



Foto: Bombardier Transportation

Klimaschutz und Energieeffizienz im Bahnverkehr

# Chancen für grüne Bahn

Bestandsaufnahme und Vorstellung neuer technischer Entwicklungen

Von Wolfgang Staiger

> Erst der drastische Anstieg des Ölpreises in der ersten Jahreshälfte dieses Jahres hat die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit wieder darauf gelenkt, dass Erdöl weder unbegrenzt noch dauerhaft zum Niedrigpreis verfügbar ist. Das System Schiene gilt allgemein als energiesparend und umweltfreundlich – aber andere Branchen sind innovativer und könnten der Eisenbahn den Rang schnell ablaufen. Wie steht es mit der technischen Entwicklung im Schienenverkehr? Dieser Beitrag will auf das Potenzial hinweisen, das neuere technische Entwicklungen gerade auch für den Personennahverkehr in der Fläche bieten, und den Umweltvorteil der Schiene mit konkreten Zahlen untermauern.

## ■ Klimaproblem und Ölkrise – dennoch weiter wie bisher

Der stetig wachsende Energieverbrauch einer ebenfalls stark wachsenden Weltbevölkerung fand lange Zeit kaum Beachtung, obwohl zahlreiche Wissenschaftler bereits vor dreißig Jahren vor einer bevorstehenden Verknappung der Energiereserven gewarnt hatten. Es herrschte die Ansicht vor, dass Erdöl aufgrund des technischen Fortschritts für die kommenden Jahrzehnte im Überfluss vorhanden sei.

Erst seit der Ölpreis die 100-Dollar-Marke überschritten hat, werden sich manche Optimisten der Tatsache bewusst, dass fossile Brennstoffe nicht vermehrbar sind. In den letzten einhundert Jahren wurde bereits ein großer Teil der leicht förderbaren Vorräte verbraucht und immer mehr Fachleute sagen ein Maximum der Ölförderung innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre voraus, was wegen des immer weiter steigenden Bedarfs zwangsläufig noch wesentlich stärkere Preiserhöhungen nach sich ziehen wird. (1) Zudem lagert ein Großteil der Ölreserven in politisch sehr instabilen Gebieten, wie z. B. am Persischen Golf. Eine Abhängigkeit der Volkswirtschaft von Lieferungen aus diesen Ländern birgt die Gefahr der Erpressbarkeit und könnte die Versorgungssicherheit gefährden. (Lesen Sie auf Seite 9 weiter.)

*Bild oben: Auf dem Weg zu mehr Energieeffizienz: Während die Deutsche Bahn AG Großserien von Fahrzeugen mit herkömmlicher Technik einkauft, ist im Ausland die Entwicklung zu energiesparenden Fahrzeugen in vollem Gang. Die schwedische Eisenbahn-Infrastrukturverwaltung Banverket und Bombardier Transportation haben gemeinsam mit weiteren Partnern die Ergebnisse ihres Projekts Gröna Tåget („Grüner Zug“) bei einer Testfahrt von Västerås nach Stockholm vorgestellt. Mehr dazu auf der nächsten Seite.*

Trennung von Netz und Verkehr fördert Bahnentwicklung

## Schweden entwickelt „grünen“ Zug

... und die nächste Generation der Neigetechnik

Am 7. August 2008 wurden die Ergebnisse des Projekts Gröna Tåget („Grüner Zug“) bei einer Testfahrt von Västerås nach Stockholm vorgestellt. Am 15. September erreichte der Versuchszug einen neuen schwedischen Geschwindigkeitsrekord mit 303 km/h. Die Entwicklung ist das Ergebnis der Zusammenarbeit des staatlichen Netzbetreibers mit Verkehrsunternehmen und Bahnindustrie.

■ Zu den Partnern des Projekts „Grüner Zug“ gehören der schwedische Infrastrukturbetreiber Banverket, die Verkehrsunternehmen SJ AB und Svenska Tågkompaniet AB, das mit einer Produktionsstätte in Kalmar in Schweden ansässige Unternehmen Bombardier Transportation, das schwedische Königliche Technologie-Institut (KTH) sowie mehrere schwedische Universitäten und Consulting-Unternehmen. Das Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekt Gröna Tåget startete 2005 und soll bis 2010/2011 laufen. Das Bahnforschungsprogramm zielt auf die Entwicklung einer neuen Generation von Hochgeschwindigkeitszügen ab, die die besonderen technischen und verkehrstechnischen Voraussetzungen in Skandinavien erfüllen.

**Das Netz entwickelt** Per Kyhle, Chefentwickler bei Banverket, kommentiert:

„Die Hauptziele des Projekts bestehen darin, den Energieverbrauch um 20 bis 30 Prozent zu reduzieren, Reisezeiten zu verkürzen und die Betriebskosten zu senken. Wir wollen einen möglichst schnellen und effizienten Betrieb unter

Nutzung der bestehenden Infrastruktur erreichen, was bedeutet, dass wir uns oft eingleisige Strecken mit Güter- und Regionalzügen teilen müssen. Die Tests haben gezeigt, dass unsere Ziele realistisch sind. Wir haben große Fortschritte bei der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Schiene im Vergleich zu anderen Verkehrsarten erreicht.“ Banverket ist der schwedische Betreiber der Eisenbahninfrastruktur. Die schwedische Bahnreform hat die Trennung von Netz und Verkehr realisiert. Auf dem Netz von Banverket operieren mehrere Eisenbahnunternehmen, darunter der nach wie vor staatliche Verkehrsbereich der Schwedischen Eisenbahn, SJ. Das Projekt zeigt, dass die Trennung von Netz und Verkehr keineswegs die Entwicklung neuer Technologien hemmt, wie gerne von deutschen Wissenschaftlern behauptet wird. Vielmehr kommen die Forschungsergebnisse, die von dem wettbewerbsneutralen Netzbetreiber Banverket federführend betrieben werden, allen Verkehrsunternehmen zugute.

**Versuchsträger auch für Neigetechnik** Als Versuchsträger wird ein Zug des Typs „Regina“ von Bombardier Transportation verwendet, der zeitweise immer wieder im Regelbetrieb eingesetzt wird. Seit 2001 baut Bombardier diese Züge im schwedischen Werk Kalmar. In zwei-, drei- und vierteiliger Ausführung mit elektrischem Antrieb sind sie im schwedischen Regionalnetz – unter anderem in und um Göteborg und Stockholm – im Einsatz. Die Serienzüge sind für Geschwindigkeiten von bis zu 200 km/h konstruiert und ausgelegt. Das Hochgeschwindigkeitskonzept des Gröna Tåget soll die Fahrzeit von Stockholm nach Göteborg um 15 Minuten verkürzen. Auf dieser Strecke werden zurzeit Neigezüge vom Typ „X 2000“ eingesetzt. Der Versuchsträger ist mit von Bombardier entwickelten neuen Komponenten ausgestattet: mit einem Permanentmagnetmotor, der eine höhere Effizienz des Antriebsstrangs verspricht, und einem Informationssystem, das bis zu 15 Prozent der Traktionsenergie einspart, indem es den Lokführer mit Informationen zur optimalen Geschwindigkeit

