

Ein Fachbeitrag – Eigenschaften der verschiedenen Antriebe / Motoren für Fahrzeuge

geschrieben von Andreas Demmig | 3. September 2021

Hier ein Fachaufsatz, über die verschiedenen Antriebe für Fahrzeuge, deren Eigenschaften und Historie

Des Öfteren staunen Laien, über die guten Anzugskräfte von Elektroautos. Sind den Elektromotoren nun immer stärker als die bekannten Diesel- oder Benzinmotoren?

Zusammenfassung

Ja und nein – Denn ein wesentlicher Unterschied, ist der (relativ) ruhige Anzug eines Autos mit Elektromotor, im Gegensatz zum „aufbrüllen“ eines großvolumigen Benzinmotors.

Aber – kein Vorteil ohne Nachteil: Da noch keiner eine Atombatterie erfunden hat, braucht man entweder Batterien (also Akkumulatoren) mit möglichst großer Kapazität oder eine ganz lange Anschluss-Schnur (letzteres ist als Scherz gemeint), Oberleitung oder dritte Schiene wie bei den elektrischen Bahnen. Daher, die Energieversorgung ist hier der Knackpunkt!

Während der Elektroantrieb bei Schienenfahrzeugen nicht in der Diskussion steht, probiert man immer mal wieder Dieselantriebe für nicht elektrifizierte Nebenbahnstrecken durch Batterie oder gar Brennstoffzellen gespeiste Elektroantriebe zu ersetzen.

Die große Politik versucht auch im Privatbereich die batteriebetriebenen Elektroautos gegen jedes Gegenargument zu bevorzugen. Doch bereits 1888 konnte man nutzbare Autos mit Batterieantrieb kaufen. Es ist also ein ziemlich alter Hut. Der große Boom ging dann wohl auch nur bis 1911. Mit der Verbesserung der Verbrennungsmotoren und der Erfindung des elektrischen Anlassers, wurden die Autos immer einfacher in der Handhabung, der Aufbau von Tankstellen und mit ihnen die simple Betankung in kürzester Zeit und die große Reichweite waren sehr attraktiv. Mit Beginn der industriellen Serienfertigung brachte die Mobilität für viele Menschen individuelle Freiheiten und Chancen auch für die Nutzung von entfernteren Arbeitsplätzen.

Ende der Zusammenfassung

von Andreas Demmig

Beim Niederschreiben der Gedanken zu diesem Thema, habe ich vor allem immer wieder viel gelöscht. Es soll kein Fachbuch für mehrere Semester Studium werden.

Wer jedoch zum Einstieg gerne mehr wissen will – das Nachfolgende gibt einen groben Überblick.

Historie

Als wirtschaftliche und jederzeit betriebsbereite Antriebsquelle gab es ab dem Beginn des 19ten Jahrhundert die Dampfmaschine, die dann auch auf bzw. als Lokomotive breite Verwendung fand. Der mitgenommene Energievorrat reichte bis zu 700km [BR 41 Mehrzwecklokomotive]. Anfangs wurde Holz, wenn möglich Steinkohle und später sogar Heizöl verwendet.

