

Die Entwicklung der Automobillandschaft in den nächsten Jahren bis 2025 wird ganz maßgeblich von den globalen politischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten beeinflusst werden, die hier nicht in ihrer ganzen Vielfalt diskutiert werden können. Für die folgenden Betrachtungen werden jedoch die folgenden wichtigsten Rahmenbedingungen zugrunde gelegt, s. Abb. 2.1:

- Die Verlagerung politischer und wirtschaftlicher Bedeutung nach Asien und dort speziell nach China. So wird angenommen, dass im Jahr 2025 rund ein Drittel aller Pkw in China produziert und verkauft werden (Kalmbach et al. 2011).
- Das globale Bevölkerungswachstum wird sich regional stark unterschiedlich fortsetzen. Der Anteil der Menschen, die in urbanen Umgebungen leben wird sich bis zum Jahr 2025 auf ca. 30 % erhöhen. Gleichzeitig wird sich in allen Weltregionen außer Afrika der Anteil der Menschen über 65 Jahre – teilweise deutlich – vergrößern, s. Abb. 2.2
- Der Nachhaltigkeitsgedanke vor dem Hintergrund schwindender und sich rasant verteuernender Vorräte an fossilen Energien wird sich auch auf globaler Ebene verfestigen.
- Der Wunsch nach einem eigenen Auto wird sich in entwickelten Ländern zugunsten integrierter Mobilitätslösungen deutlich verringern, s. Abb. 2.3.
- Bis 2025 wird diese Entwicklung global jedoch überkompensiert durch die massive Zunahme der Motorisierung in Entwicklungs- und Schwellenländern, s. Abschn. 2.1.4.
- Es wird zu einem nachhaltigen Umbruch bei den für die Mobilität genutzten Technologien – hauptsächlich im Bereich der eingesetzten Antriebskonzepte – kommen. Dabei wird (teil-) elektrischen Antriebskonzepten eine besondere Bedeutung zukommen. Die Kombination verbrennungsmotorischer mit



**Abb. 2.1** Rahmenbedingungen

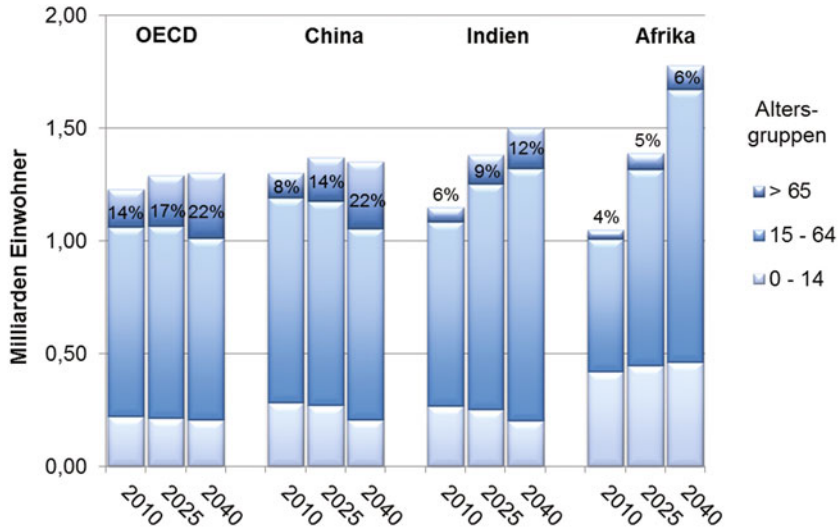
elektrischen Antrieben sowie der Einsatz alternativer Kraftstoffe in einer Übergangsphase wird zu einer extrem hohen Diversität bei der Antriebstechnik führen.

Da diese aufgeführten Rahmenbedingungen eine nahezu globale Gültigkeit besitzen, wird in diesem Zusammenhang von Megatrends gesprochen.

---

## 2.1 Treiber zur Elektromobilität

Neben den angeführten allgemeinen Megatrends werden im Folgenden die spezifischen Treiber zur Einführung bzw. zum Umrüsten auf elektrische und teilelektrische Fahrzeugantriebe betrachtet.