und Traktionskraft versorgt. Der Gröna Tåget wurde speziell für den Einsatz unter den oft rauen Witterungsbedingungen in Skandinavien entwickelt. Der umgebaute Zug zeichnet sich nach Angabe von Bombardier durch bessere Leistungen bei höheren Geschwindigkeiten aus, ist dabei sicherer und hinterlässt einen geringeren Streckenverschleiß, der durch den Einsatz der Lokomotiven der X-2000-Neigezüge bisher überdurchschnittlich hoch ist. Besondere Aufmerksamkeit galt den Drehgestellen, diese sollen durch eine neuartige passive Selbstlenkung „gleisfreundlich“ sein und außerdem eine höhere Laufruhe, niedrigere Reibungskräfte und einen geringeren Rad-Schiene-Verschleiß auf der kurvenreichen Strecke aufweisen. Der Zug ist mit einer aktiven Neigetechnik ausgestattet. Auf den Einsatz der Neigetechnik kann Schweden nicht verzichten, da der Bau von Hochgeschwindigkeitsstrecken von Stockholm nach Göteborg und Helsingborg zwar in Planung ist, aber erst innerhalb von mehreren Jahrzehnten realisierbar sein wird. Bis 2018 soll der „Grüne Zug“ aber die heute verkehrenden X 2000 ablösen.

**Bedeutend auch für Deutschland**

Die Entwicklung hat eine erhebliche Bedeutung auch für Deutschland. In Mitteleuropa sind die Entwicklung und der Bau von Zügen mit Neigetechnik zum Stillstand gekommen – die DB freut sich darüber, dass die von den Fahrgästen wenig geschätzten Dieseltriebwagen der Baureihe 612 ihr ein im Augenblick unangreifbares Monopol verschaffen. Was derzeit in Schweden erforscht, entwickelt und getestet wird, könnte aber auch in Deutschland rasch auf die Schiene gestellt werden. Der Bombardier-Konzern hat die energiesparenden Komponenten auf der Innotrans bereits im September vorgestellt, und wenn Interesse signalisiert wird, würde Bombardier sicher nicht zögern, auch Neigezüge für Deutschland zu entwickeln. Es sollte die um den Standort Deutschland bemühte Bundesregierung beschämen, dass ihre Vorzeige-Börsen-Eisenbahn nichts dazu beigetragen hat.

Foto: Banverket



Regina-Triebwagen im Linieneinsatz: Dieser Fahrzeugtyp dient als Versuchsträger für den Gröna Tåget.



- Gleichzeitig wird anhand neuerer Forschungsergebnisse (siehe zum Beispiel in den Berichten des IPCC (2)) immer deutlicher, dass der Verbrauch von fossilen Energieträgern zu einem in der jüngeren Erdgeschichte einmalig schnellen Anstieg der Kohlendioxid-Konzentration in der Erdatmosphäre und in deren Folge zu einer starken Aufheizung des Weltklimas führt, was in vielen Ländern der Erde katastrophale Folgen haben wird.

Da etwa ein Viertel der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen vom Verkehr stammen, würde man eigentlich erwarten, dass es in dieser Situation zu einem Umdenken in der Verkehrspolitik kommt und dass der als besonders energiesparend und klimafreundlich bekannte öffentliche Verkehr verstärkt gefördert wird.

Tatsächlich ist aber das Gegenteil der Fall. In Deutschland wird der Bahnverkehr seit der Bahnreform 1994 nach rein betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben. Dies gilt auch für die Infrastruktur, die formal von der Teilprivatisierung ausgenommen, aber nach dem Willen der Bundesregierung materiell dem staatlichen Einfluss weitgehend entzogen werden soll, während die Straßen- und Flugverkehrsinfrastruktur weiterhin nicht nur im öffentlichen Eigentum betrieben wird, sondern auch unter staatlicher Lenkung steht.

So ist in der Verkehrspolitik von einem weiteren Ausbau des öffentlichen Verkehrs keine Rede mehr. Vielmehr werden dort Ausgaben gekürzt, während in den weitgehend steuerbefreiten Flugverkehr weiter stark investiert wird und der Straßenbau ungebremst weitergeht. In vielen Bundesländern wurden in den letzten Jahren Züge gestrichen, der Taktverkehr ausgedünnt und Strecken stillgelegt.

Bei dieser Ausgangslage wird es für die Vertreter der Fahrgäste von Bussen und Bahnen zunehmend wichtiger, bei der Argumentation für ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrssystem auch auf die großen Umweltvorteile des öffentlichen

Verkehrs und insbesondere der Bahn hinzuweisen, zumal für viele Bahnkunden die gute Ökobilanz der Bahn mit ein Grund für die Wahl des Verkehrsmittels ist.

### ■ Grundlagen zur Energieeffizienz des Bahnverkehrs

**D**ie Bahn steht zu Recht im Ruf eines sehr umweltfreundlichen Verkehrsmittels, denn aufgrund der spezifischen Vorteile des Rad-Schiene-Systems verbraucht sie für den Transport von Personen und Gütern schon heute wesentlich weniger Energie als andere Verkehrsträger und fährt auf ihren elektrischen Strecken lokal emissionsfrei.

Der Energieverbrauch eines Fahrzeugs wird von mehreren Komponenten bestimmt, nämlich durch die Verluste

1. bei der Umwandlung der Energieressourcen in Treibstoff bzw. Fahrstrom und bei der anschließenden Umwandlung in Antriebsenergie am Rad,
2. durch Fahrwiderstände und
3. beim Bremsen.

#### 1. Umwandlungsverluste bei Energiebereitstellung und Antrieb

Die Effizienz der Treibstoffherstellung (Erdölgewinnung, Transport, Raffinerie) beträgt für Benzin und Diesel ca. 84 % bzw. 87 %. Dagegen wird für den Fahrstrom am Stromabnehmer bei der DB heute nur eine Energieausbeute von 32 % erzielt.<sup>(3)</sup> Wenn man jedoch den weiteren Energiepfad bis zum Rad betrachtet, dann dreht sich das Bild um:

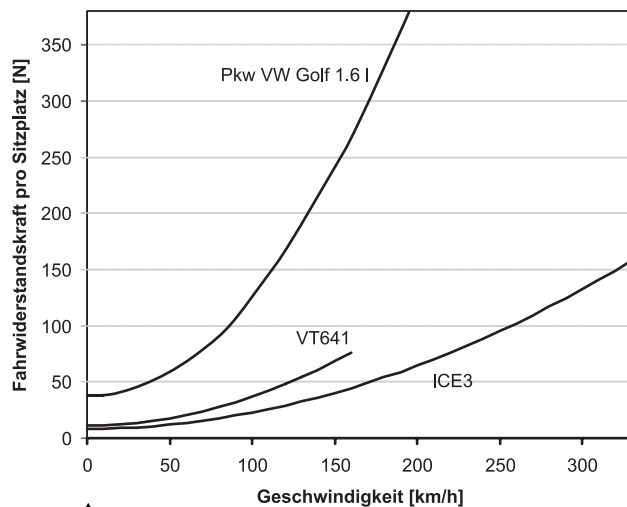
Pkw können nämlich nur etwa 17 bis 22 % der im Kraftstoff steckenden Energie für den Antrieb nutzen, während die moderne Elektrotraktion mit Werten von 85 % (ICE3) oder 82 % (Combino-Straßenbahn) <sup>(4, 5)</sup> sehr effizient arbeitet.