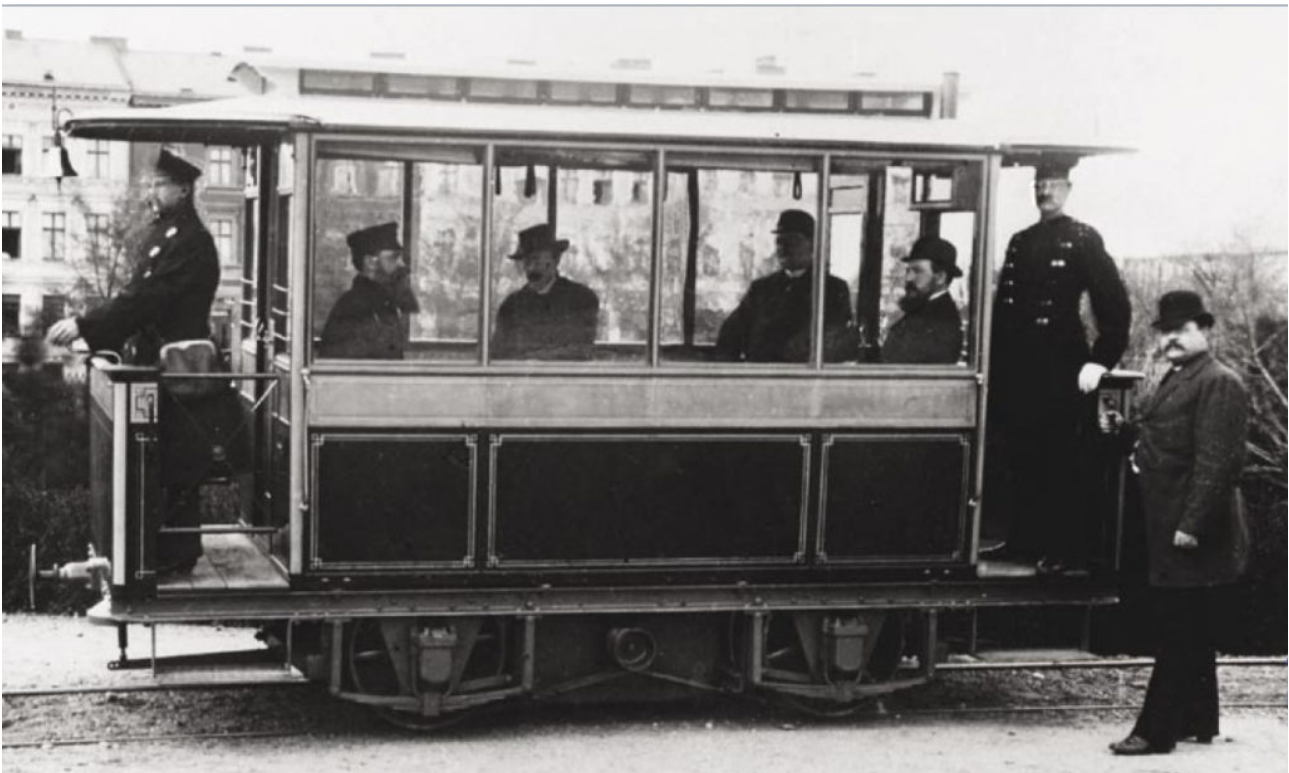
Die erste Bahn mit Elektroantrieb in Deutschland wurde von Werner Siemens [Adelung „von“ 1888 durch Kaiser Friedrich III] auf der Gewerbeausstellung 1879 den staunenden Besuchern vorgeführt – *„Wo ist denn das Pferd?“*



Siemens Archiv – Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25073177>

Die erste elektrische Straßenbahn wurde dann in Berlin 1881 von Siemens in Betrieb genommen. Stromzuführung über die beiden Schienen [Sie kennen

es z.B. von den Modellbahnen], 400 VDC. Die notwendige technische Weiterentwicklung brachte dann die ungefährlichere Stromzuführung über Oberleitung und dritte Schienen (U-Bahn).



Siemens Archiv, Erste elektrische Straßenbahn in Berlin – Lichterfelde 1881

Siemens war sehr rührig und stellte 1882 den ersten Oberleitungs-Bus vor, ebenfalls in Berlin.

