektrischen Fahren muss der Verbrennungsmotor nicht mitgeschleppt werden, sodass langsames Kriechen komfortabel möglich wird. Es kann auch die volle Leistung der E-Maschine zum elektrischen Fahren eingesetzt werden, ohne Leistungsverluste zum Schleppen des Verbrennungsmotors. Jedoch muss der Wiederstart des Verbrennungsmotors durch die E-Maschine jederzeit möglich sein, und somit muss ein Teil der Leistungsfähigkeit der E-Maschine hierfür vorgehalten werden.

Die größten Herausforderungen des P2-HEV-Konzepts bestehen in der Unterbringung der zweiten Kupplung auf kleinstem Bauraum sowie im Neustart des Verbrennungsmotors aus dem elektrischen Fahren heraus ohne Komforteinbußen.

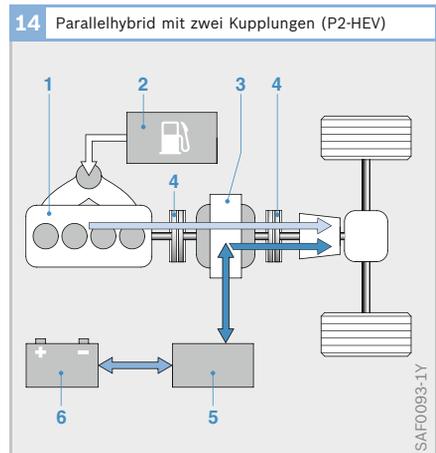
**Bild 13**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Elektromotor (IMG)
- 4 Kupplung
- 5 Getriebe
- 6 Inverter
- 7 Batterie



**Bild 14**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Elektromotor / Generator
- 4 Kupplung
- 5 Inverter
- 6 Batterie



### Axle-Split-Parallelhybrid (AS-HEV)

Beim P1-HEV und P2-HEV sind E-Maschine und Verbrennungsmotor auf einer gemeinsamen Antriebsachse vor dem Getriebe angeordnet. Somit arbeiten beide Antriebsaggregate grundsätzlich immer mit derselben Drehzahl. Eine Möglichkeit, diese Drehzahlgleichheit aufzuheben, ist eine Aufteilung der Antriebsaggregate auf die beiden Fahrzeugachsen. Diese Topologie wird Axle-Split-Hybrid (AS-HEV) genannt.

Beim AS-HEV sind Verbrennungsmotor und E-Maschine nicht direkt mechanisch miteinander verbunden, sondern wirken auf unterschiedliche Fahrzeugachsen (Bild 15). Die Zugkraftaddition wird somit über die Straße realisiert. Regeneratives Bremsen und elektrisches Fahren erfolgen bei frontgetriebenen Fahrzeugen über die elektrische Hinterachse, während der unveränderte konventionelle Antriebsstrang die Vorderachse antreibt. Sind beide Aggregate motorisch aktiv, ergibt sich somit ein Allradantrieb. Die Momente zwischen Vorder- und Hinterachse lassen sich dabei innerhalb der jeweiligen Leistungsgrenzen frei variieren.

Es wird deutlich, dass ein grundsätzlicher Unterschied zwischen dem AS-HEV

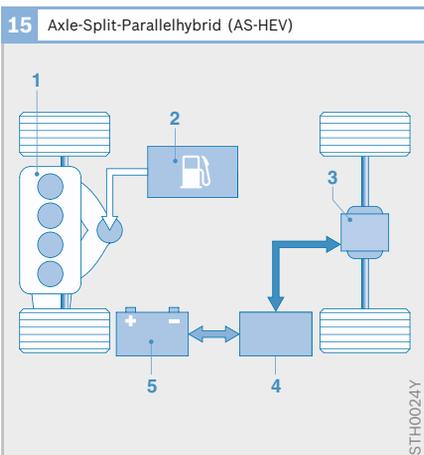
und den anderen Parallelhybriden bei stehendem Fahrzeug besteht. Bei stehender Achse kann beim AS-HEV die E-Maschine keine elektrische Leistung erzeugen. Somit müssen die Versorgung des Bordnetzes und die Klimatisierung im Stand anderweitig erfolgen. Dies ist z. B. mit Hilfe eines leistungsfähigen Generators am Verbrennungsmotor möglich. Mit Hilfe eines DC/DC-Wandlers kann der Generator die HV-Batterie auch bei Fahrzeugstillstand laden und die Versorgung der HV-Verbraucher sicherstellen.

