

Systemmerkmale und Innovationspotentiale des modernen Eisenbahnverkehrs

VON ROLF KRACKE, HANNOVER

1. Einführung

Das in letzter Zeit häufig gebrauchte Wort von der „Renaissance der Eisenbahn“ charakterisiert in der Tat realistisch die gegenwärtige Entwicklung der Eisenbahn, und zwar insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland.

Bei kritischer Betrachtung der Situation drängt sich allerdings die Frage auf, ob in diesem über 150 Jahre alten Rad/Schiene-System, das so treffend Eisenbahn genannt wird, überhaupt noch ein Innovationspotential steckt – und wenn ja: welche Entwicklungstendenzen zu verfolgen sind, um dieses Potential realisieren zu können.

Diese Frage ist um so berechtigter, als die technischen Komponenten des Eisenbahnsystems – das Stahlrad mit dem Spurkranz auf der Stahlschiene und diese auf Schwellen befestigt, die in einem Steinschotterbett liegen (Bild 1) – vom Beginn des Eisenbahnzeitalters vor 1 1/2 Jahrhunderten bis zur Gegenwart in ihrer ebenso einfachen wie genialen Kombination im Prinzip unverändert geblieben sind, wengleich natürlich im Laufe der 150 Jahre zahlreiche Verbesserungen im Detail entwickelt und eingeführt worden sind.

Um die Entwicklungstendenzen und Innovationspotentiale des modernen Eisenbahnverkehrs darstellen zu können, müssen vorab die Systemmerkmale dieser Technik und die Folgerungen für ihre systemgerechte Anwendung erläutert werden.

2. Systemmerkmale der Rad/Schiene-Technik

Praktisch sind es nur zwei besondere Merkmale, die das System Eisenbahn kennzeichnen und seine Eigenschaften bestimmen:

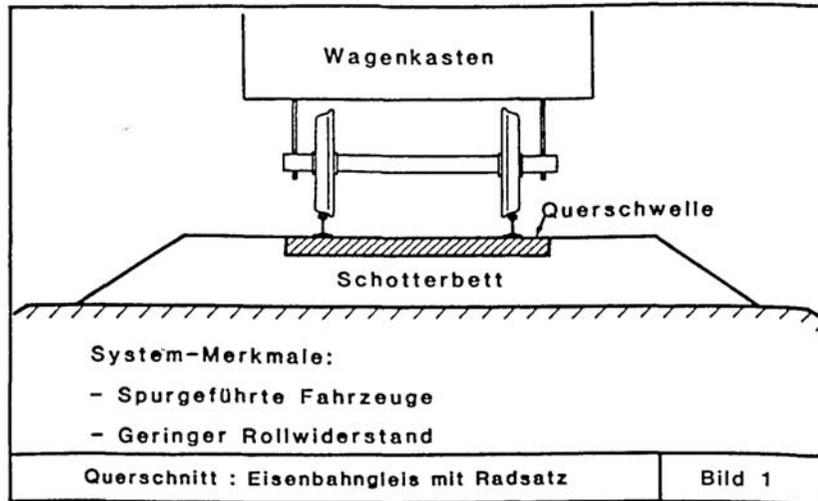
- die Spurführung des Rades und damit des Fahrzeuges durch den Spurkranz sowie
- der geringe Rollwiderstand des Stahlrades auf der Stahlschiene.

Diese beiden Grundmerkmale haben sechs wesentliche Systemeigenschaften zur Folge, aus denen die zweckmäßigen Einsatzmöglichkeiten des Verkehrssystems Eisenbahn abgeleitet werden können. Diese Systemeigenschaften sind:

- Das Fahrzeug ist an den (aufwendigen!) Fahrweg gebunden, d. h. die spurgeführten Eisenbahnfahrzeuge sind nicht frei lenkbar wie Kraftfahrzeuge. Damit wird die Bahn

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Kracke
Institut für Verkehrswesen,
Eisenbahnbau und -betrieb
Universität Hannover
Callinstr. 32
3000 Hannover 1



zu einem Linienverkehrsmittel, das zur Erschließung dünn besiedelter Flächen mit geringem Verkehrsaufkommen nicht geeignet ist.

