

triebe in Kraftfahrzeugen, bei denen je nach Betriebszustand ein Verbrennungsmotor und ein Elektromotor unabhängig voneinander oder gemeinsam die Bewegung erzeugen.

Häufig müssen Kräfte bzw. Drehmomente in einem Antriebsstrang übertragen und/oder umgeformt werden, wozu mechanische Antriebselemente erforderlich sind. Motor und mechanische Antriebselemente, die im Antriebsstrang dem Motor nachgeschaltet sind, beeinflussen sich gegenseitig. Zur gesamtheitlichen Optimierung dieses Systems sind daher Kenntnisse sowohl aus dem Bereich der Mechanik als auch der Elektrotechnik erforderlich.

Die meisten Antriebsaufgaben werden heute mit elektrischen Antrieben gelöst. Hauptgründe hierfür sind:

- Elektrische Energie steht beinahe überall zur Verfügung.
- Elektrische Antriebe erzeugen im Vergleich zu vielen anderen Antriebsprinzipien praktisch keine Verschmutzung.
- Elektrische Antriebe sind einfach zu regeln.
- Elektrische Antriebe sind energieeffizient.
- Es stehen wartungsfreie Lösungen zur Verfügung (wartungsfrei in diesem Zusammenhang bedeutet, dass keine Wartung innerhalb der festgelegten Lebensdauer erforderlich ist).
- Elektrische Antriebe haben vergleichsweise niedrige Geräuschemissionen.

## ■ 1.1 Einsatzgebiete

Elektrische Antriebe werden in einer Vielzahl von Produkten des täglichen Lebens (Konsumgüter), aber auch in Maschinen und Anlagen (Investitionsgüter), eingebaut. Exemplarisch zeigen die Bilder 1.2 bis 1.7 einige Beispiele aus den Bereichen Kraftfahrzeugbau und Produktionsmaschinen.

Lenksäulenverstellantrieb



Schiebedachantrieb



Fensterheberantrieb



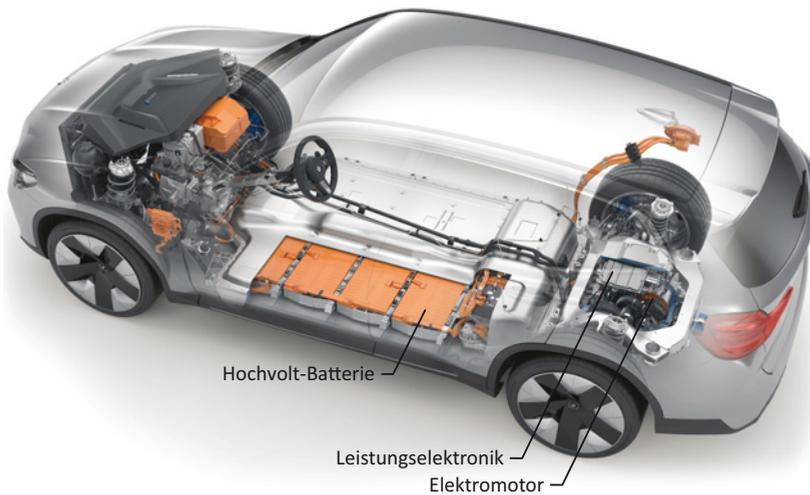
Sitzverstellantrieb



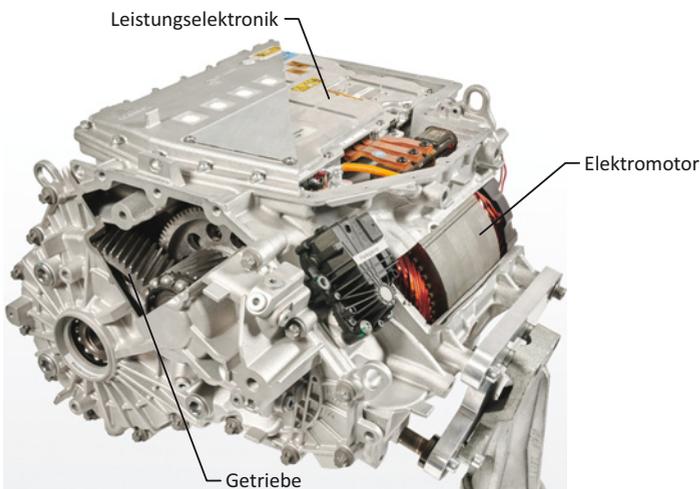
**Bild 1.2** Stellantriebe in Kraftfahrzeugen (© Robert Bosch GmbH)

In Produktionsmaschinen, wie Werkzeugmaschinen, Maschinen zur Herstellung von Halbleitern, Maschinen zur Kunststoffverarbeitung, Holzbearbeitungsmaschinen oder Druckmaschinen, haben elektrische Antriebe maßgeblichen Einfluss auf die statischen und dynamischen Maschineneigenschaften. Sie beeinflussen insbesondere:

- die Präzision des Produkts, wie z. B. die Maßhaltigkeit von Werkstücken oder Druckqualität von Prospekten und Zeitschriften
- die Mengenleistung der Maschine in Erzeugnissen pro Zeiteinheit



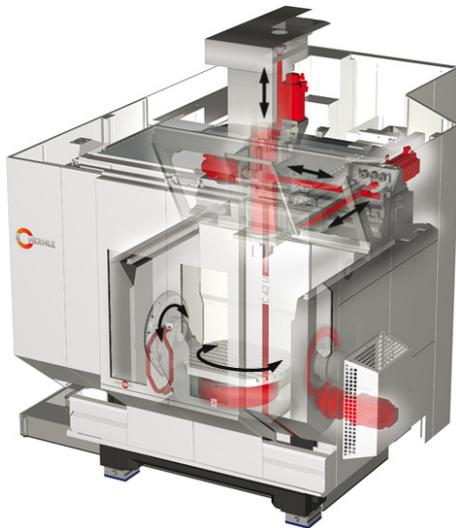
**Bild 1.3** Fahrtrieb in Kraftfahrzeugen (© BMW AG, Press Club, iX3)



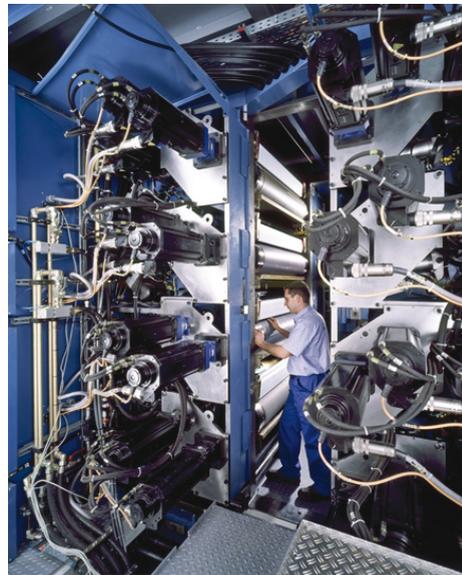
**Bild 1.4** Elektromechanische Antriebseinheit eines Elektrofahrzeuges (© BMW AG, Press Club)



**Bild 1.5** Elektrische Antriebe in einem Motion Control System für Fertigungsmaschinen der Halbleiterindustrie (© ETEL S.A.)



**Bild 1.6** Elektrische Vorschubantriebe und Hauptantrieb in Werkzeugmaschinen (© Hermle AG, 5-Achsen Bearbeitungszentrum)



**Bild 1.7** Druckmaschinen (© Koenig & Bauer AG)

## ■ 1.2 Aufgaben und Betriebszustände elektrischer Maschinen

Bei elektrischen Maschinen unterscheidet man Motoren und Generatoren (Bild 1.8). Motoren wandeln elektrische in mechanische Energie um. Sie liefern die Kraft oder das Drehmoment zur Steuerung der Bewegung einer Masse.

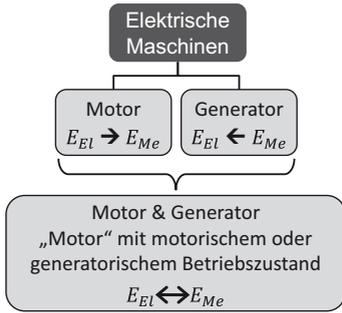


Bild 1.8 Elektrische Maschinen

Ein Generator wandelt im Gegensatz zum Motor mechanische Energie in elektrische Energie um. Die wichtigste Anwendung von Generatoren sind Kraftwerke zur Stromerzeugung. Bei den meisten Kraftwerkstypen wird in Wasser- oder Dampfturbinen zunächst mechanische Energie erzeugt und anschließend in elektrische Energie gewandelt.

In einigen Fällen wird eine elektrische Maschine zur Energiewandlung in beide Richtungen genutzt, d. h. sie wird als Motor oder Generator betrieben. Bei einem Bremsvorgang wird in der elektrischen Maschine die in den mechanischen Antriebselementen gespeicherte potentielle oder kinetische Energie in elektrische Energie gewandelt. Die zurückgewandelte Energie kann für anschließende Beschleunigungsvorgänge gespeichert oder anderen Verbrauchern zur Verfügung gestellt werden. Daraus resultiert eine Reduzierung des Energieverbrauches bzw. eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades. Elektrische Maschinen, welche primär der Bewegungserzeugung dienen, bezeichnet man umgangssprachlich als Motor, der wechselseitig einen motorischen oder generatorischen Betriebszustand zulässt. Wird eine elektrische Maschine primär zur Stromerzeugung eingesetzt, spricht man von einem Generator. Die Maschine kann zeitweise im motorisierten Betriebszustand betrieben werden. Dabei kann überschüssige elektrische Energie (z. B. aus Windkraftanlagen oder Photovoltaikanlagen) in mechanische Energie gewandelt werden, wie dies in Pumpenspeicherkraftwerken geschieht. Die Betriebszustände Motorbetrieb bzw. Generatorbetrieb sind in Bild 1.9 (links) abhängig vom Vorzeichen der Motordrehzahl und des Motordrehmomentes gezeigt.