**Abb. 2.2** Regionale Anteile der Menschen über 65 Jahre an der Gesamtbevölkerung 2010–2040. (ExxonMobil 2013)

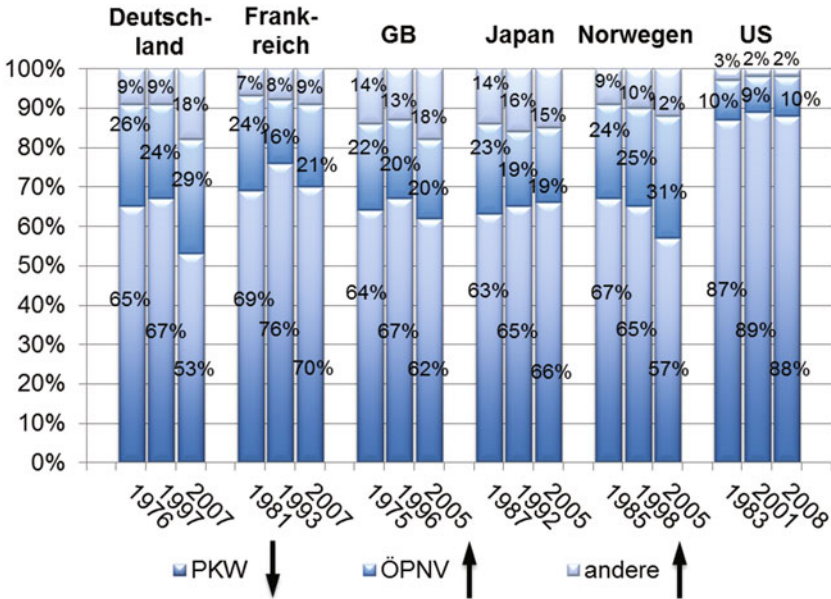
### 2.1.1 Ölproduktion & -preisentwicklung

Die Kosten für Benzin und Diesel sind analog zu der Entwicklung des Rohölpreises seit den 1950er Jahren ungefähr um den Faktor acht gestiegen,

Abbildung 2.4. Eine Abschwächung oder gar Umkehrung dieser Entwicklung ist nicht absehbar und aus heutiger Sicht auszuschließen. Dieser Trend wird sich mit knapper werdenden Ölreserven noch deutlich beschleunigen. Für sich genommen wird dies bereits eine hohe Vielfalt im Bereich der Antriebssysteme begünstigen.

### 2.1.2 Fahrzeuge mit Verbrennungsantrieb

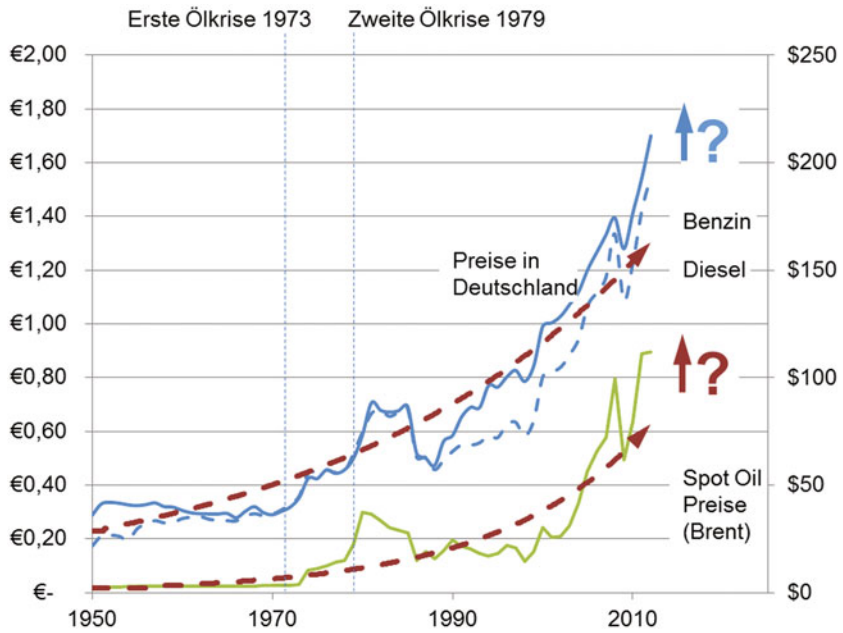
Aufgrund der Kostensteigerungen bei den Kraftstoffen einerseits und einer Orientierung der Gesellschaften hin zu einem nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen andererseits, wurden bereits seit den späten sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts große Anstrengungen unternommen, um den Kraftstoffverbrauch zu senken. Dabei sind zwei Haupteinflussfaktoren zu unterscheiden. Einen großen Einfluss auf den Verbrauch von Kraftfahrzeugen hat die Fahrzeugmasse, die außer dem



