

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG
Herausgeber: Eisenbibliothek
Band: 82 (2010)

Artikel: Technologietransfer im Eisenbahnwesen Japans
Autor: Höhmann, Rolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378470>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

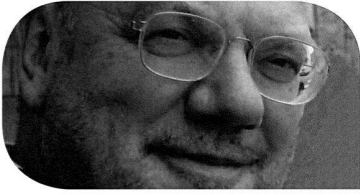
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Technologietransfer im Eisenbahnwesen Japans

Dipl.-Ing. Rolf Höhmann

Geboren 1950 in Immenhausen bei Kassel. Studium Architektur und Städtebau an der Technischen Universität Darmstadt. Forschungsprojekt «Frühe Industriebauten im Rhein-Main-Gebiet» und wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Günther Behnisch. Seit 1989 freies Büro für Industriearchäologie in Darmstadt. Zahlreiche Gutachten, Nutzungs- und Instandsetzungskonzepte zu industriellen Denkmälern in fast allen deutschen Bundesländern und im benachbarten Ausland mit den Schwerpunkten Eisen- und Stahlindustrie und Grossanlagen. Lehraufträge für Industriearchäologie an der TU Darmstadt und Technikgeschichte und Technikfolgen an der Universität Leipzig. Mehrfache Besichtigungsreisen, Beratungen und Vorträge in Japan auf Einladung des Nationalen Instituts für das Kulturelle Erbe in Tokio.



Bild 1: Zahnrad-Ellok ED421 von 1937, japanischer Nachbau, im Museum Yokokawa.
(Foto: Rolf Höhmann)

An drei Beispielen wird der Technologietransfer spezieller Schweizer und deutscher Techniken im Eisenbahnwesen beschrieben. Wegen der schlechten Quellenlage muss dabei auf Literatur, «oral history» und eigene Recherchen zurückgegriffen werden. Die Beispiele umfassen den Zeitraum von 1892 bis zur Neuzeit.

The technology transfer of special Swiss and German railroad technologies is illustrated here on the basis of three examples. Due to the fact that the source material is of poor quality, the author has had to rely on literature, oral history and his own research. The examples are taken from the period 1892 to modern times.

Die Eisenbahn wurde in Japan erst nach der Öffnung des Landes nach der Meiji-Restauration 1868 eingeführt, die erste Strecke konnte 1872 eröffnet werden. Erste Lieferanten von Bahnmateriale waren England und für die Nordinsel Hokkaido die USA, später dann auch Schweizer und deutsche Firmen. Viele der europäischen und amerikanischen Bauprinzipien wurden von japanischen Herstellern weiterentwickelt, ganz im Sinne der geplanten Öffnung des Landes und der Übernahme der besten Technologien aus den entwickelten Ländern.

Welche Quellen dabei genutzt beziehungsweise welche Technologien übernommen wurden, ist kaum noch im Detail nachzuvollziehen. Viele europäische Ingenieure waren für den Aufbau von Industrie und Eisenbahnen nach Japan gegangen, viele japanische Ingenieure der Frühzeit wurden in Europa und den USA ausgebildet, sodass der Technologietransfer materiell – mit Produkten – als auch durch Auszubildung stattfand. Informationen über diesen Transfer sind aus verschiedenen Gründen kaum zu erschliessen, weitere Forschungen bleiben notwendig. Im Folgenden wird versucht, an drei Beispielen den Transfer von bestimmten Eisenbahntechnologien, ihre Adaption, Weiterentwicklung und eventuelle Rücktransporte in Form von Exporterfolgen zu beschreiben.

