

Eisenbahnen an der Weiche ins digitale Zeitalter

VON WERNER ROTHENGATTER

1 Einführung

Die Erfindung der Eisenbahn im frühen 19. Jahrhundert führte zu bahnbrechenden Innovationen im Personen- und Güterverkehr. Sie war mit Sonderentwicklungen – in Europa auf nationaler Ebene überwiegend mit dem Zweck der Landesverteidigung – verbunden, die zusammen mit den hohen Fixkosten nationale und teilweise regionale natürliche Monopole begründeten. Nach dem Zweiten Weltkrieg haben die Eisenbahnen massiv an Marktanteilen verloren, weil sie nicht zuletzt aufgrund von starken Einschränkungen der unternehmerischen Bewegungsfreiheit durch heterogene Standardisierung, Regulierung und öffentliche Kontrolle wenig Innovationskraft aufwiesen und der Marktdynamik nicht gewachsen waren. Auch die bahnfremde EU-Verkehrspolitik konnte an dieser Tendenz trotz der Milliarden-Investitionen in transeuropäische Bahnnetze wenig ändern. Denn wenn im Jahr 2030 tatsächlich alle Kernnetz-Korridore einheitliche Spurweiten, Zuglängen, max. Achslasten und Leitsysteme (ERTMS) aufweisen, so treffen sie auf Marktkonkurrenten, die diese Interoperabilität der Infrastrukturen seit Jahrzehnten nutzen und die Fortschritte der nächsten technischen Revolution dann bereits voll umsetzen. Letztere sind vor allem durch weitere Entwicklungssprünge der Informations- und Kommunikationstechnik gekennzeichnet, die zusätzliche Rationalisierung auf der Kostenseite und höhere Effizienz sowie Flexibilität auf der Leistungsseite versprechen. Selbst die Automatisierung des Transportbetriebs, die man vor 50 Jahren vor allem als Bahnchance gesehen hatte, wird möglicherweise auf der Straße schneller als auf der Schiene netzweit realisiert, obwohl dies technisch um ein Vielfaches schwieriger ist.

Wenn die Eisenbahnen im digitalen Zeitalter mithalten wollen, so sind grundlegende Innovationen bei Technik und Organisation erforderlich. Viele der gegenwärtigen Standardisierungen und Regulierungen, beziehen sich auf die Bahntechnik des letzten Jahrhunderts und behindern den technischen Fortschritt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich technischer Fortschritt im Bahnwesen vielfach nicht simultan auf dem gesamten Netz

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Werner Rothengatter
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Waldhornstraße 27
76131 Karlsruhe
E-Mail: rothengatter@kit.edu

umsetzen lässt. Es sind daher von der Regulierungsseite Ausnahmereiche vorzusehen, die Pilotanwendungen für neue Techniken unterstützen. Ferner müssen auf von Seiten der Bahnpolitik Anreize geschaffen werden, Innovationen zu fördern und Pilotprojekte mit zu finanzieren.

2 Die „Vierte Industrielle Revolution“

In den Wirtschaftswissenschaften ist die Vorstellung von langen Wellen der wirtschaftlichen Entwicklung vor allem von Kondratieff (1925) entwickelt und durch Schumpeter (1942; 1952) populär gemacht geworden. Nach der Interpretation Schumpeters werden die Langzeitzyklen durch radikale Innovationen ausgelöst, die Produktionstechnik und Gütereigenschaften grundlegend verändern. Vertreter der Kondratieff-Lehre, wie etwa Nefiodow et al. (2014), führen fünf Langzeitzyklen seit Beginn der industriellen Revolution an, die durch folgende Technikinnovationen geprägt waren:

1.	Dampfmaschine	1770
2.	Eisenbahnen, Stahlindustrie	1830
3.	Elektro- und chemische Industrie	1875
4.	Petrochemie, Automobilindustrie	1910
5.	Informationstechnologie	1970-

Nefiodow et al. (2014) erwarten einen sechsten Kondratieff-Zyklus und nehmen an, dass dieser durch Technik und Dienstleistungen für die „psychosoziale Gesundheit“, „soziale und physische Vernetzung“ und „Biotechnologie“ geprägt sein wird.

Die Einteilung der industriellen Entwicklung in „vier Revolutionen“ ist unabhängig vom wirtschaftswissenschaftlichen Paradigma der Kondratieff-Zyklen entstanden. Sie entstammt einem Projekt der High-Tech Industrie, das von H. Kagermann und S. Drais (SAP AG/Robert Bosch GmbH) geleitet und vom Ministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde. Die Gruppe stellte das Konzept bei der Hannover Messe 2013 erstmals vor und machte es durch die Präsentation beim Weltwirtschafts-Forum in Davos (Schwab, 2016) populär. Die vier industriellen Revolutionen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.

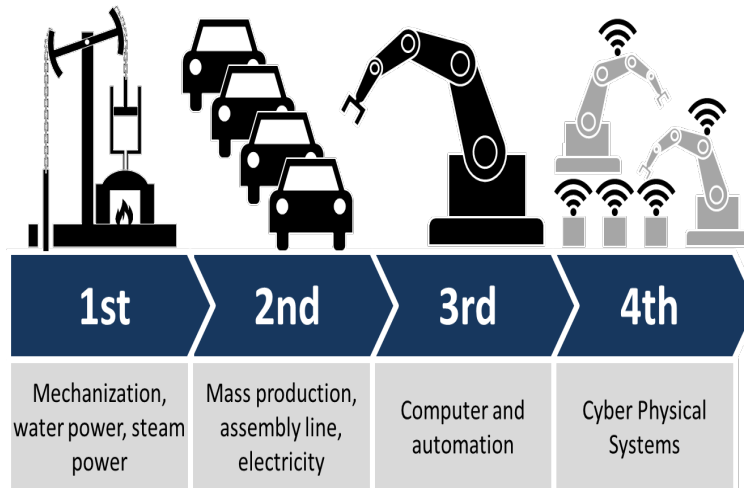


Abbildung 1: Vier industrielle Revolutionen,
Quelle: www.Industry4.0-Wikipedia.html

Die erste industrielle Revolution begann nach diesem Konzept mit der Mechanisierung der Produktion und der Nutzung von Dampfkraft. Die zweite ist durch den Beginn von Massenproduktion und der Nutzung von Elektrizität charakterisiert, während sich die dritte durch die Computertechnik und Prozessautomatisierung auszeichnet. Die vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) schließlich basiert auf den vier Säulen: cyber-physikalische Systeme, Internet der Dinge, Cloud Computing und durchgehende Digitalisierung von Prozessen in Produktion und Konsum. Die Design-Prinzipien sind laut Herrmann et al. (2016) und IBM (2015):

- Interoperabilität: Fähigkeit von Maschinen und Geräten, eigenständig zu kommunizieren und Aktivitäten zu koordinieren.
- Transparenz: Fähigkeit von Informationssystemen, virtuelle Kopien von realen physikalischen Welten zu schaffen.
- Technische Assistenz: Unterstützung menschlicher Aktivitäten bei Behinderung, mangelnder Befähigung oder belastenden Aufgaben.
- Dezentralisierung: Durchführung von Aufgaben durch lernfähige cyber-physikalische Systeme, autonom und an flexiblen Einsatzorten.

Die erwarteten Auswirkungen sind:

- Innovationen bei Produktions-Technologien, insbesondere Sprünge in der Automatisierungstechnik.
- Neue Netzwerke und kooperative Formen von Produktion und Logistik.

- Produktinnovationen durch neue Kombinationen von IT und physischen Produkten, vor allem in Verbindungen mit automatisierten Systemen.
- Änderungen der räumlichen Muster von Produktion und Transportflüssen.

Die IT - Entwicklung wird sich vor allem auf Bereiche konzentrieren, wie:

- Kommunikationssysteme (Realzeit-Bus-Technologien, IT-Sicherheit, Selbstorganisation von Kommunikationsnetzen, mobile Kommunikations-Kanäle).
- Sensor-Systeme (Muster-Erkennung, Bewegungs-Erkennung, „Big Data“, Cloud Computing, Ontologien, holistische Analyse und Bewertung).
- Aktor-Systeme (Multi-Agenten-Systeme, intelligente lernfähige künstliche Agenten, netzgesteuerte Agentensysteme, Sicherheitssysteme).