Akkumulator Triebwagen

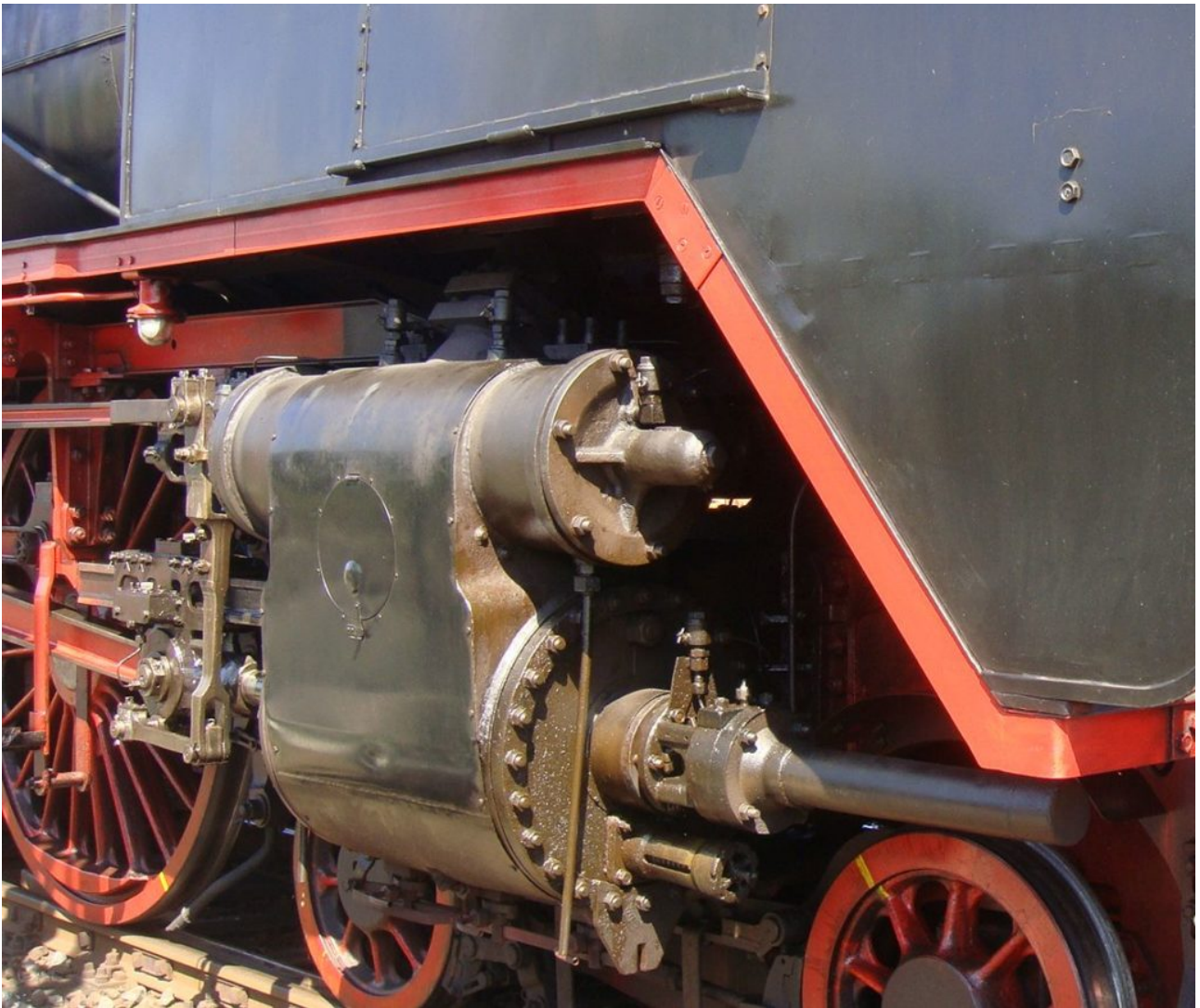
Probeeinsätze gab es bereits ab 1895 für den Betrieb auf Nebenstrecken. Heutzutage gibt es für den Betrieb auf nicht elektrifizierten Strecken ebenfalls wieder Neu-Bestellungen.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Akkumulatortriebwagen>

Einschub: Im Allgemeinen sind wir es gewöhnt, die Leistung einer elektrischen Maschine in kW und bei einem Verbrennungsmotor in PS anzugeben (auch wenn die Normung uns seit 1978 auch dafür kW vorschreibt). Was wir aber brauchen, ist das Antriebsmoment, bei einem Motor mit Welle auch Drehmoment genannt.

