

Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Luxemburger Eisenbahnnetzes unter Berücksichtigung von ETCS Level 1 FS

Im Rahmen einer Kooperation zwischen der CFL und dem Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen wurden Leistungsfähigkeitsuntersuchungen auf dem Netz der CFL durchgeführt, die den landesweiten Einsatz des Signal- und Zugbeeinflussungssystems ETCS Level 1 (Full Supervision) berücksichtigen.

1. EINLEITUNG

In vielen Ländern Europas setzen Eisenbahninfrastrukturbetreiber das europäische Zugbeeinflussungssystem European Train Control System (ETCS) bereits ein. Zukünftig soll ETCS alte Zugsicherungs- und Signalsysteme ersetzen und innerhalb Europas die Interoperabilität in diesem Bereich sicherstellen. Während die überwiegende Anzahl der Infrastrukturbetreiber bislang jedoch nur einzelne Strecken mit ETCS ausgerüstet haben, hat sich die Société Nationale des Chemins de fer Luxembourgeois (CFL) als Infrastrukturbetreiber des staatseigenen Eisenbahnnetzes in Luxemburg entschlossen, ETCS landesweit einzuführen. ETCS hat – wie jedes andere Zugbeeinflussungssystem respektive Signalsystem – einen Einfluss auf die Kapazität und Leistungsfähigkeit von Strecken und Knoten. Aufgrund des flächendeckenden Einsatzes von ETCS hat sich die CFL entschieden, Leistungsfähigkeitsuntersuchungen kritischer Strecken und Knoten für den Ist-Zustand des Infrastrukturnetzes durchzuführen. Das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen hat diese Studie im Auftrag der CFL durchgeführt.

2. LUXEMBURG, EIN EUROPÄISCHER MIKROKOSMOS IM HERZEN EUROPAS

Auf dem Luxemburger Eisenbahnnetz verkehren etwa 920 Personenzüge täglich. Davon starten und enden etwa 400 Züge im Grenzgebiet rundum das Großherzogtum. Die technischen und betrieblichen Aspekte eines interoperablen Eisenbahnbetriebes sind somit eine Selbstverständlichkeit in Luxemburg.

Bedingt durch die sternförmige Struktur des Luxemburgischen Eisenbahnnetzes fä-

deln fast alle Strecken in den Luxemburger Hauptbahnhof ein. Aus historischen Gründen ist der Hauptbahnhof Luxemburg heute noch ein Systemwechselbahnhof mit AC 25 kV 50 Hz Gleisen, DC 3 kV Gleisen und umschaltbaren Gleisen. Obwohl fast überwiegend durchgehende Bahnsteiggleise im Luxemburger Hauptbahnhof vorhanden sind, wird der Bahnhof teilweise als zweiseitiger Kopfbahnhof betrieben.

Über die rund 275 km Strecke des Netzes verkehren etwa 1000 Züge täglich und bedienen die rund 60 Bahnhöfe und Haltestellen im Taktverkehr.

Südlich der Landeshauptstadt liegt der Knotenbahnhof Bettemburg. Dieser charakterisiert sich auf internationaler Ebene vor allem durch die vorhandene intermodale Verkehrsdrehscheibe mitten im Herzen Europas. Spezialisiert auf den kombinierten Verkehr werden täglich von hier Pendelverkehre in alle Richtungen und über die europäischen Grenzen hinaus angeboten.

Der europäische Rail Freight Corridor (RFC) North Sea – Mediterranean führt quer durch den Süden des Großherzogtums. Neben dem Bahnhof Bettemburg streift dieser auch den Verzweigungsbahnhof Pétange, wo die zweigleisige Strecke in südöstlicher Richtung nach Esch/Alzette abzweigt. Im Bahnhof Rodange münden gleich drei Grenzstrecken; zwei Strecken aus Belgien über Athus und Autelbas und eine aus Frankreich von Longwy, ein.

Im Osten des Landes befindet sich der Knotenpunkt Oetrange, wo die eingleisige Strecke aus Berchem und die eingleisige Strecke aus Luxemburg kommend als zweigleisige Strecke nach Wasserbillig führen. Im Luxemburger Grenzbahnhof Wasserbillig fädelt sich dann zusätzlich die eingleisige Anschlussstrecke zum einzigen Luxemburger Binnenhafen an der Mosel ein.

Als weiterer, relevanter Bahnhof bleibt der Bahnhof Ettelbruck noch zu erwähnen. So



Dipl.-Ing. André Feltz
Chargé de Gestion du Service
Ingénierie Infrastructure Société
Nationale des Chemins de Fer
Luxembourgeois (CFL)
andre.feltz@cfl.lu



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen
Leiter des Verkehrswissenschaftlichen
Instituts, RWTH Aachen
niesen@via.rwth-aachen.de



Dr. rer. nat. Jürgen Jacobs
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Verkehrswissenschaftlichen
Institut der RWTH Aachen
jacobs@via.rwth-aachen.de



M. Sc. Tobias Walke
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Verkehrswissenschaftlichen
Institut der RWTH Aachen
walke@via.rwth-aachen.de

transitieren bereits heute etwa 6600 Kunden täglich durch diesen Bahnhof. Somit befindet sich der Bahnhof Ettelbruck an vierter Stelle in Sachen Kundenaufkommen im Luxemburger Eisenbahnnetz. Zudem gilt aus landesplanerischer Sicht die Region rund um Ettelbruck und Diekirch als einer von drei Eckpfeilern für die zukünftige Entwicklung des Großherzogtums.

3. AKTUELLE BAUPROJEKTE MIT RELEVANZ AUF DIE LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES NETZES

Die CFL entschied sich bereits 1999 für eine

flächendeckende Ausrüstung mit ETCS Level 1. Der damalige Beschluss des Verwaltungsrates sah einerseits eine rasche Ausrüstung mit MEMOR II+ und andererseits eine mittelfristige Migration hin zu ETCS Level 1 FS vor. Die Ausrüstung mit ETCS startete 2003 auf Basis der Baseline 2. Der Erstbetrieb im Betriebsmodus Full Supervision fand bereits am 1. März 2005 im Bahnhof Ettelbruck statt.

Durch die Weiterentwicklung der ETCS Spezifikationen hin zur Baseline 3 insbesondere mit der Einführung eines neuen Betriebsmodus LS sah die CFL sich gezwungen, die damalige betriebliche ETCS Migration als reines Zugsicherungssystem zu überdenken. Zur Wahrung der betrieblichen Interoperabilität wurde entschieden das vorhandene ETCS Level 1 System künftig als Führerstands-signalisierung zu betreiben.

