

4 Elektrische Energiespeicher

Elektrizität ist eine der edelsten aller Energieformen, da sie beliebig umgewandelt und eingesetzt werden kann. Elektrischer Strom durchdringt alle Bereiche einer modernen Industriegesellschaft, denn er macht die gesamte Automatisierungstechnik, Kommunikationstechnik, Medizintechnik und den Mobilitätssektor auf hohem Niveau überhaupt erst möglich. Es gibt im modernen Alltag praktisch kein technisches Erzeugnis, das nicht irgendwie von elektrischer Energie abhängig ist. Beim Betrieb eines Geräts, einer Anlage oder eines Fahrzeugs am öffentlichen Netz lassen sich all die positiven Eigenschaften und Möglichkeiten der elektrischen Energie vorteilhaft und uneingeschränkt ausnutzen.

Bei mobilen Anwendungen hingegen treten gewisse Einschränkungen auf, da man elektrische Energie nur sehr schlecht speichern kann. Dieser Mobilitätsnachteil elektrischer Energiespeicherung war denn auch der Hauptgrund dafür, dass das Verbrennungsauto ungefährdet seinen Siegeszug durch das 20. Jahrhundert antreten konnte. Im Bereich der schienengebundenen Elektrotraktion hingegen war und ist der Verbrennungsmotor als Antriebssystem chancenlos, da der elektrische Strom über den Fahrdraht praktisch unbegrenzt zur Verfügung steht und dadurch die antriebstechnischen Eigenschaften und Vorteile der Elektrosysteme voll zum Tragen kommen können.

Ein ähnlicher Effekt der Verdrängung wird sich bei elektrischen Straßenfahrzeugen in absehbarer Zukunft auch einstellen, nämlich dann, wenn genügend elektrische Energie auf den Fahrzeugen zur Verfügung steht und die Anschaffungskosten der Elektromobile mit denen der Verbrennungsfahrzeuge gleichziehen. Erste Ansätze sind bei den sogenannten Hybridfahrzeugen bereits zu erkennen und werden sich mittels der Brennstoffzellentechnik auf Wasserstoffbasis weiter verstärken.

4.1 Öffentliches Netz

Elektrische Energie wird in Kraftwerken rund um die Uhr bedarfsabhängig erzeugt und über Hochspannungsleitungen und Transformatoren an die Endverbraucher verteilt. Auf der Primärseite kommen in erster Linie fossile Energieträger wie Öl, Kohle und Gas, zum Einsatz. Diese wurden von der Natur durch Verschüttung von Pflanzen und Bäumen unter hohem Druck in einem Zeitraum von 30 Millionen Jahren gebildet. Dies macht deutlich, dass diese endlichen Vorräte im Schoß

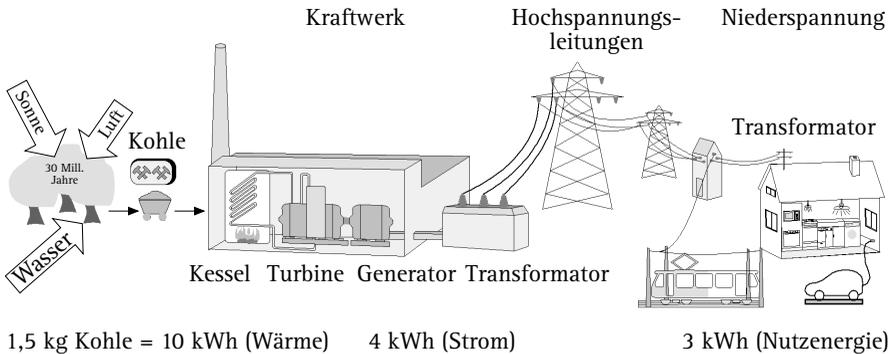


Bild 4.1 Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie

der Erde nicht wieder erneuert werden können. Aus dem langen Entstehungsprozess von Jahrtausenden und der extrem kurzen Ausbeutungsphase von zweihundert Jahren resultiert die enorme Umweltbelastung und Umweltverschmutzung.