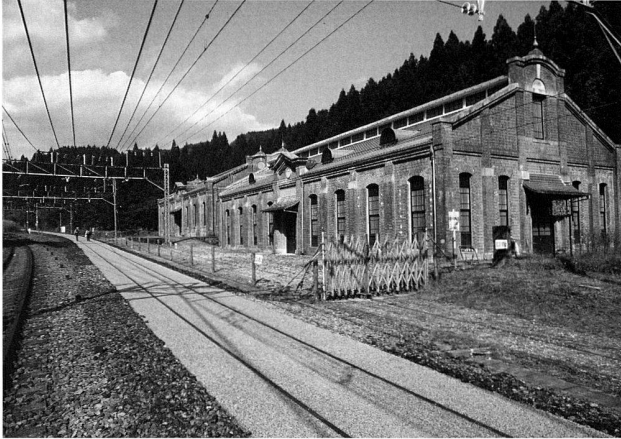


Bild 2: Gebäude des Kraftwerks und Trasse der alten Usui Toge-Shinetsu-Linie. (Foto: Rolf Höhmann)

Für das erste Beispiel kann hier auf Veröffentlichungen zurückgegriffen werden, das zweite ist erst ansatzweise erforscht und bleibt wegen fehlender Informationen zunächst noch unklar, während das dritte auf mündliche Überlieferungen von Zeitzeugen und wenige schriftliche Quellen zurückgreifen kann.

Zahnradbetrieb auf der Usui Toge-Shinetsu-Linie

Der Usui-Pass ist eine wichtige Strassen- und Eisenbahnverbindung zwischen Tokio, Nagano und der Nordküste der Hauptinsel Honshu. Englische Ingenieure planten neben der schon seit historischen Zeiten bestehenden Strasse eine erste Eisenbahnverbindung, die wegen der starken Steigungen nur als Zahnradbahn ausgeführt werden konnte. Nach der Besichtigungsreise einer japanischen Delegation in Europa, bei der vor allem die Zahnradstrecke der Halberstadt-Blankenburger Eisenbahn im Harz technisch überzeugen konnte, wurde das System Abt gewählt und 1892 die ersten vier Zahnrad-Dampflokomotiven von der Maschinenfabrik Esslingen geliefert.¹

Die Usui Toge-Shinetsu-Linie war eine der wenigen Hauptbahnstrecken mit Zahnradabschnitten. Der Verkehr entwickelte sich sehr stark, sodass bald kräftigere Lokomotiven beschafft werden mussten. In den Jahren 1895, 1898 und 1902 wurden 12 Lokomotiven von Beyer Peacock in Manchester geliefert, weitere sechs wurden nach deren Vorbild als erste in Japan hergestellte Zahnradloks von den Omiya-Werkstätten zwischen 1906 und 1908 nachgebaut. Aber auch die inzwischen vorhandenen 25 Lokomotiven konnten den immer weiter steigenden Verkehr nicht mehr bewältigen; dazu kam die grosse Rauchbelästigung in den vielen Tunneln der Strecke. Als einziger Ausweg blieb die Elektrifizierung, die 1912 abgeschlossen wurde. Den elektrischen Teil der

12 Elektro-Zahnradlokomotiven lieferte die AEG in Berlin, der mechanische Teil entstand wiederum bei der Maschinenfabrik Esslingen. Interessanterweise wurde das zugehörige Kraftwerk von Curtiss - General Electric aus den USA erbaut.

Für die nächsten 16 Loks lieferte BBC zwischen 1916 und 1919 die Elektroausrüstung und Omiya den Mechanteil. Möglicherweise konnten die Lokomotiven wegen des Ersten Weltkriegs nicht aus Deutschland bezogen werden, sodass die Zulieferung der elektrischen Bauteile aus der Schweiz erfolgte, während der Bau des mechanischen Teils in Japan möglich war. Letzte Stufe waren dann zwei technisch sehr hoch entwickelte Drehgestelllokomotiven von SLM Winterthur und BBC aus dem Jahr 1925, die zwischen 1937 und 1947 von diversen japanischen Herstellern in insgesamt 28 Exemplaren nachgebaut wurden.