Dazu kommt, dass durch Rückspeisung der Bremsenergie in die Fahrleitung noch ein Teil der Traktionsenergie zurückgewonnen werden kann, der je nach Fahr- und Streckenprofil stark variiert. Im Jahr 2007 wurden bei der DB 8 % des gesamten Fahrstromverbrauchs ins Netz zurückgespeist.

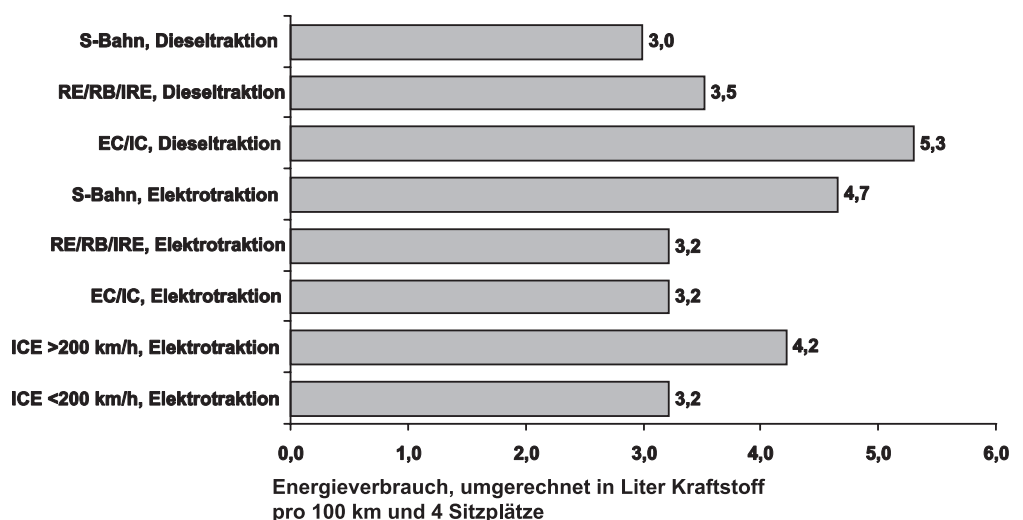
Insgesamt ergibt sich damit für den ICE3 eine Energieausbeute von der Primärenergie im Kraftwerk bis zum Rad von etwa 30 %. Die Dieseltraktion ist insgesamt weniger effizient und die Dieselfahrzeuge der DB können am Rad nur durchschnittlich 21 % der im Rohöl steckenden Energie verwerten. Dies ist allerdings immer noch mehr als beim Pkw, bei dem typische Werte zwischen 14 % und 19 % liegen. Während die Energieausbeute des Dieselmotors nicht mehr dramatisch gesteigert werden kann und hier in erster Linie nur noch Verringerungen der Emissionen angestrebt werden, könnte bei elektrischen Bahnen schon mit heute verfügbarer Technik – wie etwa modernen Gas- und Dampfkraftwerken – eine Energieausbeute bis zum Rad von etwa 50 % erreicht werden. Ein weiterer Vorteil der Elektrotraktion besteht darin, nicht von einem einzigen Rohstoff abhängig zu sein und den Strom aus vielfältigen Quellen – z. B. auch aus völlig CO<sub>2</sub>-neutralen Wasserkraftwerken – erzeugen zu können.

## 2. Verluste durch Fahrwiderstände

In der Grafik 1 sind die Fahrwiderstände von Bahn und Pkw – jeweils auf einen Sitzplatz bezogen – dargestellt.



**Grafik 1:** Geschwindigkeitsabhängiger Fahrwiderstand für verschiedene Verkehrsmittel.



In der Grafik wird deutlich, dass die Bahn prinzipbedingt wesentlich geringere Fahrwiderstände zu überwinden hat als ein Pkw. Die Rollreibung der Stahlräder ist etwa zehnfach geringer als bei einem Gummireifen und auch der Luftwiderstand eines Zuges ist durch die langgestreckte Form viel geringer als der einer Autokolonne mit der entsprechenden Anzahl von Sitzplätzen.

## 3. Verluste durch Bremsvorgänge beim Anhalten und im Gefälle

In Bezug auf die Verluste durch Bremsvorgänge ist die Bahn im Nachteil, da in der Regel mehr Masse pro Sitzplatz bewegt wird.

Während ein typischer Pkw eine Masse von 300 bis 400 kg pro Sitzplatz aufweist, liegen die entsprechenden Werte für Nahverkehrstriebwagen bei 500 bis 600 kg und für Hochgeschwindigkeitszüge bei etwa 800 bis 1100 kg. Deshalb geht beim Bremsen auch entsprechend mehr Energie verloren. Dieser Nachteil der Bahn kann jedoch durch energiesparende Fahrweise sowie bei Elektrotraktion durch die Energierückspeisung teilweise ausgeglichen werden. Außerdem hat die Bahn in der Regel freie Fahrt, während Pkws sehr häufig verkehrsbedingt bremsen müssen. Trotzdem ergibt sich in dieser Hinsicht bei Dieseltriebwagen mit häufigen Halten im Nahverkehr ein Verbesserungspotenzial, das eine Motivation für die im zweiten Teil dieses Beitrags beschriebenen innovativen technischen Lösungen darstellt.

## Endenergieverbrauch

Aus den Angaben der DB AG zum durchschnittlichen spezifischen Energieverbrauch ihrer Züge lassen sich die folgenden Werte berechnen, die zum Zweck der Vergleichbarkeit alle auf den Verbrauch einer äquivalenten Menge Dieseldieselkraftstoff bezogen sind:

### Grafik 2: Energieverbrauch verschiedener Zuggattungen bezogen auf Pkw-Größe.

Anmerkung: Bei elektrischem Antrieb wurde der Energieverbrauch umgerechnet auf die Kraftstoffmenge unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste von Primärenergie in die im Fahrzeug verbrauchte Endenergie.

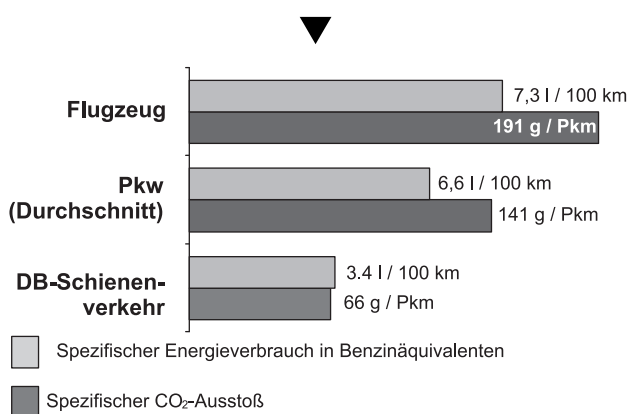
Quelle: (3).

Aus **Grafik 2** wird ersichtlich, dass der Energieverbrauch der Bahn nur bei weniger als der Hälfte des Verbrauchs eines typischen Pkw liegt und dass – bildlich gesprochen – das berühmte Drei-Liter-Auto auf der Schiene längst Realität ist. Der Energieverbrauch pro Sitzplatz und Kilometer ist zwar eine geeignete Messgröße, um die Energieeffizienz verschiedener Verkehrsmittel zu vergleichen. Aber letztlich muss der Energieaufwand auf eine bestimmte Transportleistung, also auf die Zahl der beförderten Personen bezogen werden, weshalb die Auslastung der verfügbaren Plätze eine große Rolle beim spezifischen Energieverbrauch spielt.