**Abb. 2.3** Mobilitätsverhalten unterschiedlicher Altersgruppen. (Institut für Mobilitätsforschung (ifmo) 2011)

Luftwiderstand sämtliche anderen Fahrwiderstände wie Roll-, Beschleunigungs- und Steigungswiderstand dominiert (Schramm et al. 2013). Allerdings haben sich die Massen der Kraftfahrzeuge teilweise deutlich erhöht. Dies ist auf die erheblich erweiterte Ausstattung von Fahrzeugen mit Sicherheits- und Komforttechnik zurückzuführen. Eine Auswertung der in Deutschland zwischen 1980 und 2012 angebotenen Fahrzeuge in Basisausstattung ergibt eine Zunahme der Leermasse zwischen 25 und 50 %, Abb. 2.5. Hier wurden die Leermassen der in Deutschland im jeweiligen Jahr am Markt angebotenen Personenkraftwagen in ihrer jeweiligen Grundausstattung erfasst und alle fünf Jahre die Mittelwerte berechnet. Die durchgezogenen Ausgleichsgeraden illustrieren den Verlauf im Zeitraum 1985–2012.

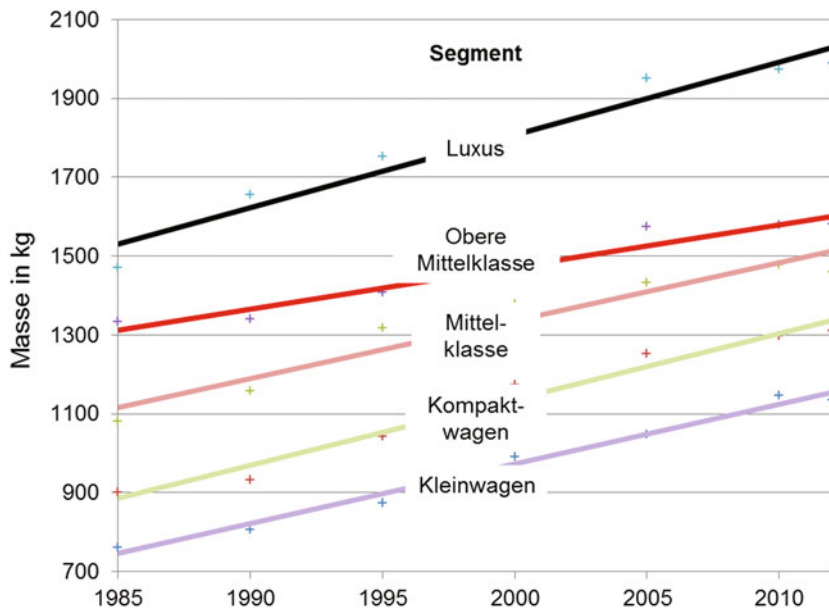
Der Einfluss der Fahrzeugmasse ist dabei beträchtlich. Eine Steigerung der Fahrzeugmasse um 100 kg führt z. B. für Fahrzeuge mit Dieselantrieb zu einer Verbrauchssteigerung um 0,5 l/100 km, Abb. 2.6. Bei dieser Analyse wurden die Daten von im Jahr 2010 in Deutschland am Markt angebotenen Fahrzeugen in ihrer jeweiligen Grundausstattung ausgewertet.



**Abb. 2.4** Entwicklung der Rohöl- und Kraftstoffpreise 1950–2010. (Datenquelle: BP, FRED)

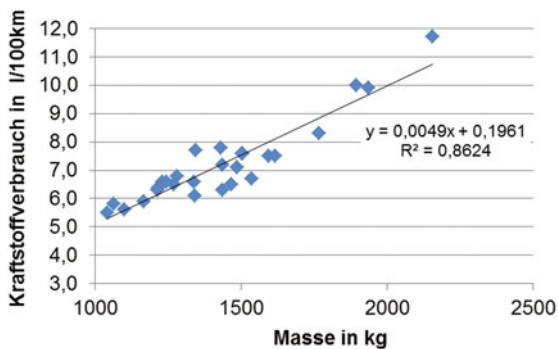
Erst bei der aktuellen Fahrzeuggeneration, wie z. B. dem Golf VII und dem 1er BMW sind wieder Reduzierungen bei den Fahrzeugmassen zu verzeichnen. Hierzu trugen neben Einsparungen im Fahrwerk überwiegend Massereduzierungen im Bereich der Karosserie durch den Einsatz neuer Materialien aber insbesondere auch durch den Einsatz neuer Leichtbaukonzepte mit Stahl bei (Patberg et al. 2013). Ebenso ist auch der verstärkte Einsatz innovativer Kunststoffe zu erwarten (Wortberg et al. 2013). In der Zukunft sind möglicherweise weitere Einsparungen dadurch zu erwarten, dass gewichtsintensive Ausstattung mit passiven Sicherheitssystemen zumindest teilweise substituiert werden kann durch neuartige aktive Sicherheitssysteme (Grösch 2013).