Nach derzeitigem Stand endet die Migrationsphase zum 1. Juli 2017. Bis zu diesem Datum werden sowohl die vorhandene Außen-signalisierung inklusive MEMOR II+ als auch die Führerstands-signalisierung ETCS Level 1 FS unterstützt. Ab dem 1. Juli 2017 endet dann streckenweise, sukzessive die Phase der infrastrukturseitigen Doppelausrüstung.

Die vorhandenen Verkehrsinfrastrukturen des Großherzogtums sind an ihren Grenzen angelangt. Im Rahmen des Konzeptes für nachhaltige Mobilität werden derzeit sowie in den kommenden Jahren die Bahnanlagen als Rückgrat des öffentlichen Verkehrs modernisiert und ausgebaut. Des Weiteren sollen zukünftig die vorhandenen öffentlichen Verkehrsträger durch einen effektiveren Informationsaustausch besser verknüpft werden.

Die neue Elektrifizierung der Strecke Luxemburg–Kleinbettingen Grenze ist ein wichtiges Standardisierungsprojekt. Die vorhandene DC 3 kV Elektrifizierung aus dem Jahre 1956 wird komplett durch eine AC 25 kV 50 Hz Oberleitungsanlage ersetzt. Diese Umstellung auf AC 25 kV 50 Hz erlaubt es, durch Standardisierung, das Gleisfeld im Bahnhof Luxemburg neu zu gestalten und gleichzeitig bei möglichen Betriebsstörungen flexibler reagieren zu können. Aus technischer Sicht ist die Energieversorgung mit AC 25 kV 50 Hz zudem robuster und erlaubt höhere Leistungsdichten zu fahren.

KOMPLETTE ENTFLECHTUNG DER STRECKEN BIS AN DIE JEWEILIGEN BAHNSTEIGE IM BAHNHOF LUXEMBURG

Die derzeitige Eisenbahn-Talbrücke Pulvermühle auf der Nordseite des Luxemburger Bahnhofes, stellt einen Engpass im Netz dar. Die einzige Ausfahrt Richtung Norden wird derzeit gemeinsam von den Zügen Richtung Norden und Osten genutzt. Um

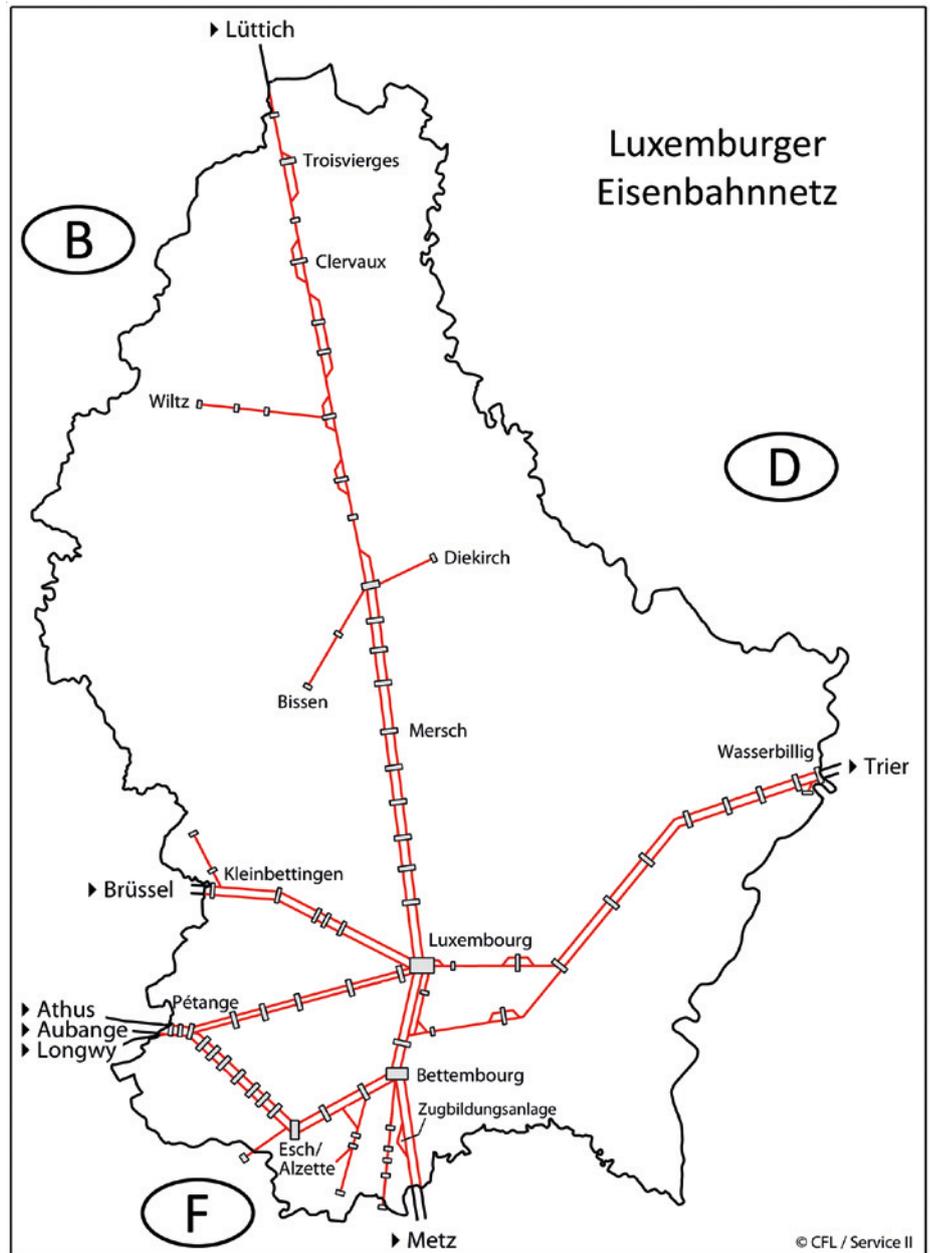


BILD 1: Luxemburger Eisenbahnnetz

eine Kapazitätssteigerung dieser beiden Linien bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof zu ermöglichen, bedarf es einer Entflechtung der beiden Linien Luxemburg–Troisvierges und Luxemburg–Wasserbillig bereits an der Bahnsteigkante. Die Inbetriebnahme einer zusätzlichen zweigleisigen Talbrücke „Pulvermühle“ wird es ermöglichen, die Strecken Luxemburg–Ettelbruck und Luxemburg–Wasserbillig bereits im Bahnhof voneinander entkoppelt zu betreiben. Der zweigleisige Ausbau des Streckenabschnitts bis zur Haltestelle Sandweiler-Contern erlaubt darüber hinaus ein dynamisches Kreuzen der Personenzüge von und in Richtung Wasserbillig.