Eine weitere Kapazitätssteigerung war nur möglich durch die Anlage einer neuen doppelgleisigen Strecke neben der vorhandenen mit einem Gleis. Diese wurde als Steilstrecken-Adhäsionsbahn, also ohne Zahnradabschnitte, im Jahr 1963 eingeweiht. Die Standard-Zuggarnituren der japanischen Kapspur (1067mm Spurweite) wurden nun mit starken sechsachsigen Elektrolokomotiven über die Steilstrecke gezogen und geschoben. Aber auch dieser aufwendige Betrieb ist schon wieder Geschichte: 1998 wurde aus Anlass der Winterolympiade in Nagano eine Shinkansen-Zweigstrecke in Betrieb genommen, die die schwierige Überwindung des Usui-Passes mit ihrer Tunnelstrecke vollständig ersetzte. Am Anfangspunkt der alten Passstrecke in Yokokawa besteht heute ein Eisenbahnmuseum, in dem auch einer der japanischen Nachbauten der SLM-Lokomotiven mit der Nummer ED421 ausgestellt ist (Bild 1). Die Strecke dient teilweise als beliebter Wanderweg, das Gebäude des Kraftwerks ist ohne technische Ausstattung erhalten (Bild 2).

Das von der japanischen Industrie erworbene Know-how zum Bau von Zahnradlokomotiven wurde kaum in Konkurrenz zu den einzigen beiden anderen nennenswerten Herstellern SLM und Esslingen genutzt. Neben sieben als Reparation an Indonesien gelieferten Zahnrad-Dampfloks, nach Esslinger Zeichnungen gebaut, sind als Exporte 57 Stück spezieller elektrischer Treidellokomotiven für den Panama-Kanal und 14 Elektroloks für den Old Serra-Incline der von Santos nach Jundiai führenden Strecke in Brasilien zu nennen. Letztere sind die stärksten jemals gebauten Zahnradlokomotiven. Ihre Inbetriebnahme war aber mit jahrelangen erheblichen Problemen und einem Unfall verbunden, sodass sie kaum als wirtschaftlicher und technischer Erfolg gewertet werden können.

Der Bau von Zahnrad-Triebfahrzeugen wird nach Aufgabe der Produktion der Maschinenfabrik Esslingen und der SLM Winterthur von der Schweizer Firma Stadler weitergeführt, die nun quasi als Monopolist auf diesem kleinen Spezialgebiet der Eisenbahntechnik agiert.

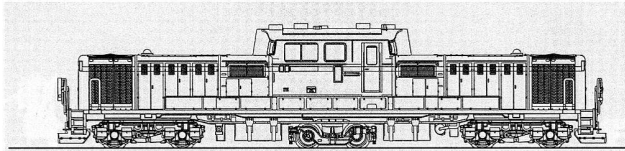


Bild 3: Zeichnung der Baureihe DD 51 der Japanese National Railways. (Sammlung Rolf Höhmann)

Hydraulische Kraftübertragung für Diesellokomotiven

Nach einer längeren Forschungs- und Versuchsphase am Anfang des 20. Jahrhunderts haben sich seit dem Zweiten Weltkrieg für die Kraftübertragung von leistungsfähigen Diesellokomotiven zwei grundsätzlich verschiedene Systeme bewährt – zum Einen die zahlenmässig am weitesten verbreitete Dieselelektrik, bei der der Dieselmotor einen Elektrogenerator antreibt, der wiederum Elektromotoren an den Achsen mit Strom versorgt, und in geringeren Stückzahlen die hydraulische Übertragung durch zwischen Motor und Achsantrieben angeordneten Strömungsgetrieben der Bauart Föttinger, die vor allem in Deutschland entwickelt, optimiert und produziert wird.

Beide Systeme haben Vor- und Nachteile: Die dieselelektrische Übertragung ist wegen der Kraftumwandlung sehr viel schwerer und auch teurer, aber gut bewährt und ausserordentlich robust. Die schweren Diesellokomotiven amerikanischer, russischer und chinesischer Eisenbahnen sind fast ohne Ausnahme in dieser Technik erbaut. Grosse Robustheit und einfache Wartung waren auch wichtige und erfolgreiche Verkaufsargumente der amerikanischen Lokomotivindustrie beim Export einer grossen Zahl dieser Fahrzeuge in fast alle Länder.