Während des gleichen Zeitraums 1985–2012 sanken jedoch die Verbräuche im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) um ca. 30 % (s. Abb. 2.7). Hier wurden analog zur Beschreibung der Entwicklung der Leermassen von Personenkraftfahrzeugen die Verbrauchsdaten im NEFZ gemittelt und der Verlauf durch Ausgleichsgeraden illustriert.

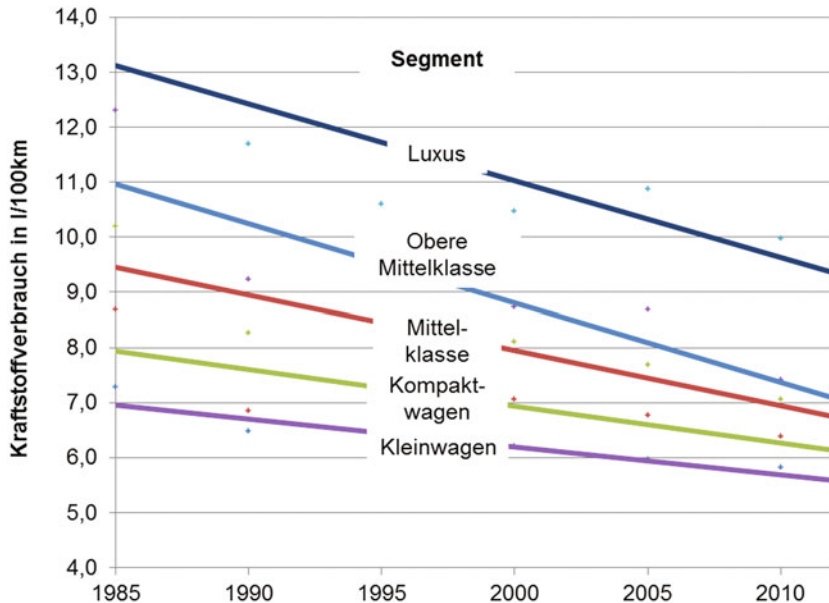


**Abb. 2.5** Entwicklung der Fahrzeugmassen 1985–2012

**Abb. 2.6** Zunahme des NEFZ-Verbrauchs mit der Masse. (2010)



Diese deutliche und stetige Abnahme der Verbrauchsdaten im Vergleichszyklus war im Wesentlichen auf Maßnahmen im Bereich des Antriebsstrangs zurückzuführen. Aber auch aktuelle Effizienzverbesserungen bei Nebenaggregaten tragen erheblich zu dieser positiven Entwicklung bei (Lunkeit 2013; Hesse et al. 2012).

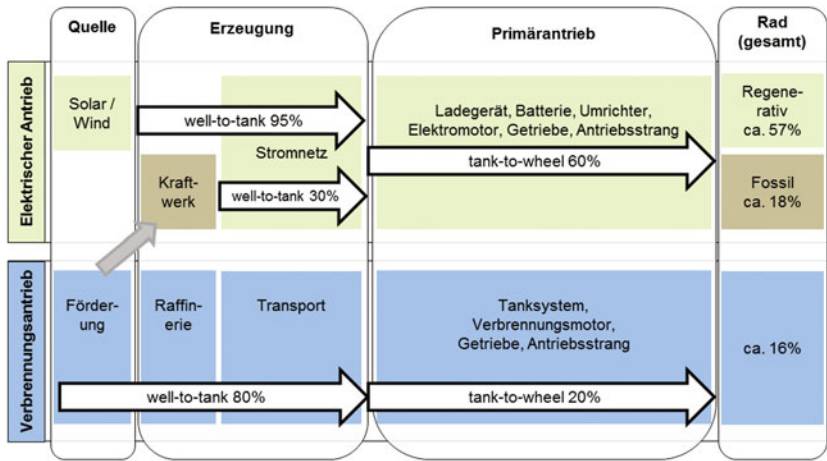


**Abb. 2.7** Entwicklung der NEFZ-Verbräuche 1985–2012

### 2.1.3 Effizienz von Elektroantrieben

Ein Vergleich der jeweiligen Wirkungsgradketten zeigt auf den ersten Blick deutliche Vorteile elektromotorischer gegenüber verbrennungsmotorischen Antriebskonzepten. Das tatsächliche Ausmaß dieser Unterschiede hängt jedoch maßgeblich von der Art der Gewinnung der elektrischen Energie ab. Bei einer detaillierten Betrachtung muss grundsätzlich zwischen der Wirkungskette „well-to-tank“, also „vom Bohrloch zum Energiespeicher“ und „tank-to-wheel“, also vom „Tank zum Rad“ unterschieden werden.