Südlich des Bahnhofs Luxemburg sollen die Verkehrsströme auf dem Streckenabschnitt Bettembourg–Luxemburg durch die

zweigleisige Neubaustrecke zwischen den Bahnhöfen Bettembourg und Luxemburg entflechtet werden. Auf der neuen, etwa 7 km langen Strecke, werden dann die Züge ohne Zwischenhalt fahren. Auf diese Weise wird der Verkehrsstrom aus Metz (F) kommend und der landesinterne Verkehrsstrom aus Esch/Alzette entkoppelt.

All diese Entflechtungsprojekte dienen zur Beseitigung der vorhandenen Engpässe im nahen Umfeld des Knotens Luxemburg-Stadt und tragen auch wesentlich dazu bei, die Strecken voneinander zu entkoppeln. Bei entsprechender Organisation des Zugumlaufs kann in Zukunft eine Übertragung der Verspätungen von einer Strecke auf andere Strecken vermieden werden.

Schließlich wird die Kapazität des Bahnhofs Luxemburg durch den Bau von vier »

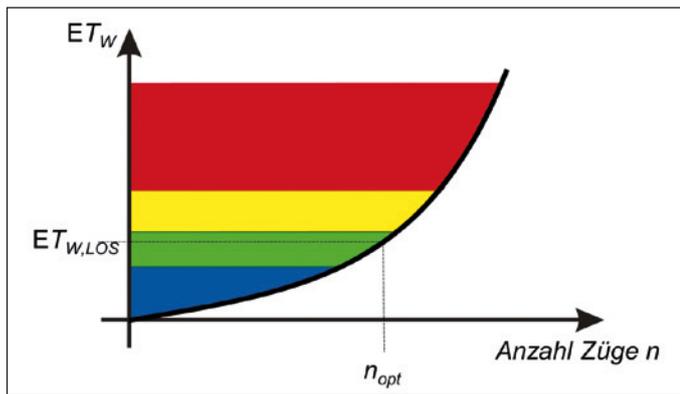


BILD 2: Level of service

premium	optimal	risikobehaftet	mangelhaft
< 0,5	0,5 – 1,2	1,2 – 1,5	> 1,5

BILD 3: Qualitätsfaktoren

zusätzlichen Bahnsteigkanten sowie den kompletten Umbau der Weichenbereiche wesentlich zu diesen Entflechtungen beitragen.

Auch die Modernisierungs- und Ausbauarbeiten des Bahnhofs Ettelbruck gliedern sich in diese Reihenfolge ein. Zu den derzeit vorhandenen drei Bahnsteigkanten kommen zusätzlich zwei weitere hinzu. Durch die Neugestaltung der Weichenbereiche können Züge von und nach Diekirch dann dynamisch im Bahnhof Ettelbruck kreuzen. Diese Maßnahmen erlauben es, etwaige Verspätungen besser abfedern zu können und zudem eine höhere Zugdichte auf der Strecke Luxemburg – Ettelbruck zu fahren.

4. KAPAZITÄTSERMITTLUNG

Die Leistungsfähigkeitsberechnung und Kapazitätsermittlung von Eisenbahn (Teil-) Netzen ist seit vielen Jahren eines der Hauptforschungsgebiete des Verkehrswissenschaftlichen Instituts der RWTH Aachen. Aufbauend auf den Ergebnissen von Schwanhäußer [7] wurden in den 1980er Jahren erstmals Computerprogramme zur Berechnung eingesetzt. Abgeleitet aus einem der Programmnamen ist die wesentliche Berechnungsformel auch heute noch unter dem Namen „STRELE-Formel“ in der Eisenbahnbetriebswissenschaft bekannt [3]. Die in enger Zusammenarbeit mit der Deutschen Bahn entwickelten Programme wurden in dem neuen Software-Paket LUKS® (Leistungs-Untersuchungen für Knoten und Strecken) zusammengeführt. LUKS® ist seitdem bei der DB Netz AG als Standardwerkzeug im Einsatz und findet auch bei anderen Infrastrukturbetreibern für Kapazitätsuntersuchungen Anwendung.

Grundlage für die Berechnung von Kapazitäten sind die Sperrzeiten [4] und daraus resultierenden Sperrzeitentreppen. Eine detailgetreue Modellierung der Infrastruktur mit Gleisen, Weichen, Geschwindigkeiten, Neigungswechseln, Signal- und Sicherungstechnik ist dabei von Nöten. Hierauf aufbauend werden Zugfahrten definiert und dann eine Fahrzeit- und Belegungszeitrechnung durchgeführt. Nach der Abgrenzung der Überholungsabschnitte können die Mindestzugfolgezeiten für alle Zugfolgefälle berechnet werden. Neben weiteren Einflussgrößen – wie zum Beispiel das Verspätungsniveau der einzelnen Zugfahrten – sind die Mindestzugfolgezeiten wesentliche Eingangsparameter zur Berechnung der zu erwartenden Summe der Folgeverspätungen. Diese Summe der Folgeverspätungen kann dann mit einem vorgegebenen Qualitätsmaß (Level of service) verglichen werden, um schließlich die Kapazität zu bestimmen.

Da bei der CFL bisher keine Werte für ein akzeptiertes Qualitätsmaß vorliegen, wurde hier entschieden, die Werte aus der Richtlinie 405 der DB Netz AG [1] zu entnehmen. Generell gilt, dass die Höhe der auftretenden Folgeverspätungen mit der Anzahl der verkehrenden Züge exponentiell steigt. Bild 2 zeigt diesen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Züge (auf der Abszisse) und dem Erwartungswert der Wartezeiten (auf der Ordinate). Ebenso wird die Definition eines Level of service über die zulässige Wartezeit exemplarisch dargestellt, mit dem dann die Nennleistung bestimmt werden kann. Die Nennleistung unterstellt eine Begrenzung der Stauerscheinungen auf einen zulässigen bzw. marktgerechten Umfang.