Die Produktion von Gütern und Dienstleistungen wird nicht mehr von der begleitenden Kommunikationstechnologie zu trennen sein. Ein gutes Beispiel dafür ist die additive Fertigung, zum Beispiel mit 3D-Druckern, für die rasante Zuwächse in den nächsten 10 Jahren zu erwarten sind (vgl. Tschiesner, 2013; FhG ISI, 2016). Gleichfalls werden Produkt, Assistenzsysteme und Kommunikationsdienste um das Produkt künftig für den Verbraucher eine Einheit bilden. Ein Beispiel bildet die Steuerung von Haushaltseinrichtungen und -geräten über Smartphone-Apps.

3 Auswirkungen auf Verkehrsmärkte

Auf der Angebotsseite der Verkehrsmärkte stehen im Mittelpunkt:

- Automatisierung, autonomes Fahren.
- Fahrtbegleitende Kommunikation, Assistenzsysteme.
- Weitgehende Synchronisierung von logistischen Prozessen.
- Dezentralisierung und individualisierte Zuschnitt von Transportleistungen.

Auf der Nachfrageseite führt dies zu Veränderungen, wie:

- Verstärkte Individualisierung von Reisen und Transportvorgängen.
- „Nutzen statt kaufen“ („sharing economy“) sowohl bei Endverbrauchern wie bei Produzenten (vgl. Harvard Business Review, 2015).
- Verstärkter Kauf in virtuellen Supermärkten und Kundenbedienung durch KEP-Dienste.
- Veränderung der Güterstruktur durch Verlagerung der Produktion in Richtung auf die Nachfrage-Standorte.
- Verringerung von Massenguttransporten und industriellen Abfällen.

Dies bedeutet auf der einen Seite eine Verstärkung von Trends, die heute schon zu beobachten sind und somit eher inkrementale Veränderungen bringen. Auf der anderen Seite entstehen aber auch Möglichkeiten für radikale Innovationen, etwa durch

Verknüpfung digitaler Technologien mit anderen Technik-Linien, wie zum Beispiel Bio-Technologie oder Nano-Maschinen/Robotik.

Im Personenverkehr wird dies zu einer stärkeren Entkoppelung von Automobil-Besitz und -nutzung führen, wie dies die großen Hersteller durch die begonnenen Kooperationen mit Unternehmen der Sharing-Economy bereits antizipieren. Auch bedarfsgesteuerte Bus-Dienste, die seit Jahrzehnten in der Diskussion sind, sich aber aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit (Personal- und Vorhaltekosten) nicht durchsetzen konnten, werden durch bessere Information und Möglichkeiten autonomer Prozess-Steuerung wieder aktuell. Dies bedeutet, dass neben den Kategorien des individuellen motorisierten Personenverkehrs und des öffentlichen Verkehrs eine dritte Kategorie entstehen wird, nämlich die des individualisierten autonom gesteuerten Verkehrs mit bedarfsorientierten und temporär genutzten Fahrzeugeinheiten.

Der Güterverkehr wird auf der Nachfrageseite durch einen Rückgang der Massenguttransporte gekennzeichnet sein, während die Stückgut- und Container-Transporte zunehmen werden. Dabei wird die Intelligenz der Transportgüter wachsen, d.h., sie werden sich zunehmend autonom die besten Transportmittel, Routen und Umschlagprozesse wählen. Auch die Fahrzeuge werden entsprechend autonom gesteuert, wie dies von der Lkw-Industrie sukzessive ausgebaut wird, angefangen von automatischen Abstandshaltungs- und Stausteuerungssystemen bis hin zur voll autonomen Steuerung, die wohl im Jahr 2030 auf Autobahnen Realität sein könnte. Dies geht mit der Bildung größerer Transporteinheiten im Güterfernverkehr auf der Straße, durch Giga-Liner und Koppelungen von Fahrzeugverbänden, einher. Im Unterschied zu den üblichen Annahmen der Güterverkehrsprognostik, dass die Kosten im Straßengüterverkehr relativ zum Bahngüterverkehr über die Zeit ansteigen, wird das Gegenteil der Fall sein, wenn Bahntechnik und -organisation keine vergleichbaren Innovationssprünge aufweisen werden.

4 Bahntechnik: Neue Produktionstechnologien und Prozesskontrolle

4.1 INTEROPERABILITÄT

Die Bahntechnik war nur in der Frühphase radikal innovativ, anschließend gab es zwar inkrementale Verbesserungen, doch beschränkten sich diese in Europa auf die unterschiedlichen nationalen und regionalen Bahnsysteme, die sich aufgrund der Militärinteressen entwickelt hatten. Kohle und Dampfkraft wurden durch Elektro- und Dieselantriebe ersetzt, ohne dass dies radikale Auswirkungen auf Produktionstechnologie und Service-Qualität im Personen- und Güterverkehr hatte. Service-Verbesserungen wie kostenlose WLAN-Verbindungen, kamen bei den Bahnen spät und wurden vom Kunden kaum positiv registriert, weil sie im konkurrierenden Fernbus-Verkehr längst eingeführt waren.

Die EU-Kommission versucht mit ihrem Konzept der transeuropäischen Netze, den Bahnverkehr zu fördern und wesentliche technische oder organisatorische Hemmnisse durch Investitionsförderung, Regulierung und Standardisierung abzubauen. An der Spitze der Bemühungen steht die Interoperabilität der Bahnsysteme, also die Überwindung der unterschiedlichen Technik-Welten wegen der Vergangenheits-Hypothesen. So wurden Leitindikatoren (key performance indicators, KPI) definiert, die in den neun Kernnetz-Korridoren (CNC) der transeuropäischen Netze bis 2030 realisiert sein sollen. Diese betreffen:

- Auslegung für einheitliche max. Zuglängen (740 m).
- Auslegung für Höchstgeschwindigkeiten im Güterverkehr (100 km/h).
- Standard-Spurweite (1435 mm).
- Doppelgleisigkeit und Elektrifizierung.
- Auslegung für max. Achslasten (22.5 t).
- Zugsicherung und -steuerung durch ERTMS (ETCS Level 2).

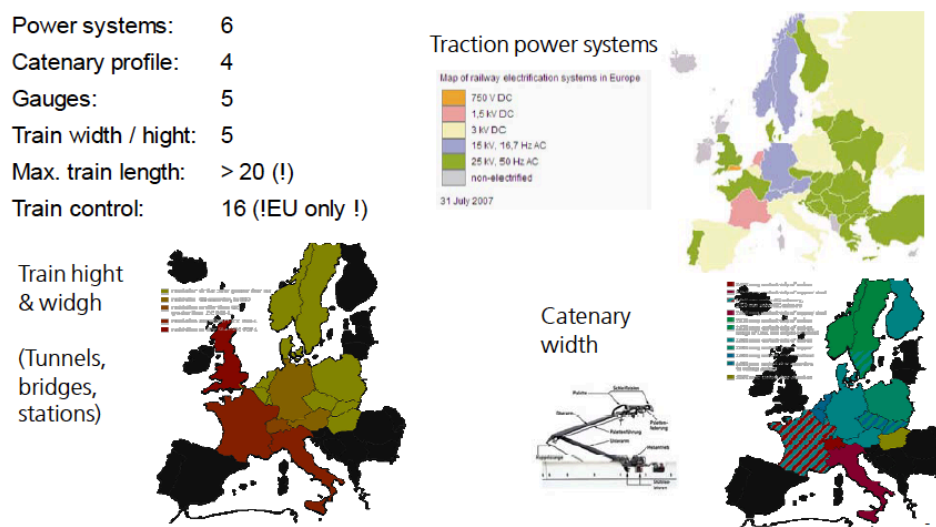
Auch in Deutschland ist man noch weit von der Erfüllung der KPI entfernt, so dass im Zuge der Realisierung der CNC (6 von 9 CNC verlaufen durch Deutschland) eine massive Erhöhung der Schienen-Investitionen erforderlich ist. So beträgt der Streckenanteil für längere Güterzüge (mehr als 700 m) nur 11%, die Elektrifizierung umfasst derzeit erst 60% des Fernbahnnetzes und der Anteil der mit ERTMS ausgerüsteten Strecken liegt auf einigen CNC noch unter 10%.¹ Da ERTMS-Investitionen mit 50% EU-Förderung rechnen können und ein gemeinsamer Standard für ETCS Level 2 („Baseline 3“) vereinbart werden konnte, darf man eine beschleunigte Realisierung erwarten, wenngleich dies nicht für alle CNC-Korridore durchgehend bis 2030 erfüllt sein dürfte.