Dampflokomotive

Mittels eines Brennstoffes wird Wasser in einem Druckkessel erhitzt, der entstehende heiße Dampf drückt auf den Kolben. Die Idee, mit Dampf eine Maschine anzutreiben, gab es bereits im 17. Jahrhundert. Verschiedene schlaue Erfinder haben das dann verfeinert, es stand der Wunsch im Vordergrund, eine vom Wetter unabhängige und zuverlässige Antriebsquelle für Maschinen und Werkzeuge zu haben.



Demmig_Dampflok BR01_Zylinder

Dieser Zylinder treibt über eine Kolbenstange das Rad wie an einer Kurbel an. Die anderen Räder sind über Kuppelstangen verbunden. Der Raddurchmesser zeigt, dies ist eine Schnellzuglokomotive.

Eigenschaften: Hohes Drehmoment bereits im Stillstand, die maximale Drehzahl ist eher begrenzt. Zum endgültigen Erfolg verhalfen der Lokomotive die Brüder STEPHENSON

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/dampfmaschine#>

<https://www.wissen.de/wortherkunft/lokomotive>

Die noch vorhandene Rest-Wärme des „verbrauchten“ Dampfes kann für die Heizung genutzt werden.

Kolbenmotor

Entzündlicher Brennstoff (Benzin, Gas oder Diesel) wird mit der richtigen Luftmenge vom Kolben angesaugt und vermischt (Varianten: Turbo – Unterstützung, Einspritzung), die Zündung wird last- und drehzahlabhängig verstellt, die entstehenden Verbrennungsgase drücken auf den Kolben. Über eine Kurbelwelle wird das wie vorstehend in eine Drehbewegung umgesetzt.

Kein Antriebsmoment im / ab Stillstand – da der Kolben (die Kurbelwelle) bewegt werden muss, damit der Energierohstoff überhaupt in den Verbrennungsraum gesaugt wird. Um überhaupt ein Drehmoment abgeben zu können, benötigt der Kolbenmotor eine gewisse Mindestdrehzahl. Die Füllung (der Energieinhalt) verändert sich mit der Drehzahl, damit auch die Drehmomentkurve. Getriebe sind notwendig, um das am Rad anliegende Moment an die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Steigungen anpassen zu können. Eigentlich viele Einschränkungen, jedoch muss es wesentliche positive Merkmale geben, warum diese Fahrzeugantriebe weltweite Verbreitung haben. Die heißen beim Brennstoff: Diesel oder Benzin hat einen hohen Energiegehalt und kann rel. gefahrlos im Tank mitgeführt und im Bedarfsfall schnell und unkompliziert aufgefüllt werden.. Im Winter gibt es (die Ab-) Wärme für die Passagiere kostenlos dazu

Funktionsweise eines

Kolbenmotors: <https://www.youtube.com/watch?v=vIJ50aUiBgM>

Elektromotore

Der Elektromotor war eine geniale Entwicklung in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde er aufgrund seiner vielfältigen Bauarten bzw. Eigenschaften auch für den Antrieb von Fahrzeugen eingesetzt. Da der Elektromotor seine Energie bereits „im Stillstand“ zugeführt bekommt, ist auch ab Start ein Drehmoment vorhanden.

Der Knackpunkt ist und war immer der „Energievorrat“.

Elektrische Bahnantriebe

Bei der Bahntechnik kommt die Energie über Fahrleitungen oder –schienen (U-Bahn) und Stromabnehmer zum Fahrzeug, noch von zuverlässigen Kraftwerken erzeugt. Für den öffentlichen Nahverkehr waren in vielen Städten vor rund 100 Jahren ebenfalls Busse mit Elektrotraktion an zweipoliger Oberleitung im Einsatz. Mit steigenden Leistungen der Dieselantriebe – und dem Verbot der Personenbeförderung im Anhänger – kamen die Oberleitungsbusse wegen zu hoher Kosten aus der Mode. Heutzutage sind die O-Busse zwar nicht billiger geworden, erleben jedoch eine Renaissance

Heizen und Kühlen ist wegen der Stromzuführung über Fahrleitungen kein Problem.