Bei der Wirkungsgradkette „well-to-tank“ ergibt sich für den verbrennungsmotorischen Antrieb ein Wirkungsgrad von etwa 80 % (s. Abb. 2.8). Dabei sind bereits die künftig weiter steigenden Verluste bei der Förderung bzw. Gewinnung des Rohöls sowie weitere bei Transport und Lagerung anfallende Verluste berücksichtigt. Im Gegensatz dazu verbleibt bei einem elektromotorischen Antrieb ein Wirkungsgrad von 30 % wenn der Strom aus fossilen Energien über Kraftwerke erzeugt wird und ein Wirkungsgrad von 95 Prozent, wenn die Erzeugung regenerativ erfolgt. Dabei ist allerdings in allen Fällen der Aufwand für den Bau der erzeugenden Anlagen (z. B. Solarpanel) nicht berücksichtigt.



**Abb. 2.8** Well-to-Wheel-Wirkungsgradkette. (Schramm et al. 2011)

Bei der Wirkungsgradkette von den im Fahrzeug gespeicherten Energieträgern bis zum angetriebenen Rad (tank-to-wheel) ergibt sich ein völlig anderes Bild. Während ein Verbrennungsmotor mit nachgeschaltetem Antriebsstrang und Nebenaggregaten auf einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20 % kommt, erreicht ein elektrischer Antriebsstrang aufgrund des überlegenen Wirkungsgrades der Schlüsselkomponente Elektromotor einen Wirkungsgrad von 60 Prozent.

Zusammengefasst ergibt sich bei dieser überschlägigen Betrachtung für einen verbrennungsmotorischen Antrieb ein maximaler Wirkungsgrad von 16 Prozent, der sich durch Optimierungsmaßnahmen am Verbrennungsmotor nach heutigem Wissenstand noch auf etwa 20 % steigern lässt. Der Steigerung des Wirkungsgrads des Verbrennungsmotors sind jedoch unüberwindliche physikalische Grenzen gesetzt. Dies bedeutet, dass optimistisch gesehen selbst bei einem hochoptimierten verbrennungsmotorischen Antrieb lediglich ungefähr 20 % der im Rohstoff Öl enthaltenen Energie in eine Bewegung des Fahrzeugs umgesetzt werden können.

Für einen elektromotorischen Antriebsstrang ergibt sich ein Wirkungsgrad von etwa 57 % bei regenerativer Erzeugung und ungefähr 18 % bei Stromerzeugung über Kraftwerke, wenn der heutige EU-Strommix zugrunde gelegt wird. Auch dieser Wert verschlechtert sich im direkten Vergleich mit einem verbrennungsmotorischen Antrieb noch einmal, wenn berücksichtigt wird, dass zumindest ein Teil der beim Verbrennungsmotor zunächst ungenutzt abgegebenen Wärme für die Fahrzeugheizung verwendet wird, während bei einem reinen Elektrofahrzeug zusätzliche Energie für eine Zusatzheizung bereit gestellt werden muss.



Da derzeit große Anstrengungen unternommen werden, Strom regenerativ zu erzeugen, darf aber zumindest mittel- und langfristig von deutlich besseren Werten ausgegangen werden. Damit ergibt sich ein sehr deutlicher Vorteil für den elektromotorischen Antrieb.

### **2.1.4 Demographische Entwicklung**

Neben der Entwicklung der Kaufkraft in den einzelnen Regionen spielt auch die Entwicklung der Altersstrukturen eine wesentliche Rolle, insbesondere bei der Ausstattung zukünftiger Fahrzeuggenerationen.

Abbildung 2.2 zeigt eine stark unterschiedliche Zunahme der Bevölkerungszahlen in allen Weltregionen.