Die Bedingungen für den grenzüberschreitenden Bahnverkehr sollen ferner durch Abbau von Barrieren an den Grenzen (Lok- und Personalwechsel, technische Kontrollen, Ladungskontrollen, Behebung von Engpässen im Netz) nachhaltig verbessert werden. So fallen derzeit im Bahngüterverkehr von Hamburg nach Athen sechs Lok- und Personalwechsel an.² Häufig treten Verzögerungen an den Grenzen auf, die mehr als einen Tag in Anspruch nehmen können. Abbildung 2 fasst die gegenwärtig existierenden

¹ Nach Veröffentlichungen der Allianz pro Schiene (<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/740-meter-gueterzug/>), Angaben der DB AG zu ERTMS-Vorhaben (17 Projekte, zum größten Teil im Zusammenhang mit Neu- und Ausbauprojekten für den schnellen Personenverkehr) und Angaben aus CNC-Studien der EU Kommission (ERTMS Workplan of the Coordinator, 2015; ERTMS European Deployment Action Plan, 2017). Vgl. auch Rothengatter, Schade und Hartwig, 2016.

² Die max. Zuglänge beträgt dabei in Bulgarien streckenweise nur 445 m, die max. Achslast 20 t und die max. Geschwindigkeit auf 510 km 80 km/h mit Langsam-Fahrstellen bis 40 km/h.

unterschiedlichen Standards zusammen und unterstreicht die Notwendigkeit einer EU-weiten Standardisierung, um die Transportabwicklung zu vereinfachen und zu rationalisieren. Mit einer Realisierung der KPI bis zum Jahr 2030 auf den Kernnetz-Korridoren der transeuropäischen Verkehrsnetze sind zwar nicht alle Unterschiede beseitigt (etwa: Stromsysteme oder Spurweiten), doch lassen sich manche technisch überbrücken (etwa: Mehr-Strom-Lokomotiven, drittes Gleis).



Sources: en.wikipedia.org/wiki/Railway_electrification_system (upper right),
 bueker.net/trainspotting/voltage_map_europe.php (lower left and right)

Abbildung 2: Unterschiedliche Bahntechnologien in europäischen Ländern

Quelle: Doll, Schade und Rothengatter, 2015

Abbildung 3 gibt ein Beispiel für Modal-Split-Prognosen im Güterverkehr, die einer Studie zu den Kernnetz-Korridoren der transeuropäische Netze entnommen sind (IC Consulanten et al., 2014: Study on Orient-East-Med Corridor). Auf der linken Seite der Abbildung ist die erwartete Modal Split-Änderung bis 2030 abgetragen. Sie zeigt ein optimistisches Bild des Verkehrsmittelanteils der Bahnen im Güterverkehr nach der Realisierung der KPI-Investitionen. Die rechte Seite bekräftigt zunächst diese optimistische Aussicht für den westlichen Teil des Korridors. Im östlichen Teil, also östlich der ungarischen Grenze, werden die Stromlinien aber sehr dünn, was zeigt, dass auch nach technischer Verbesserung keine nachhaltigen Wirkungen eintreten. Hier ist zu erkennen, dass die gegenwärtige Mitgliedschaft von Ländern in der EU eine ausschlaggebende Rolle bei der Korridor-

Definition gespielt hat. Denn ein alternativer Korridor von Thessaloniki nach Budapest über Mazedonien und Serbien ist bereits besser ausgebaut und rund 300 km kürzer. Hier planen derzeit chinesische Investoren, eine moderne Bahnverbindung von Budapest bis Athen zu schaffen, um den Hafen von Piräus aufzuwerten und die „neue Seidenstraße“ zu verlängern. Dennoch plant die EU Kommission, auch den schwach belasteten Ast durch Bulgarien mit hohem Einsatz auf die KPI-Standards zu bringen. Dies ist ein Beispiel für verkehrlich und wirtschaftlich schwer zu rechtfertigende Projekte im Rahmen der Kernnetzwerk-Korridore, für die ein Gesamtvolumen von ca. 623 Mrd. EUR (davon 468 Mrd. EUR bis 2030) geschätzt wird (FhG ISI et al., 2015; EU Kommission, 2013)).

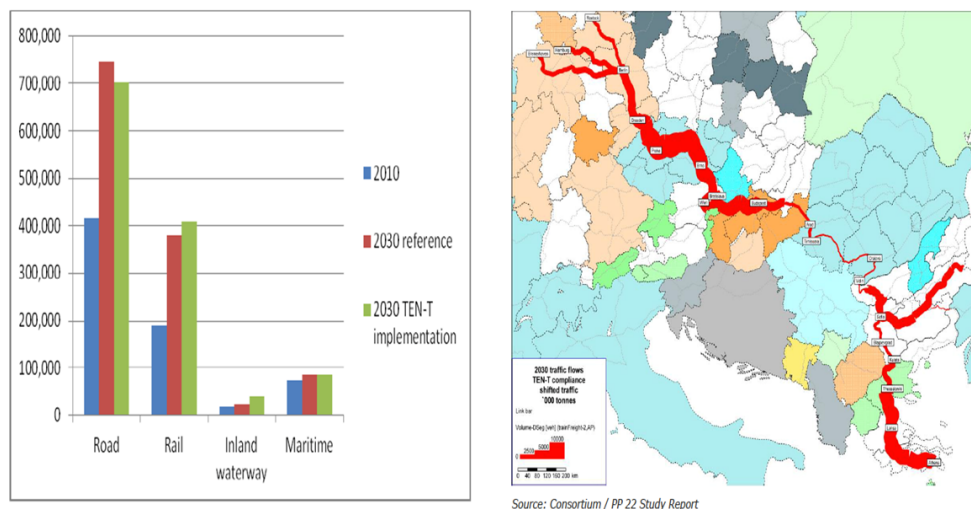


Abbildung 3: Prognose der Modal Split-Änderung bis 2030 (links, in 1000 t) und der verlagerten Transporte im Güterverkehr (rechts) im Rhein-Donau Korridor

Quelle: IC Consulanten et al., 2014

In diesen Studien ist angenommen, dass sich die Kosten und Leistungsqualitäten der Eisenbahn wesentlich gegenüber dem Straßenverkehr verbessern. Dies führt in den Prognosen zu einem stärkeren Wachstum des Bahngüter- und Personenverkehrs gegenüber dem Marktwachstum und zu einer deutlichen Verlagerung von der Straße zur Schiene. Geht man aber davon aus, dass es durch die digitale Revolution erhebliche Rationalisierungseffekte und Qualitätsverbesserungen im Straßenverkehr geben wird, so sind die grundlegenden Prognose-Annahmen nicht realistisch. In den letzten Jahren war die Kostenentwicklung genau gegenläufig, wie Abbildung 4 unterstreicht.

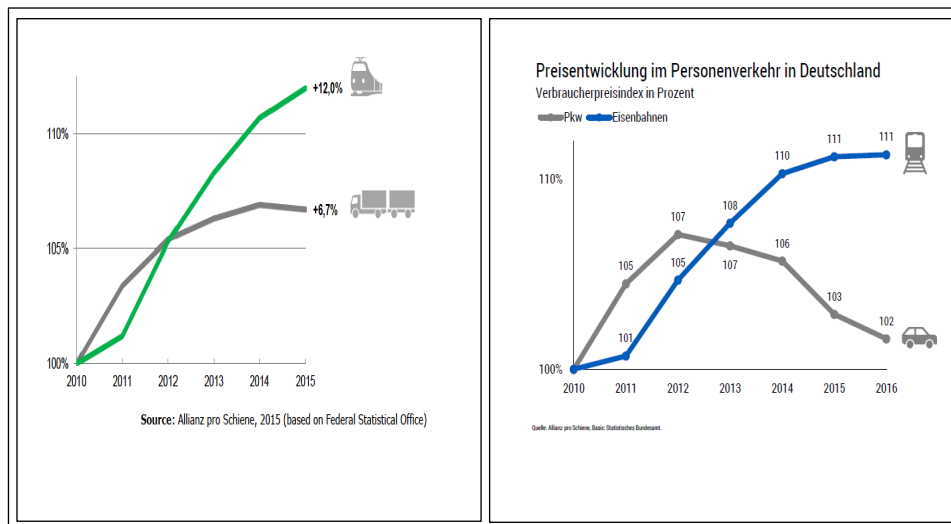


Abbildung 4: Kostenentwicklung im Straßen- und Schienenverkehr in Deutschland 2010-2016. Links: Güterverkehr. Rechts: Personenverkehr.