Durch die Anbindung der E-Maschine an eine eigene Fahrzeugachse ergeben sich verschiedene Vorteile:

- ▶ Package: der konventionelle Antriebsstrang muss nicht verändert werden.
- ▶ Der Betrieb von Verbrennungsmotor und E-Maschine ist mit unterschiedlichen Drehzahlen möglich, dadurch ist auch ein Hochdrehzahlkonzept bei der E-Maschine einsetzbar.
- ▶ Es werden hohe Wirkungsgrade bei der Rekuperation und beim elektrischen Fahren erreicht.
- ▶ Es ist kein Start des Verbrennungsmotors durch die E-Maschine notwendig (deswegen ist aber ein separater Starter erforderlich).

Nachteilige Aspekte des AS-HEV sind:

- ▶ Für den Verbrennungsmotor ist ein separater Starter notwendig.
- ▶ Es ist eine Auslegung von Drehmoment- und Drehzahlbereich der E-Maschine ohne Getriebe auf den gesamten Fahrbereich des Fahrzeugs erforderlich. (Alternative: zusätzliches einfaches Getriebe für die E-Maschine, z. B. 2-Gang.)
- ▶ Im Stand ist kein Laden der HV-Batterie möglich (nur mit Zusatzmaßnahmen, z. B. DC/DC-Wandler).
- ▶ Die Versorgung des 12-V-Fahrzeuginstrumentbordnetzes im Stand muss sichergestellt werden (z. B. 12-V-Generator).
- ▶ Eine Überwachung der Fahrdynamik (ESP) ist für beide Achsen erforderlich.



**Bild 15**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Elektromotor
- 4 Inverter
- 5 Batterie

**Elektrische 4WD-Funktionalität**

Beim AS-HEV wird durch die Kombination von konventionellem Antrieb und elektrisch angetriebener Achse ein Allradantrieb (4WD) realisiert. Ein elektrischer Achsantrieb kann auch mit jeder anderen Hybridkonfiguration kombiniert werden, um so eine elektrische Allradantriebsfunktionalität zu verwirklichen.

**Parallelhybrid mit verschiedenen Getrieben**

Grundsätzlich kann der Parallelhybrid mit allen Getriebevarianten realisiert werden, wobei die Kombination mit bestimmten Getrieben spezielle Vorteile ergibt. Besonders hervorzuheben ist hierbei das Doppelkupplungsgetriebe (Dual Clutch Transmission, DCT). Dieses besteht aus zwei Teilgetrieben, die unabhängig voneinander unterschiedliche Gänge einlegen können. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die E-Maschine an eines dieser Teilgetriebe anzubinden und in einem anderen Gang zu betreiben als den Verbrennungsmotor (Bild 16). Dadurch kann der Betriebspunkt der E-Maschine in einigen Bereichen unabhängig vom Betriebspunkt des Verbrennungsmotors optimiert werden, was ein zusätzliches Wirkungsgradpotenzial erschließt.