Allerdings entwickelt sich die altersmäßige Zusammensetzung der Bevölkerung, außer in Afrika, sehr deutlich in Richtung einer Zunahme der Bevölkerung mit einem Alter über 65 Jahren. Diese bedeutet, dass die Fahrzeughersteller in den meisten Weltregionen versuchen werden, die Ausstattung der Fahrzeuge an ältere Fahrer und Passagiere anzupassen. Dies wird die Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen in allen Fahrzeugklassen sehr stark befördern.

---

## **2.2 Produktzyklus in der Automobilindustrie**

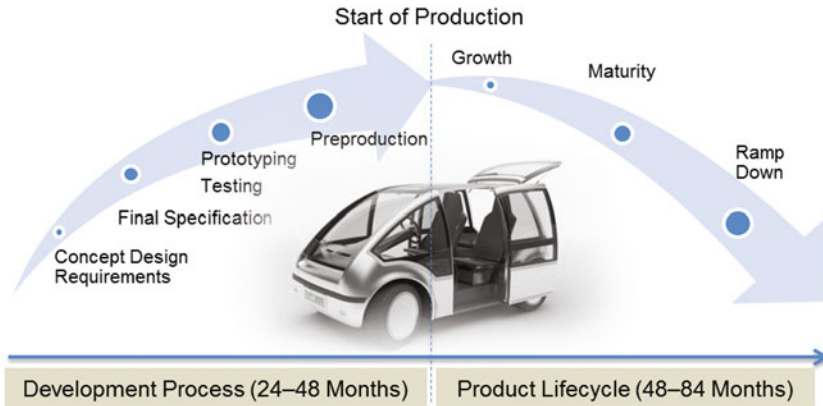
Der Zeitraum der Vermarktung einer neuen Fahrzeuggeneration erstreckt sich typischerweise über ca. 4–7 Jahre je nach Modell und Hersteller. Dies bedeutet, dass bis zum Jahr 2025 in der Regel höchstens zwei neue Modellgenerationen den Markt erreichen werden, Abb. 2.9.

Allerdings haben sich die Entwicklungszyklen während der letzten 30 Jahre trotz der gleichzeitigen Zunahme der Typenvielfalt dramatisch verkürzt, wie das Beispiel des VW Golf nachdrücklich vor Augen führt. Während beim Golf I noch ein Vermarktungszeitraum von 10 Jahren (1974–1983) genutzt wurde, hat sich diese Zeitspanne bei der sechsten Generation auf 5 Jahre (2008–2012) verkürzt.

---

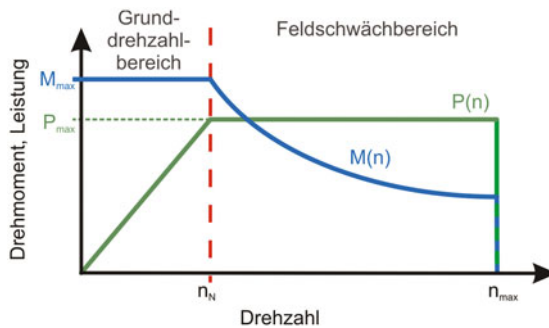
## **2.3 Technische Grundlagen/Eigenschaften**

Im folgenden Abschnitt wird auf die grundlegenden Eigenschaften und Besonderheiten der Komponenten von elektrischen Fahrzeugantrieben eingegangen. Insbesondere die Schlüsselkomponenten elektrischer Antrieb und Batteriesystem werden näher vorgestellt.



**Abb. 2.9** Produktionszyklus in der Automobilindustrie

**Abb. 2.10** Kennfeld eines geregelten elektrischen Antriebs



### 2.3.1 Elektrische Antriebe

Elektrische Antriebe werden bereits seit mehr als 100 Jahren in verschiedensten Bereichen eingesetzt und weiterentwickelt. Auch die Anwendung in Kraftfahrzeugen ist im Laufe des 20. Jahrhunderts mehrmals angedacht und prototypisch bzw. in einer Kleinserie umgesetzt worden.

In heutigen Fahrzeugen werden nahezu ausschließlich Drehstromantriebe verwendet. Insbesondere Asynchron- und permanent-erregte Synchronantriebe sind derzeit die am häufigsten verwendeten Maschinentypen.

Durch den Einsatz moderner Leistungselektronik resultiert für die Anwendung im Kfz – unabhängig vom eingesetzten Maschinentyp – in erster Näherung ein Kennfeld nach Abb. 2.10.

Das Automobil im Jahr 2025

Vielfalt der Antriebstechnik

Schramm, D.; Koppers, M.

2014, VIII, 40 S. 24 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-04184-7