Quelle: Allianz pro Schiene; Stat. Bundesamt

Entsprechend sind die Marktanteile des Schienengüterverkehrs nach unten gegangen und stagnieren im Personenfernverkehr. Betrachtet man die gegenwärtigen politischen Weichenstellungen im Personenfernverkehr in Deutschland im Hinblick auf

- Konkurrenzlage (Fernbus-Verkehr mautfrei),
- steuerliche Behandlung (19% MwSt im internationalen Bahnverkehr, internationaler Luftverkehr MwSt-frei),
- Sozialauflagen (Tarifvereinbarungen für Lokführer und Personal, Niedriglöhne und schwach kontrollierte Sozialvorschriften im internationalen Verkehr),
- Förderung neuer Technologien vorwiegend im Straßenverkehr,

und im Güterverkehr mit

- Zulassung von Gigalinern ab 1.1.2017,
- Mautreduzierung für Lkw ab 2015,
- Energiebesteuerung und Einbeziehung in das ETS für Bahnen,

- Niedriglöhne und schwache Überwachung der Sozialvorschriften auf der Straße, Verkehr als Ausnahmereich in der Reform der Entsende-Richtlinie³,
- Minimale Streikwahrscheinlichkeiten auf der Straße,
- Förderung neuer Technologien vorwiegend im Straßengüterverkehr,

so ist nicht zu erkennen, welche relativen Vorteile für den Schienenverkehr entstehen sollen, selbst wenn die KPI bis 2030 voll realisiert sind. Vielmehr wird der Schienenverkehr dann mit den Bedingungen des Straßenverkehrs von 2010 konkurrieren können, aber noch nicht mit denen des Jahres 2030.

Damit bleiben zwei Bereiche, die zu einer relativen Verbesserung der Wettbewerbslage für die Bahnen beitragen können: Erstens Auflagen für die Konkurrenz wegen externer Kosten und zweitens kostensenkende sowie qualitätsverbessernde Bahn-Innovationen. Bei Klimaeffekten und anderen Externalitäten (Abgase, Unfallfolgen) haben die Bahnen Systemvorteile, die bei Durchsetzung und weiterer Verschärfung der EU-Gesetzgebung wirksam werden können. Bei den Pkw wird es für die Hersteller schwierig, die EU-Vorschriften zu Abgasen (NO_x) und CO₂ (95 g/km ab 31.12.2021)⁴ einzuhalten, zumal nicht Labor- sondern reale Einsatzbedingungen (WLTP)⁵ für die Tests maßgebend sein werden. Dabei hat nicht nur die Diesel-Technologie große Probleme, die NO_x-Abgasvorschriften im realen Betrieb einzuhalten, sondern auch Benzin-Motoren werden die CO₂-Vorschriften nach 2020 beim heutigen Fahrzeugmix weit verfehlen.

Auch bei Lkw und Bussen werden die EURO 6 Normen nur theoretisch eingehalten, neben den Abweichungen zwischen Prüfstand und realem Betrieb kommen Manipulationen hinzu, etwa durch Reduzierung der AddBlue-Einspritzung – teils durch die herstellerseitige Motorsteuerung und teils durch illegale Zusatzgeräte. Bisher gibt es keine Grenzwerte zum CO₂-Ausstoß und Lkw/Busse sind nicht in das ETS (EU Emission Trading System) einbezogen – im Gegensatz zu elektrisch, also umweltfreundlich, betriebenen Bahnen. Die EU Kommission hat den Entwurf eines Klimaschutz-Pakets vorbereitet, der Grenzwerte für die Emission von CO₂ bei Lkw und Bussen vorsieht. Die Lobby der Hersteller arbeitet naturgemäß dagegen, doch hat sich ihr politisches Gewicht durch das „Dieselgate“ im Pkw-Bereich verringert. Die Tatsache, dass sich in Deutschland die gesamten CO₂-Emissionen seit dem Jahr 2016 wieder erhöht haben, das Emissions-Reduktionsziel von 40% für 2020

³ Lohn- und Sozialdumping sollen dadurch abgeschafft werden, dass Arbeitnehmer aus einem anderen EU Land wie Einheimische entlohnt und sozial versichert werden sollen. Der Verkehrsbereich ist aus der EU-Richtlinie ausgenommen, d.h. im Bus- und Lkw-Sektor bleiben Dumping-Praktiken weiter möglich.

⁴ Ein Kommissionsvorschlag sieht für die Zeit nach 2020 eine weitere Senkung der CO₂-Emissionen von neu zugelassenen Pkw um 15% bis 2025 und 30% bis 2030 vor.

⁵ World-wide Light Vehicle Testing Procedure; diese löst den laborbasierten Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) ab.

gegenüber 1990 wahrscheinlich weit verfehlt wird⁶ und der Verkehrsbereich an dieser Fehlentwicklung primär beteiligt ist, könnte auch in Deutschland die Bereitschaft der Verkehrspolitik stärken, die Umweltstandards für den Straßengüterverkehr anzuziehen. Zusammen mit einer Ausdehnung der Lkw-Maut (und ggfs. Einbeziehung von Bussen) auf alle Bundesfernstraßen wäre der Trend zu sinkenden relativen Kosten des Straßengüterverkehrs zumindest abzuschwächen.

4.2 INNOVATIONEN

Eine Wiederbelebung der Eisenbahnen und Stärkung ihrer Wettbewerbsfähigkeit verlangt Innovationen bei Technik und Organisation, die zu deutlich höherer Produktivität, sinkenden Kosten und gesteigerter Leistungsqualität führen. In der Vergangenheit hat es immer wieder Versuche gegeben, den spurgeführten Verkehr oder den Verkehr auf Schienen technisch zu revolutionieren. Beispiele für die Lösung von der konventionellen Bahnschiene sind:

- Magnetschwebe-Bahnen: Transrapid (Deutschland), MLX (Japan).
- Bahnen in Unterdruck-Röhren: Swiss Metro (Schweiz), Hyperloop (USA).
- Druckluft getragene Plattformen: Talpino (Österreich).
- Klein- und Großkabinenbahnen (realisiert an einzelnen Flughäfen).
- Ein-Schienen-Bahnen (einzelne Städte, Flughäfen).

Für alle oben genannten Lösungen gilt, dass sie auf Einzelverbindungen starke Vorteile gegenüber der konventionellen Schiene zeigen können, aber eine beschränkte Netzbildungsfähigkeit aufweisen. Dies liegt – wie vor allem das Beispiel Transrapid zeigt – zum großen Teil an der Technik der Weiche, eine Basisinnovation, ohne die der Aufbau von Eisenbahnnetzen nicht möglich gewesen wäre.

Andere Technik-Innovationen zielten auf einer Verbesserung der Prozesse auf der Schienen-Infrastruktur, wie etwa:

- Automatisch betriebene Bahnen (bislang Einzel-Linien für Metros).
- Automatische Umschlageneinrichtungen.
- Selbstgesteuerter Güterwagen.
- Selbstgesteuerte Wagenverbände (Ziel der Cargo-Sprinter-Entwicklung).
- ERTMS Level 3 als Betriebsleitsystem.
- Automatische Kupplung von Fahrzeugen (seit Gründung der UIC im Jahr 1922 ein Dauerthema).
- Automatisch betriebene Rangier-Prozesse.

⁶ Man rechnet derzeit mit einer Reduktion zwischen 31 und 33%.

Letztlich wurde auch eine Reihe von Organisations-Innovationen entwickelt, zum Beispiel:

- Pallet-Flow-Systeme: Transportorganisation für kleine Behälter bis hinunter zur Palettengröße.
- Linienzug-Betrieb im Güterverkehr: feste Fahrpläne, Umstellung von Containern/Behältern an Güterverkehrszentren statt Rangieren von Wagen und Zugteilen.
- Horizontal-Umschlag von Containern und Sattelaufliegern unter dem Fahrdraht.

