

Energieeffizienter Transport in der Zukunft

1. Historische Einführung: Vom Rad zum Personentransport

Bei allen neuen Erfindungen lohnt ein Blick zurück, denn das Rad braucht, wie die Redewendung schon sagt, nicht ständig neu erfunden zu werden.

Die für unser Transportsystem bahnbrechende Erfindung des Rades kann auf die Zeit um 6000 v. Chr. datiert werden. Zunächst findet das Rad als runder Steinblock seinen Einsatz nur als Töpferscheibe, wie Funde in Ägypten und Babylon belegen. Erst um 4000 v. Chr. kommt es zum Einsatz des Rades als Wagen zum Transport von Waren und Personen.

Mit der Ausnahme von Heron von Alexandria, der 100 v. Chr. die Wärmekraftmaschine erfindet, sind Entwicklungen, die die weitere Nutzung des Rades als Transportmittel vorantreiben könnten, rar.

Erst im 17. Jahrhundert werden die Grundlagen dazu gelegt. So konstruiert Simon Stevin um 1600 einen Windwagen und Christiaan Huygens entwickelt eine Kolbenmaschine mit Pulverantrieb und gilt damit als Pionier des Verbrennungsmotors. In den etwa hundert Jahren zwischen 1680 und 1786 konstruieren und verbessern Denis Papin, Thomas Newcomen und James Watt die Dampfmaschine und schaffen damit die Voraussetzung für den maschinellen Antrieb von Rädern, der in der Konstruktion des ersten Dampfwagens durch Nicolas Joseph Cugnot gipfelt.

Die technische Entwicklung eilt in den nächsten hundert Jahren schnell voran. Im Jahre 1886 konstruiert Carl Benz den ersten Verbrennungsmotor und legt den Grundstein auf dem Weg zum heutigen Auto. Andererseits steht im Jahr 1900 mit dem Lohner-Porsche[G1] auch schon ein Gefährt für den Individualverkehr zur Verfügung, das mit seinen Innenpol-Elektromotoren in den Vorderrädern mit max. je 7 PS, einer Höchstgeschwindigkeit von 45 bis 58 km/h und einer Reichweite von ca. drei Stunden als energieeffizientes Transportmittel seiner Zeit höchste Anerkennung findet. [Q1]Q[2]

2. Moderne Transportmöglichkeiten und deren Effizienz

Im 21. Jahrhundert stellen uns die begrenzten Ressourcen, die steigenden Preise für Öl und Gas, die Globalisierung und der wachsende Mobilitätsanspruch der Menschen vor neue Herausforderungen. Transport muss vor diesem Hintergrund unter dem Aspekt der Energieeffizienz betrachtet werden. Dazu kommt angesichts der hohen Umweltbelastung durch den Verkehr als weiterer wichtiger Gesichtspunkt die Umweltverträglichkeit der Transportmittel hinzu.

Dazu sollen zunächst die unterschiedlichen Transportmöglichkeiten des Individualverkehrs und die des Lastentransports und des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Bezug auf ihre Energienutzung verglichen werden. Hierbei wird deutlich:

- Die Bahn ist gegenüber allen anderen Verkehrsmitteln am sparsamsten.
- Das Flugzeug verbraucht im Verhältnis zu anderen Verkehrsmitteln am meisten Energie.

- 30.5 % der Energie des motorisierten Straßenverkehrs werden im Güterverkehr verbraucht
- Insgesamt wird jedoch am meisten Energie durch Personen im motorisierten Straßenverkehr verbraucht (55.3%)
- Davon 44% werden durch Freizeitaktivität verursacht.

Hierbei ist zu beachten, dass der Wirkungsgrad eines Verbrennungsmotors wie er normalerweise im motorisierten Straßenverkehr genutzt wird thermisch bedingt bei ca. 30% liegt. Dieser Wirkungsgrad bzw. ein geringer Verbrauch kann außerdem nur bei einem bestimmten Drehmoment und bestimmter Drehzahl erreicht werden[G2].