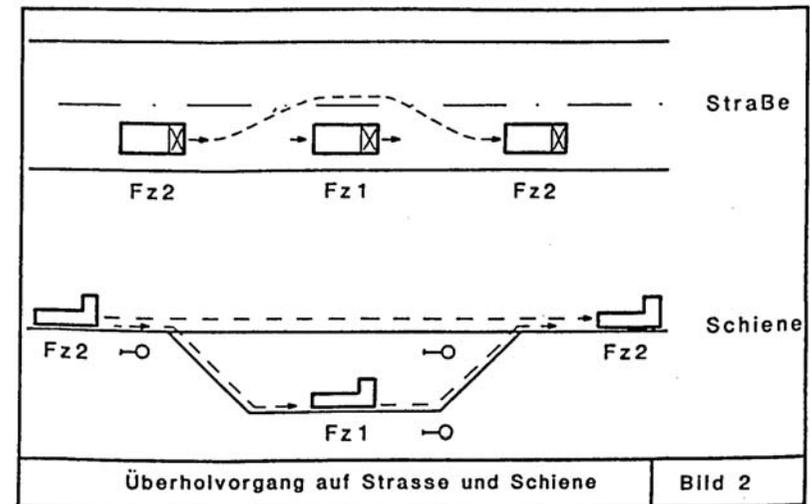
- Für die Verknüpfung einzelner Fahrwege sind besondere Bauelemente, die Weichen und Kreuzungen, erforderlich, mit denen eine unbegrenzte Netzbildungsfähigkeit des Verkehrssystems Eisenbahn möglich ist.
- Die Fahrzeuge (Wagen) müssen im Zugverband befördert werden. Dafür reicht i. a. ein Triebfahrzeug aus (Lokomotive mit einmänniger Besetzung).
- Bei der Eisenbahn sind wegen der sicheren Spurführung der Fahrzeuge hohe Geschwindigkeiten möglich. Diese Tatsache hat für den Personenverkehr inzwischen eine große Bedeutung erlangt und wird sich künftig auch auf den Güterverkehr spürbar auswirken.
- Für die gleiche Transportleistung ist bei der Eisenbahn wegen des geringen Rollwiderstandes der Fahrzeuge ein geringerer Energieaufwand erforderlich als bei anderen Verkehrsmitteln. Zudem ist der elektrische Fahrzeugantrieb umweltfreundlich und ressourcensparend.
- Der Fahrbetrieb der Eisenbahn ist bei hohem Sicherheitsgrad weitgehend automatisierbar, da alle Fahrzeugbewegungen nach Ort und Zeit, d. h. nach Fahrweg und Fahrplan definiert sind. Dies ermöglicht bei einem systemkonform strukturierten Eisenbahnnetz einen geringen Personalaufwand bei hoher Produktivität.

Insbesondere in den drei letztgenannten System-Eigenschaften steckt in der Tat ein noch nicht ausgeschöpftes bedeutendes Innovationspotential, das Gegenstand der weiteren Ausführungen sein wird.

Zuvor sollen jedoch die drei erstgenannten Eigenschaften etwas näher erläutert werden, da sie die Einsatzmöglichkeiten des Systems Eisenbahn einschränken bzw. einen bestimm-

ten, d. h. systemkonformen Einsatz logischerweise zwingend vorschreiben, sofern jedenfalls Eisenbahnen wirtschaftlich betrieben werden sollen.

Die Bindung der Fahrzeuge an ihren Fahrweg erfordert sehr viel konsequenter als beim Straßenverkehr getrennte Gleisanlagen für den fließenden und den ruhenden Verkehr, was schon am einfachen Vergleichsfall des Überholvorganges auf Straße und Schiene deutlich wird (Bild 2).



Treffen derartige Vorgänge mehrfach und gleichzeitig zusammen, sind umfangreiche Bahnhofsanlagen mit zahlreichen Weichen und Kreuzungen sowie aufwendigen Signalanlagen zur Sicherung aller Fahrbewegungen erforderlich, die entsprechend hohe Kosten für Betrieb und Unterhaltung verursachen.