Die Bahn ist im Fernverkehr mit 46 % (ICE) bzw. 39 % (IC/EC) relativ gut ausgelastet, während sie im Nahverkehr nur Werte von 30 % (S-Bahn) bzw. 22 % (Regionalverkehr) erreicht (3). Ein Pkw ist im Mittel mit 1,5 Personen besetzt, was einer Auslastung von 38 % entspricht. In diesen offiziellen Zahlen wird allerdings vernachlässigt, dass auch bei Pkw-Fahrten eine sehr niedrige Auslastung auftritt, wenn der Fahrer nur eine zweite Person befördert, wie z. B. bei einer Taxifahrt oder wenn ein Kind zur Schule gefahren wird. Die Auslastung einer einzelnen Fahrt kann so bis auf 0,5 Personen pro gefahrenen Kilometer absinken, weil der Fahrer keinen eigenen Beförderungszweck erfüllt. Dann beträgt die mittlere Auslastung gerade noch 12,5 %.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bahn bei vergleichbarer Auslastung deutlich energieeffizienter ist als der Individual- und der Flugverkehr. Dementsprechend liegen auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einem wesentlich niedrigeren Niveau. Zudem bezieht die DB bereits 13,3 % ihres Stroms für den Zugbetrieb aus regenerativen Energiequellen. Die aktuellen Werte des spezifischen Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen für den gesamten Personenverkehr der DB im Vergleich zu den entsprechenden Werten für den Individual- und Flugverkehr bestätigen dies (siehe **Grafik 3**).

**Grafik 3:** Spezifischer Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Verkehrsträger im Jahr 2006 (Quelle: Allianz Pro Schiene, ifeu (6))



Noch gar nicht enthalten ist in diesen Vergleichen die Energie für die Herstellung der Fahrzeuge, die bei der Bahn aufgrund der langen Lebensdauer und der hohen Fahrleistung im Gegensatz zum Pkw kaum ins Gewicht fällt. Zudem erhöht jede zusätzliche Autofahrt den Energieverbrauch, während bei der Bahn für einen zusätzlichen Fahrgast nahezu kein Mehrverbrauch auftritt, solange keine Fahrplanausweitungen notwendig werden.

### ■ Geht der Vorsprung verloren?

**A**llerdings kann sich die Bahn nicht auf ihrem Vorsprung ausruhen, da die Automobilindustrie durch die EU-Gesetzgebung gezwungen wird, anspruchsvollere Verbrauchs- und CO<sub>2</sub>-Emissionsziele zu erreichen. Neue Pkw sollen in der EU bis 2012 nur noch 130 g/km ausstoßen. Im Durchschnitt liegt die Emission neuer Pkw in Deutschland heute bei 168 g/km.

Die DB konnte zwar in den vergangenen Jahren vor allem durch neue Fahrzeuge und durch Programme für energieoptimiertes Fahren den Energieverbrauch deutlich verringern und die Kraftwerke der DB haben einen um 20 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Energieeinheit als der Durchschnitt aller Kraftwerke in Deutschland (7), aber es bestehen noch viele Möglichkeiten, die Energieeffizienz im Bahnverkehr zu steigern:

- Auf der Seite der Infrastruktur wären Investitionen in den Kraftwerkspark notwendig, um diesen ökologisch zu modernisieren. Andere Bahnen, wie zum Beispiel die Bahnen in Skandinavien oder in Österreich und der Schweiz, stoßen viel weniger CO<sub>2</sub> aus, weil sie zu über 50 % mit Strom aus Wasserkraftwerken versorgt werden. Auch die Ausrüstung aller Unterwerke zur Rückspeisung von Strom aus dem Bahnnetz in das allgemeine Elektrizitätsnetz könnte den Energieverbrauch weiter senken, da der beim Bremsen erzeugte Strom nicht immer von anderen Fahrzeugen aufgenommen werden kann.
- Bei den Fahrzeugen könnten durch Leichtbau, durch Senkung des Strombedarfs für den Bordnetzbedarf (z. B. für den Betrieb der Klimaanlage) und durch eine bessere Anpassung der Kapazitäten an die Nachfrage, z. B. durch Flügelung von Zugteilen auf einzelnen Linienästen, weitere Verbesserungen erzielt werden.
- Zurzeit entwickeln die Fahrzeughersteller neue Fahrmotoren auf der Basis „permanent erregter“ Synchronmaschinen. Nach Angaben der Firma Alstom, die diese Motoren erstmals beim neuen Hochgeschwindigkeitstriebzug AGV einsetzt, können damit noch einmal 10 bis 20 % der Antriebsenergie eingespart werden. Auch Bombardier setzt diese Technik beim kürzlich vorgestellten „Grünen Zug“ ein und Siemens hat den sog. Syntegra-Antrieb auf dieser Basis entwickelt, mit dem ein Wirkungsgrad von 96 % erreicht wird.
- Bei Dieseltriebwagen könnte durch geeignete Antriebs- und Speichertechnologien ein Teil der Bremsenergie zurückgewonnen werden.

Diese Technik, die zuerst für Pkw und Busse entwickelt wurde, soll im Folgenden näher erläutert werden. Außerdem werden erste Anwendungen im Schienenverkehr vorgestellt.

### ■ Hybridtechnik bei Schienenfahrzeugen

In der Kraftfahrzeugtechnik wird unter einem „Hybridantrieb“ ein Antrieb mit zwei unabhängigen Antriebsquellen – einem Verbrennungs- und einem Elektromotor – sowie einem Energiespeicher zur Zwischenspeicherung von Bremsenergie verstanden.

Bei Schienenfahrzeugen wird der Begriff „Hybridantrieb“ teilweise anders verwendet. Die ersten Hybridfahrzeuge waren eigentlich Zweisystemfahrzeuge ohne Energiespeicher im Fahrzeug, mit denen direkte Reisen ermöglicht werden sollten, bei denen man nicht in ein anderes Fahrzeug umsteigen muss, wenn sich die Antriebsart ändert.

### ■ Diesel/Elektro-Zweisystemfahrzeuge

Bereits vor über 50 Jahren wurden in New York Diesellokomotiven eingeführt, die auch mit elektrischem Strom betrieben werden konnten. In Nordhausen wurde im Mai 2004 die weltweit erste niederflurige Straßenbahn „Combino Duo“ mit Diesel-Hybridantrieb in Betrieb genommen. Diese Zweisystem-Straßenbahn kann in der Stadt elektrisch unter einer 750 V-Fahrleitung verkehren und anschließend auf einer nicht elektrifizierten Strecke mithilfe ihres eingebauten Dieselmotors weiterfahren. Auch in Kassel wurde im August 2007 dieses Prinzip mit zehn Regionalstadtbahnen vom Typ Regio Citadis des Herstellers Alstom eingeführt. Sie verkehren in der Stadt unter der Fahrleitung der Straßenbahn und auf den nicht elektrifizierten Eisenbahnstrecken des Umlandes als Dieselfahrzeuge.