Der dieselhydraulische Antrieb ist demgegenüber einfacher und wesentlich leichter, da er weniger Bauteile benötigt und die Leistung des Dieselmotors über das Getriebe und Gelenkwellen direkt auf die Achsgetriebe überträgt. Die Deutsche Bundesbahn entschied sich bei ihren Neuentwicklungen grundsätzlich für dieselhydraulische Antriebe, für die aus den Schnelltriebwagen vor dem Zweiten Weltkrieg und den Wehrmachtslokomotiven aus der Kriegszeit gute Erfahrungen vorlagen. Allerdings war die Weiterentwicklung zunächst mit Problemen und hohem Unterhaltsaufwand behaftet. Seit den Siebzigerjahren kann die Dieselhydraulik aber als der Dieselelektrik gleichwertige, ebenso robuste Antriebstechnik bezeichnet werden. Ihr grosser Vorteil des geringen Gewichts wurde durch die Einführung der Drehstromtechnik – auch dies eine deutsche Innovation – teilweise wettgemacht, beide Antriebsarten werden aber in offenem Wettbewerb nach wie vor nebeneinander eingesetzt. Leichte Dieseltriebwagen sind fast ausschliesslich mit hydraulischen Getrieben ausgestattet. Der Markt wird beherrscht von der Firma Voith in Heidenheim, die ihre Hydraulikgetriebe nicht nur weltweit an Loko-



Bild 4: Prototyplokomotive DD 51 1 im Museum Yokokawa. (Foto: Rolf Höhmann)

motiv- und Triebwagenbauer liefert, sondern inzwischen auch selbst Diesellokomotiven herstellt.

In Japan erfolgten erste Versuche mit Diesellokomotiven schon vor dem Zweiten Weltkrieg mit deutscher Hilfe und nach dem Krieg unter amerikanischem Einfluss. Allerdings erwies sich die dabei eingesetzte dieselelektrische Kraftübertragung als zu schwer für die kapspurigen Schmalspurbahnen mit geringer zulässiger Achslast, sodass die Dieselhydraulik erprobt wurde. Im Jahr 1957 bestellte die Firma Hitachi zwei Getriebe des schon bewährten Typs L/T306r bei Voith, vorgesehen für eine Diesellokomotive der japanischen Staatsbahn mit einer Leistung von 2x1116 PS. Zwei Jahre später bestellte Fuji Denki Seizo zwei weitere Getriebe gleichen Typs, ebenfalls für eine JNR-Diesellokomotive. Interessant ist hier, dass nach der Lieferung kein Kontakt mehr mit Voith aufgenommen wurde, auch nicht für die Wartung der Getriebe.²

Von 1962 bis 1978 wurden in Japan insgesamt 659 Diesellokomotiven des Typs DD 51 gebaut, mit zwei Dieselmotoren von jeweils 1116 PS und Hydraulikgetrieben von Hitachi (Bilder 3, 4). Die Lokomotiven sind ähnlich ausgeführt wie vergleichbare europäische Modelle. Eine Besonderheit und einmalig ist aber das mittige Laufdrehgestell, das über Luftfedern an das Gleis gedrückt werden kann, sodass der Achsdruck in gewissen Grenzen variabel ist. Ab 1966 folgt die einmotorige DE 10 mit 1250 PS, von der 708 Stück gefertigt wurden. Zusätzlich entstanden viele dieselhydraulische Lokomotiven gleicher Leistungsklasse für Privatbahnen in Japan und den Export – genauere Daten und Produktionszahlen sind bisher nicht bekannt.³ Der Bedarf in Japan war damit gedeckt, die beiden Baureihen der JNR sind teilweise heute noch im Einsatz. Aus den Voith-Unterlagen⁴ geht hervor, dass viele der Exportlokomotiven wohl auf Wunsch der Besteller mit Voith-Getrieben ausgestattet wurden, die teilweise seit 1968 von Fuji Electric in Lizenz hergestellt wurden, und in