Andererseits erlauben die Fahrwegelemente Weichen und Kreuzungen – wie bereits erwähnt – eine unbegrenzte Netzbildungsfähigkeit des Eisenbahnsystems mit seinem weltweit einheitlichen Fahrweg (abgesehen von historisch bedingten unterschiedlichen Spurweiten). Eisenbahnverkehr kennt daher keine nationalen Grenzen – eine Tatsache mit bedeutsamen politischen Aspekten gerade auch für Westeuropa.

Eine besonders herausragende Bedeutung hat das Merkmal „Fahren im Zugverband“ für den Güterverkehr. Da Güter nicht wie Menschen (Reisende) von einem Zug in einen anderen umsteigen können, müssen die Güterwagen auf ihrem Laufweg von der Quelle zum Ziel oft mehrmals umgestellt, d. h. rangiert werden. Diese sog. „Zugbildungen“ im Eisenbahngüterverkehr sind außerordentlich zeit- und kostenaufwendig, wenn man bedenkt, daß in der Bundesrepublik auf einem Streckennetz von rd. 28.000 km rd. 300.000 Güterwagen als Einzelwagen oder Wagengruppen zwischen mehr als 4.000 Quell-

und Zielpunkten mit möglichst wenigen Zügen befördert werden müssen. Die Sammlung und Verteilung dieser rd. 300.000 Güterwagen im DB-Netz, von denen täglich im Durchschnitt 50.000 beladen werden, ist ein außerordentlich schwieriges logistisches Optimierungsproblem mit der hierarchischen Stufung von zentralen Rangierbahnhöfen, regionalen Knotenpunktbahnhöfen und Satelliten für die Feinverteilung. Ohne auf weitere Einzelheiten einzugehen, sei hier nur hervorgehoben, daß der Eisenbahngüterverkehr dann besonders wirtschaftlich – weil eben systemkonform – abgewickelt werden kann, wenn ganze Güterzüge ohne Rangiervorgänge von der Quelle bis zum Ziel (ohne Halt) durchfahren können. Immerhin trifft dies inzwischen auf rd. 50 % des gesamten Güteraufkommens der DB auf der Schiene zu.

Ebenso deutlich wird aber auch in diesem Zusammenhang, daß die Verkehrserschließung der Fläche und der ländlichen Räume mit Eisenbahnstrecken überall dort von Natur aus unwirtschaftlich sein muß, wo das Verkehrsaufkommen zu gering ist, um die teuren festen Anlagen auszunutzen, bzw. wo die Güterwagen zu oft und zu lange rangiert werden müssen. Kurzgefaßt muß hier die Feststellung genügen: Die Eisenbahn ist als Verkehrsmittel in der Fläche dem Pkw im Personenverkehr ebenso wie dem Lkw im Güterverkehr hoffnungslos unterlegen. Hier ist auch in Zukunft kein nennenswertes Innovationspotential zu erwarten.

Auf diesem Problemfeld können nicht Ökonomen oder Ingenieure, sondern müssen die Verkehrspolitiker klare Entscheidungen fällen: Die Eisenbahn ist und bleibt wegen ihrer Systemmerkmale ein Linienverkehrsmittel, d. h. sie ist geeignet zur Bedienung starker Verkehrsströme zwischen Knotenpunkten mit möglichst minimalem Rangieraufwand.

3. Systemvorteile und Innovationspotential

Die Innovationspotentiale des modernen Eisenbahnverkehrs ergeben sich im wesentlichen aus den drei letztgenannten Systemeigenschaften

- hohe Geschwindigkeit
- geringer Energieverbrauch
- Automatisierbarkeit bei hohem Sicherheitsgrad.