In Frankreich wurde im Juli 2007 der erste Triebwagen für den interregionalen Verkehr vorgestellt. Dieser sog. „Autorail Grande Capacité“ (AGC) wurde von Bombardier Transportation Frankreich entwickelt und kann sowohl elektrisch unter zwei verschiedenen Spannungen (1,5 und 25 kV als auch mit dem eingebauten Dieselmotor betrieben werden. Der Hybrid-AGC kann damit das gesamte Schienennetz übergangslos nutzen, sodass kein Umsteigen der Fahrgäste



Foto: Bombardier Transportation

*Hybrid-Triebwagen von Bombardier für den Regionalverkehr in Frankreich.*

mehr erforderlich ist und auch Strecken befahren werden können, auf denen sich eine Elektrifizierung nicht lohnen würde. Die SNCF wird den Hybrid AGC in der Region Champagne-Ardenne auf den Strecken zwischen Paris – Troyes – Culmont und zwischen Culmont – Saint-Didier – Vitry einsetzen und insgesamt 144 Einheiten bestellen. Auch in Deutschland verkehren oft genug Dieseltriebwagen über weite Strecken unter Fahrleitungen, was mit solchen Zweisystemtriebwagen vermieden werden könnte.

### ■ Hybridfahrzeuge mit Energiespeicher

Schon seit vielen Jahrzehnten wird versucht, die Bremsenergie von Fahrzeugen zurückzugewinnen. Zunächst wurden dafür mechanische Speicher wie zum Beispiel Schwungräder oder hydraulische Druckspeicher entwickelt und in Nahverkehrs-



Foto: Engel

*Combino Duo in Nordhausen: elektrisch durch die Stadt, mit Diesel über Land. So kann der günstigere elektrische Antrieb aus dem Dieselmotor gespeist werden, wo der Fahrdrat fehlt.*

bussen erprobt, mit denen ein Teil der beim Bremsen frei werdenden Energie zurückgeführt wurde. Aufgrund des Gewichts, des Platzbedarfs und der Kreiselkräfte konnte sich diese Technik aber nicht durchsetzen. Später wurden auch Busse mit dieselektrischem Antrieb entwickelt, die eine Blei-Batterie als Speichermedium nutzten. Auch diese Fahrzeuge kamen nie über das Versuchsstadium hinaus.

Kennzeichen der Hybridtechnik im Straßenfahrzeugbau ist neben der Verwendung eines Verbrennungs- und eines Elektromotors auch ein Speicher, in dem beim Bremsen Energie aufgenommen wird, die anschließend für den Antrieb zur Verfügung gestellt werden kann. Dies sind in der Regel moderne Hochenergiebatterien oder auch Hochleistungskondensatoren, die zwar nicht so viel Energie speichern können wie Batterien, dafür aber weniger Verluste beim Be- und Entladen aufweisen und im Betrieb kaum verschleifen.

Im Jahr 1997 brachte die Firma Toyota mit der Limousine „Prius“ erstmalig ein Serienfahrzeug auf den Markt, das mit einem neuartigen Hybridantrieb und einer modernen Nickel-Metallhydrid-Batterie ausgestattet war. Damit konnten vorwiegend im Stadtverkehr deutliche Verbrauchsvorteile erzielt werden, zu denen vor allem die Rückgewinnung der Bremsenergie beitrug. Kurze Zeit später hielt die Hybridtechnik in den USA auch bei Nahverkehrsbussen Einzug. Die Daimler-Tochter ORION Buses hat bis heute bereits etwa 1500 Busse mit Hybridantrieb produziert und ist damit Marktführer. Auch der Konkurrent General Motors hat über

1000 Hybridbusse verkauft. Eine Untersuchung bei den New Yorker Verkehrsbetrieben kam im Jahr 2005 zum Ergebnis, dass die Hybridbusse etwa 34 % weniger Treibstoff verbrauchten als die konventionellen Diesellbusse. Gleichzeitig sanken die Abgaswerte vor allem bei Dieselpartikeln und Stickoxiden durch den gleichmäßigeren Betrieb des Dieselmotors, der bei hoher Leistungsanforderung vom Elektromotor unterstützt werden kann (8).

**A**ls erster Serien-Hybridbus in Europa wird der Solaris URBINO Hybrid seit 2006 bei den Dresdener Verkehrsbetrieben sowie beim Regionalbus Lenzburg (Schweiz) eingesetzt. Der Antrieb dieses polnischen Busses basiert auf dem General-Motors-System und verwendet eine Nickel-Metallhydrid-Batterie. Auch in Deutschland ist ab 2009 eine Serienfertigung von Hybridbussen geplant. Mercedes-Benz hat kürzlich seinen erfolgreichen Citaro-Gelenkbus mit einem neuartigen Hybridantrieb und Lithium-Ionen-Batterien vorgestellt und wird bereits in diesem Jahr bei der Stuttgarter Straßenbahnen AG einen Versuchsbetrieb durchführen. MAN setzt dagegen eher auf Hochenergiekondensatoren als Energiespeicher und hat damit in Nürnberg erste Versuche durchgeführt. Auch der Schweizer Bushersteller Hess verwendet in seinem Doppelgelenkbus Lighttram® Hybrid dieses Prinzip der Energiespeicherung. Welches System sich langfristig durchsetzen kann, ist noch offen und vor allem von der Zuverlässigkeit des Energiespeichers abhängig.

## Wie wirtschaftlich ist ein Hybridantrieb?

### Beispiel Hybridbus

■ Die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs fragen – wie alle Wirtschaftsunternehmen – in erster Linie nach der Wirtschaftlichkeit der neuen Technik. Einen Einblick in solche Zusammenhänge bieten Zahlen, die für die Hybridbusse mit Diesel- und Elektroantrieb bekannt wurden.

Die eine Seite ist der absolute Energieverbrauch im Praxisbetrieb. Vielfach wird von Verkehrsbetrieben ein Durchschnittsverbrauch von 50 Liter Diesel je 100 km angegeben. Dieser Verbrauch variiert aber sehr stark – je nach den örtlichen Betriebsverhältnissen (Haltestellendichte, Ampelhalte, Steigungen). Praxistests mit der ersten Generation der Hybridbusse von Solaris ergaben eine Einsparung von 15 % Diesel. Die Dieselmotoren der ersten Generation leisteten 243 kW und erwiesen sich als überdimensioniert. Der Elektromotor, der vor allem aus gespeicherter Bremsenergie gespeist wird, entlastet den Diesel-

antrieb stärker als zunächst erwartet. Die zweite Generation der Solaris-Hybridbusse, zu denen auch der Bremer Hybridbus gehört, zeichnet sich durch einen kleineren Dieselmotor aus, der 178 kW Leistung bringt und eine Einsparung von 30 % Diesel verspricht – die Praxistests bei den Verkehrsunternehmen müssen das jetzt belegen.

Der Energieersparnis steht ein Mehrpreis von derzeit 150 000 Euro je Bus gegenüber. Realisiert sich die Ersparnis, so ist mit der Amortisation der Mehrkosten binnen sechs Jahren zu rechnen. Dann sind allerdings die Speicherbatterien verschlissen und müssen ausgetauscht werden. Bei einem Lebenszyklus von zwölf Jahren für Busse im Stadtverkehr wird die „Schallgrenze“ der Wirtschaftlichkeit also erst im Laufe der zweiten „Halbzeit“ des Lebens überschritten. Die Wirtschaftlichkeit für diese Busse ist damit erst dann gegeben, wenn

der Dieselpreis weiter anzieht und gleichzeitig die Hybridausführung durch Serienproduktion zu günstigeren Preisen zu haben ist.