Daraus ergeben sich für die künftige Planung eines energieeffizienten Transportes folgende Konsequenzen:

- Die vorhandenen energiesparenden Möglichkeiten – Bahn, Straßenbahn, ÖPNV – sollten besser genutzt und verbessert werden
- Flugverkehr muss so effizient wie möglich gestaltet werden
- Der Lastverkehr sollte wesentlich mehr durch Schiffe und Bahn aufgebracht werden
→Infrastruktur muss geschaffen werden
- Wir benötigen ein wesentlich sparsameres Automobil
Möglichkeiten: Elektroauto, Hybridauto, Brennstoffzellen (hier nicht gesondert berücksichtigt)

Q[2]Q[4]Q[3]

3. Transport in der Zukunft

3.1 Personenindividualtransport

Beim Personenindividualtransport sollen die Vor- und Nachteile des Elektroautos und des Hybridautos vorgestellt und künftige Herausforderungen für die weitere Forschung und Entwicklung aufgezeigt werden.

3.3.1 Elektroauto

Die Vorteile des heute verfügbaren Elektroautos bestehen darin, dass kein Getriebe benötigt wird, da ein Elektromotor ein gleichbleibendes Drehmoment gewährleistet. Darüber hinaus wird kein Anlasser, keine Lichtmaschine, kein Kühlkreislauf und kein Abgasstrang und kein Öl als Schmiermittel benötigt. Da nur wenige Teile verschleißanfällig sind, sind die Reparatur- und Betriebskosten gering. Mit der Umwandlung von Bremsenergie in elektrische Energie wird ein hoher Wirkungsgrad erzielt. Darüber hinaus zeigt das Elektroauto eine geringe Geräuschentwicklung und vermeidet Abgase beim Fahren. Ein ideales Fahrzeug würde damit zur Verfügung stehen, wenn die Schwachpunkte dieser Technik in Zukunft behoben werden können.

Diese Nachteile hängen überwiegend mit der zur Energiespeicherung notwendigen Batterie zusammen. Abhängig von der Kapazität des Akkus ergibt sich eine eingeschränkte Reichweite. Sie ist sehr teuer in der Anschaffung und erfordert ständige Ladezeiten. Mit zunehmendem Alter oder starker Beanspruchung verschlechtert sich die Ladekapazität. Dazu variiert die Leistung mit der Betriebstemperatur.

Ziel muss es daher in der Zukunft sein, Batterien mit möglichst hoher Energie und Leistungsdichte sowie möglichst hoher Lebensdauer bei extremer Belastung zu entwickeln. Heute verwendete Li-Ionen Batterien erfüllen diese Kriterien bisher am besten, sind aber in der Herstellung sehr teuer und erfordern bei der Reaktivierung der verwendeten Materialien besondere Sicherheitsmaßnahmen.

Als Motor können Gleichstrommaschinen oder Drehstrommaschinen genutzt werden, die entweder als zentraler Motor im Automobil verbaut werden, oder als Radnabenmotor direkt an den Radaufhängungen montiert sind

Um dem Motor die Energie der Batterie zur Verfügung zu stellen, benötigt man Wechselrichter oder dem Gleichrichter. Hier kommt die Leistungselektronik zum Einsatz. Ihre Aufgabe besteht in der Regelung und Versorgung des Motors mit elektrischer Energie und in der Abführung der Bremsenergie in die Batterie mit möglichst hohem Wirkungsgrad.

Der Vorteil eines Gleichstrommotors liegt darin, dass die Energie der Batterie sofort genutzt werden kann. Es ist also auch kein Wechselrichter erforderlich sondern lediglich ein Leistungswandler, der die Spannung steuert. Eingeschränkt wird dieser Vorteil durch den geringeren Wirkungsgrad gegenüber einer Synchron- oder Asynchronmaschine und dem höheren Verschleiß beispielsweise bei den Bürsten, welche die Spulen des Motors umpolen.

Das Problem bei einer Synchron- oder Asynchronmaschine besteht wiederum darin, dass ein bidirektionaler Hochleistungswechselrichter benötigt wird, der aus der Batteriespannung eine dreiphasige Spannung macht und umgekehrt. Die hohe Effizienz, die dies mit sich bringt, wird durch Kosten, die bei einem Vielfachen des Motors liegen können, geschmälert.

Die gegenwärtige Forschung beschäftigt sich deshalb mit der Reluktanzmaschine, die sich durch eine einfachere Konstruktion auszeichnet. Gegenwärtig ist die komplizierte Regelung für ein konstantes Drehmoment bzw. Drehzahl allerdings ebenso noch nicht zufriedenstellend gelöst wie auch die Geräuschoptimierung.