**Leistungsverzweigender Hybridantrieb**

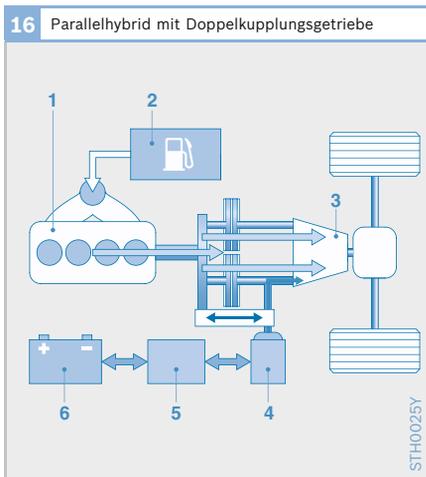
**Prinzip**

Kernelement der leistungsverzweigenden Hybridtopologie ist das Planetengetriebe (Bild 18). In diesem wird die Leistung des Verbrennungsmotors auf zwei Pfade aufgeteilt. Dabei handelt es sich um einen mechanischen Pfad, bei dem durch Verzahnung direkt Kraft auf die Räder übertragen werden kann, und einen elektrischen Pfad. Neben Verbrennungsmotor und Abtrieb wirkt eine E-Maschine (Bild 17, Pos. 7) auf die dritte Welle des Planetengetriebes. Der Lastpunkt dieser E-Maschine dient dazu, Drehzahl und Last des Verbrennungsmotors den Fahranforderungen entsprechend in Raddrehzahl und Abtriebsmoment zu übersetzen.

In einem Planetengetriebe legen die Drehzahlen zweier Wellen immer die Drehzahl der dritten Welle fest. Analog sind dadurch auch die Momentenverhältnisse zwischen den drei Wellen festgelegt. Daraus ergibt sich, dass eine Leistungsübertragung im mechanischen Pfad nur möglich ist, indem die E-Maschine Leistung aufnimmt und in elektrische Leistung umwandelt. Da auf diese Weise ständig elektrische Leistung generiert wird, ist es nicht möglich und aus Wirkungsgradgründen

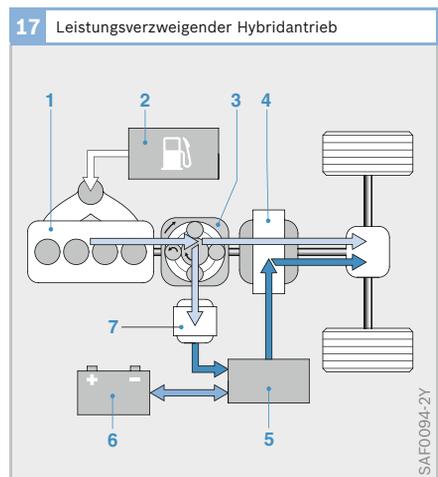
**Bild 16**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Getriebe
- 4 Elektromotor (SMG)
- 5 Inverter
- 6 Batterie



**Bild 17**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Planetengetriebe
- 4 Elektromotor
- 5 Inverter
- 6 Batterie
- 7 Generator



STH0025Y

SAF0094-2Y

auch nicht sinnvoll, diese in einer Batterie zu speichern. Deshalb wird mit Hilfe einer zweiten E-Maschine (4), die direkt auf der Abtriebswelle sitzt, ein elektrischer Pfad geschlossen und die anfallende elektrische Leistung direkt wieder in mechanische Leistung umgewandelt. Somit führt eine Fahr Anforderung, die aus einer Raddrehzahl und einem gewünschten Radmoment besteht, zu einer Vorzugsdrehzahl des Verbrennungsmotors, die mit Hilfe der Drehzahl der ersten E-Maschine (7) eingestellt wird. Das gewünschte Radmoment wird vom Verbrennungsmotor erzeugt und zum Teil über den mechanischen, zum anderen Teil über den elektrischen Pfad auf die Räder übertragen.

Die Batterie (6) dient wie bei allen Hybridfahrzeugen zur gezielten Beeinflussung des Betriebszustands des Antriebsstrangs. Das gewünschte Radmoment kann mit Hilfe der Batterie entweder zu einem höheren oder zu einem niedrigeren Lastzustand des Verbrennungsmotors führen. Mit Hilfe der in der Batterie gespeicherten Energie können sehr schlechte Wirkungsgradbereiche des Verbrennungsmotors vermieden werden, indem die E-Maschine (4) alleine für den Vortrieb des Fahrzeugs

sorgt und der Verbrennungsmotor abgestellt wird.

Der PS-HEV, wie er von Toyota im Modell Prius in Serie produziert wird, verfügt über die beschriebene Anordnung. Mittels der beiden Pfade werden die grundlegenden Prinzipien des seriellen und des parallelen Hybridantriebs kombiniert, weshalb der leistungsverzweigende Antrieb auch als seriell-parallele Topologie bezeichnet wird.