Diese Systemvorteile der Eisenbahn sind vor allem auch zu sehen im Vergleich zu den konkurrierenden Verkehrsmitteln zu Lande (Pkw und Bus, Lkw und Binnenschiff) und dem Flugzeug. In konzentrierter Kürze lassen sich drei wesentliche Feststellungen treffen:

- 1) Alle Konkurrenz-Verkehrsmittel haben aus technischen und wirtschaftlich-ökonomischen Gründen die Grenzen ihrer Beförderungsgeschwindigkeit erreicht.
- 2) Eine gewisse Verringerung des Energieverbrauchs erscheint zwar bei den Konkurrenz-Verkehrsmitteln partiell noch möglich, jedoch sind sie alle auf absehbare Zeit zu ihrer Fortbewegung praktisch ausschließlich auf Mineralöl angewiesen.
- 3) Eine der Eisenbahn vergleichbare Automatisierbarkeit bei gleichem Sicherheitsniveau würde – wenn überhaupt technisch realisierbar – unvermeidbar hohe Kosten verursachen.

Zu den Systemvorteilen der 150 Jahre alten Eisenbahn Geschwindigkeit – Energiever-

brauch – Sicherheit sind nur wenige Erläuterungen erforderlich, da sie aus den physikalisch-technischen Randbedingungen gewissermaßen direkt ablesbar sind.

Die Eisenbahn ist mit ihren spurkranzgeführten Rädern auf Stahlschienen für hohe Fahrgeschwindigkeiten geradezu prädestiniert. Bekanntlich betreiben die Japanischen Staatsbahnen (JNR) ihr Shinkansen-System seit 1964, d. h. 22 Jahre, mit einer durchgehenden Fahrgeschwindigkeit von 210 km/h (unfallfrei!) unter Verwendung ganz konventioneller Technik.

Die Französischen Staatsbahnen (SNCF) halten seit 1981 den absoluten Geschwindigkeits-Weltrekord auf der Schiene mit 380 km/h, der auf der Neubaustrecke Paris – Lyon vor ihrer offiziellen Inbetriebnahme mit einem normalen TGV-Triebzug erreicht wurde. Seit September 1983 wird bekanntlich die 410 km lange neue Strecke Paris – Lyon mit durchgehend 270 km/h (bisher ebenfalls völlig unfallfrei!) befahren.

In der Bundesrepublik wird das Schnellfahrzeitalter mit Fertigstellung der Neubaustrecken beginnen, wenn dann ab 1990/91 der neue Hochgeschwindigkeitszug Intercity-Express (ICE) als Serienfahrzeug des Ende November 1985 der Öffentlichkeit vorgestellten ICE-Prototyps diese neuen Strecken mit 250 km/h befahren wird. Die bestehenden alten Strecken erlauben wegen ihrer ungünstigen Trassierung trotz Ausbaumaßnahmen bisher leider nur maximal 200 km/h.

Doch allein schon die Tatsache, daß auf unseren über 100 Jahre alten Eisenbahntrassen heutzutage zumindest teilweise 200 km/h gefahren werden können, beweist das bisher ausgeschöpfte Innovationspotential der Rad/Schiene-Technik; denn die damaligen Erbauer haben sicherlich niemals an derartig hohe Geschwindigkeiten gedacht und daher natürlich auch die Strecken dafür nicht trassiert.

Es ist allerdings müßig, Geschwindigkeitsrekorde und das absolut mögliche Geschwindigkeitsmaximum in der Eisenbahntechnik herauszustreichen, wenn man den erreichbaren Zeitgewinn im höheren Geschwindigkeitsbereich betrachtet (Bild 3). Wenn es z. B. nur gelingt, die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit im IC-Verkehr von zur Zeit rd. 100 km/h auf 150 km/h zu erhöhen, kann damit 1/3 Zeitgewinn erzielt werden. Ein gleicher Zeitgewinn kann im Güterverkehr bei einer Erhöhung der Beförderungsgeschwindigkeit von 80 km/h auf 120 km/h erreicht werden. Für den Bereich von 150 – 200 km/h als durchschnittliche mittlere Beförderungsgeschwindigkeit im Schienenpersonenfernverkehr der Zukunft ist deshalb auch der Slogan der DB zu verstehen: „Doppelt so schnell wie das Auto und halb so schnell wie das Flugzeug“.