LUKS® berechnet die zu erwartende Summe der auftretenden Folgeverspätungen und vergleicht diesen berechneten Wert mit zulässigen Werten auf Basis von vorgegebenen Qualitätsmaßstäben. Durch diesen Vergleich lassen sich Qualitätsfaktoren bestimmen, um daraus eine Aussage über die Auslastung einzelner Netzelemente und die

zu erwartende Betriebsqualität abzuleiten. Farblich sind in Bild 2 auch die Qualitätsstufen abgegrenzt, die von „premium“ in blau, „optimal“ in grün, „risikobehaftet“ in gelb bis zu „mangelhaft“ in rot reicht. Die Zuordnung des Qualitätsfaktors zu den Qualitätsstufen ist in Bild 3 dargestellt.

Die Leistungsfähigkeitsaussagen können sowohl für Streckenabschnitte als auch in Knotenbahnhöfen für Teilbereiche, sogenannte Teilfahrstraßenknoten (TFK) bestimmt werden. Weitere Details zur Durchführung von Leistungsuntersuchungen von Eisenbahnknoten und -strecken finden sich u. a. in [5].

5. EINFLUSS VON ETCS AUF DIE KAPAZITÄT

Das europäische Zugbeeinflussungssystem European Train Control System (ETCS) wird zukünftig die bisher verwendeten nationalen Systeme der einzelnen Länder ablösen und die Interoperabilität der Zugbeeinflussung in Europa sicherstellen. Während die meisten europäischen Infrastrukturbetreiber zunächst einzelne Strecken im Netz mit ETCS ausgerüstet haben und die vollständige Migration noch planen, hat die CFL die Umrüstung auf dem gesamten Netz bereits abgeschlossen. ETCS bietet verschiedene Ausrüstungsmöglichkeiten (Level), um die streckentypischen Gegebenheiten und Erfordernisse abbilden zu können. Im luxemburgischen Netz kommt hierbei ETCS Level 1 (Full Supervision) zum Einsatz. Fahrzeuge und Strecken sind dabei mit der SRS Version 2.3.0d ausgerüstet.

In ETCS Level 1 werden die Informationen zwischen Strecke und Fahrzeug über Balisen ausgetauscht, hierbei kommen sowohl Festdatenbalisen als auch schaltbare (Transparent-) Balisen zum Einsatz. Während die Festdatenbalisen unveränderliche Streckendaten (z. B. Streckengeschwindigkeiten, Neigungen, ...) übertragen, können die Transparentbalisen unterschiedliche Telegramme übermitteln. Die Auswahl der Telegramme wird dabei über eine Lineside Electronic Unit (LEU) ausgewählt, die an den Außensignalen die Lampenstromkreise abgreift. Über diese Transparentbalisen können dann die Signalfahrpläne als Fahraufträge (Movement Authority, MA) per Telegramm an die Fahrzeuge übertragen werden.

Die Standardkonfiguration der Balisenanordnung im Luxemburger Eisenbahnnetz ist in Bild 4 dargestellt. An den Hauptsignalen und den zugehörigen Vorsignalen ist dabei eine LEU angebracht, die die entsprechenden Balisen am Haupt- und Vorsignal mit Telegrammen versorgt. Darüber hinaus sind noch

weitere Infill-Balisen ca. 300 m vor den Vor- bzw. Hauptsignalbalisen angeordnet. Detaillierte Informationen bezüglich der ETCS-Ausrüstung in Luxemburg findet sich in [2].

Wie alle Zugbeeinflussungssysteme hat auch ETCS Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit. Hierbei spielen die bei ETCS verwendeten Bremskurven eine wesentliche Rolle. Grundsätzlich übertragen die Balisen ein statisches Geschwindigkeitsprofil, Neigungen und die MA. Unter Berücksichtigung der Zugeigenschaften (u.a. Bremsvermögen) wird auf dem Fahrzeuggerät hieraus ein dynamisches Geschwindigkeitsprofil berechnet. Die ETCS-Bremskurven dienen auch als Grundlage für die Berechnung des sogenannten indication point (IP). Der IP ist die Position, an der eine Bremskurve (z. B. auf ein Halt-zeigendes Signal) für den Triebfahrzeugführer wirksam wird. D.h. für eine unbehinderte Fahrt mit maximal zulässiger Geschwindigkeit muss spätestens an diesem Punkt eine Aufwertung des Signals erfolgen. Da die Lage des IP von den Zugeigenschaften abhängig ist, haben unterschiedliche Züge verschiedene IP. Erfolgt die Aufwertung erst nach dem IP, ist die Bremskurve schon wirksam und der Zug muss dann bis zur nächsten Balise, die die Aufwertung übertragen kann, diese Bremskurve abfahren und kann erst danach wieder beschleunigen. Während bei ETCS Level 2 die neue MA jederzeit per GSM/R erfolgen kann, ist in ETCS Level 1 dies nur an den Balisenstandorten möglich.

Die IP haben somit direkten Einfluss auf die Berechnung der Sperrzeit. Für die Berechnung der Annäherungsfahrzeit in der Sperrzeit ist unter ETCS Level 1 nun nicht mehr der Vorsignalstandort maßgeblich, sondern der Ort der relevanten Balise. D.h. maßgebend ist hier die letzte Balise vor Erreichen des IP. Die Planung der Balisenstandorte ist so durchzuführen, dass der IP aller verkehrenden Züge immer hinter der ersten Infillbalise des Vorsignals liegt.

Aufgrund der Anzeige der MA im Display des Führerraums bei ETCS Level 1 entfällt bei der Sperrzeit die Sichtzeit, die bei den Altsystemen erforderlich ist, damit der Triebfahrzeugführer den Vorsignalbegriff sicher erkennen kann. Die übrigen Parameter der Sperrzeit „Fahrzeit im Block“, „Räumfahrzeit“ sowie die Schaltzeiten „Fahrstraßenbildungszeit“ und „Fahrstraßenauflösezeit“ bleiben auch unter ETCS Level 1 erhalten. Das Bild 5 zeigt die Sperrzeit unter ETCS Level 1 (rechts im Bild) im Vergleich zu der Sperrzeit unter einem herkömmlichen Zugbeeinflussungssystem (links im Bild).