Elektroautos mit Batterie

Ganz anders bei den reinen Batterie-betriebenen Fahrzeugen [technisch korrekt muss man bei aufladbaren Batterien von Akkus s.o.sprechen). Um den Einfluß von zu hohen aber auch zu kalten Temperaturen auf Batterie zu mildern, heizt und kühlt Honda.

https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_des_Elektroautos

Hier ein Blogbeitrag, der die Dynamik eines Tesla beschreibt

<https://www.cbcity.de/zur-laengsdynamik-des-tesla-roadster-s>

Hybridautos

Eine Variante, welche die Vorteile beider Antriebsarten nutzen soll, stellen die Hybrid-Autos dar. Diese Fahrzeuge fahren mit einem Verbrennungsmotor mit Schaltgetriebe, wie man das so kennt. Die (ggü. reinen Batterie Autos) nicht so große Batterie, dient zur Unterstützung des Antriebs, kurze Strecken (z.B. Stop-and-go) können rein elektrisch gefahren werden. Hondas Hybrid fährt ausschließlich elektrisch, der Verbrennungsmotor läuft in einer verbrauchsgünstigen Drehzahl und lädt ständig Strom nach. (bei etwa 100 km/h wird der Verbrenner starr mit der Achse verbunden – kein Schaltgetriebe – um auch die elektrischen Lade./Entladeverluste zu sparen)



Demmig_Detroit Electric Model Car, im Technikmuseum Speyer



Demmig_Technik Museum Speyer

https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_des_Elektroautos

Elektromotore können ihrem Einsatzzweck entsprechend sehr flexibel hergestellt werden.

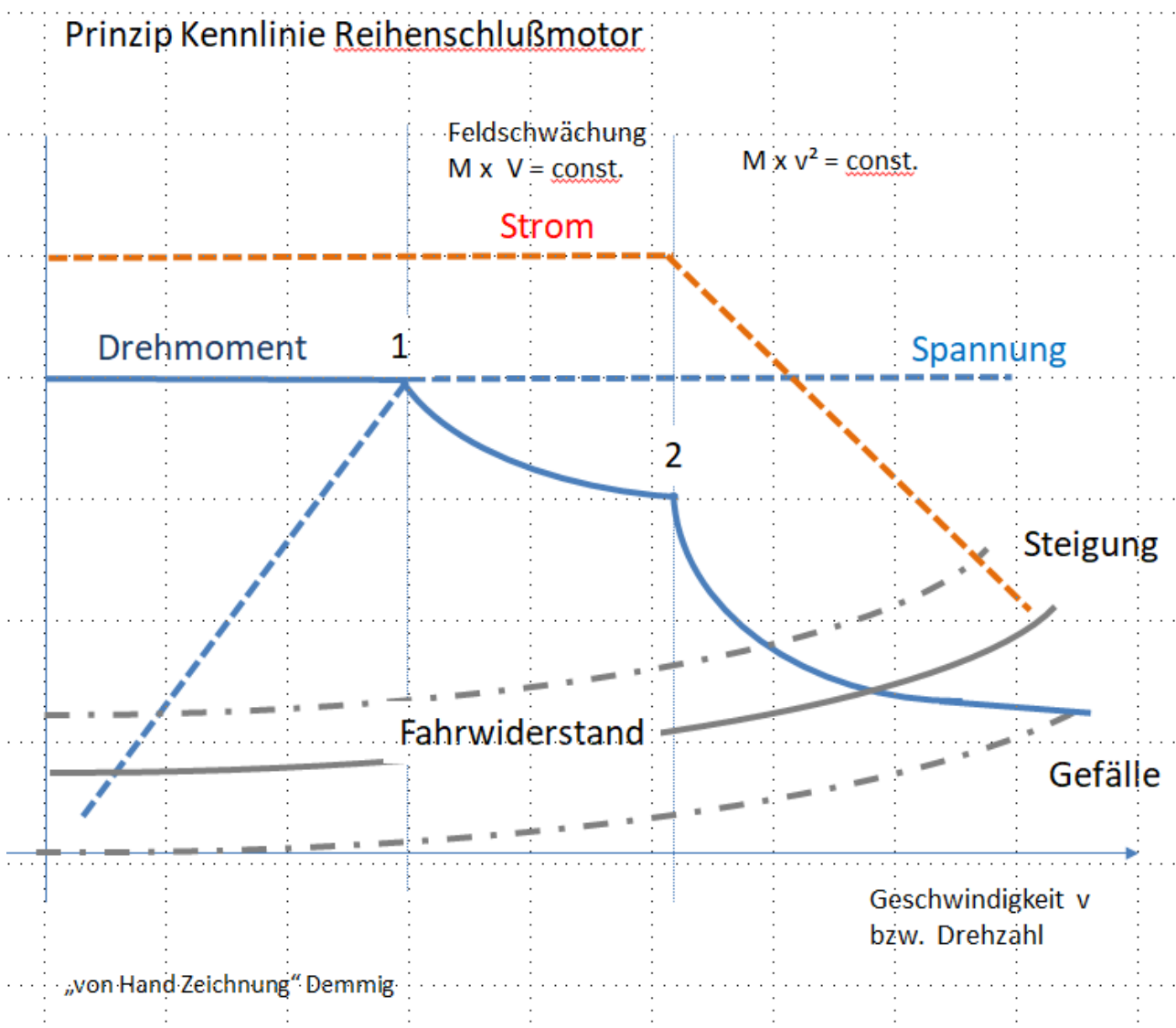
Antriebe für Fahrzeuge benötigen bereits ab Start eine hohe Anzugskraft [im Gegensatz z.B. zu einem Ventilator]. Das Drehmoment ist eine Funktion des Magnetfeldes und des Stromes.