Um das Innovationspotential der hohen Geschwindigkeit baldigst zu realisieren, ist die schnellstmögliche Fertigstellung der Neu- und Ausbaustrecken erforderlich, wie sie im Bundesverkehrswegeplan '85 von der Bundesregierung festgelegt worden sind. Nach Abschluß dieses umfassenden Ausbauprogramms für rd. 30 Mrd. DM etwa im Jahre 2000 wird in der Bundesrepublik ein zusammenhängendes Schnellfahrnetz von rd. 2.000 km Länge (davon 700 km Neubaustrecken) zur Verfügung stehen, das je nach Relation Reisegeschwindigkeiten von 130 – 170 km/h erlaubt und einen Zuwachs im Schienenpersonenfernverkehr von 30 – 50 % erwarten läßt.

Auch im Güterverkehr würde sich eine Geschwindigkeitserhöhung fühlbar auswirken. Hier geht es nicht nur darum, die reine Fahrgeschwindigkeit der Güterzüge anzuheben,

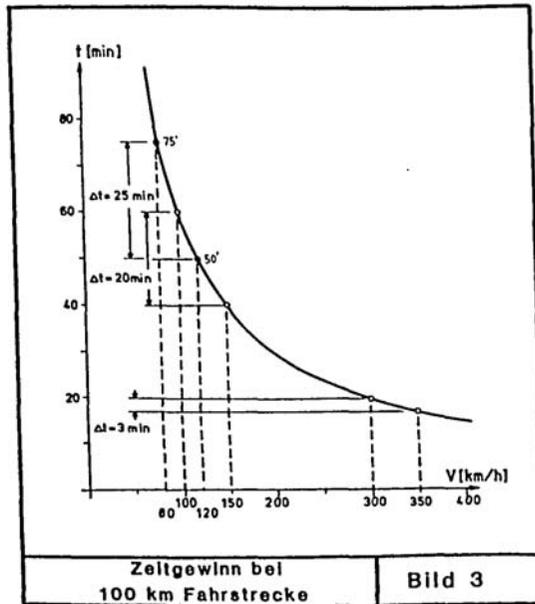
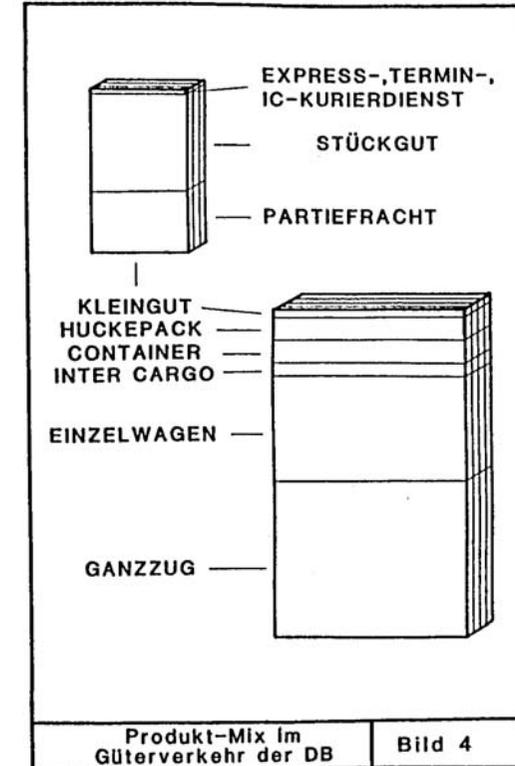


Bild 3

sondern viel wirksamer im Wettbewerb mit dem Lkw ist eine Erhöhung der Systemgeschwindigkeit im Eisenbahngüterverkehr, indem die Rangieraufenthalte der Einzelwagen und Wagengruppen auf ihrem Laufweg von der Quelle zum Ziel drastisch reduziert werden. Dazu muß das hierarchische System der Rangier- und Knotenpunktbahnhöfe sowie der Satelliten noch stärker als bisher konzentriert und gestrafft werden.