Bei den Großtechnologien sind nur noch das MLX-Magnetbahnsystem in Japan – dank starker staatlicher Unterstützung – und das Hyperloop-System in den USA⁷ – dank eines visionären Milliardärs – in der Entwicklung. In Deutschland gibt es noch die Cargo-Beamer-Entwicklung, die als Pilotprojekt gefördert wird, und eine automatische Umschlageinrichtung am Hamburger Hafen. Eine ähnliche Pilotentwicklung zur horizontalen Umschlagtechnik läuft in Frankreich (ModaLohr System). Während man die Möglichkeit eines automatischen Betriebs spurgeführter Systeme bereits vor 50 Jahren intensiv diskutierte und erwartete, dass diese in naher Zukunft Realität werden könnte, geschah außer der Automatisierung einzelner Linien im Nah- und Regionalverkehr (etwa: Paris, London, Kopenhagen) nichts. Dabei zeigt das Beispiel der Automatisierung von Metro-Linien 1 und 14 in Paris, dass sich allein durch die Takterhöhung und höhere Verlässlichkeit des Betriebs Fahrgastzuwächse in einer Größenordnung von mehr als 20% realisieren lassen.⁸

Für die Einführung automatischer Systeme in offenen Schienennetzen gibt es bislang nur allgemeine Beschreibungen der Automatisierungsstufen und die Definition entsprechender Begrifflichkeiten (vgl. etwa: Randeloff, 2016). Automatische Systeme in offenen Netzen werden paradoxerweise zuerst auf der Straße erprobt, wo die Herausforderungen für die Sensorik, Informationsverarbeitung und Reaktionsgeschwindigkeit ungleich höher sind als bei der Bahn. Dies führt zu der Frage, warum die Innovationsfähigkeit bei Bahnsystemen so beschränkt ist.

4.3 SYSTEMBEDINGTE BARRIEREN DER INNOVATIONSFÄHIGKEIT

Auf die am Ende des Abschnitts 4.2 gestellte Frage geben Müller, Liedtke und Lobig (2017, mit Kommentar von Rothengatter) eine Antwort, die direkt von den Erkenntnissen der Innovationstheorie abgeleitet ist. Sie nennen drei entscheidende Barrieren: sozio-technische Abgeschlossenheit und Pfadabhängigkeit (lock-in), Erfinder-Dilemma und technologisches Patt. Die Eisenbahn hat sich als abgeschlossenes sozio-technisches System

⁷ Eine erste Anwendung ist in den Emiraten auf der Verbindung Dubai-Abu Dhabi geplant.

⁸ Vgl. Gaudry (2017).

entwickelt, bei dem technische und organisatorische Komponenten eng aufeinander abgestimmt sein müssen, so dass der Raum für innovatorische Entwicklungen stark eingeschränkt ist (lock-in). Der Erfindergeist in der Privatwirtschaft wird aber gerade dort am stärksten angeregt, wo der Markt besonders dynamisch ist. Dies ist beim expandierenden Straßen- aber nicht beim rückläufigen Schienenverkehr der Fall. Ein Beispiel für dieses Erfinder-Dilemma ist der auch bei Umweltschutzorganisationen populäre Vorschlag der Industrie, Oberleitungen an Autobahnen zu installieren, um Lkw elektrisch anzutreiben.⁹

Der Stillstand der Basis-Bahntechnologie ist auch dadurch wesentlich begründet, dass größere Änderungen auf das gesamte Netz projiziert werden und mit enormen Umstellungen und Investitionskosten verbunden sind. Den Bahngesellschaften fehlen hierzu die Mittel und im internationalen Verkehr aufgrund der nationalen Regulierungen auch die Kompetenzen für die Einführung neuer Technologien. Die Staaten beschränken sich auf die Subventionierung bestehender und veralteter Technologien, wobei häufig in der Bürokratie die Wissenskompetenz fehlt, um vielversprechende technische Neuerungen zumindest durch Entwicklungsprogramme und Pilotanwendungen zu fördern. Zusammen mit den langen Nutzungsdauern von Einrichtungen und rollendem Material führt dies zu einem Stillstand der Technik (technologisches Patt), während die Konkurrenz auf der Straße in wesentlich kürzeren technischen Anpassungszeiträumen und durch Regulierungen weitgehend unbehindert auf die Marktentwicklungen reagieren kann.

Daraus folgt die These, dass sich die Barrieren nicht durch in einem Schritt in voller Breite abbauen lassen. Vielmehr ist es erforderlich, Zukunftstechnologien in Nischen zu erproben, um sie dann in Hauptkorridoren oder in Schlüsselbereichen zum Einsatz zu bringen. Ein Beispiel für einen solchen Schlüsselbereich besteht in der Verbindung von Güteraufkommenspunkten zu den Zugbildungs-Zentren. Gleisanschlüsse und dezentrale Aufkommenspunkte werden in der Zukunft nur rentabel sein können, wenn Wagen oder Wagenverbände automatisch zu den Zugbildungs-Zentren geführt und dort bearbeitet werden. Die hierzu nötigen Einrichtungen an Zentren (automatische Rangier-Loks) und Zubringer-Strecken (Sensorik, Kommunikationsinfrastruktur) könnten aber vom Regulierer als „Essential Facilities“ eingestuft werden, so dass das Interesse großer Bahngesellschaften niedrig bleibt. Damit gibt es nur zwei Möglichkeiten, dieses technologische Patt zu überwinden: Entweder werden solche Innovationsbereiche aus der Regulierung (teilweise oder zeitweise) heraus genommen oder der Staat (bzw. eine öffentliche Gesellschaft)

⁹ Siehe FhG ISI et al. (2016). Diese Studie zeigt die technischen Möglichkeiten, deren Kosten und die mögliche Konkurrenz zum Bahntransport, weil insbesondere Transporte auf größeren Entfernungen in aufkommensstarken Korridoren attrahiert werden. Die wirtschaftlichste Variante wäre ein Shuttle-System in hoch belasteten Korridoren mit Umschlagseinrichtungen an zentralen Knoten für die Weitertransporte im nachgeordneten Netz, also die Übertragung der Schienengüterverkehrstechnologie auf die Straße.

übernimmt die Investitionen und ordnet die Kapazitäten den Wettbewerbern nach definierten Regeln zu.

Sollte sich dies nicht in absehbarer Zeit (etwa: bis 2030) realisieren lassen, so müssen kommerziell ausgerichtete Bahngesellschaften in eine andere Richtung denken, Gleisanschlüsse und dezentrale Aufkommenspunkte mit niedrigem Aufkommen schließen und die regionalen Zubringer-Dienste mit dem Lkw in Form effizienter „milk-run“-Organisationen durchführen (vgl. Nemoto und Rothengatter, 2013).

5 Konsequenzen für die F&E Politik

5.1 NATIONALE UND EU INNOVATIONSFÖRDERUNG

Die Wettbewerbspolitik der EU zielt darauf hin, die intramodale Konkurrenz zu fördern und den großen – vormals oder immer noch – staatlichen Gesellschaften Marktanteile zugunsten kleinerer Wettbewerber zu nehmen. Gemeinsam mit der Regulierung der Monopolbereiche („essential facilities“) führt dies zu der Situation, dass weder die großen Bahngesellschaften noch ihre kleineren Konkurrenten Anreize für technische und organisatorische Innovationen haben. Der Konkurrenzdruck wird primär über die Kosten ausgetragen, wobei nationale Entlohnungs-, Regulierungs- und Subventionierungs-Differenzen eine Rolle spielen, weil die stärksten Wettbewerber großer nationaler Gesellschaften Töchter ausländischer nationaler Gesellschaften sind. Da die Hersteller von Bahntechnik im Erfinder-Dilemma stecken, gibt es weder von Seiten der Technik-Hersteller noch der Betreiber-Gesellschaften einen nennenswerten Innovationsdruck, so dass die Rolle des Innovators beim Staat verbleibt.

Die öffentliche Bahnforschung ist in der Bundesrepublik und in der EU im Wesentlichen auf Universitätsinstitute und kleinere Abteilungen in Forschungszentren verteilt, die nicht die Möglichkeit haben, Forschungsideen in aufwendige Produktentwicklungen umzusetzen. Die Privatisierung der Eisenbahnen wurde weder national noch auf Seiten der EU mit der Einrichtung von zentralen Forschungs- und Entwicklungsorganisationen für den Eisenbahnverkehr (etwa analog zum japanischen Beispiel, siehe Abschnitt 5.2) begleitet. Die Einrichtung einer kleinen Abteilung beim Eisenbahnbundesamt, die als Schnittstelle zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik fungieren soll, unterstreicht das unterentwickelte Interesse der deutschen Verkehrspolitik an radikalen Bahninnovationen.¹⁰ Erst der im Sommer 2017 erschienene Masterplan Schienengüterverkehr spricht Innovationsnotwendigkeiten an, wobei allerdings die Maßnahmen auf Seiten der

¹⁰ Im Internet-Auftritt des BMVI zum Stichwort „Eisenbahnforschung“ wird dies neben der Beteiligung am EU Projekt „Shift2Rail“ als wesentlicher Beitrag der Verkehrspolitik aufgeführt.