Wenngleich die Konstruktion eines für eine breitere Kundenzahl zufriedenstellenden Elektroautos noch nicht abgeschlossen ist, finden Elektroautos schon ihren Einsatz in der Praxis. Das **Reva**-Elektroauto für 12.900 € arbeitet mit einem bürstenlosen 48 V Drehstrom-Asynchronmotor, einer Blei-Säure-Traktionsbatterie und bringt eine Höchstgeschwindigkeit von 81 km/h. Mit einer Aufladezeit (80%) von 2,5 Std ist dieses Auto durchaus im Nahbereich einsatzfähig.

Leistungsfähiger ist zum Beispiel der **Tesla Roadster** . [G4] mit einer 252 PS

Asynchronmaschine, einer Batterie aus 6831 Zellen (handelsüblicher Laptop Li-Ionen Akkus), einer Spitzengeschwindigkeit von 201 km/h und einer Reichweite von über 350 km.

Angesichts der Tatsache, dass kein anderes Individualverkehrsmittel eine höhere Energieeffizienz bietet, kann man davon ausgehen, dass das Elektroauto für den Personentransport der Zukunft eine entscheidende Rolle spielen wird. Dazu ist allerdings eine wesentliche Produktionssteigerung nötig, um Elektroautos zu akzeptablen Preisen verkaufen zu können. Darüber hinaus bleibt die Einschränkung, dass das Elektroauto vorwiegend im Nahbereich nutzbar ist, da große Batterien schwierig zu handhaben und sehr kostenintensiv sind. [G4][G3]Q[5] Q[6]

3.3.2 Das Hybridauto

Ein Hybridauto ist ein Fahrzeug, welches durch einen Elektromotor und mindestens einen weiteren Energiewandler angetrieben wird.

Ein Hybridauto bezieht seine elektrische Energie anders als ein herkömmliches Elektroauto nicht aus dem Stromnetz, sondern speist seinen Akku ausschließlich durch Bremsenergie.

Der Vorteil eines Hybridautos liegt in seiner uneingeschränkten Einsetzbarkeit auf langen Strecken. Dabei erzielt es allerdings auch nur den gleichen Wirkungsgrad wie ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Insofern kann es nicht mit der Effizienz eines Elektroautos mithalten. Im Stadtverkehr ist das Fahrzeug allerdings wesentlich sparsamer als ein „normales“ Auto, ein Vorteil, der auch in der Gesamtbilanz bestehen bleibt.

Bei der Hybridtechnologie gibt es drei Varianten. Beim Parallelhybrid [G5] sind Verbrennungsmotor und Hybridmotor direkt miteinander und mit dem Getriebe verbunden, während beim Serienhybrid [G6] der Verbrennungsmotor und der nicht verbunden sind. Hier lädt der Verbrennungsmotor die Batterie und der Elektromotor treibt alleine das Fahrzeug an. Da der Verbrennungsmotor vollständig von der Traktion getrennt ist, können Kupplung und Getriebe entfallen. Der Verbrennungsmotor kann außerdem immer mit höchst möglichem Wirkungsgrad betrieben werden. Ein Nachteil des Serienhybrides tritt bei längeren Fahrten mit höherer Geschwindigkeit auf. Hier ist der Wirkungsgrad auf Grund der verlustbehafteten Energiewandlungen schlechter als bei einem einfachen Verbrennungsmotor.

Der Splithybrid G[7] versucht die Vorteile von Parallelhybrid und Serienhybrid zu kombinieren.

Er kann sowohl nur mit Elektromotor oder Verbrennungsmotor oder mit beiden zusammen fahren. Gekoppelt werden die beiden Systeme entweder über ein Planetengetriebe oder über ein Four-Quadrant-Transducer.