Mit dem 1984 eingeführten InterCargo-System wird dieser Forderung bereits Rechnung getragen, d. h. die hochwertigen Güter werden zwischen den Wirtschaftszentren unseres Landes im Nachtsprung befördert, was der Lkw in fast jeder Verkehrsrelation seit Jahren dem Kunden garantiert. Allerdings bildet der InterCargo-Verkehr nur einen relativ kleinen, wenn auch sehr wichtigen Mengenanteil am Gesamtvolumen des Eisenbahngüterverkehrs. Der in Bild 4 dargestellte sog. „Produkt-Mix“ im DB-Güterverkehr zeigt die verschiedenen und vielfältigen Transportangebote vom (systemkonformen) Ganzzug bis zum Expreszug und IC-Kurierdienst.

Der Trend in der deutschen und westeuropäischen hochindustrialisierten Volkswirtschaft geht eindeutig zu den höherwertigen Gutarten, die im oberen Teil der Produkt-Mix-Darstellung angesiedelt sind und bei denen der Wettbewerb zum Lkw besonders scharf ist. Hier liegen vor allem die Zuwachspotentiale im Güterverkehr und damit auch die Chancen für die Eisenbahn, da die Ganzzug-affinen Massengüter in Zukunft kaum noch zunehmen werden.



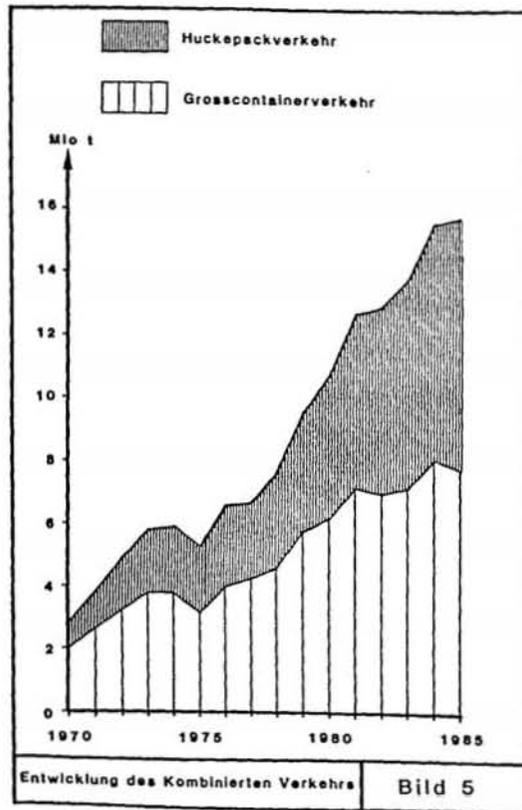
Produkt-Mix im Güterverkehr der DB

Bild 4

Die Anforderungen des Marktes in den Bereichen der höherwertigen Kaufmannsgüter betreffen vorwiegend die vier Kriterien

- Schnelligkeit,
 - Zuverlässigkeit/Pünktlichkeit,
 - Haus-Haus-Bedienung und
 - Transportpreis,
- die durchschnittlich alle die gleiche Priorität haben dürften.

Beispielhaft sei das Kriterium Schnelligkeit auf den Kombinierten Verkehr (KV) angewandt, d. h. auf die Beförderung von Ladeeinheiten des Straßenverkehrs auf der Schiene. Über die Situation des KV und seine Perspektiven ist in den letzten Jahren – auch von politischer Seite – soviel publiziert worden, daß weitere Erläuterungen überflüssig erscheinen. Die Mengenentwicklung des KV bei der DB ist in Bild 5 dargestellt – aufgeteilt in den Großcontainer- und Huckepackverkehr.