Fast alle Antriebe mit Elektromotor (Bahnantriebe, Autos) haben ein einstufiges Getriebe, um die Baugröße klein(-er) zu halten und trotzdem genügend Startmoment zu haben. Es gab immer wieder mal Versuche auf das Getriebe zu verzichten. Es kommt auf die Gesamtübersetzung an, kleine Räder bringen Moment, große Räder mehr Geschwindigkeit (Dampflokotiven haben aus dem Grund kleinere oder größere Antriebsräder). Ist die Gesamtübersetzung „lang“, benötigt der Motor einen großen Anfahrstrom – was den Motor schnell zu heiß werden lässt. Es ist also immer ein sinnvoller Kompromiss. Wie auch die Getriebeübersetzungen beim Auto mit Verbrennungsmotor. Volkswagen stattet seinen E-Golf mit einem 1-Gang Automatikgetriebe aus.

Nebenbei bemerkt: Ein Elektromotor kann zwar kurzzeitig höher belastet werden – wie lange er das aushält...? Haushaltsgeräte haben oft eine Angabe wie z.B. KB 10min oder ED 10min, d.h. der Motor ist auf Kurzzeit- oder Einschaltdauer ... ausgelegt. Bei Antriebsmotoren gibt es auch unterschiedliche Angaben für Stundenleistung oder Dauerbetrieb. Neben konstruktiven Verbesserungen wurden die Leistungen von Elektromotoren vor allem durch verbesserte Isolationsmaterialien gesteigert: Spannungsfestigkeit und Temperatur.

Gleichstrommotor

Die klassische Ausführung für ein Fahrzeug ist ein Reihenschluss-Gleichstrommotor. Anhand der Kennlinie kann man m.E. die Grundlage gut verstehen. Das Moment und damit die gefahrene Geschwindigkeit kann durch die Spannung am Motor und das Feld der Erregerwicklung beeinflusst werden.