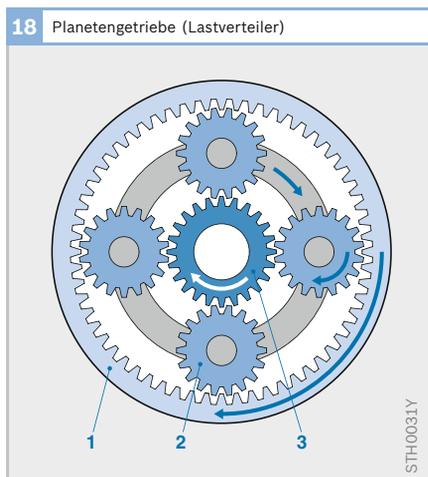
### Stufenlos einstellbare Übersetzung

Ein großer Vorteil des leistungsverzweigenden Konzepts liegt in der stufenlos einstellbaren Übersetzung (Continuous Variable Transmission [CVT]-Verhalten) und der damit verbundenen freien Betriebspunktwahl des Verbrennungsmotors. Zudem kann der Antriebsstrang ohne konventionelles Getriebe und insbesondere ohne Schalt- und Kuppel Elemente realisiert werden, was zu hohem Fahrkomfort ohne Zugkraftunterbrechung und Einsparung an mechanischen Komponenten führt.

Andererseits kann die Entkopplung der Motordrehzahl von der Fahrgeschwindigkeit zu einem - insbesondere für europäische Autofahrer - eher ungewohnten Fahrgefühl führen. In dieser Beziehung ist es dem Fahrverhalten von Fahrzeugen mit konventionellem CVT-Getriebe vergleichbar.

### Grenzen des Systems

Die zuvor diskutierten Einschränkungen eines seriellen Hybrids in Bezug auf Dimensionierung der E-Maschinen und der Wirkungskette werden beim leistungsverzweigenden Konzept abgeschwächt. Da ein wesentlicher Anteil der Antriebsenergie über den elektrischen Pfad transportiert wird, werden - je nach Auslegung des Antriebsstrangs - leistungsstarke E-Maschinen benötigt. Die erforderlichen Energieumwandlungsvorgänge



**Bild 18**

- 1 Hohlrad: treibt die Antriebsachse des Fahrzeugs an
- 2 Planetenräder: treiben das Hohlrad an
- 3 Sonnenrad: treibt den Generator an

wirken sich auf den Gesamtwirkungsgrad des Antriebs aus - insbesondere dann, wenn das Fahrzeug über einen großen Geschwindigkeitsbereich eingesetzt werden soll. Daraus ergibt sich, dass das große Einsparpotenzial, das das Fahrzeug im Stadtverkehr aufweist, bei Überland- oder Autobahnfahrt nicht in dieser Weise zum tragen kommt.

Um in diesem Bereich eine Verbesserung zu erzielen, werden gegenwärtig Fahrzeuge entwickelt, die über zwei Fahrbereiche verfügen und als Two Mode Hybride bezeichnet werden.

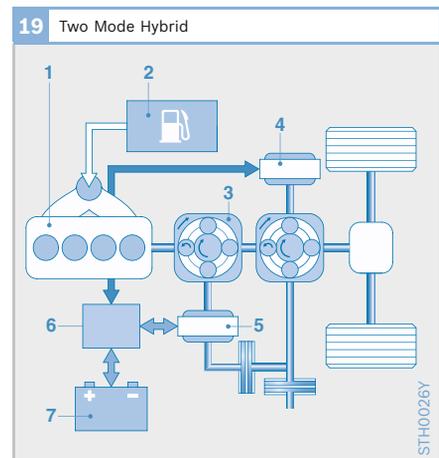
### Two Mode Hybrid

Eine mögliche Ausführung eines Two Mode Hybrids ist in Bild 19 gezeigt. In diesem Beispiel verfügt der Two-Mode-Hybrid über zwei elektrische CVT-Fahrstufen und eine rein mechanische Übersetzung. Durch die Kombinationsmöglichkeiten der Ein- und Ausgangswellen der Planetengetriebe kann eine Wirkungsgradverbesserung bei einer großen Spreizung von Fahrgeschwindigkeiten erzielt werden.