Verkehrspolitik nur Ankündigungscharakter haben und für die nächste Legislatur-Periode in Aussicht gestellt werden. Sie lassen aber immerhin erkennen, dass die Modernisierung der Güterbahn mit einem größeren Nachdruck betrieben werden soll als in den vorangegangenen Legislaturperioden, vorausgesetzt, dass die amtierende Regierung an eine Umsetzung dieses Planes denkt.

Die EU Kommission hat sich zunächst darauf beschränkt, eine Reihe von Forschungsprojekten in Auftrag gegeben, die technische und organisatorische Wege zu der gewünschten Revitalisierung der Eisenbahnen aufzeigen sollten. Zu erwähnen sind die Projekte NEW OPERA, TIGER, SPIDER, SPIDER PLUS oder LIVINGRAIL. Alle Projekte gehen von einer Überwindung der Fragmentierung aus, die das europäische Bahnwesen kennzeichnet. Zusätzlich diskutieren sie einige der möglichen Innovationsrichtungen, wie sie in Abschnitt 4.2 erwähnt sind und kommen so zu dem sehr optimistischen Ergebnis, dass sich die Verkehrsleistungen der Bahnen bis 2030 verdoppeln bis verdreifachen können und Modal Split Anteilswerte bis zu 25% im europäischen Güterfernverkehr möglich sind. Dies hat die Kommission ermutigt, in ihrem letzten Weißbuch zur gemeinsamen Verkehrspolitik (2011) das Ziel zu formulieren, mindestens ein Drittel des Güterverkehrs über 300 km Distanz bis 2030 den Bahnen zuzuordnen und sogar die Hälfte bis 2050.

Die erste EU-Maßnahme, Innovationen gezielt über die Behebung von Interoperabilitäts-Defiziten hinaus anzustoßen, besteht in der Ausschreibung des Projekts SHIFT2RAIL im Rahmen des HORIZON (H) 2020 Forschungsprogramms. Forschungsinstitute, Consultants und Bahngesellschaften sollen F&E-Partnerschaften bilden, um neue Bahntechnologien zu entwickeln. Die Federführung (Governing Board) liegt bei Bahngesellschaften und Bahnindustrie, die Koordinierung bei der ERA (European Railway Agency). SHIFT2RAIL definiert 5 prioritäre Innovationsprogramme:

- Innovationsprogramm 1: Kosteneffizienz und Zuverlässigkeit für Züge
- Innovationsprogramm 2: Moderne Zugmanagement- und Kontrollsysteme
- Innovationsprogramm 3: Kosteneffiziente, zuverlässige Infrastruktur mit hoher Kapazität
- Innovationsprogramm 4: Lösungen für attraktiven Bahnservice
- Innovationsprogramm 5: Technologien für zukunftssicheren und attraktiven Bahngütertransport.

Die von 2014 bis 2020 geplanten Mittel umfassen 920 Mill. EUR, wobei die EU Kommission etwa 50% (450 Mill. EUR) kofinanziert. Damit erreicht die Forschungsförderung für die Bahnen erstmals ein relevantes Niveau und bietet aufgrund der Industriebeteiligung die Aussicht, dass daraus innovative Umsetzungen, wie zum Beispiel Pilotprojekte für ausgewählte Marktsegmente oder Korridore, folgen können. Im Vergleich zur Förderung von Innovationen im Straßenverkehr ist diese Summe allerdings bescheiden. Die Forschungsförderung der EU für alternative Antriebe und „grüne Fahrzeuge (green vehicles)“ im Rahmen von H2020 liegt bereits deutlich höher und hinzu kommen die nationalen Förderungen bis hin zur Subventionierung von Pilotmärkten (allein in

Deutschland 1,2 Mrd. EUR für Elektro- und Hybrid-Fahrzeuge). Diese Mittel addieren sich zu den F&E-Investitionen der Industrie, so dass die gesamten Investitionen in Zukunftstechnologien bei der Straße nach Schätzung des Verfassers zumindest beim 20-fachen der F&E-Investitionen für die Schiene liegen. Die öffentliche Förderung des Industrievorschlags einer Elektrifizierung der Autobahnen mit Oberleitungen zeigt eindrucksvoll, wie die Privatwirtschaft den Staat in ihre straßenseitigen Entwicklungsinteressen hinein zieht, so dass der Staat das Erfinderdilemma verstärkt statt abzubauen hilft.

5.2 INSTITUTIONELLE VORAUSSETZUNGEN FÜR ERFOLGREICHE BAHN-INNOVATIONEN

Wenn es um institutionelle Bedingungen für den Erfolg von Eisenbahnen geht, so lassen sich Anregungen aus dem Ausland gewinnen, auch wenn direkte Übertragungen in der Regel nicht möglich sind. Japan gibt ein Beispiel für erfolgreiche Innovationsmodelle im Bahnwesen. Die Shinkansen Schnellzüge sind seit 1964 immer weiter entwickelt worden und stehen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Energieverbrauch, und Attraktivität für den Passagier an der Spitze der internationalen Skala. Aufgrund der hohen Nachfrage und der Notwendigkeit grundlegender Streckenüberholung für die hoch belasteten Sanyo/Tokkaido-Linien ist der Plan einer parallelen Strecke von Tokyo nach Osaka durch die japanischen Mittelgebirge entstanden. Diese soll aber nicht durch konventionelle Zugtechnik bedient werden, sondern durch eine Magnetschwebbahn, deren Technikentwicklung in Japan bereits seit Jahrzehnten (zeitweise parallel zum Transrapid) voran getrieben wird. Unabhängig von der Frage, ob dies die beste Technik-Lösung für das Verkehrsproblem darstellt¹¹, ist interessant, mit welchem Regime dieses Jahrhundert-Projekt auf den Weg gebracht wird. Die beteiligten Organisationen sind:

- Railway Technical Research Institute (RTRI): Ein zentrales Institut für Bahntechnik, das im Zuge der Privatisierung der staatlichen japanischen Eisenbahnen 1987 gegründet wurde. RTRI betreibt Grundlagenforschung und -entwicklung, während die Entwicklung zur Marktreife in der Kompetenz der (heute privaten) Bahngesellschaften liegt.
- Japan Railways Central: Die Bahngesellschaft, welche die profitabelste Bahnverbindung der Welt betreibt, den Tokkaido-Shinkansen zwischen Tokyo und Osaka. JR Central leitet die Pilotentwicklung der Magnetbahn-Versuchsstrecke bei

¹¹ Nach wie vor gibt es erhebliche Zweifel an der Technik und vor allem an der Wirtschaftlichkeit des Vorhabens. Manche Experten gehen davon aus, dass die technischen Probleme nicht lösbar sein werden, so dass man künftig Shinkansen-Züge mit Linearmotor-Antrieb auf der Strecke einsetzen wird (was aufgrund der Infrastruktur-Design-Parameter möglich bleibt).

Yamanashi und plant, diese bis 2027 zwischen Tokyo (Shinagawa) und Nagoya auszubauen und anschließend zu betreiben. Sie wird weiter die Kosten dieses ersten Teilstücks privat finanzieren (ca. 90 Mrd. USD). Die Kosten der Weiterführung bis Shin-Osaka übernimmt der Staat.

- Japanische Regierung: Neben der Kostenbeteiligung an der Versuchsstrecke und der Kostenübernahme für das zweite Teilstück von Nagoya nach Osaka hat die japanische Zentralregierung eine wesentliche Markthürde für einen wirtschaftlichen Erfolg des Vorhabens beseitigt. Die zentrale Maßnahme besteht darin, das Wachstum des Inlandsluftverkehrs dadurch abzubremsen, dass der stadtnahe Flughafen Tokyo-Haneda nicht mehr kapazitiv für den Kurzstrecken-Luftverkehr erweitert wird. Dies soll den besonders zahlungsfähigen Geschäftsreiseverkehr zwischen den Ballungszentren zum großen Teil vom Flugzeug auf die (Magnet)Bahn verlagern.
- Bahnindustrie und Forschungsinstitute: Neue Technologien für magnetisches Schweben, Antrieb und Steuerung, Supraleitung und Kühlung werden in umfangreichen Forschungsprogrammen entwickelt, getestet und zusammen geführt.