Die bei der Bremskurvenberechnung unter ETCS benutzten Verzögerungswerte können noch über sogenannte k-Faktoren

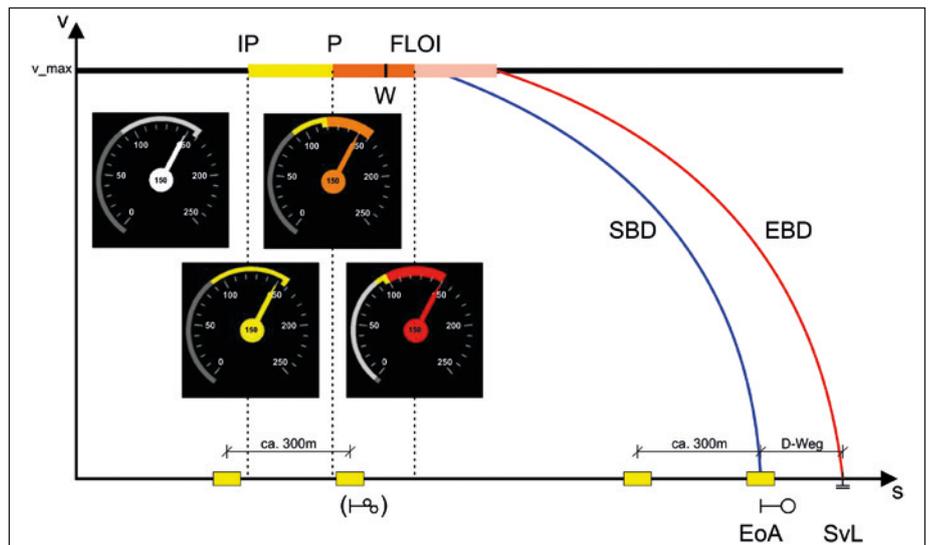


BILD 4: Balisanordnung und Bremskurven

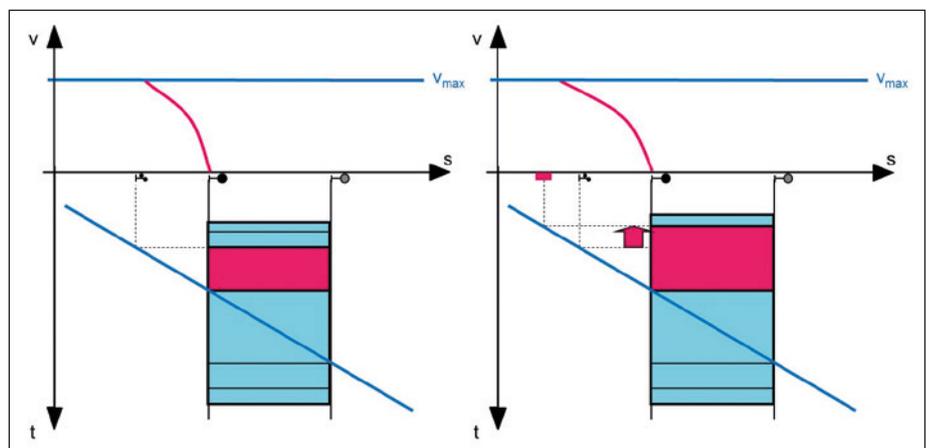


BILD 5: Sperrzeitvergleich

angepasst werden. Die Parameterwahl der k-Faktoren hat Einfluss auf die Notbremskurve und somit auch auf die Lage des IP. Details zur Parameterwahl und Auswirkung auf den IP sind in einem nachfolgenden Artikel in der Zeitschrift Signal+Draht zu finden.

6. ERGEBNISSE DER KAPAZITÄTSBERECHNUNG

Die nachfolgenden Untersuchungen wurden mit dem Software-Paket LUKS® (Leistungs-Untersuchungen für Knoten und Strecken) durchgeführt. Nach der Entwicklung des Software-Paketes am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen ist die Pflege und Wartung zu der VIA Consulting & Development GmbH, einem Spin-Off des Verkehrswissenschaftlichen Instituts, übergegangen.

Detaillierte Informationen zu LUKS® bzw. zur Durchführung von Leistungsuntersuchungen von Eisenbahnknoten und -strecken finden sich u.a. in [5] und [6].

6.1. INFRASTRUKTURABBILDUNG

Zur Durchführung von Leistungsfähigkeitsuntersuchungen muss zunächst die Infrastruktur modelliert werden. Für die Eingabe der Infrastruktur wurden von der CFL die aktuellen Lagepläne der Strecken und Bahnhöfe und die Fahrstraßentabellen der Stellwerke bereitgestellt. Diesen Plänen wurden die für LUKS® relevanten Elemente entnommen:

- Lage der Weichen
- Standorte der Haupt- und Vorsignale
- Zugschlussstellen
- Geschwindigkeitstafeln
- Neigungswechsel (aus Protokollen von Messzugfahrten entnommen)
- ETCS Montagevorgaben
- Halteplätze
- Kilometrierungssprünge

Das Bild 6 zeigt das aufgenommene luxemburger Eisenbahnnetz. Im Detail sind dies 72 Betriebsstellen mit insgesamt etwa 1600 km Gleisen und ca. 1100 Fahrwegen. »