Die direkte mechanische Gangstufe wird durch den Einsatz von zwei Kupplungen möglich. Dem guten Gesamtwirkungsgrad und den vielen Freiheitsgraden dieses Konzeptes stehen die hohe Komplexität des Systems und relativ hohe Kosten gegenüber.

**Bild 19**

- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Planetengetriebe
- 4 Elektromotor (SMG)
- 5 Elektromotor (SMG)
- 6 Inverter
- 7 Batterie



# Betrieb von Hybridfahrzeugen

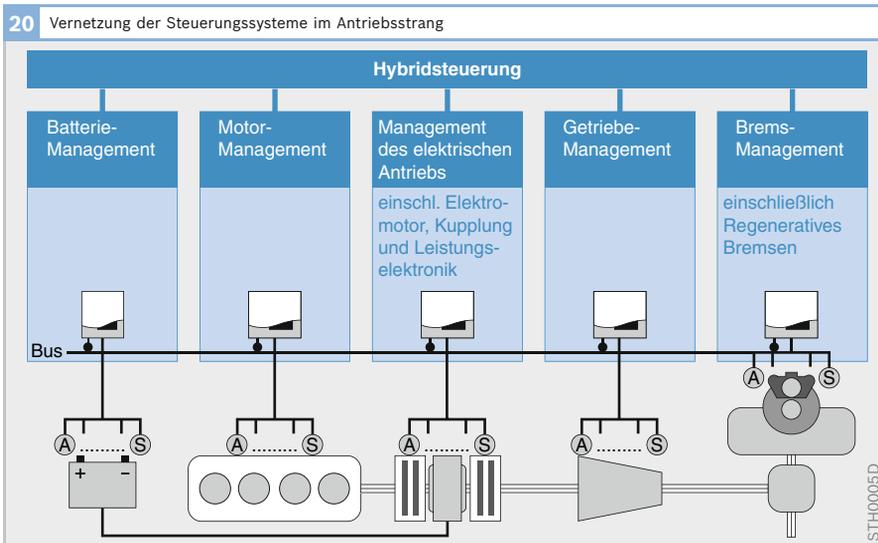
Der Betrieb des elektrischen Hybridfahrzeugs wird wesentlich durch die Betriebsstrategie bestimmt. Je nach übergeordnetem Optimierungsziel (Emissionsminderung, Kraftstoffeinsparung) legt die Betriebsstrategie in jedem Moment die Verteilung des angeforderten Antriebsmoments auf den Verbrennungsmotor und die elektrische Maschine fest, sodass der Verbrennungsmotor in möglichst günstigen Betriebspunkten arbeitet. Darüber hinaus steuert die Betriebsstrategie die Erzeugung elektrischer Energie zum Laden der Traktionsbatterie.

## Hybridsteuerung

Die Effizienz, die mit dem jeweiligen Hybridantrieb erzielt werden kann, hängt neben der Hybridtopologie entscheidend von der übergeordneten Hybridsteuerung ab. Bild 20 zeigt am Beispiel eines Fahrzeugs mit parallelem Hybridantrieb die Vernetzung der einzelnen Komponenten und Steuerungssysteme im Antriebsstrang. Die übergreifende Hybridsteuerung koordiniert das gesamte System, wobei die Teilsysteme über eigene Steuerungsfunktionen verfügen.

Es handelt sich dabei um Batterie-Management, Motor-Management, Management des elektrischen Antriebs, Getriebe-Management und Management des Bremssystems. Neben der reinen Steuerung der Teilsysteme beinhaltet die Hybridsteuerung auch eine Betriebsstrategie, die die Betriebsweise des Antriebsstrangs optimiert. Die Betriebsstrategie nimmt Einfluss auf die verbrauchs- und emissionsreduzierenden Funktionen des HEV, d. h. auf Start-Stopp-Betrieb des Verbrennungsmotors, regeneratives Bremsen und Betriebspunktoptimierung. Dazu gehören die Entscheidungen für einen Fahrzustand wie elektrisches Fahren oder Rekuperieren sowie die Verteilung des Fahrerwunschlages auf Verbrennungsmotor und E-Maschine.