Auf dem Markt sind gegenwärtig drei Firmen mit Hybridautos vertreten, nämlich Lexus, Toyota und Honda. Der **Toyota Prius**, der schon seit 1997 gefertigt wird, kombiniert einen 113 PS starken Verbrennungsmotor mit einem 68 PS starken Elektromotor. Er bietet eine Höchstgeschwindigkeit von 170 km/h und weist einen Verbrauch von 4,3 l auf. Der **Honda Civic Hybrid**, der in einer überarbeiteten Version im Frühjahr 2009 als Familienauto auf den Markt kommt, verspricht einen Verbrauch von 4,6 l bei 95 PS. Bei dieser Version unterstützt der Elektromotor den Benzinmotor, ist aber im Gegensatz zum Toyota Prius nicht in der Lage, das Auto auch alleine anzutreiben. Beide Autos werden im Kostenrahmen von 23.000 € (Honda) und knapp 25.000 € (Toyota) angeboten. Q[2] Q[3] Q[7][G5][G6][G7]

3.2 Öffentlicher Personentransport & Lastentransport

In diesem Kapitel wird Bezug genommen auf den Schienenverkehr, den Schiffsverkehr und den Flugverkehr zum Transport von Personen und Waren.

3.2.1 Schienenverkehr

Der Schienenverkehr ist die sparsamste Art der mobilen Fortbewegung. Da dieses Transportmittel schon als energieeffizientes und umweltfreundliches Fortbewegungsmittel zur Verfügung steht, muss es eine vorrangige Aufgabe sein, ein Umdenken anzustoßen zu einer höheren Bereitschaft zur Nutzung des ÖPV gegenüber dem eigenen Auto.

Wenn dieser Transportweg allerdings ausgebaut werden soll, müssen auch jetzt schon die Weichen in die Zukunft gestellt werden, um diesem Zustrom gewachsen zu sein. Dazu müssen Transportwege effizienter gestaltet werden.

Vor diesem Hintergrund darf auch die Überlegung zum Nutzen des Transrapid [G8] trotz aller harter Rückschläge nicht ausgespart bleiben. Denn immerhin bringt diese Technologie einen

20-30% geringeren Energieverbrauch als der ICE unter gleichen Bedingungen, was China immerhin zu dem Bau einer zweiten Transrapidtrasse bewegte.

Ein Energiespeicherkonzept von Bombardier hat bisher in die Praxis Eingang gefunden. Die Speichertechnologie MITRAC Energy Saver nutzt Doppelschichtkondensatoren (Supercaps) zur Rekuperation von Bremsenergie in Straßenbahnen.

Eine weit größere Einsparung an Energie würde die Verlegung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene bedeuten. Hier wäre eine Effizienzsteigerung um bis zu 50% möglich. Diese Entwicklung setzt aber einen weiteren Ausbau des Schienennetzes voraus sowie eine Verbesserung der Logistik und Kommunikation.[G8] [Q9][Q10]

3.2.2 Schiffverkehr

Weltweit fahren 60.000 Handels- und Passagierschiffe. Angetrieben werden sie von Schweröl, einem Abfallprodukt bei der Herstellung von Benzin und Diesel. Auf Grund der sehr hohen Co₂-Emission wären Alternativen zum bisherigen Antrieb wünschenswert. Außer der Einspritzung des Treibstoffes bei hohem Druck, die zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades und einer Verringerung der Co₂-Emission führt, existieren zur Zeit keine wirklichen Alternativen.

Hybridangetriebene Passagier- und Transportschiffe gibt es bisher nur als Studien oder Prototypen. Das Problem liegt darin, dass eine hohe Leistungsdichte benötigt wird.

Die einzigen größeren Schiffe, die mit Brennstoffzellen betrieben werden sind U-Boote der Klasse 212A des Herstellers Thyssen Krupp Marine Systems.

Scheinbar Abstand genommen hat man im Schiffbau vom Nuklearbetrieb, der vor Jahren als besonders zukunftssträftig gesehen wurde. Hauptsächlich bezog sich die Technologie auf den Einsatz in Flugzeugträgern und U-Booten. Da der Betrieb mit zu vielen technischen Schwierigkeiten verbunden ist, hat man mit dem letzten großen Projekt, der „Charles de Gaulle“ Abstand zu dieser Technologie genommen.

Ganz neu ist die Vorstellung, Solarenergie bei Schiffen zu nutzen. Ende 2006 Anfang 2007 überquerte die Sun 21 den Atlantik nur mit Solarkraft. Für größere Schiffe gibt eine Solarzelle jedoch nicht genügend Leistung ab, so dass diesem Einsatz Grenzen gesetzt sind.