#### ➔ Wie hoch ist der wirtschaftliche Anreiz zur Innovation?

Dennoch ist der Druck, diese neue, in der Anschaffung dauerhaft teurere Technik zu beschaffen, vergleichsweise gering. Selbst 30 % Einsparung beim Diesel macht sich nur mit schätzungsweise 6 % der Gesamtkosten des Busverkehrs bemerkbar. Moderne Dieseltriebwagen im regionalen Eisenbahnverkehr verbrauchen etwa genau so viel Energie wie ein Stadtbuss, aber die Gesamtkosten des Betriebes betragen – unter Einschluss der Trassenentgelte, die der Bus nicht kennt –, etwa das Fünffache. Der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten

ist daher entsprechend niedriger. Zugleich ist das Sparpotenzial niedriger, da die Halteabstände viel größer und die Fahrweise gleichmäßiger ist als beim Stadtbuss. Das finanzielle Sparpotenzial liegt mithin bei 1 bis 2 % der Gesamtkosten. Erst noch viel drastischer steigende Energiekosten werden die Entwicklung von Hybrid-Triebwagen beschleunigen.

Die Alternative des unmittelbaren Einsatzes elektrischer Energie hat in Deutschland wenig Chancen. Der Obus hat in Deutschland keine Heimat mehr, der Bau von Straßenbahnen ist vergleichsweise teuer. Die Elektrifizierung von Regionalbahnen aus energiewirtschaftlichen Gründen wird noch nicht diskutiert, und das Monopol von DB Energie

bei der Energieversorgung lässt deren Wettbewerber lieber Diesel tanken. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die städtischen Verkehrsunternehmen ganz vorn bei der Entwicklung der neuen Technik dabei sind, weil sie ihren Ratsherren erklären können, dass das Geld gut angelegt ist. Auch gibt es für den Kauf von Hybridbussen Fördergelder der Bundesregierung.

### → Keine Förderung bei der Eisenbahn

Für die Eisenbahnunternehmen, aber auch für den Bus-Regionalverkehr gibt es keinen solchen Anreiz – bei den Ausschreibungen regiert der augenblickliche Preis.

Für die Aufgabenträger des Schienenpersonennahverkehrs, aber auch für alle kommunalen Aufgabenträger, die ihren Busverkehr ausschreiben, heißt das: Wer nur auf den Preis schaut, bekommt so schnell keine umweltfreundlichen Bahnen und Busse. Das ist auch der Hintergrund, warum die DB derzeit große Fahrzeugserien für den Regionalverkehr mit herkömmlicher Technik ordert, um im Preis möglichst günstig dazustehen. Das unternehmerische Interesse ist noch zu gering. Forschung und Entwicklung müssen daher als staatliche Aufgabe organisiert werden – aber bislang gibt es dafür keine finanzielle Grundlage und kein politisches Bewusstsein.

Rainer Engel



*Viele Unternehmen sammeln mit Hybridbussen Praxiserfahrungen: Hier stellt die Bremer Straßenbahn Aktiengesellschaft ihren Solaris-Hybridbus vor.*

→ **D**iese Erfolge der Hybridtechnik im Bereich der Straßenfahrzeuge und die Fortschritte bei der Batterieentwicklung haben dazu geführt, dass diese Technik auch für Schienenfahrzeuge weiterentwickelt wird. Auf Nebenstrecken, für die eine Elektrifizierung zu teuer ist, kann mithilfe der Hybridtechnik der Dieselantrieb sparsamer und umweltfreundlicher werden. Allerdings sind die Anforderungen wegen des langen Lebenszyklus bei Schienenfahrzeugen noch anspruchsvoller als z. B. bei Pkws.

### ■ Hybridbahnfahrzeuge mit Energiespeicher

In Japan stellte die Firma Hitachi 2003 den weltweit ersten Dieseltriebwagen mit Hybridantrieb vor (9). Mit diesem sog. New Energy (NE) Train konnte eine Verbrauchsreduktion

von 20 % und eine Reduzierung der Abgase um 50 % gegenüber Standardtriebswagen erreicht werden. Dies resultiert zum einen aus der Verwendung eines kleineren und leichteren Dieselmotors, der beim Anfahren vom Elektromotor unterstützt wird, und zum anderen aus der Rückgewinnung der Bremsenergie. Dabei wird der Elektromotor als Stromgenerator verwendet und mit dessen Strom die Batterie aufgeladen. Außerdem wird das Abstellen des Motors beim Ausrollen und bei Halten ermöglicht.

Mittlerweile ist dieser Prototyp zum weltweit ersten Triebwagen mit Brennstoffzellen-Antrieb umgebaut worden. Der Hybridtriebwagen wird von der privaten Eisenbahngesellschaft East Japan Railways seit 2007 auf der Koumi Line zwischen Kobuchizawa und Komoro im regelmäßigen Linienbetrieb eingesetzt. Es handelt sich dabei um eine Gebirgslinie



*New Energy Train  
von Hitachi.*



Foto: Hitachi

mit 1067 mm Spurweite, die mit der Nobeyama Station in 1346 m Höhe den höchstgelegenen Bahnhof Japans bedient. Die Firma Hitachi plant nun auch, die Hybridtechnik in Europa einzuführen, und hat dazu zunächst in Großbritannien einen Diesel-Hochgeschwindigkeitstriebzug mit Hybridtechnik ausgerüstet. Im Mai 2007 wurden damit erste Versuchsfahrten auf einer englischen Museumsstrecke durchgeführt. In Deutschland stellte der Friedrichshafener Motorenhersteller Tognum (MTU) auf der Innotrans 2008 einen kombinierten Unterflurantrieb mit Diesel- und Elektromotor (Powerpack) für Dieseltriebwagen vor.

### ■ Dieselelektrische Lokomotiven mit Hybridantrieb

Die Hybridtechnik erreichte zuerst in den USA ihren Durchbruch und gilt dort als Schlüsseltechnologie für umweltfreundliche Mobilität, die nun auch bei nicht straßengebundenen Fahrzeugen angewendet werden soll. Ein geeignetes Einsatzgebiet sind Diesellokomotiven, die dort alle einen dieselelektrischen Antrieb haben, der relativ leicht zu einem Hybridantrieb erweitert werden kann. Die erste Hybridlokomotive wurde von der kleinen Firma Railpower entwickelt, die gebrauchte Rangierlokomotiven nachträglich mit Hybridtechnik ausstattete. Mittlerweile wurden schon etwa 50 dieser Lokomotiven in den USA verkauft. Gerade Rangierlokomotiven sind für einen Hybridbetrieb prädestiniert, denn das Zusatzgewicht der Batterien ist hier erwünscht, um mehr Zugkraft auf die Schiene bringen zu können. Hauptmotivation, solche Lokomotiven zu bauen, sind jedoch neue Bestimmungen zur Luftreinhaltung in den USA, die in Zukunft auch für Schienenfahrzeuge gelten sollen. Dort laufen noch heute die Motoren vieler Diesellokomotiven während der Betriebspausen stundenlang im Leerlauf und produzieren entsprechende Mengen an Schadstoffen.