Vergleicht man diese institutionellen Bedingungen mit Deutschland oder Europa, so folgt das Ergebnis:

- Weder Deutschland noch Europa haben ein zentrales Bahnforschungs-Institut. Die ERA (European Railway Agency) ist primär für die Interoperabilität konventioneller Techniken zuständig, so dass wenig EU Impulse für Innovationen zu erwarten sind. Die nationalen Forschungseinrichtungen für das Bahnwesen sind zu klein, um Innovationen bis zur Entwicklungsebene voran zu bringen.
- Die Bahngesellschaften haben aufgrund der nationalen und EU Regulierungen keine Möglichkeit, Gewinne in ihren Geschäftsfeldern zu erzielen, die es ermöglichen würden, radikale Innovationen zu entwickeln und marktreif zu machen, sowie die damit verbundenen Risiken zu tragen.
- Der staatliche Flankenschutz auf der Marktseite fehlt. Parallele Investitionen für die Infrastruktur des Straßen- oder Luftverkehrs sowie hohe Subventionen zur Förderung von Innovationen für die konkurrierenden Verkehrsträger sind dagegen Realität. Die Vorteile der Bahnen bei Umwelt, Sicherheit und Klima bleiben bislang aufgrund mangelnder Internalisierung externer Kosten nicht marktrelevant.
- Die großen Hersteller (Siemens, Alstom, Bombardier) ziehen sich eher zurück, fusionieren, um zu rationalisieren, und reduzieren Kapazitäten, weil die Auftragslose zu klein und die Risiken neuer Technologien nicht aus Gewinnmargen zu decken sind.

Wenngleich das japanische Beispiel nicht das einzige Geschäftsmodell für erfolgreiche Bahninvestitionen darstellt, so zeigt es doch, dass die wichtigen Partner an einem Strang ziehen müssen, um Innovationen zu realisieren. In Europa scheint die EU Kommission die einzige Institution zu sein, die mit dem SHIFT2RAIL-Projekt den Versuch unternimmt, eine solche Partnerschaft zusammen zu führen.¹² Allerdings sind Finanzierung und Risikoträgerschaft für Spin-offs aus diesem Programm noch völlig ungelöst, denn den Bahngesellschaften fehlen die Mittel, die Bahnindustrieunternehmen sehen keine Renditen und die nationalen Regierungen haben andere Probleme und Prioritäten.

6 Konsequenzen für die Regulierung

6.1 TECHNISCHE REGULIERUNG

Für die technische Regulierung und Standardisierung ist in Deutschland das Eisenbahnbundesamt (EBA) und in Europa die European Railway Agency (ERA) zuständig. Das EBA sieht – wie auch die anderen nationalen technischen Regulierer – seine Hauptaufgabe darin, die Sicherheit des Eisenbahnbetriebs zu gewährleisten. Daher sind bereits die Zulassungen für konventionelle Technik außerordentlich langwierig und aufwendig. Sind neue Technik-Elemente enthalten, so kann es Jahre dauern, bis sie vom Regulierer zugelassen werden. Aufgrund dieses Risikos gibt es wenig Anreize für die Bahnindustrie, neue Techniken zu erproben und anzubieten. So hat auch die japanische Bahnindustrie, die im Bereich des Personenzugverkehrs international eine führende Rolle spielt, bislang davon abgesehen, in Europa anzubieten, obwohl sie von Bahngesellschaften wie der DB AG dazu ermutigt wurde.

Damit fehlt ein wirksamer Druck auf die beteiligten Partner, neue Techniken zu erproben. Im Falle der Automatisierungstechniken und autonomen Zugsteuerungen hat dies dazu geführt, dass das ECTS Level 3 System, das die starre Blocksicherungstechnik ablösen und individuelle Zugsteuerungen erlauben soll, aus dem Katalog der „Key Performance Indicators (KPI)“ heraus genommen wurde (vgl. Rothengatter, 2016). Denn Bahngesellschaften und Regulierer sahen keine Möglichkeit einer baldigen Einigung in der EU auf die Level 3 Standards, während man sich beim Level 2 auf Standards einigen konnte, die allerdings den technischen Stand von vor 2010 repräsentieren¹³.

¹² Dabei soll nicht verkannt werden, dass einige Länder, wie die Schweiz, Österreich sowie Frankreich oder Spanien im Personenverkehr eine wesentlich aktivere Bahnpolitik betreiben als der EU Durchschnitt und insbesondere Deutschland.

¹³ Kommission, EU-Länder und Bahngesellschaften haben sich im Jahr 2016 auf eine gemeinsame Spezifikation für Level 2, „Baseline 3“, geeinigt.

6.2 ORGANISATORISCHE REGULIERUNG

Falls die vierte industrielle Revolution das Bahnwesen tatsächlich erfassen sollte, so sind die wesentlichen Bahnkomponenten nicht nur physische Infrastruktur und das rollende Material, sondern vor allem die Kommunikationsinfrastruktur. Letztere wird aber nicht mit der physischen Infrastruktur zwangsgekoppelt sein, sondern als verteilte Intelligenz in Clouds, Servern und Fahrzeugen integriert, die noch über die Sensorik mit dem Fahrweg verbunden sein kann (etwa: Balisen). Dabei stellt sich die Frage, ob die wachsende Bedeutung der dritten Komponente die EU – Konzeption einer Trennung der Verantwortlichkeiten von Infrastruktur und Verkehrsbetrieb stützt oder sich als hinderlich erweist. Gegen das Trennungsmodell lässt sich vorbringen, dass die Integration von Infrastruktur und Betrieb durch die begleitende Kommunikation noch intensiver wird. Gegen das Integrationsmodell spricht auf der anderen Seite, dass die natürliche Monopoleigenschaft gestärkt und die Kontrolle eines fairen Netzzugangs für Konkurrenten erschwert wird.

Zumindest wird ein regulatorisches Dach erforderlich sein, das EU-weit einheitliche technische und organisatorische Standards setzt, um heterogene Lösungen, inkompatible Systeme und Inselstrategien zu vermeiden. Sind solche Standards einheitlich gesetzt, so entsteht ein beachtlicher Markt für Bahnautomatisierungs-Technologien mit interessanten Stückzahlen, der das Industrieinteresse wecken und Innovationen auf Seiten der Fahrzeugtechnik und Betriebsorganisation antreiben kann.

Analog zur Flugsicherung (EUROCONTROL, Single European Sky) ließe sich ein europäisches Zugsicherungssystem aufbauen, das die Fahrzeugbewegungen über Satellitenkommunikation (Galileo) kontrolliert und koordiniert sowie die Standards (Protokolle) definiert, die von Infrastruktur- und Bahngesellschaften einzuhalten sind, um eine reibungslose Führung auf internationalen Routen zu gewährleisten. Letztere verlangt die Gründung einer europäischen Gesellschaft, die den nationalen Zugleitungs-Organisationen übergeordnet ist, also eine Art EURAIL CONTROL mit einer gemeinsamen digitalen Plattform („Single European Rail Intelligence“). Die Aufgabenbereiche sind:

- Koordinierung der Fahrzeugführung und -überwachung auf angemeldeten Fahrtrassen – in Abstimmung mit den dezentralen (nationalen und regionalen) Zugleitorganisationen.
- Koordinierung der Informationsbereitstellung für Planung und Vorbereitung von Zugfahrten oder Fahrplänen.
- Koordinierung und Überwachung der Telekommunikations-, Navigations- und Ortungssysteme.
- Ausbildung qualifizierten Personals.

Mit dem Schritt ins digitale Zeitalter müssen die Bahnen damit auch den Schritt in die Integration nationaler Kommunikationssysteme in ein übergeordnetes Kontrollsystem vollziehen. Der intra- und intermodale Konkurrenzkampf spielt sich dann auf den Ebene der Produkte und Dienste ab, welche die nachgeordneten Schichten der Kommunikationstechnologien für die digitale Assistenz nutzen. Hier sind größere regulatorische Freiheiten für die Bahngesellschaften zur Nutzung von Skaleneffekten angezeigt. Dies gilt zum Beispiel für die Gewährung von Ausnahmetatbeständen im Falle der Einführung von Innovationen und für Leistungsbereiche, die eine ausgeprägte Netzbildungskapazität verlangen (etwa: Einzelwagen, Wagengruppen-Shuttle, Railports, Linien-Güterzüge mit automatisiertem Umschlag an Knotenpunkten).