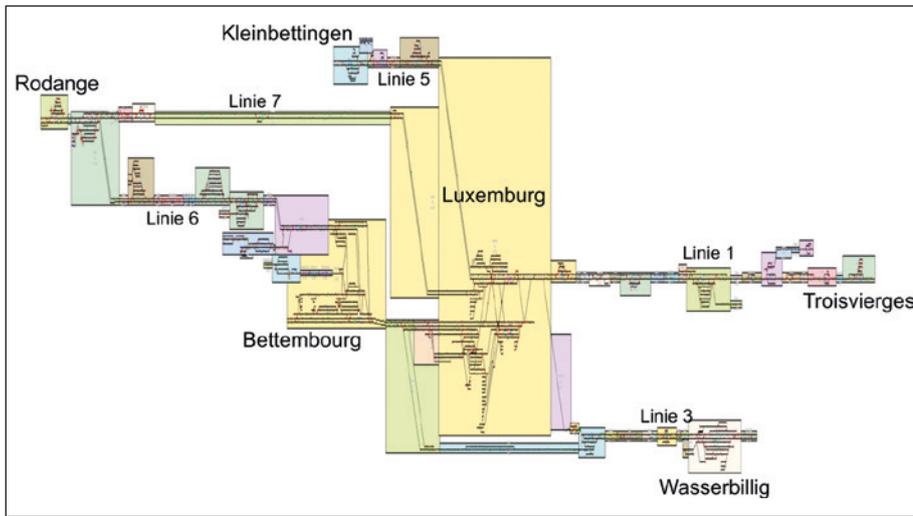


BILD 6: Netz der CFL in LUKS®

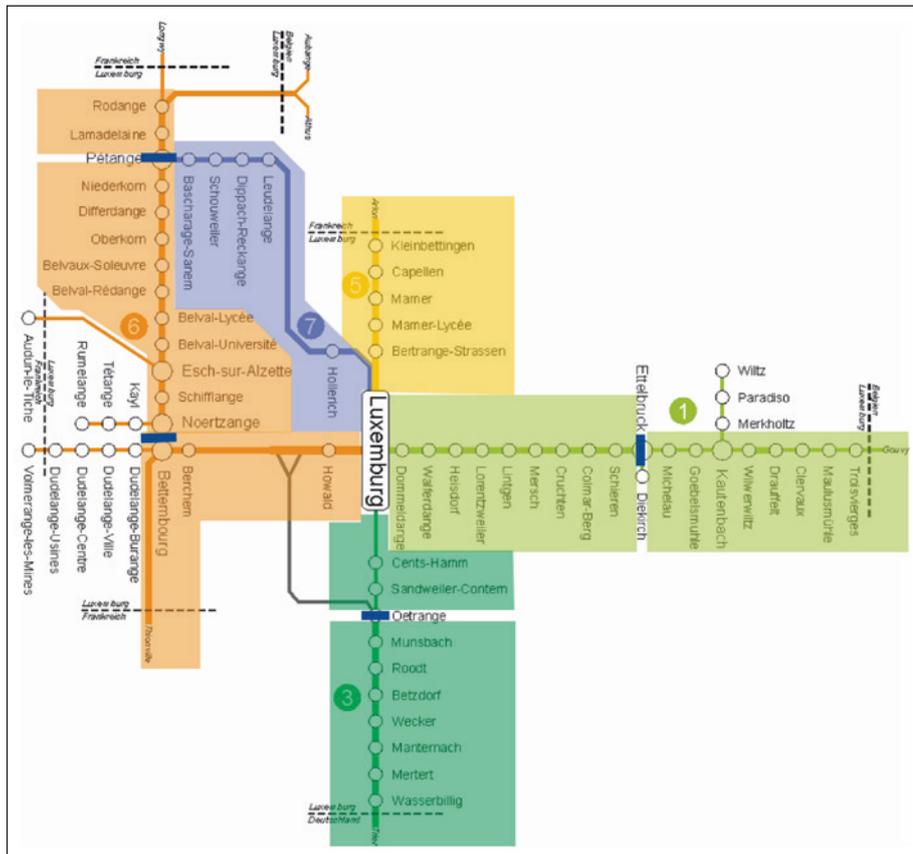
Die Gleislänge ergibt sich aus allen in LUKS® eingegebenen Streckengleisen sowie Neben- und Anschlussgleisen. Die Länge der abgebildeten Streckenkilometer beläuft sich im Gesamtnetz auf ca. 275 km.

6.2. BETRIEBSPROGRAMM

Neben der Infrastruktur wird für die Leistungsfähigkeitsermittlung auch das Betriebsprogramm der einzelnen Strecken

benötigt. In der Untersuchung wurden für den Personenverkehr die Fahrpläne und für die Güterzüge Fahrplantabellen ausgewertet und auf Basis dieser für einen Referenzbetriebstag Modellzüge gebildet. Einzelne Zugfahrten werden in einem Modellzug zusammengefasst, falls sich die Zugfahrten in technischen Eigenschaften (Triebfahrzeug, Last, Länge, ...) sowie im Laufweg nicht wesentlich unterscheiden. Im Personenverkehr wurden insgesamt 929 Zugfahrten erfasst, die in 57 Modellzüge zusammengefasst wer-

BILD 7: Streckenabgrenzung des Luxemburger Eisenbahnnetzes



den konnten, im Güterverkehr wurden 95 Zugfahrten in 39 Modellzüge abgebildet.

Für die Berechnung der Leistungsfähigkeit werden Verspätungsdaten für die einzelnen Modellzüge benötigt. Hierzu wurden von der CFL entsprechende Datensätze bereitgestellt.

6.3. RÄUMLICHE UND ZEITLICHE ABGRENZUNG DER UNTERSUCHUNGSRÄUME

Im folgenden Abschnitt sollen nun die Ergebnisse der eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen dargestellt werden. Neben den aufgeführten Strecken

- Linie 1 von Luxemburg nach Troisvierges
- Linie 3 von Luxemburg nach Wasserbillig
- Linie 5 von Luxemburg nach Kleinbettingen
- Linie 6 von Luxemburg nach Pétange über Bettembourg
- Linie 7 von Luxemburg nach Pétange

wurden auch die Knoten Bettembourg und Luxemburg im Detail analysiert. Aufgrund der Streckencharakteristik bzw. des Betriebsprogramms auf den Strecken mussten die oben aufgeführten Strecken zur Untersuchung teilweise noch in Streckenabschnitte unterteilt werden (siehe Bild 7).

Neben den räumlichen Begrenzungen der Untersuchungsräume müssen diese noch in Zeitabschnitte unterteilt werden, da in den meisten Fällen eine generelle Betrachtung eines gesamten Tages nicht zielführend ist und Engpässe dabei übersehen werden können. Für die vorliegende Untersuchung sind aus diesem Grund vier unterschiedliche Zeiträume gewählt worden. Diese sind ein Tagzeitraum (von 6 bis 22 Uhr), in dem hauptsächlich der Personenverkehr stattfindet und ein Nachtzeitraum (von 22 bis 6 Uhr), in dem deutlich geringeres Personenverkehrsaufkommen aber dafür ein höheres Güterverkehrsaufkommen vorliegt. Des Weiteren wurden noch die morgendliche und abendliche Hauptverkehrszeit von 6 bis 11 Uhr und von 14 bis 19 Uhr untersucht.