Nun ist auch der größte Diesellokomotivenhersteller der Welt, die Firma General Electric, auf diese Technik aufmerksam geworden und hat im Mai 2007 in Los Angeles die 207 Tonnen schwere sechsachsige Streckenlokomotive Evolution® Hybrid vorgestellt, die mit einer Natrium-Nickelchlorid-Hochtemperaturbatterie ausgerüstet ist. Sie speichert die Bremsenergie und kann diese in eine elektrische Zusatzleistung von 1500 KW umsetzen, durch die der Dieselmotor



Foto: Kawasaki

„SWIMO“-Straßenbahn von Kawasaki Heavy Industries:  
Mit Batterien kann sie auch ohne Oberleitung fahren.

unterstützt wird. Damit können etwa 10 % Dieselkraftstoff eingespart werden.

### ■ Elektrische Triebwagen mit Energiespeicher

Mancher erinnert sich noch an die Akkumulatortriebwagen ET515 der DB aus den 50er- und 60er-Jahren, die mit tonnenschweren Bleibatterien und Elektromotoren ausgerüstet waren. Diese Fahrzeuge konnten immer nur an den Endhaltestellen wieder aufgeladen werden. Ein Laden der Batterien während der Fahrt auf Abschnitten mit Fahrdrat war damals nicht vorgesehen.

Im Jahr 1990 wurde in Karlsruhe zu Versuchszwecken eine Straßenbahn mit einer Natrium-Schwefel-Hochtemperaturbatterie ausgerüstet, um auch Strecken außerhalb des Straßenbahnnetzes befahren zu können. Die Batterien wurden auf den elektrifizierten Abschnitten wieder aufgeladen. Daraus entwickelte sich das „Karlsruher Modell“, das jedoch auf elektrifizierte Strecken beschränkt blieb.

Nun unternimmt Kawasaki Heavy Industries einen neuen Anlauf und präsentiert eine Straßenbahn, die auch auf nicht elektrifizierten Gleisen fährt. Die sog. „SWIMO“-Straßenbahn wird entweder über die Oberleitung oder aus modernen Nickel-Metallhydrid-Batterien versorgt und kann mit einer Batterieladung mehr als 10 km ohne Fahrdrat zurücklegen. Eine ähnliche Lösung wird bei der am 24. November 2007

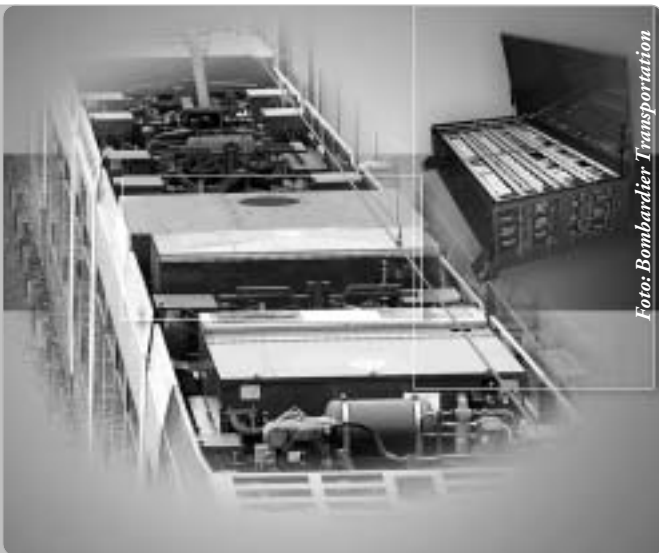


Foto: Bombardier Transportation

Energiespeicher MITRAC Energy Saver  
in Mannheimer Straßenbahn.

eröffneten Straßenbahn in Nizza eingesetzt. Weltweit zum ersten Mal wird hier eine Straßenbahn im Linienbetrieb über eine Teilstrecke aus einer Batterie versorgt, sodass keine Stromversorgung über Oberleitungen notwendig ist. Dank der weggefallenen Masten und Oberleitungen kann der Charakter der beiden historischen Plätze, Place Masséna und Place Garibaldi, erhalten werden. Die Firma Alstom hat diese Technik entwickelt und auch die zugehörigen Fahrzeuge der Citadis-Reihe geliefert.

Auch die Firma Bombardier Transportation hatte bereits 2003 in Mannheim eine ähnliche Lösung vorgestellt: Eine Straßenbahn wurde mit einem Speichersystem, dem sog. MITRAC Energy Saver ausgerüstet, das ebenfalls eine Fahrt mit gesenktem Stromabnehmer über bis zu 1000 Meter ermöglicht. Anders als bei der Straßenbahn in Nizza kommen hier Hochenergie-Kondensatoren als Energiespeicher zum Einsatz, die zwar wesentlich kleinere Energiemengen speichern können, dafür aber mit geringeren Verlusten be- und entladen werden können und eine längere Lebensdauer als Batterien haben. Nach vierjährigen Versuchen im Linienbetrieb wurde der Energieverbrauch ausgewertet, wobei sich eine Reduzierung um 20 % ergab. Dies wird durch die Zwischenspeicherung der Bremsenergie an Bord des Fahrzeugs erreicht. Herkömmliche Straßenbahnen müssen diese in Bremswiderständen vernichten, wenn eine Rückspeisung in die Fahrleitung nicht möglich ist, weil keine andere Bahn im gleichen Speiseabschnitt verkehrt oder das Netz nicht mehr aufnahmefähig ist. Diese Technik wird nun in den energieeffizienten Straßenbahnen der nächsten Generation in Heidelberg eingesetzt.

Eine Serienanwendung könnte auch in München erfolgen, wo sich die MVG seit Jahren erfolglos darum bemüht, eine Straßenbahnlinie als sog. Westtangente durch den Englischen Garten zu führen, um eine Lücke im Netz zu schließen. Dort fahren zwar schon Dieselsebusse, aber die notwendigen Oberleitungsmasten wurden von der bayerischen Regierung und zuletzt auch vom bayerischen Verwaltungsgericht aus Denkmalschutzgründen abgelehnt. Nun soll demnächst eine Variobahn mit Speicherkondensatoren ausgerüstet werden,

um zu erproben, ob damit eine Querung des Englischen Gartens ohne Fahrleitung möglich wäre.

### ■ Leichttriebwagen mit Hybridantrieb aus Gasmotor und Schwungradspeicher

Eine sparsame und gleichzeitig innovative Lösung zum Betrieb von Nebenstrecken wurde in Großbritannien von der Firma Parry gefunden. Diese entwickelte ein völlig neuartiges Fahrzeug, das wesentlich leichter als herkömmliche Bahntriebwagen ist und einen Hybridantrieb besitzt. Dieser „Parry People Mover“ wird von einem Flüssiggas-Automotor sowie einem Schwungrad angetrieben, das an den Haltestellen mithilfe eines Elektromotors aufgeladen wird. Der Speicher kann dann über einen Hydraulikantrieb mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt werden und diesen unterstützen.