Der Motor wird mit maximalem Strom angefahren, das Antriebsmoment bleibt konstant, bis die maximale (gerade verfügbare) Spannung erreicht ist [bei Punkt 1]. Danach beginnt der Bereich der Feldschwächung, die so gesteuert wird (Shunt zur Spulenwicklung), dass der maximale Strom gehalten wird [bis Punkt 2]. Gemäß der natürlichen Kennlinie nehmen ab da der Strom und damit das Moment ab. Die Höchstgeschwindigkeit wird erreicht, wenn das Antriebsmoment dem Fahrwiderstand entspricht.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Einphasen-Reihenschlussmotor>

Drehstrommotor

Aufgrund der Entwicklung von Leistungshalbleitern und der zugehörigen Steuerung, haben sich auch in der Antriebstechnik die kompakteren und belastbareren Drehstrommotoren durchgesetzt. In der hier hauptsächlich gebrauchten Bauart, bestehen diese Motoren aus dem Ständer (Gehäuse), in dem min. drei um 120° versetzte Wicklungen eingebaut sind. Diese Wicklungen werden mit gleichermaßen phasenversetztem Strom gespeist, so dass sich im Innern ein Drehfeld ergibt. Das Moment des Motors kann durch die Frequenz und die Spannung beeinflusst werden.

Spannung und Frequenz werden so gesteuert, dass sich eine gute Anfahrbeschleunigung und auch noch genügend Moment bei höherer Geschwindigkeit ergeben. Die oben gezeigte Kennlinie des Gleichstrommotors entspricht dem.

Der Läufer des Motors benötigt keine weiteren Anschlüsse nach außen. Er ist daher sehr robust und hat einzig die Lager, die aber erst nach längerer Laufzeit Wartung oder Austausch benötigen.

Man unterscheidet zwei Bauarten, die spezielle Eigenschaften zeigen.

Der Unterschied zwischen Synchron- und Asynchronmotoren liegt in der Arbeitsweise des Rotors. Beim Asynchron-Motor dreht der Rotor langsamer als das Statordrehfeld, also asynchron. Beim Synchronmotor dreht der Rotor (nur) nach der vorgegebenen Frequenz, also synchron.

Asynchronmotor

Der Läufer ist kompakt und mit einem kräftigen „Käfig aus Aluminium Stäben“ versehen. Die in diesem Käfig induzierten Ströme bilden selbst ein Magnetfeld, das den Käfigläufer dazu bringt, dem Drehfeld zu folgen. Das Moment ist vom Frequenzunterschied zwischen Drehfeld des Ständers zu der Drehzahl des Läufers abhängig. Der Läufer läuft von alleine an und kann maximal die „Drehzahl“ des Läufers erreichen. Bei Steigungen z.B.

sinkt die Drehzahl des Motors, im Läufer wird ein kräftigerer Strom induziert, was ein höheres Moment zur Folge hat. Das Fahrzeug wird zwar langsamer, zieht bei Steigungen aber durch (so wie wir das von einem Verbrennungsmotor kennen, bei dem wir evtl. runterschalten müssen).

Tesla ist nach den Informationen im Web, der einzige Hersteller, der Asynchron Motoren für seine Fahrzeuge nimmt.

Synchronmotor

Die Läuferwicklungen haben beim Synchronmotor ein konstantes Magnetfeld. Im E-Auto sind im Läufer Dauermagnete eingebaut (Dafür werden diese seltenen Erden gebraucht, z.B. Neodym), um die ohmschen Verluste einzusparen. Dieser Motor läuft nicht selbsttätig an, die Umrichter im Fahrzeug fahren die Frequenz von quasi Null an, um dem Läufer „mitzunehmen“.