Wichtiger Bestandteil der Betriebspunktoptimierung ist die Funktion elektrisches Fahren. Durch Boost-Betrieb des elektrischen Antriebs kann ein höheres Drehmoment und damit eine bessere Beschleunigungsfähigkeit insbesondere bei niedrigen Drehzahlen erreicht werden. Es bedarf einer ganzheitlichen Betrachtung



**Bild 20**  
A Aktor  
S Sensor

von Auslegung und Betriebsstrategie-Optimierung, um das maximale Potenzial auszuschöpfen. Betriebsstrategie meint hier eine fahrsituationsabhängige Momentenverteilung zwischen den beiden Antriebsquellen Verbrennungsmotor und Elektromotor.

### Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge

Gegenwärtig sind für alle Verbrennungsmotorkonzepte weitere Schritte zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung erforderlich. Darüber hinaus weisen Fahrzeuge mit Dieselmotor ein Reduzierungspotenzial bei den NO<sub>x</sub>-Rohemissionen auf. Durch eine Verschiebung der Motorbetriebspunkte in Bereiche niedrigerer Emissionen können hier Verbesserungen erzielt werden.

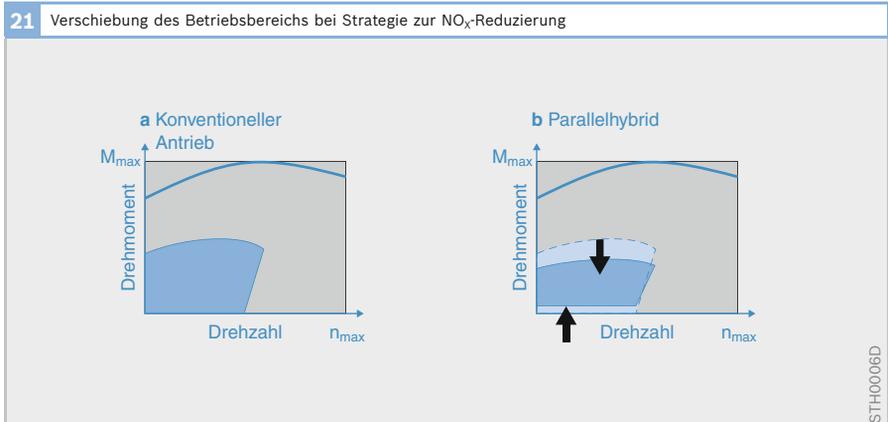
**Betriebsstrategie zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung**  
 Fahrzeuge mit mager betriebenen Verbrennungsmotoren erreichen schon im Teillastbetrieb relativ niedrige Verbrauchswerte. Bei niedriger Teillast nimmt die Reibleistung jedoch zu, sodass auch der spezifische Kraftstoffverbrauch hoch ist. Außerdem führen niedrige

Verbrennungstemperaturen und lokaler Sauerstoffmangel im niedrigen Teillastbereich zu hohen Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen.

Schon ein relativ schwaches elektrisches Aggregat kann im niedrigen Lastbereich den Verbrennungsmotor ersetzen. Wenn sich die notwendige elektrische Energie durch Regeneration zurückgewinnen lässt, kann diese einfache Strategie einen großen Vorteil für Kraftstoffverbrauch und Emissionen erbringen.

Es ist abzusehen, dass in Zukunft niedrigere Emissionsgrenzen für Stickoxide eingeführt werden. Die Hybridisierung eines Dieselfahrzeugs bietet durch die Vermeidung von ungünstigen motorischen Betriebspunkten die Möglichkeit, die Abgasemissionen maßgeblich zu beeinflussen. Bei niedrigen motorischen Emissionen könnten die Maßnahmen zur Abgasnachbehandlung teilweise reduziert werden.

Bild 21a zeigt, in welchen Bereichen der Verbrennungsmotor im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) vornehmlich betrieben wird. Der Pkw-Dieselmotor



**Bild 21**  
 a Bereich der Betriebspunkte im Fahrzyklus  
 b Boost: gemeinsamer Betrieb von Verbrennungsmotor und Elektromotor