Eine neue Erprobung ist auch die Verwendung von Gleitschirmen und Segeln. Bei gutem Wind können Frachtschiffe bis zu 50% Treibstoff sparen. Reine Frachtsegler sind jedoch zu unverlässig, da sie auf den Wind angewiesen sind. Automatisierte Starrsegelschiffe könnten jedoch in Zukunft eine Rolle spielen. Allerdings wurden sie bisher nur selten erprobt.

Ein vielversprechendes Antriebskonzept verwendet den Flettner Rotor. Diese Technologie, die nach dem Magnus Effekt funktioniert, befindet sich schon im Einsatz. Durch Sog und Staukräfte entsteht ein Wirkungsgrad, der 10 mal größer ist als der eines Segels gleicher Fläche. Als **2006 E –Ship** von **Enercon** ist das 130 m lange und 22 m breite Schiff mit 4 Rotoren von 25 m Höhe im Einsatz.[G9] [Q11]

3.3.3 Flugverkehr

Bei einem Langstreckenflug verbraucht ein Flugzeug 5000 l Kerosin nur um damit Strom Druckluft und hydraulische Energie zu erzeugen. Diese Energie wird im Triebwerk durch einen Generator entnommen. Ein Transatlantikflug entspricht in etwa dem Jahresenergieverbrauch eines Einfamilienhaushaltes.

Das Hauptproblem im Flugverkehr ist, dass der Antrieb auch in absehbarer Zeit nur über Triebwerke gewährleistet werden kann, welche fossile Brennstoffe verbrennen.

So beziehen sich die Bemühungen um Energieeinsparungen auf die Optimierung der Energieversorgung an Bord, z. B. durch den Einsatz von Batterien bzw. Brennstoffzellen als Quelle für den Bordstrom oder zum Ersetzen der Pneumatik und Hydraulik durch elektrische Systeme.

Weitere Ansätze zur effizienten Energienutzung liegen in der aerodynamischen Optimierung und der konsequenten Anwendung des Leichtbauprinzips durch Verwendung von Kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) oder glasfaserverstärktes Aluminium.

Eine Technologie, die erst im Frühstadium der Entwicklung ist, ist die Verwendung von Brennstoffzellen als Ersatz für das Hilfstriebwerk eines Flugzeuges zur Gewinnung von elektrischer Energie. Diese Technologie würde erhebliche Vorteile bringen. Sie würde die Co₂- und die Geräuschmission verringern und das s Abfallprodukt Wasser könnte an Bord genutzt werden. [Q12]

4. Mobilität in der Zukunft: Auch etwas für mich als einfachen Menschen?

Bei allen Gedanken zu neuen Technologien, die unsere Mobilität auch morgen absichern, darf die kritische Hinterfragen nicht vergessen werden, ob die eigene Mobilität unabdingbar ist, und ob man sie nicht auch durch nicht technische Mittel erreichen kann. Hier stellt sich sowohl die Frage nach der Notwendigkeit aller Fernreiseziele und dem gedeckten Tisch aus aller Herren Länder als auch die nach bequemen Fahrten mit dem Auto.

Das größte Energiesparpotential steckt aber immer noch in uns selbst und es könnte zurückführen zu den Anfängen- dem Rad.

Quellen:

[Q1][G1 [G2]Diplomarbeit Sebastian Greitzke, Entwicklung eines Zweiquadrantenstellers zur Ankopplung eines Energiespeichers in Hybridkraftfahrzeugen

[Q2][G5][G6][G7]Markus Höltgen, Entwicklung eines feldorientiert geregelten Synchronmaschinen-Antriebsumrichters

[Q3] <http://www.hybrid-infos.de/>

[Q4][G2]Vorlesungsskript Antriebssteuerungen 2, FH-Köln, Prof. Dr. Lohner

[Q5][G3]<http://www.isea.rwth-aachen.de/electricaldrives/vehicles>

[Q6] RWTH Aachen Grundgebiete der Elektrotechnik II Vorlesung Prof. De Doncker/Prof. Sauer

[Q7] <http://www.energie-info.net/>

[Q8][G4]www.teslamotors.com/

[Q9][G8]<http://www.transrapid.de/>

[Q10]<http://www.bombardier.com/wps/portal/de/transportation>

[Q11][G9]<http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,569312-7,00.html>