# Auslegung einer optimierten Versuchsstrecke für Testfahrten mit Schienenpersonenfahrzeugen

Ausgehend von der Analyse bestehender Eisenbahnversuchsanlagen (Velim/CZ, Wegberg-Wildenrath/DE, u. a.) und unter Berücksichtigung normativer Vorgaben zur Zulassung von Schienenfahrzeugen, werden die Anlagenbestandteile einer neuen Versuchsstrecke konzeptionell ausgelegt. Das Ergebnis der Anlagenauslegung und die darauf aufbauende Kostenschätzung werden im folgenden Fachbeitrag vorgestellt.

## 1. Einleitung

Die Mehrheit der weltweit existierenden Eisenbahnversuchsstrecken dient vorrangig der Forschung, der Prüfung und der Zulassung von Eisenbahnrollmaterial. Als ein bedeutendes Beispiel für eine solche Fahrzeug-Versuchsstrecke in Europa ist das Prüf- und Validationscenter „Wegberg-Wildenrath" der Firma Siemens Mobility GmbH in Deutschland zu nennen. [2] Daneben gibt es weitere Versuchsstrecken in Europa, wie zum Beispiel in Valenciennes/ Frankreich, Velim/Tschechien, Făurei/Rumänien und Zmigrod/Polen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die fünf in Zentraleuropa existierenden Versuchsstrecken und macht Angaben zum Standort sowie zum Betreiber der Anlage.

Die Analyse der bestehenden Versuchsstrecken ist Ausgangspunkt für die Konzeption einer optimierten, neu zu erstellenden Versuchsstrecke. Dabei stehen folgende Fragestellungen im Fokus:

1. Welche Anforderungen werden an eine optimierte Versuchsstrecke für Testfahrten mit Schienenpersonenfahrzeugen im Sinne der Fahrzeugzulassung gestellt?
2. Wie müssen die Anlagenbestandteile wie zum Beispiel das Gleislayout, das Energieversorgungssystem oder die Sicherungstechnik einer optimierten Versuchsstrecke konzipiert sein?
3. Mit welchen Kosten ist für den Bau sowie die Instandhaltung zu rechnen?

**Dipl.-Ing. Richard Walther**
Absolvent Master Bahntechnologie und Management von Bahnsystemen, FH St. Pölten
walther-richard@hotmail.de

**DI Dr.techn. Bernhard Rüger**
EURAIL-ING, TU-Wien, Forschungsbereich für Eisenbahnwesen & FH-St. Pölten, Departement für Bahntechnologie und Mobilität
bernhard.rueger@tuwien.ac.at
bernhard.rueger@fhstp.ac.at

**Dipl.Ing. Dr. habil. Alois Starlinger**
Stadler Rheintal AG
alois.starlinger@stadlerrail.com

**Tabelle 1:** Versuchsanlagen in Zentraleuropa, eigene Darstellung

| Lfd. Nr. | Versuchsanlage | Standort/ Land | Betreiber |
|---|---|---|---|
| 1 | Prüf- und Validationscenter Wegberg-Wildenrath/DE | Deutschland, nahe der Stadt Wegberg-Wildenrath | Siemens Mobility GmbH |
| 2 | VUZ Testzentrum Velim | Tschechien, nahe der Stadt Poděbrady | Forschungsinstitut der Eisenbahn, Inc. (VUZ) |
| 3 | CEF Railway Testing Center Valenciennes | Frankreich,<br>1. Standort "PETITE-FORÊT": nahe der Stadt Valenciennes<br>2. Standort: „Trouville en Barrois": nahe der Stadt Bar-le-Duc<br>3. Standort nahe La Rochelle | CEF Betreibergesellschaft mbH mit den Gesellschaftern ALSTOM Transport, BOMBARDIER Transport France und CERTIFER Railway Certification Agency |
| 4 | IK Test Track Center Zmigrod | Polen, nahe der Stadt Zmigrod | Institute Kolejnictwa (Railway Research Institute) IK |
| 5 | Făurei Railway Testing Center | Rumänien, nahe der Stadt Făurei | Romanian Railway Authority – AFER |

Zur Beantwortung der Fragen werden zuerst die maßgeblichen Regelungen und Anforderungen für die Zulassung neuer elektrischer Triebzüge nach TSI (technische Spezifikationen Interoperabilität) ermittelt und bestehende Typentestprogramme von Hochgeschwindigkeitszügen ($V_{max}$= 250 km/h) bzgl. dynamisch zu prüfender Prüfgebiete (vgl. EN 50215 [3]) ausgewertet.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Nach der ausführlichen Anforderungsdefinition werden mittels rechnergestützter Konstruktionssoftware wie AutoCad, ProVI und „Signalschablone 2.0“ auf Microsoft Visio alle relevanten Anlagenbestandteile der Versuchsstrecke grob ausgelegt.