7 Fazit

Die Eisenbahnen in Europa waren eine radikale Innovation im Anschluss an die erste industrielle Revolution, haben sich aber in der Folgezeit nur inkremental weiter entwickelt und konnten nach dem Zweiten Weltkrieg – bis auf Teilsegmente wie den Hochgeschwindigkeitsverkehr – nicht mit der Marktdynamik Schritt halten. Die Entwicklung von weiteren Basisinnovationen wurde durch Barrieren, wie die in sich abgeschlossene Technik und Organisation („lock-in“), das Erfinder-Dilemma („Konzentration der Entwickler auf dynamische Märkte“) oder das technologische Patt („Projektion auf das Gesamtnetz“), gehemmt. Die „Vierte Industrielle Revolution“ zwingt die Bahnen, die Weichen für das digitale Zeitalter zu stellen. Dies wird durch weitgehende Automatisierung der Beförderungsprozesse im Personen- und Güterverkehr und Begleitung der Transportvorgänge durch Kommunikation und umfassende Assistenzsysteme gekennzeichnet sein. Von der Technologie her ist es leichter, solche Systeme bei Bahnen einzuführen als auf der Straße. Allerdings ist es schwierig, die Innovations-Barrieren zu überwinden. Dies verlangt:

- Koordinierung von Forschung und Entwicklung, wie zum Beispiel in Japan mit dem zentralen Institut für Eisenbahnforschung (RTRI).
- Einrichtung einer europäischen Zentrale für die Kontrolle und Überwachung der Kommunikationssysteme für die Zugleitung (EURAIL CONTROL) in Abstimmung mit den nationalen und regionalen Organisationen.
- Übertragung zentraler Koordinierungs-Funktionen an EURAIL CONTROL analog zur Luftfahrt.
- Förderung von Innovationen in Partnerschaft von Forschung, Bahnindustrie und Bahngesellschaften.
- Anreize durch Aussetzen der Regulierung von „Essential Facilities“ für Innovationen, teilweise oder zeitweise.
- Förderung von Pilotprojekten auf Teilstrecken und Korridoren, mit Ko-Finanzierungen der Partner.
- Größere unternehmerische Freiheiten für Bahngesellschaften zur Ermöglichung von Gewinnerzielung durch neue Produkte und Initiierung von Innovationsprojekten.

- Aufstockung von Forschungsmitteln für innovationsfördernde Projekte wie SHIFT2RAIL und Ko-Finanzierung von Spin-offs.

Die gegenwärtige Politik der EU Kommission und der Mitgliedsländer beschränkt sich derzeit darauf, die Interoperabilität einer Eisenbahntechnik vom Stand des Jahres 2010 in Europa auf den Kernnetz-Korridoren bis zum Jahre 2030 herzustellen. Die Bahnen werden dann aber auf Konkurrenten treffen, welche die Fortschritte der Vierten Industriellen Revolution bereits in weiten Teilen umsetzen. Eine Revitalisierung der Eisenbahnen wird daher nur möglich sein, wenn die Weichen in Richtung auf innovative Bahntechniken und Dienste für das digitale Zeitalter zügig gestellt werden.

Abstract

Die Veränderungen von Produktion und Dienstleistungen, wie sie die "Industrie 4.0" Initiative angekündigt hat, wird weite Bereiche der Wirtschaft umgestalten, darunter auch den Verkehr. Digitale Assistenz und Automatisierung werden den Personen- und Güterverkehr bis zum Jahr 2030 nachhaltig verändern. Bis zu diesem Jahr plant die EU Kommission, die Interoperabilität im europäischen Eisenbahnwesen wenigstens auf den Kernnetz-Korridoren herzustellen. Dies reicht aber bei weitem nicht aus, um die Bahnen konkurrenzfähig zu machen, die dann auf eine Konkurrenz treffen werden, welche die "digitale Revolution" bereits weitgehend umgesetzt hat. Eine Wiederbelebung der Eisenbahnen setzt daher voraus, dass die systemimmanenten Barrieren der Bahninnovation, wie technische Abgeschlossenheit, Erfinder-Dilemma und technologisches Patt, überwunden werden können.

Literatur

- Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, 2017: Masterplan Schienengüterverkehr. Berlin.
- Doll, C. Rothengatter, W. und W. Schade, 2015: Results and Efficiency of Railway Infrastructure Financing in the EU. Study for the European Parliament. Brüssel.
- EU Kommission, 2013: Regulation 1316/2013. Core Network Corridors. Brüssel.
- EU Kommission, 2011: White Paper “Road Map to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resources efficient transport system”. Brüssel.
- EU Kommission: Projekte NEW OPERA, TIGER, SPIDER, SPIDER PLUS, LIVING RAIL, SHIFT2RAIL. ERTMS Workplan of the Coordinator; European Deployment Plan. Web Page der EU Kommission.
- FhG ISI, 2016: Automatisierung und Robotik Systeme. Automation and Robot Systems. Study for the Expert Commission on Research and Innovation of the German Ministry of Education and Research. Karlsruhe.
- Fhg ISI, Fhg IML, PTV, m-five und TUHH, 2016: Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-Lkw. Im Auftrag des BMVI. Karlsruhe.
- Fhg ISI, INFRAS, M-FIVE und PTV, 2015: Cost of non-completion of the TEN-T. Im Auftrage der EU Kommission. Brüssel.
- Gaudry, M., 2017: The demand for journey duration and reliability: Paris region work trips by mode and sex, 2010-2011. To appear in: Bonnafous, A. and W. Rothengatter (eds.) Transport Policy. Special Issue on Jules Dupuit.
- Harvard Business Review, 2015: "The Sharing Economy Isn't About Sharing at All". *HBR*. 2015-01-28. Retrieved 2015-07-11.
- Herrmann, M., Pentek, T. und B. Otto, 2016: Design Principles for Industry 4.0 Scenarios. In: System Sciences (HICSS). Presentation to the 49th Hawaii International Conference on System Sciences.
- IBM, 2015: Was kann die Industrie 4.0? Potenzial für die deutsche Industrie. Performance of Industry 4.0. Potential for the German Industry. Ehningen.
- IC Consulente, HACON, Panteia, Viadonau und Universität Bukarest, 2014: Study on TEN-T Core Network Corridor “Rhine-Danube” und “Orient-East Med”. Im Auftrag der EU Kommission. Brüssel.
- Kondratieff, N. 1925: The Major Economic Cycles. Moscow. Transl. 1984. New York.
- Müller, S., Liedtke, G. und A. Lobig, 2017: Chancen und Barrieren für Innovationen im deutschen Schienengüterverkehr: Eine innovationstheoretische Perspektive. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft. 87. 3. 177-206.

- Nefiodow, L. und S. Nefiodow, 2014: *The Sixth Kondratieff. The New Long Wave of the Global Economy*. Charleston.
- Nemoto, T. und W. Rothengatter, 2013: Efficient green logistics in urban areas – a case of milk-run logistics in the automotive industry. In: May, T. Kii, M, Pan, H. and R. Mackett (eds.): *Green Urban Transport Agenda: Implications for Cities in China*. Emerald. Bingley.
- Randeloff, M., 2016: *Automatisierter Bahnbetrieb und führerlose Züge: Eine Einführung*. Aktualisiert 27.6.2016. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/90799/schieneverkehr/eisenbahn/fuehrerlose-zuege>.
- Rothengatter, W., Schade, W. and J. Hartwig, 2016: *Logistics in the TEN-T Corridors. Study for the Committee on Transport and Tourism of the European Parliament*. Brüssel.
- Schwab, K., 2016: *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. Geneva.
- Schumpeter, J.A., 1942: *Capitalism, Socialism, and Democracy*. New York.
- Schumpeter, J.A., 1952: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Berlin.
- Tschiesner, A., 2013: *The Internet of Things and the Future of Manufacturing*. Mc Kinsey Publication of an Interview with S. Drais and H. Derenbach, Members of the 4IR Group.