

CAD-SCHNITTMODELL (REDUZIERT) EINES RADNABENDIREKTANTRIEBS DES AUTORS

Elektrotraktion - viele Konzepte, ein Ziel

Hans-Jürgen Esch

Technologieträger der Autohersteller wie neue Elektrofahrzeuge benötigen Elektromotoren mit angepassten Eigenschaften. So unterschiedlich wie die elektrisch unterstützten oder angetriebenen Fahrzeuge, sind auch die Anforderungen an diese Maschinen und deren Einbindung in den Antriebsstrang. Das Wirkprinzip vereint alle Elektromotoren, ob Kollektormotor älterer Elektroautos oder heute bevorzugte Drehstrommotoren: Kraft resultiert aus aufeinander wirkenden Magnetfeldern (Lorentzkraft), wobei ein Magnetfeld sich verändern muss, damit aus Kraftwirkung Bewegung wird. Fließt Strom durch eine Spule, entsteht ein Magnetfeld, ändert sich die Stromrichtung, im einfachsten Fall via Kollektor, verändert auch dieses Magnetfeld die Polarität. Die Magnetfeldwirkungen zwischen stehenden und rotierenden Motorteilen erzeugen die Drehung. Was sich dreht, heißt Rotor,

der feststehende Teil Stator. Eigentlich sind Elektromotoren, korrekter elektrische Maschinen (das elektrodynamische Prinzip ist umkehrbar, Generator) leicht zu verstehen! Das Prinzip wird bei allen Elektromotoren nur variiert. Die statischen Magnetfelder stammen von Dauer- oder Elektromagneten, es gibt etliche Möglichkeiten für Anzahl, Anordnung und Konstruktion der drehfelderzeugenden Elektromagnete und die Ausführung der Motormechanik. So entstand eine Vielfalt an Elektromotoren, permanent- oder fremderregt, für Gleich-, Wechsel- und Drehstrom, kollektorkommutiert, elektronisch kommutiert, synchron, asynchron, als Innenläufer, Außenläufer, Scheibenläufer.. Jede Maschine hat ihre Charakteristik, spezifische Stärken und Schwächen und bevorzugten Einsatzgebiete. Besonders Drehstromantriebe lassen sich in Kombination mit digitaler Steuerelektronik als System für den Fahrbetrieb optimieren.

Worin liegen jedoch die Vorteile elektrischer Antriebe? Zunächst und für jeden »erfahrbar« ist die spontane und leise Leistungsentfaltung, die Spaß macht. Ein gewichtiges Argument, Städte würden leiser, die Fahrfreude gesteigert. Der Elektroantrieb kann aber mehr. Die eingesetzte Energie wird mit wesentlich höherem Wirkungsgrad in Antriebsleistung umgesetzt. Der vergrößerte Arbeitsbereich erübrigt ein schaltbares Getriebe (Abb.1). Der Elektromotor läuft nur während der Fahrt und kann beim Bremsen Energie rückgewinnen (Rekuperation). Er benötigt keine Warmlaufphase; Kurzsteckenbetrieb mit kaltem Verbrennungsmotor hat Folgen für Geldbeutel (Verschleiß, Mehrverbrauch) und Umwelt (erhöhter Schadstoffausstoß). Der Antriebsstrang lässt sich entrümpeln. Statt Verbrennungsmotor samt Nebenaggregaten, Kupplung, Getriebe, Differential und Gelenkwellen bleiben bestenfalls in die Räder integrierte Elektromotoren übrig. Das ergibt mehr Raum für Passagiere und Gepäck sowie ungeahnte Designfreiheiten, weit entfernt von klassischen Karossen, die auch heute noch um den Antriebsstrang herum gebaut werden.