Zur Abschätzung der Bau- und Instandhaltungskosten der optimierten Versuchsstrecke wird abschließend ein Szenario für den Neubau in der Region Lausitz, Sachsen/Deutschland entworfen.

## 2. Zulassung von Schienenfahrzeugen und die daraus resultierenden Anforderungen an die Testinfrastruktur

Die Zulassung von neu entwickelten bzw. umgebauten Schienenfahrzeugen ist ein komplexer und langwieriger Prozess, der von folgenden nationalen und supranationalen Vorschriften bestimmt ist [4]:

- TSI (technische Spezifikationen Interoperabilität)
- NNTV (notifizierte nationale technische Vorschriften)
- CSM (common safety methods)
- Netzzugangsbedingungen und
- spezifischen Kundenanforderungen.

Diese Vorschriften werden durch ein umfangreiches Normenwerk, allen voran die europäische Norm EN 50215, und durch die Testspezifikationen der Fahrzeugtypen konkretisiert.

Die umfassende Prüfnorm EN 50215 [3] listet die statischen und dynamischen Prüfgebiete auf, die vor der Fahrzeuginbetriebstellung erfolgreich getestet werden müssen. Die folgende Tabelle 2 gibt einen Überblick über die 19 dynamischen Prüfgebiete, die die Norm EN 50215 vorgibt und die relevant für die Auslegung der Versuchsstrecke sind.

Am Beispiel des dynamischen Prüfgebiets „Bremsprüfung“ soll der Zusammenhang zwischen dem Prüfgebiet, der Testspezifikation und der Anforderung an den Fahrweg der Versuchsstrecke verdeutlicht werden. Ausgangspunkt ist das für die Fahrzeugzulassung obligatorische Prüfgebiet „Bremsprüfung“, welches Tests zur Messung des Bremsweges bzw. der Bremsverzögerung bei definierten Umweltbedingungen und unter Variation der am Fahrzeug implementierten Bremssysteme vorschreibt. Darauf aufbauend konkretisiert und detailliert die Testspezifikation die durchzuführenden Bremsversuche. Aus beiden Bereichen, d. h. dem Prüfgebiet und der Testspezifikation, werden Anforderungen an die Versuchsstrecke gestellt. Das Prüfgebiet fordert ein gerades und ebenes Gleis. Die Testspezifikation fordert die Mindestlänge des Gleises. Für das Gleislayout der Versuchsstrecke, insbesondere für die geraden Abschnitte der Testringe, sind somit wesentliche Trassierungsparameter festgelegt.

**Tabelle 2:** Dynamische Prüfgebiete nach Norm EN 50215 Quelle: Eigene Darstellung

| Lfd. Nr. | Dynamische Prüfgebiete nach EN 50215 für elektrische Triebzüge (EMU) |
|---|---|
| 1 | Traktionsleistung |
| 2 | Fahrzeitüberprüfung |
| 3 | Bremsprüfung |
| 4 | Überprüfung der Wärmekapazität von Traktions- und Bremsanlage |
| 5 | Fahrwiderstandsprüfung |
| 6 | Überprüfung des Geschwindigkeitsregelsystems |
| 7 | Automatische Zugsicherungssysteme (ATP) |
| 8 | Wechselwirkungen Fahrzeug/ Gleis wie Fahrsicherheit, etc. |
| 9 | Qualitätsmerkmale des Fahrkomforts |
| 10 | Kinematische Begrenzungslinie |
| 11 | Funktion der Spurkranzschmiereinrichtung |
| 12 | Prüfungen der Kompatibilität von Stromabnehmer und Stromversorgung |
| 13 | Aerodynamische Effekte |
| 14 | Elektromagnetische Verträglichkeit |
| 15 | Prüfung mit Spannungsunterbrechung, Spannungssprung und Kurzschluss |
| 16 | Geräuschprüfungen |
| 17 | Druckluftsysteme – Kompressoreinschaltedauer |
| 18 | Scheibenwischer |
| 19 | Zugsteuer- und Regelungssystem |

## 3. Auslegung der Anlagenbestandteile

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Anlagenauslegung beschrieben, wie sie in der gleichnamigen Studie in ausführlicher Form zu finden sind (siehe [5]). Beginnend mit den Rahmenbedingungen gliedert sich der Abschnitt in folgende Punkte: Gleislayout, Flächenbedarf, Betriebskonzept, Anlagen der technischen Ausrüstung und Hochbauten.