6.4. ERGEBNISSE DER STRECKENUNTERSUCHUNGEN

Die Leistungsfähigkeiten auf den Linien 1, 3, 5 und 7 befinden sich in den dargestellten Betrachtungs- und Zeiträumen alle in den Bereichen optimal und premium. Auf der Linie 6 (siehe Bild 8) zeigen sich dagegen deutliche Einschränkungen in der Qualität, welche nun im Detail betrachtet werden.

Bei der Linie 6 wird deutlich, dass vor allem

im Betrachtungsraum Pétange–Bettembourg Handlungsbedarf vorliegt. Hier liegen die Qualitäten im Tageszeitraum 6–22 Uhr bereits im risikobehafteten Bereich und verschlechtern sich in den Hauptverkehrszeiten sogar in den mangelhaften Bereich.

Dies liegt an den verhältnismäßig großen Mindestzugfolgezeiten in diesem Bereich. Bei genauerer Analyse der Strecke fällt auf, dass die Blockteilung hier ungünstig ist, da zwischen Belvaux-Soleuvre und Belval-Université drei Halte in einem Blockabschnitt liegen.

Dies lässt sich bereits durch Hinzufügen eines Blocksignals je Richtung an geeigneter Stelle soweit optimieren, dass sich die Qualitäten in beide Richtungen im Tageszeitraum 6–22 Uhr von risikobehaftet auf optimal sowie in den Hauptverkehrszeiten von mangelhaft auf risikobehaftet verbessern. Da diese risikobehaftete Qualität nur in der Hauptverkehrszeit auftritt, kann dies jedoch akzeptiert werden. Daher wird zur Verbesserung der Qualität der Einbau von Blocksignalen in Belval-Lycée im Rahmen eines zukünftigen Neubaus der Stellwerkstechnik in diesem Abschnitt empfohlen.

6.5. ERGEBNISSE DER KNOTENUNTERSUCHUNG

Damit für Knoten Leistungsfähigkeitsuntersuchungen durchgeführt werden können, muss die Infrastruktur geeignet unterteilt werden. Diese Aufteilung in sogenannte Teilfahrstraßenknoten (TFK) nimmt LUKS® automatisch aufgrund der Infrastruktur vor. Die TFK sind z. B. einzelne oder mehrere Weichen auf denen sich alle Zugfahrten gegenseitig ausschließen. Aufgrund dieser Zerlegung in einzelne Weichen oder Weichengruppen lassen sich die Ergebnisse der Leistungsfähigkeitsuntersuchung unmittelbar für eine Engpassidentifikation nutzen.

Knoten Bettembourg: Die Untersuchungen wurden auch hier für die bereits bei den Streckenuntersuchungen genannten Zeiträume durchgeführt. Im Knoten Bettembourg sind ausschließlich Einschränkungen der Qualität in den Hauptverkehrszeiten zu verzeichnen. Das Bild 9 zeigt exemplarisch die Hauptverkehrszeit von 14–19 Uhr.

In der nachmittäglichen Hauptverkehrszeit ist die Hauptverkehrsrichtung der Pend-

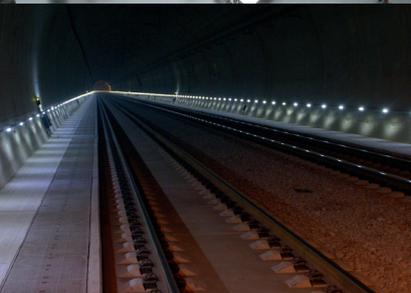
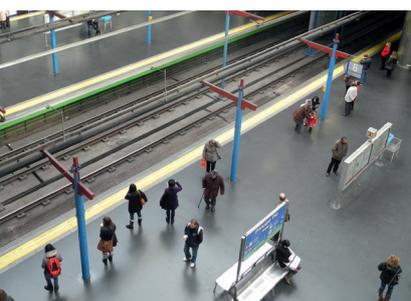
ler aus Richtung Luxemburg, so dass hier der TFK in der Einfahrt aus Richtung Luxemburg eine mangelhafte Qualität aufweist.

Aufgrund der hohen Zuganzahl nach (morgens) bzw. aus (nachmittags) Luxemburg lässt sich eine Verbesserung der Qualität der TFK Richtung Luxemburg nur durch umfangreiche Infrastrukturmaßnahmen realisieren. Hier ist bereits ein Ausbau der Kapazität durch eine zweigleisige Neubaustrecke von Luxemburg nach Bettembourg geplant. Bei einer geeigneten Einbindung beider zweigleisiger Strecken (NBS und Altstrecke) in den Knoten Bettembourg kann eine deutliche Entspannung der Situation erzielt werden. Diese weiteren Untersuchungen sollen nach der Detailplanung des Umbaus des Bahnhofs Bettembourg durchgeführt werden.

Knoten Luxemburg: Neben dem Knoten Bettembourg wurde auch der Knoten Luxemburg untersucht. Als Engpässe sind hierbei die TFK bei der Ausfahrt nach Norden (Viadukt Pulvermühle) als auch die TFK in und aus Richtung Bettembourg identifiziert worden. Die beiden Strecken Richtung »

15. Wiener Eisenbahnkolloquium

9.–10. März 2017



Sicherheit im Eisenbahnbetrieb

weitere Informationen finden Sie unter:
www.eiba.tuwien.ac.at

Termin

Donnerstag, 9. März 2017
Freitag, 10. März 2017

Kontakt

OVE – Österreichischer Verband für Elektrotechnik
Herr Karl Stanka
Eschenbachgasse 9
A – 1010 Wien
Telefon: +43 1 587 63 73-23
Fax: +43 1 370 58 06-370
E-Mail: akademie@ove.at

Veranstalter



TU-Wien, Institut für Verkehrswissenschaften/
Forschungsbereich für Eisenbahnwesen,
Verkehrswirtschaft und Seilbahnen