Bei der Verbrennung der fossilen Energieträger in großen Kesseln entsteht Wärme, die Wasser zum Verdampfen bringt, damit eine Dampfturbine angetrieben werden kann. Bei dieser Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie wird physikalisch ein sogenannter Carnot-Kreisprozess durchlaufen, bei dem mindestens die Hälfte der Primärenergie als Wärme verloren geht. Auch der von der Turbine angetriebene Elektrogenerator hat gewisse Verluste, sodass aus 10 kWh Wärmeenergie lediglich 4 kWh Elektroenergie übrig bleiben (Bild 4.1), der Rest muss als Abwärme in die Flüsse oder über Kühltürme an die Luft abgeführt werden.

Im Falle von sogenannten Blockheizkraftwerken wird die Abwärme nicht an die Umgebung, sondern an in der Nähe liegende Endverbraucher zur Heizung von Häusern, Schwimmbädern und Fabrikationsanlagen weitergegeben. Der Gesamtwirkungsgrad solcher kleinerer Kraftwerke kann mit dieser Option auf bis zu 70 % gesteigert werden.

Die Speicherung elektrischer Energie auf Elektrofahrzeugen beruht auf elektrochemischen oder elektrolytischen Vorgängen, weshalb als elektrische Betriebsgrößen nur Gleichspannungen und Gleichströme zur Verfügung stehen. Geht man davon aus, dass die gespeicherte elektrische Energie aus Gas-, Öl- oder Kohlekraftwerken kommt, so ist die Schadstoffemission von Kohlendioxid (CO_2) etwas geringer und von Kohlenmonoxid (CO), Stickoxiden (NO_x), Kohlenwasserstoffen (HC), Schwefeldioxid (SO_2) und Staubpartikeln infolge der besseren Filtertechnik und intensiveren Abgasreinigung deutlich geringer als bei Benzin- und Dieselmotoren. Im Falle von Atomkraftwerken sowie Wasser- und Solarkraftwerken treten keine

Schadstoffemissionen auf, wobei letztere in jeder Beziehung umweltneutral sind, da sie regenerative Energieträger benutzen.

Betrachtet man die Schadstoffbelastung in den Städten und Ausfallstraßen, so ist eine Nullemission vor Ort nur mit Elektrofahrzeugen möglich. Dieser Vorteil wird bei der Güter- und Personenbeförderung in geschlossenen Räumen schon sehr lange ausgenutzt. Da elektrische Energiespeicher aggressive Stoffe enthalten, müssen sie gut geschützt in Straßenfahrzeugen eingebaut werden. Durch ihr hohes Gewicht sollten sie möglichst in das Fahrgestell integriert werden, damit der Schwerpunkt tief liegt und sich eine gute Straßenlage ergibt. Um die Verluste zwischen Energiespeicher und Elektromotor gering zu halten, sollte die elektrische Spannung möglichst hoch gewählt werden (200 V... 400 V), damit die elektrischen Ströme auch bei mittleren Leistungen unter 100 A bleiben.

4.2 Mechanische Energiespeicher

Die Speicherung von potenzieller oder kinetischer Energie in mechanische Energiespeicher, wie Federspeicher, ist massebehaftet und wegen der geringen Stellgeschwindigkeiten mit einer sehr schlechten Energiedichte von 0,01 Wh/kg und weniger verbunden. Ausnahmen bilden Schwungradspeicher, welche die quadratische Abhängigkeit der Rotationsenergie von der Drehzahl ausnutzen und bei Höchst Drehzahlen von $100\,000\text{ min}^{-1}$ akzeptable Energiedichten bei relativ kleinen Massen erreichen können. Aufgrund des enormen Drehimpulses müssen aber immer zwei entgegengesetzt rotierende Massenspeicher eingesetzt werden, damit das Fahrzeug noch gesteuert werden kann. Aufgrund der großen Zentrifugalkräfte und der damit verbundenen Gefahren sind Schwungradspeicher in der Praxis nie über das Versuchsstadium hinausgekommen.