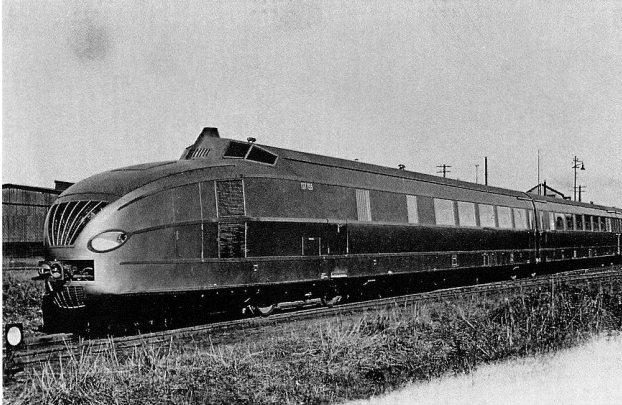


Bild 5: Kruckenberg-Schnelltriebwagen aus dem Jahr 1938. (Sammlung Alfred Gottwaldt)

jüngerer Zeit andere Lok-Getriebe auf Voith-Produkte umgebaut wurden.

Aus den wenigen vorliegenden Informationen kann man schliessen, dass die japanische Eisenbahnindustrie und die damalige Staatsbahn die Vorteile des dieselhydraulischen Antriebs erkannten und nach einer Lieferung von vier Voith-Getrieben in den Fünfzigerjahren zur eigenen Herstellung von wenigstens 2026 Hydraulikgetrieben übergangen. Es liegt nahe, dies als Technologietransfer anzusehen, wenn nicht sogar als nicht lizenzierten Nachbau. Grössere Exporterfolge waren damit aber nicht verbunden.

Schienenzeppelin und Shinkansen

Durch einen eher zufälligen Meinungs austausch ist ein Technologietransfer bekannt geworden, der bisher nur durch mündliche Überlieferung belegt werden kann. Bei einem Vortrag des Eisenbahnhistorikers Alfred Gottwaldt im März 2008 in Tokio zum Thema «Der Schienenzeppelin und sein Erbauer Kruckenberg»⁵ waren einige ältere, teils schon pensionierte Eisenbahningenieure anwesend, die höchst sachkundige Fragen zu Vortrag und Fotos stellten. Schnell stellte sich heraus, dass sie alle am Bau der Shinkansen-Hochgeschwindigkeitsstrecke und deren Fahrzeugen beteiligt waren. Die Überlegungen Kruckenbergs bezeichneten sie als massgeblichen Anstoss für das Shinkansen-System.

Von 1955 bis 1963 war Shinji Goto (in manchen Quellen auch Shinji Sogo benannt, 1884–1981) Präsident der Japanese National Railways und der politisch, technisch und wirtschaftlich Verantwortliche für den Bau des ersten Abschnitts des Shinkansen. Im Zweiten Weltkrieg war Goto für die Eisenbahnen in der von Japan besetzten Mandschurei zuständig, wo er die Vorzüge und grössere Leistungsfähigkeit eines Eisenbahnnetzes in Normalspur im Vergleich zur japanischen Kapspur kennen lernte. Er gilt als wichtigster Befürworter

der getrennten Trassierung des Shinkansen mit Gleisen in normaler Spurweite. Goto trat 1963 – im Alter von 79 Jahren! – als JNR-Präsident zurück, weil die Baukosten des Shinkansen die Ansätze weit überstiegen.⁶ Wichtigster Ingenieur war der um 1910 geborene Hideo Shima, der angeblich während des Zweiten Weltkriegs in Deutschland Ingenieurwissenschaften studierte und dem dadurch die Versuche mit dem Schienenzeppelin und dem Einsatz und der Bewährung der Schnelltriebwagen der Deutschen Reichsbahn bekannt gewesen sein können.⁷

Die 1964 nach einer Bauzeit von nur fünf Jahren eröffnete erste Strecke von Tokio nach Osaka war so erfolgreich, dass sowohl die Zahl der Fahrten als auch die Geschwindigkeiten dauernd erhöht werden mussten. Der grosse, auch wirtschaftliche Erfolg des Shinkansen ermöglichte einen kontinuierlichen Ausbau und die Verlängerung der Linien.