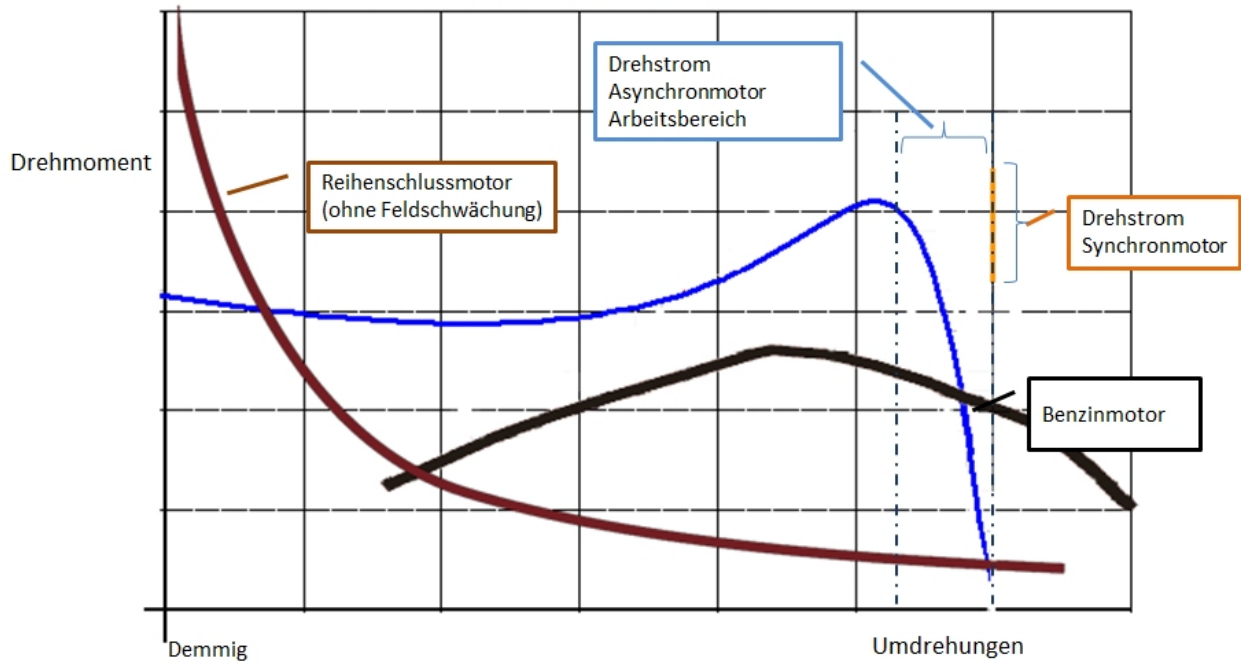
Das max. Drehmoment ist durch die „Kraft“ der Magnete begrenzt, die Überlastfähigkeit und die Toleranz gegen Momentstöße des Antriebes ist gering bis gar nicht vorhanden. Das abgegebene Drehmoment ist pulsierend (-er ggü. einer Asynchronmaschine → Getriebe!?) Mit aufwendiger und schneller Elektronik (und SW) muss einem Synchronmotor das Verhalten einer Reihenschlussmaschine aufgezwungen werden. Die Regelung muss schnell und feinfühlig eingreifen, damit das Fahrzeug an Steigungen nicht „aus dem Tritt“ kommt.

Synchronmotoren haben außer Tesla, alle anderen, bekannten Hersteller verwendet. Viele Motoren werden außerdem gekühlt.

https://kfz-aufgaben.de/hv/11a_synchronmotor.htm

Vergleich der Prinzip Kennlinien

Prinzip Kennlinien verschiedener Motoren



Die Kennlinien der Motore für geringere oder höhere Leistungsabgabe (gemeint: Drehmoment) verändern sich:

- unterschiedliche Spannungen verschieben die Kurve des Reihenschlussmotors nach rechts / links , s.o Punkt (1)
- unterschiedliche Spannungen verschieben die Kurve des Asynchronmotors nach oben / unten, beim Synchronmotor ist mehr oder weniger Moment vorhanden
- unterschiedliche Frequenzen verschieben die Kurve des Asynchronmotors und Synchronmotor nach rechts / links
- Beim Benzinmotor verschiebt sich bei mehr oder weniger „Gas“ in etwa parallel nach oben / unten

Obige Darstellung ist vereinfachend. Die mechanische(!) Leistung errechnet sich mit $\text{Moment} \times \text{Umdrehung}$ (plus Faktor zur Umrechnung). Was am Rad ankommt ist geringer, da Getriebe, Lager und ä. auch noch bewegt werden müssen.

http://antriebstechnik.fh-stralsund.de/1024x768/Dokumentenframe/Kompendum/Antriebstechnik/Typische_Kennlinien/Kennlinien.pdf