Auch die Energiespeicherung in Form von hoch komprimierter Luft in einer Pressluftflasche ist nur mit sehr geringen Energiedichten möglich, die noch weit unter den ohnehin schon schlechten Werten von Batteriesystemen liegen. In der Regel wird die Federkraft, die Schwungkraft oder der Luftdruck mithilfe von elektrischen Antrieben aufgetankt. Selbstverständlich muss die mechanisch gespeicherte Energie vor ihrer Verwendung auf den Elektrofahrzeugen dann wieder mit einem Generator in elektrische Energie umgewandelt werden.

Bild 4.2 verdeutlicht die geringe Reichweite der mechanischen Energiespeicher im Verhältnis zu anderen Speichervarianten. Als Vergleichsgrundlage dient ein voll besetzter Personenkraftwagen der Kompaktklasse, mit einem sehr niedrigen Energiebedarf von $B_E = 200\text{ Wh/km}$. Wird dieses Vergleichsfahrzeug mit einem etwa 320 kg schweren Energiespeicher ausgerüstet, so gibt die dargestellte Reichweite Aufschluss über die Leistungsfähigkeit des gewählten Speichers. Als Richtschnur

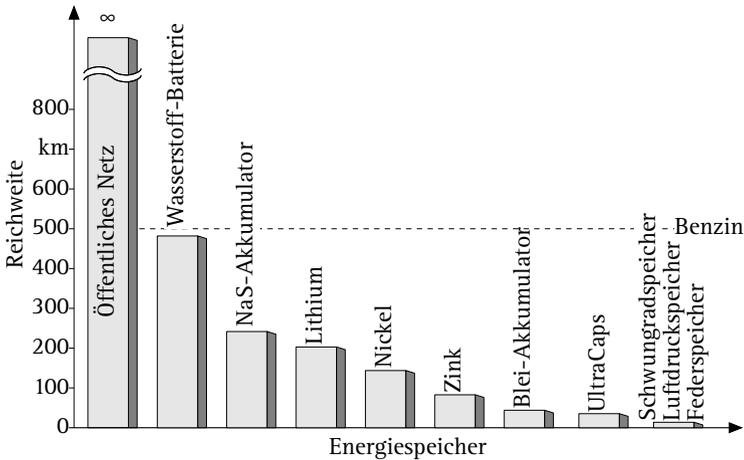


Bild 4.2 Reichweite unterschiedlicher Energiespeicher

für die Reichweite eines Straßenfahrzeugs ist der übliche Aktionsradius (500 km) eines voll betankten Benzinautos mit aufgetragen.

Der maximal erreichbare Aktionsweg (s) eines Elektrofahrzeugs kann aus der Masse des Energiespeichers (m_{Batt}) und der Energiedichte (D_E) des verwendeten Traktionsspeichers sowie dem Energiebedarf (B_E) des Fahrzeugs berechnet werden:

$$s = m_{\text{Batt}} \frac{D_E}{B_E} \quad \text{Aktionsradius.} \quad (4.1)$$

Wie Bild 4.2 anschaulich zeigt, sind mechanische Speichersysteme, wie Federspeicher, langsam laufende Schwungradspeicher oder Luftdruckspeicher, mit einer Masse von ungefähr 320 kg allenfalls in der Lage, das Vergleichsfahrzeug wenige Kilometer weit zu bewegen.

Die höchste Energiedichte unter den elektrischen Energiespeichern weist eindeutig die Benutzung des öffentlichen Netzes auf. Das liegt daran, dass man mit der geringen Masse einer Steckverbindung oder eines Fahrdrachts auf die unbegrenzten Energiemengen des Verbundnetzes der Kraftwerke zugreifen kann, ohne dass die Elektrofahrzeuge selbst durch die enormen Kraftwerksmassen belastet werden.