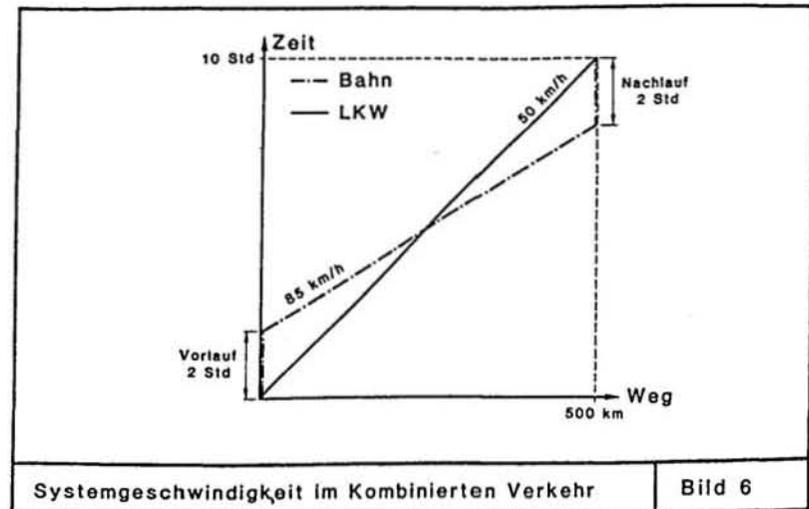


Entwicklung des Kombinierten Verkehrs

Bild 5

Die Systemgeschwindigkeit im Kombinierten Verkehr wird von den Zeitanteilen für Straßenvor- und -nachlauf einschl. Umschlag im Terminal stark beeinflusst. Soll eine zum Lkw konkurrenzfähige Systemgeschwindigkeit des Kombinierten Verkehrs erreicht werden, ist eine entsprechend höhere Transportgeschwindigkeit auf der Schiene erforderlich. In Bild 6 ist dieser Zusammenhang für eine Systemgeschwindigkeit des Lkw von 50 km/h bei 500 km Transportweite dargestellt. Für 70 km/h Systemgeschwindigkeit des Lkw müßte die Transportgeschwindigkeit der Eisenbahn bei gleichen Verlustzeiten von jeweils zwei Stunden bereits verdoppelt werden.

Gerade im KV gilt es, die nachweislich vorhandenen Innovationspotentiale stärker als bisher auszuschöpfen, um vor allem die Verlustzeiten und Kosten in den Umschlagbahnhöfen (Terminals) sowie im Straßenvor- und -nachlauf zu senken. Die hierfür erforder-



Systemgeschwindigkeit Im Kombinierten Verkehr

Bild 6

lichen technischen Komponenten sind vorhanden; sie müssen nur sinnvoll kombiniert und ausgebaut werden.

Zum Energieverbrauch und -bedarf der Eisenbahn mögen hier zwei kurze Feststellungen genügen, die wiederum im Vergleich zu den Konkurrenz-Verkehrsmitteln getroffen werden:

- Schienenfahrzeuge haben einen wesentlich geringeren Rollwiderstand (Stahlrad auf Stahlschiene) als Kraftfahrzeuge, bei denen der Gummireifen auf der Fahrbahn eine größere Walkarbeit leisten muß. Deshalb hat die Bahn für die gleiche Transportleistung je nach Verkehrsart einen um 30 – 50 % geringeren Energiebedarf.
- Viel entscheidender als die Bilanz des Energiebedarfs ist jedoch die Tatsache, daß die Eisenbahn mit Strom fahren kann und z.B. in der Bundesrepublik ihre weitaus größte Transportleistung von rd. 85 % mit elektrischer Zugförderung erbringt. Die Bahn ist damit fast vollständig unabhängig von der Primärenergie Erdöl, während alle anderen Verkehrsmittel praktisch zu 100 % hiervon abhängig sind.

Hierin liegt ein Systemvorteil der Rad/Schiene-Technik, der für die weitere Zukunft (nach dem Jahr 2000) nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Niemand vermag heute vorauszusagen, wie in 30 – 50 Jahren die Situation auf dem Mineralölmarkt sein wird – ob z.B. das dann evtl. knapp gewordene Mineralöl vor allem als Treibstoff für den interkontinentalen Luftverkehr dringend benötigt wird und jede Substitutionsmöglichkeit des Erdöls bei anderen Verkehrsmitteln ausgenutzt werden muß. In Westeuropa können jedenfalls schon heute die Züge vom Polarkreis in Skandinavien bis nach Sizilien fast durchgehend elektrisch fahren.