Ein wichtiger Aspekt der frühen europäischen Diskussionen um schnelle Verkehrsmittel war die Trennung vom herkömmlichen Eisenbahnnetz, auf dem man sich keine hohen Geschwindigkeiten vorstellen konnte und Behinderungen z. B. durch die langsamen Güterzüge befürchtete. Erste Ideen waren dazu z. B. Einschienenbahnen mit eigener Trasse. Auch Kruckenberg, der aus dem Zeppelinbau kam, dachte zunächst an eine Einschienen-Hängebahn, deren Propellerantrieb dann beim Schienenzeppelin ausgeführt wurde. Für solche aufwendigen neuen Trassen waren aber keine Mittel vorhanden, sodass das bestehende Eisenbahnnetz genutzt werden musste.⁸ Die Idee der getrennten Trasse ist noch einmal mit dem Transrapid aufgenommen worden, die starke Vernetzung und dichte Bebauung der europäischen Ballungsgebiete würde aber einen erheblichen Bauaufwand erfordern.

Die Ausgangsbasis in Japan war eine andere: Das Schmalspurnetz liess sich für Hochgeschwindigkeit nicht mitbenutzen oder umbauen, die grossen Ballungsräume liegen alle an oder nahe der Küste der Hauptinsel Honshu, sodass eine einzige lineare Strecke die Grossräume von Tokio, Osaka, Nagoya und später auch die anschliessenden Inseln Kyushu und Hokkaido optimal verbinden kann. Zweigstrecken waren und sind bisher die Ausnahme. Demgegenüber sind die französischen TGV-Linien hauptsächlich auf Paris zentriert, das deutsche ICE-System ist ein multizentrales Netz mit vielen Knotenpunkten.

Auch bei den Fahrzeugen scheint sich der Shinkansen eher am Vorbild der Vorkriegs-Schnelltriebwagen der Reichsbahn und am technisch sehr fortschrittlichen, wenngleich wegen des Weltkriegs nicht mehr eingesetzten Kruckenberg-Schnelltriebwagen orientiert zu haben. Während TGV und die ICE der ersten Generation Wagenzüge mit einem Triebkopf – eigentlich Lokomotiven – an beiden Enden sind, waren die Shinkansen von Anfang an Triebwagenzüge, deren gesamte Technik sich unter dem Wagenboden befindet.



Bild 6: Shinkansen Hochgeschwindigkeitszug der ersten Serie, Reihe 0. (Foto: Rolf Höhmann)

Die gelegentlich nachgesagten formalen Ähnlichkeiten von Kruckenberg-SVT und Shinkansen 0-Serie sind wohl eher zufällig, zumal aerodynamische Notwendigkeiten zu sehr ähnlichen gestalterischen Lösungen führen können (Bild 5, 6).

Obwohl die japanischen Hochgeschwindigkeitszüge zeitlich und technisch Avantgarde waren und sich hervorragend bewährt haben, konnten sie zunächst nicht exportiert werden. Die Ursachen für die mangelnden Exporterfolge waren vielfältig: Hochgeschwindigkeitszüge waren ein sehr kleiner Markt, in Europa vertrauten die Staatsbahnen nur ihren landeseigenen Bahnindustrien. Bis heute ist z.B. eine Bestellung französischer TGV durch die Deutsche Bahn noch nicht vorstellbar. Die asiatischen Länder mit Bedarf für Hochgeschwindigkeitszüge wie Südkorea, Taiwan und China gehörten zu den von Japan im Zweiten Weltkrieg besetzten Gebieten, sodass alte Vorbehalte vorhanden waren und z.B. in Südkorea der französische TGV vorgezogen wurde, der inzwischen im Land selbst nachgebaut wird. Schliesslich gaben