Wir wollen hier nicht auf die oft recht komplexen Hybridantriebe mit nur unterstützendem Elektromotor eingehen, sondern uns ansehen, welche Konstruktionen für reine Elektrotraktion sinnvoll sind. Betrachten wir eine Umrüstung bestehender fossiler Fahrzeuge, so bietet sich die Substitution des Verbrennungsmotors durch einen einzigen Elektromotor an. Der Antriebsstrang bleibt unverändert. Die Fahrzeuge erhalten ein zweites, sauberes Leben. Natürlich erschließen sich so nicht alle Vorzüge des Elektroantriebs. Energetisch sind Umrüstungen unattraktiv, da klassische Autos nun einmal schwer und damit energiehungrig sind. Der Autoindustrie scheint das egal zu sein: sie sieht das Elektroauto noch, von Showcars abgesehen, als umgerüsteten Kleinwagen. Neukonstruktionen setzen trotzdem häufig auf einen zentralen Elektromotor mit fester Getriebeübersetzung (z.B. Tesla Roadster). Kupplung und Schaltgetriebe entfallen, Differential und Gelenkwellen bleiben. Eine Rechtfertigung für dieses Layout liegt im Einsatz preiswerter und trotzdem leistungsfähiger Motoren und geringer Kosten für die Steuerung. Einen Schritt weiter gehen Konzepte, die eine Achse mittels radnaher Elektromotoren antreiben. Beide Motoren nehmen zusammen mit Leistungsanpassungsgetrieben als kompakte Einheit die Position des Differentialgetriebes ein, dessen Funktion nun die Elektronik übernimmt. Neue Features, die Fahrsicherheit und Dynamik verbessern, werden durch gesteuerte Momentverteilung (Torque-Vectoring) möglich. Der Fahrzeugschwerpunkt wird abgesenkt, die dynamische Masse verringert. Nächster Schritt wäre die Verlagerung der Motoren direkt in die Räder. Logisch, näher betrachtet jedoch komplex. Warum? Auf die Räder wirken höchste mechanische Kräfte, sie kommen direkt mit Straßenschmutz in Berührung und sollten wegen der Fahrdynamik leicht sein. Zudem ist der Bauraum knapp, eine Wärmeabfuhr nötig (auch Elektromotoren produzieren Verlustwärme) und

energiereiche Störpulse bedürfen sorgfältiger Schirmung. Trotzdem gehört Radnabenantrieben sicher die Zukunft, und eigentlich sind sie nicht einmal neu: 1900 fuhr der Lohner-Porsche schon damit. Eine Herausforderung bei Radnabenantrieben sind die geringen Raddrehzahlen. Unterstellen wir gewöhnliche PKW-Reifen, so reicht bis 100 km/h der Drehzahlbereich bis etwa 1.000 1/min. Für die meisten Elektromotoren viel zu niedrig! Eine Lösung: hochdrehender Motor plus einstufiges Getriebe. Die anspruchsvollere Lösung: Radnabendirektantrieb mit einem speziell ausgelegten, langsam und kraftvoll drehenden Motor. Gegenüber einfachen Motoren fällt konstruktiv einiges anders aus: höhere Polanzahl, anderes Verhältnis von Dauermagnet- zu Elektromagnetpolen (Drehfelduntersetzung), größere Luftspaltfläche zwischen diesen Polen (mehr Drehmoment), Statorgeometrie, Wicklungsschema und Mechanik. Verlagert man den Rotor nach außen und führt Rad- und Motorlagerung zusammen, entsteht ein drehmomentstarker und robuster Direktantrieb. Die Abbildung zeigt einen Radnabendirektantrieb* als Drehstrom-Synchromaschine in Außenläuferbauweise. Statorwicklungen und Magnetstäbe im Rotor zeigen den hochpoligen Aufbau. Statische und dynamische Kräfte nimmt das Rotorgehäuse auf und verteilt sie auf zwei Kugellager. Diese Konstruktion, kombiniert mit Leichtbaustrategien, führt zu einem hochdynamischen Radantrieb für Elektro-Leichtfahrzeuge. Der abgebildete Motor leistet max. 5 kW bei nur etwa 3 kg Mehrgewicht pro Rad. Flüssigkeitsgekühlte Varianten bis ca. 15 kW bringen etwa 5 kg zusätzliches Gewicht.

* Konstruktion des Autors

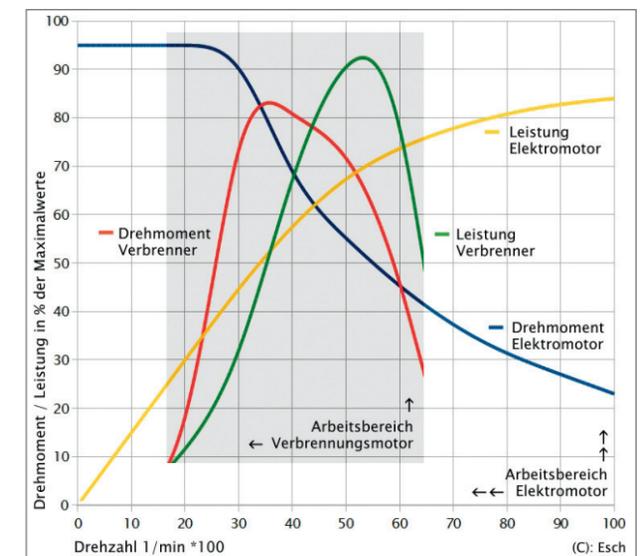


ABB.1.

Hans-Jürgen Esch
selbständiger Erfinder, Entwickler, Konstrukteur,
Inhaber der Esch Projekt Systementwicklung,
Geschäftsführender Gesellschafter ELAN Technologie GmbH
office@esch-pro.com