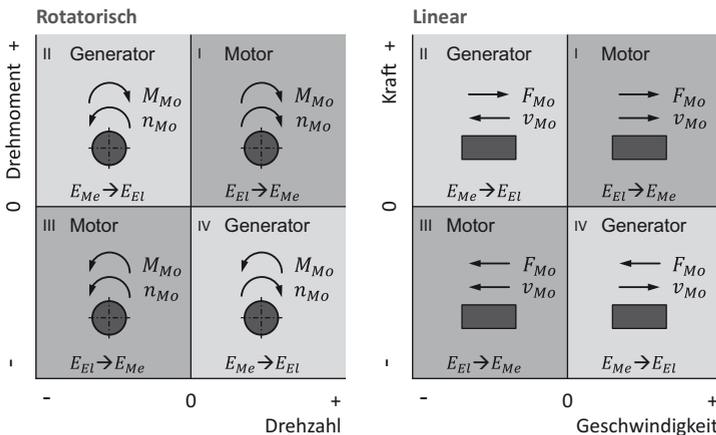


Bild 1.9 Motorischer und generatorischer Betriebszustand für rotatorische oder lineare Bewegung

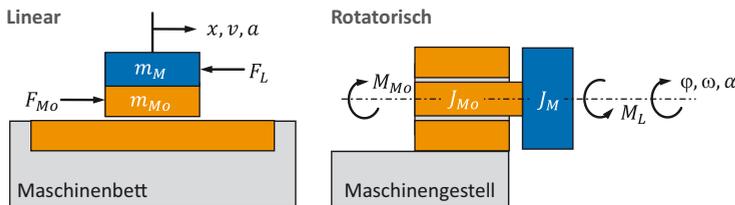
Sind Motordrehmoment und Motordrehzahl gleichsinnig gerichtet, so wird die Maschine motorisch betrieben, im umgekehrten Fall generatorisch. Im Quadranten I ist der Motor rechtsdrehend (im Uhrzeigersinn), während er sich im Quadranten III links dreht (gegen den Uhrzeigersinn). Die Blickrichtung ist dabei von vorn auf die Motorwelle. Bei einem Motor, der unmittelbar eine Linearbewegung erzeugt, gilt entsprechendes für die Motorkraft und die Motorgeschwindigkeit (Bild 1.9, rechts).

## ■ 1.3 Bewegungsarten und Bewegungsgleichungen

Ein Unterscheidungsmerkmal bei Antrieben ist die zur Lösung der Antriebsaufgabe erforderliche Bewegungsart (Bild 1.10):

- linear bzw. translatorisch
- drehend bzw. rotatorisch

Die Bewegung einer Masse wird durch deren Bewegungsgrößen beschrieben (Tabelle 1.1). Eine lineare Bewegung hat die Bewegungsgrößen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung. Eine rotatorische Bewegung wird durch Winkelposition, Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung beschrieben. Weitere Analogien zwischen linearen und rotatorischen Bewegungen sind im Anhang unter „Weiterführende Informationen“ (A.1) aufgeführt.



**Bild 1.10** Formelzeichen

|           |                       |                             |                    |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| $x$       | Position              | <i>Position</i>             | m                  |
| $v$       | Geschwindigkeit       | <i>Velocity</i>             | m/s                |
| $a$       | Beschleunigung        | <i>Acceleration</i>         | m/s <sup>2</sup>   |
| $\varphi$ | Winkelposition        | <i>Angular position</i>     | rad                |
| $\omega$  | Winkelgeschwindigkeit | <i>Angular speed</i>        | rad/s              |
| $\alpha$  | Winkelbeschleunigung  | <i>Angular acceleration</i> | rad/s <sup>2</sup> |

**Tabelle 1.1** Bewegungsgrößen

Aufgabe eines Antriebes ist es, die anzutreibende Masse bzw. das anzutreibende Massenträgheitsmoment innerhalb vorgegebener Bewegungsgrößen zu führen. Auch der bewegte Teil des Motors hat eine Masse bzw. ein Massenträgheitsmoment. Zunächst soll der Idealfall, dass die Elastizität zwischen der anzutreibenden Masse und dem Motor vernachlässigt werden kann, betrachtet werden. Da die mechanische Verbindung zwischen den beiden Massen dabei als