OVE – Österreichischer Verband
für Elektrotechnik



DVV Media Group | Eurailpress

Medienpartner:
ETR Austria



Linie 6			
Betrachtungsraum Rodange - Pétange			
Zeitraum	Fahrtrichtung	Qualitätsfaktor	Bewertung
6 - 22 Uhr	Pétange	0,94	optimal
	Rodange	0,88	optimal
22 - 6 Uhr	Pétange	0,04	premium
	Rodange	0,03	premium
6 - 11 Uhr	Pétange	1,31	risikobehaftet
	Rodange	1,04	optimal
14 - 19 Uhr	Pétange	1,32	risikobehaftet
	Rodange	0,87	optimal
Betrachtungsraum Pétange - Bettembourg			
Zeitraum	Fahrtrichtung	Qualitätsfaktor	Bewertung
6 - 22 Uhr	Bettembourg	1,29	risikobehaftet
	Pétange	1,25	risikobehaftet
22 - 6 Uhr	Bettembourg	0,04	premium
	Pétange	0,05	premium
6 - 11 Uhr	Bettembourg	1,56	mangelhaft
	Pétange	1,58	mangelhaft
14 - 19 Uhr	Bettembourg	2,06	mangelhaft
	Pétange	1,54	mangelhaft
Betrachtungsraum Bettembourg - Luxemburg			
Zeitraum	Fahrtrichtung	Qualitätsfaktor	Bewertung
6 - 22 Uhr	Luxemburg	1,01	optimal
	Bettembourg	0,82	optimal
22 - 6 Uhr	Luxemburg	0,05	premium
	Bettembourg	0,03	premium
6 - 11 Uhr	Luxemburg	1,37	risikobehaftet
	Bettembourg	0,79	optimal
14 - 19 Uhr	Luxemburg	0,88	optimal
	Bettembourg	1,42	risikobehaftet

BILD 8: Ergebnisse der Linie 6

entsprechender Verteilung des Betriebsprogramms lassen sich die Qualitätseinschränkungen in und aus Richtung Bettembourg voraussichtlich beseitigen.

7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der Leistungsfähigkeitsberechnung und die darauf aufbauende Engpassidentifikation bestätigen die derzeit im Bau befindlichen Ausbauprojekte des Luxemburger Eisenbahnnetzes. Hier sind insb. der Ausbau des Viadukts Pulvermühle in der Ausfahrt von Luxemburg nach Norden (Linie 1 in Richtung Ettelbruck/Troisvierges) bzw. nach Osten (Linie 3 in Richtung Wasserbillig über Sandweiler) sowie der viergleisige Ausbau der Strecke von Luxemburg nach Bettembourg als richtig anzusehen. Für die dazu in den kommenden Jahren erforderlichen fahrplantechnischen Veränderungen sowie die Anbindung der zukünftigen vier Streckengleise in die Knoten Luxemburg und Bettembourg sollten sich weitere Untersuchungen anschließen. ◀

Literatur

- [1] DB Netz AG: Richtlinie 405 – Fahrwegkapazität, 2008
- [2] Feltz, André; Wietor, R.; Hillenbrand, G.: ETCS-Level-1-Projektierung in Luxemburg in: Signal+Draht, 96 (2004), Heft 11, S. 16–23
- [3] Gast, I.; Schultze, K.: „STRELE“ – seit 30 Jahren ein Begriff bei der Deutschen Bahn; in: Deine Bahn, 2015, Heft 5, S. 54–63
- [4] Happel, O.: Sperrzeiten als Grundlage für die Fahrplankonstruktion; in: Eisenbahntechnische Rundschau, 8 (1959), Heft 2, S. 79–90
- [5] Janecek, D.; Weymann, F.; Schaer, Th.: LUKS – integriertes Werkzeug zur Leistungsuntersuchung von Eisenbahnknoten und -strecken; in: Eisenbahntechnische Rundschau, 59 (2010), Heft 1+2, S. 25–32
- [6] Janecek, D.; Kuckelberg, A.; Nießen, N.: Kapazitätsermittlung von Eisenbahnknoten und -strecken; in: Eisenbahntechnische Rundschau, 61 (2012), Heft 10, S. 30–36
- [7] Schwanhäußer, W.: Die Bemessung der Pufferzeiten im Fahrplangefüge der Eisenbahn; Dissertation, Veröffentlichungen des Verkehrswissenschaftlichen Institutes, Heft 20 (1974)

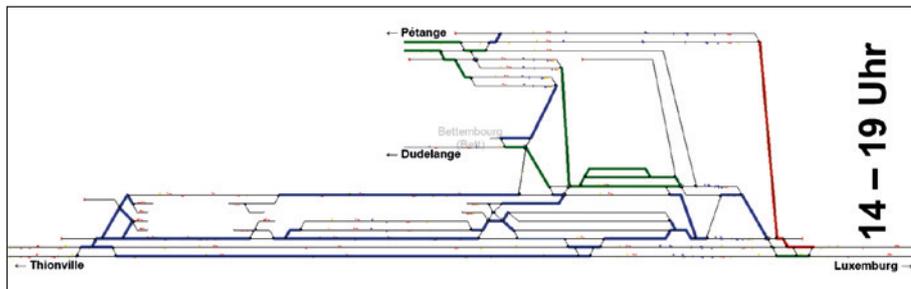


BILD 9: TFK im Knoten Bettembourg

Ettelbruck/Troisvierges und Wasserbillig über Sandweiler teilen sich das zweigleisige Viadukt Pulvermühle und erst im Anschluss befindet sich die Ausfädelung der Strecke nach Oertrange. Aktuell wird das bisher zweigleisige Viadukt Pulvermühle durch einen Neubau neben dem alten Viadukt ergänzt, so dass mit der Inbetriebnahme des zusätzlichen Gleises auf dem neuen Viadukt hier eine Entspannung der Situation zu erwarten ist.

Ähnlich wie im Knoten Bettembourg zeigt sich auch im Knoten Luxemburg, dass die geplante Neubaustrecke Luxemburg – Bettembourg hier zielführend ist. Durch eine geeignete Einführung beider Strecken und

► SUMMARY

Working out the capacity of the Luxembourg railway network including consideration of ETCS Level 1 FS

A cooperative project involving the CFL and the Institute of Transport Science at Aachen University has involved studying the performance characteristics of the CFL's network considering the impact of the nationwide installation of ETCS Level 1 FS (full supervision) for controlling signals and trains. The results of the capacity computation and the identification of bottlenecks derived from it confirm the correctness of the upgrading projects on which work is currently underway on the Luxembourg railway network. This includes the Pulvermühle Viaduct on the line leaving Luxemburg for the north (Line 1 for Ettelbruck and Troisvierges) and also the line to the east (Line 3 for Wasserbillig via Sandweiler) as well as widening the line between Luxemburg and Bettembourg to four tracks. Further studies ought to follow and to look into necessary timetable changes in coming years as well as optimised infrastructure connections with the future four through tracks in the major junctions of Luxemburg and Bettembourg.