Als letzter Innovationsbereich sei die Signaltechnik mit ihren Automatisierungsmöglich-

keiten erwähnt, die bei der Eisenbahn heute so hoch entwickelt ist, daß ein weitestgehend unfallfreier Fahrbetrieb möglich ist. Die hin und wieder auftretenden Unfälle sind entweder auf noch vorhandene veraltete technische Anlagen oder auf menschliches Versagen zurückzuführen, das auch bei höchster technischer Perfektion nicht vollkommen auszuschließen ist – wenn die Kosten für die Sicherungseinrichtungen nicht in unwirtschaftliche Höhe getrieben werden sollen.

Das größte Innovationspotential der Eisenbahn-Signaltechnik liegt in der Automatisierbarkeit der Betriebsabwicklung. Hier sind die technisch-wirtschaftlichen Grenzen noch längst nicht ausgeschöpft. Da jede spurgeführte Fahrbewegung bei der Bahn nach Ort und Zeit, d. h. durch vorgegebenen Fahrweg und Fahrplan exakt definiert ist, sind die technischen Randbedingungen für die Automatisierung einer Eisenbahnfahrt sehr viel einfacher zu beherrschen als etwa die komplizierten Bewegungsabläufe in der Weltraumfahrt – und dies mit wesentlich geringeren Kosten. Alle dafür erforderlichen technischen Komponenten sind heute bereits vorhanden.

Abschließend soll ein Ausblick auf den grenzüberschreitenden internationalen Verkehr in Westeuropa gegeben werden. Hier werden z. Zt. intensive Überlegungen und Planungen für eine Beschleunigung des Eisenbahnverkehrs angestellt. Ein Blick auf die Karte in Bild 7 läßt erkennen, daß Frankreich und Deutschland inzwischen eine führende Rolle eingenommen haben, nicht zuletzt auch wegen ihrer zentralen geografischen Lage.

Die großen Infrastrukturmaßnahmen

- in der Bundesrepublik mit der Realisierung des Bundesverkehrswegeplanes,
- in Frankreich mit dem Bau weiterer TGV-Strecken nach Südwesten und Norden,
- und schließlich der von Großbritannien und Frankreich Anfang 1986 beschlossene Bau des Kanaltunnels für eine zweigleisige Eisenbahnstrecke

sowie außerdem

- in Österreich die Verbindung Salzburg – Wien,
- in der Schweiz das Konzept „Bahn 2000“ und
- in Italien die Neubaustrecke Rom – Florenz

eröffnen für die 150 Jahre alte „eiserne Bahn“ Perspektiven und Entwicklungspotentiale, die das Schlagwort von der „Renaissance der Eisenbahn“ im Personen- ebenso wie im Güterverkehr in wenigen Jahren durchaus zur europäischen Wirklichkeit werden lassen können.

Die technischen Möglichkeiten für die Realisierung sind, wie vorstehend aufgezeigt, gegeben. Die ökonomischen Möglichkeiten müßten bei Zusammenfassung der bei den Partnerländern vorhandenen wirtschaftlichen Potentiale eigentlich auch geschaffen werden können.

Die wichtigste Voraussetzung für einen modernen Eisenbahnverkehr der Zukunft ist allerdings der gemeinsame politische Wille innerhalb der EG-Staaten. Auf einer Veranstaltung der Europäischen Konferenz der Verkehrsminister (CEMT) über den „Hochgeschwindigkeitsverkehr auf den Schienen Europas“ anlässlich der Hannover-Messe am 13. 4. 1986 hat Bundesverkehrsminister Dr. Dollinger diesen politischen Willen sehr engagiert zum Ausdruck gebracht. So besteht berechtigte Hoffnung für einen modernen und attraktiven Eisenbahnverkehr in Deutschland und in Europa. Das Innovationspotential hierfür ist jedenfalls in ausreichendem Maße vorhanden.



Summary

The two outstanding system attributes of the railways are the trackguiding and the low rolling resistance of the vehicles. Both characteristics determine the suitable and economic actionfields of this means of communication. The best results are reached on point-to-point-service with a big volume of goods traffic, typically with complete train-loads in the freight-traffic. However, to organize the collection and delivery service in the region in an economic way is hardly possible. The chance for further innovation in railway technics is given by high running speed, small consumption of power and the automation of the operating. Here are still technical reserves; the 150 year old railway are able to get an important role in the field of transport in modern political economy.