auch die beim oben genannten Vortrag zuhörenden Ingenieure eine interessante Information: Die japanische Schienenfahrzeugindustrie hat sich nicht zu grossen Konzernen wie z. B. in Europa Bombardier, Siemens oder Alstom entwickelt, sondern ist kleinteiliger geblieben. Die Fertigungskapazitäten waren durch den grossen Bedarf im Land selbst – Ausbau sowohl des sehr erfolgreichen Shinkansen als auch der herkömmlichen Schmalspurstrecken – weitgehend gebunden gewesen, sodass der Export weniger wichtig erschien. Erst zur Jahrtausendwende gelang es überraschend der japanischen Industrie, im Bieterwettbewerb für die zunächst von Alstom aus Frankreich und Siemens konzipierte Hochgeschwindigkeitsbahn in Taiwan 51 Triebzüge nach Shinkansen-Vorbild zu verkaufen. Seit 2007 bestellte die Volksrepublik China eine grosse Zahl von Hochgeschwindigkeitszügen bei allen bisher genannten Herstellern – 80 Züge bei Bombardier, 146 bei Siemens, 60 bei Alstom und bis jetzt 250 bei Kawasaki in Japan. Alle Hersteller mussten Joint Ventures

mit chinesischen Herstellern eingehen, 140 der japanischen Züge werden nun mit Kawasaki-Lizenz ausschliesslich in China gefertigt.

Ein Fazit aus den drei beschriebenen Beispielen ist, dass die japanische Eisenbahnindustrie schnell in der Lage war, technische Entwicklungen aus dem Ausland zu adaptieren und in die eigene Produktion aufzunehmen. Im Falle des Shinkansen ist ihr hier sogar eine technische Vorreiterrolle zuzugestehen. Merkwürdigerweise ist es Japan im Eisenbahnbereich im Gegensatz zu anderen Gebieten nicht gelungen, Weiterentwicklungen und Innovationen zu vermarkten und grössere Exporterfolge zu erringen, ausser inzwischen beim Shinkansen für China. Im Falle der Zahnradbahnen war die Zahl der Abnehmer zu gering – die meisten Zahnradbahnen werden in der Schweiz betrieben, die innovative SLM war dementsprechend vor Ort der bevorzugte und ausschliessliche Lieferant. Im Falle der Dieselhydraulik wurden zwar in einem kurzen Zeitraum mehr als 2000 Getriebe wahrscheinlich eines einzigen Typs produziert, Weiterentwicklungen gab es aber nicht, da der Bedarf in Japan damit erschöpft war. Die bekannten Erfolge des Technologietransfers nach Japan, von der Spiegelreflexkamera über das Faxgerät bis zum Hybridfahrzeug, die zunächst auf der Aufnahme technischer Trends, dann auf der eigenen konsequenten Optimierung, Weiterentwicklung, Qualitätssteigerung und Vermarktung beruhen, konnten in der Eisenbahntechnik mit Ausnahme des Shinkansen nicht erreicht werden.

¹ Walter Hefti: Zahnradbahnen der Welt. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart, 1971. Nachtrag 1976.

² Frdl. Auskunft von Dr. Wolfgang Fischer, Voith Turbo GmbH Heidenheim.

³ Japanese Railway & Transportation Review No. 26, February 2001. Zugriff über: www.jrtr.net/jrtr26/pdf/photo.pdf

⁴ «Auf den Schienen der Welt», Vol. 1–7. Hrsg. Voith Heidenheim. Voith Lieferlisten von 1933 bis 1999.

⁵ Alfred Gottwaldt: Der Schienenzeppelin. Franz Kruckenberg und die Reichsbahn-Triebwagen der Vorkriegszeit 1929–1939. EK-Verlag, Freiburg 2006.

⁶ Japanese Railway & Transportation Review No. 11, April 1997 S. 63.

Zugriff über: www.jrtr.net/back issues

⁷ Frdl. Auskunft von Prof. I. Tsutsumi, Polytechnic University of Japan (PTUJ).

⁸ Gottwaldt, a.a.O.