Der Energieverbrauch ist nur etwa ein Drittel so hoch wie bei einem herkömmlichen Triebwagen. Die Fahrzeuge sind nur 9,60 m lang und bieten etwa 25 Sitzplätze. Seit 2006 werden Versuche auf einer 1,3 km lange Stichstrecke zwischen Stourbridge Junction und Stourbridge Town durchgeführt. Das Verkehrsunternehmen Govia betreibt das „London Midland Rail“-Netz und wird ab Dezember 2008 den Verkehr auf dieser Linie übernehmen. Da sich das Konzept bei den Demonstrationsfahrten bewährt hat, werden nun zwei neue Fahrzeuge gebaut, die anstelle der heute verkehrenden Pendeltriebwagen eingesetzt werden sollen (10).



Foto: Parry People Movers Ltd.

Vorserienmodell des Parry People Movers  
in Stourbridge/England.

### ■ Innovationen kontra Rendite

Leider beschränkt sich bei der DB das Thema Energiesparen derzeit weitgehend auf das Programm zum energiesparenden Fahren, das jedoch bei Nahverkehrsfahrzeugen nicht angewendet wird. Dagegen sind keine Projekte zur besseren Energieeffizienz bei Dieseltriebwagen bekannt, obwohl allein schon mit modernen Start/Stopp-Systemen während der Stationsaufenthalte bzw. durch Abstellen einzelner Fahrmotoren während der Fahrt Einsparungen zu erzielen wären. Bei den neuen dieselhydraulischen Triebzügen Desiro UK Class 185 der Firma Siemens, die seit März 2006 vom Betreiberkonsortium First Group & Keolis auf dem First-TransPennine-Streckennetz in Großbritannien eingesetzt werden, konnten mit einer solchen Technik 7 % des Treibstoffverbrauchs eingespart werden (11). Es müsste eigentlich die Aufgabe der DB Systemtechnik sein,

solche Innovationen voranzutreiben. Die Beteiligung der DB Systemtechnik an den aufwendigen Weltrekordversuchen eines TGV auf der Schnellfahrstrecke Paris – Straßburg und der Siemens-Lok Taurus auf der Neubaustrecke Nürnberg – Ingolstadt zeigt, dass die technische Zusammenarbeit mit der Fahrzeugindustrie durchaus angestrebt wird. Auf dem wichtigen Gebiet der Energieeinsparung überlässt man dagegen anderen die technologische Führerschaft. Das von Hartmut Mehdorn schon häufig als Vorbild genannte integrierte private Bahnunternehmen JR East in Japan führt jedenfalls eigene Programme mit Hybrid- und Brennstoffzellentechnik durch. Während die DB noch zu Staatsbahnzeiten durchaus experimentierfreudig war und zusammen mit der Fahrzeugindustrie immer wieder neue Antriebskonzepte entwickelte – wie z. B. die erste in Serie gebaute Drehstrom-Lokomotive der Welt mit elektronischen Frequenzumrichtern, die Baureihe 120 –, scheut sie in der Vorbereitungsphase eines Börsengangs Investitionen, die sich erst in der Zukunft auszahlen und überlässt Neuentwicklungen weitgehend der Bahnindustrie. Auch die allgemeine Forschung im Bereich Eisenbahntechnologie wird in Deutschland nur an wenigen Universitäten betrieben, während in Frankreich, Schweden, Tschechien und Japan staatliche Eisenbahn-Forschungsinstitute an Zukunftsthemen wie der Energieeffizienz bei der Bahn forschen. Es wäre deshalb höchste Zeit, dass die DB einem strategisch so wichtigen Gebiet wie dem Energieverbrauch die gleiche Aufmerksamkeit widmet wie fragwürdigen Temporekorden, die den Fahrgästen am Ende wenig Vorteile bringen und nur die Energiekosten und den Materialverschleiß in die Höhe treiben.

### ■ Chancen nutzen!

Die Bahn ist das einzige Massenverkehrsmittel, das weitgehend von Erdölimporten unabhängig ist und gegenüber konkurrierenden Verkehrsmitteln systembedingt weiterhin einen großen Vorsprung bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist, solange die Auslastung auf einem vernünftigen Niveau liegt. Die Bahn darf aber nicht auf ihrem erreichten Stand verharren, da der Pkw-Verkehr in Zukunft aufgrund politischen Drucks seine Ökobilanz verbessern wird. Weitergehende Energiesparmaßnahmen sind deshalb notwendig und mit Anwendung innovativer Technik im Fahrzeugbau und bei der Energieversorgung auch durchführbar. Die DB AG sollte dies als Chance nutzen, um ihr ökologisches Image auszubauen und gleichzeitig Vorsorge für künftig drohende Energiekrisen zu treffen. Eine Möglichkeit zur Steigerung der Energieeffizienz ist die Hybridtechnik, die sich bei Nah-

verkehrsbussen bereits bewährt hat und immer mehr Verbreitung findet. Sie ist zwar noch mit erheblichen Mehrkosten verbunden, bietet aber einen hohen Imagegewinn und langfristig auch niedrigere Betriebskosten.

Auf der Schiene bietet die Hybridtechnik gegenüber herkömmlichen Fahrzeugen noch eine Reihe von weiteren Vorteilen, wie zum Beispiel abschnittsweise emissionsfreies Fahren, Fahren ohne Oberleitung in historischen Stadtkernen oder die Möglichkeit von umsteigefreien Verbindungen aus nicht elektrifizierten Nebenstrecken in die elektrifizierten Netze der Ballungsräume und nicht zuletzt einen geringeren Energieverbrauch und weniger Schadstoffemissionen. Diese Technik ermöglicht mehr Komfort für die Fahrgäste und kann sowohl technisch interessierte als auch ökologisch orientierte Neukunden an den Schienenverkehr binden.

## Quellen

- (1) <http://www.energiekrise.de>\*
  - (2) Wissenschaftliche Grundlagen zur Klimaänderung (IPCC)\*
  - (3) Wissenschaftlicher Grundlagenbericht zum UmweltMobilCheck, IFEU-Institut, Heidelberg, Mai 2008\*
  - (4) Präsentation „High Speed Trains and Energy Efficiency“ der RENFE auf der 3. UIC Energieeffizienz Konferenz 19. bis 21. Sept. 2007 in Portoroz, Slowenien\*
  - (5) COMBINO – Niederflurbahnen. Erprobung, Erfahrungen Der Nahverkehr, 9/1998, Seiten 50–57
  - (6) Allianz Pro Schiene: Umweltschonend mobil. Bahn, Auto, Flugzeug, Schiff im Umweltvergleich\*
  - (7) Zusammensetzung des Strommix der DB Energie, Stand Dezember 2007, Quelle: [www.dbenergie.de](http://www.dbenergie.de)\*
  - (8) R. Barnitt, K. Chandler: New York City Transit (NYCT) – Hybrid (125 Order) and CNG Transit Buses, Final Evaluation Results\*
  - (9) JR EAST Technical Review-No.4, S. 62: Development of an NE-Train\*
  - (10) Wikipedia (englisch) unter Stourbridge\_Town Branch Line\*
  - (11) Eisenbahn-Revue International 3/2008, S. 133.
- \* Im Internet verfügbar, Link unter [www.der-fahrgast.de](http://www.der-fahrgast.de) > Aktuell



*Diesellokomotiv  
unter Fahrdrabt:  
Der Effizienz-  
vorsprung der  
elektrischen  
Energie bleibt  
ungenutzt.  
Dieser Zug fährt  
von Saalfeld bis  
Lichtenfels 90 km  
weit unter Fahr-  
drabt.*