Als maßgebliche Rahmenbedingung für die Auslegung der Versuchsstrecke ist die Festlegung auf die zu testenden Fahrzeugtypen anzusehen. Für die weiteren Betrachtungen wird der Fokus auf die folgenden zwei Fahrzeugtypen mit dem Einsatzgebiet in Europa gelegt:

1. **Hochgeschwindigkeitszüge** mit einer Maximalgeschwindigkeit von $V_{max}$ = 250 km/h
2. **Regionalzüge** mit einer Maximalgeschwindigkeit von $V_{max}$ = 140 km/h

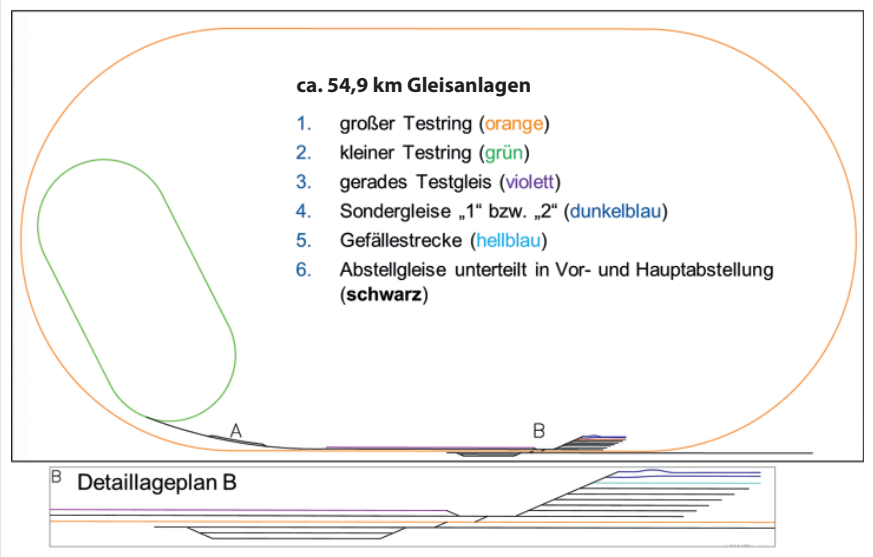
Der Auslegung der Versuchsstrecke liegt der Leitgedanke zugrunde, dass der maximale Nutzen für den Testenden im Vordergrund stehen muss. Umgesetzt wird dies durch die konsequente Berücksichtigung der Anforderungen der Fahrzeugzulassung an die Versuchsstrecke. Die Konzeption des Neubaus der Versuchsstrecke auf der „grünen Wiese“ und die damit einhergehenden maximalen Gestaltungsspielräume und Freiheiten bei der Anlagenauslegung erleichtern diese Herangehensweise.

### Gleislayout und Flächenbedarf

Die beiden zentralen Bestandteile des Gleislayouts sind der „große Testring“ und der „kleine Testring“, ersterer für die Testung von Hochgeschwindigkeitszügen und zweiterer für die Testung von Regionalzügen. Darüber hinaus sind ein gerades Testgleis, 2 Gleise mit Sondergleisgeometrie und eine Gefällestrecke vorgesehen.

Das Gleislayout der gesamten Versuchsstrecke ist in Bild 1 zu sehen. Bild 1 zeigt die maßstäbliche Darstellung aller Testgleise, des Anschlussgleises sowie der notwendigen Abstellgleise. Die Abstellgleise, welche in Vor- und Hauptabstellung

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH




**1:** Gleislayout optimierte Versuchsstrecke Quelle: Eigene Darstellung

unterteilt sind, sind in der Detailansicht B vergrößert dargestellt.

Die Versuchsstrecke umfasst eine Fläche von ca. 46 Quadratkilometern und hat eine Ausdehnung von ca. 10 km Länge und ca. 5 km Breite. Der Flächenbedarf und die Ausdehnung der Versuchsstrecke sind maßgeblich durch den „großen Testring“ und dessen Entwurfsgeschwindigkeit bestimmt. Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen Entwurfsgeschwindigkeit und Bogenradius bzw. Flächenbedarf soll folgendes Beispiel dienen. Eine Reduktion der Entwurfsgeschwindigkeit des „großen Testrings“ von 250 km/h auf 240 km/h, d.h. um lediglich 10 km/h führt zu einer deutlichen Verringerung des Bogenradius um 200 Meter bzw. des Flächenbedarfs um ca. 7 Quadratkilometer. Diese hohe Sensitivität des Bogenradius bzw. des Flächenbedarfs in Bezug auf die Entwurfsgeschwindigkeit ist auf die Trassierungsgrundlagen zurückzuführen (siehe [5]).

Aktuell gibt es konkrete Überlegungen zum Neubau von Testanlagen für Eisenbahntechnik. Diese werden sowohl von Schienenfahrzeugherstellern als auch von öffentlichen Stellen angestellt, wie das Projekt „Testzentrum für Eisenbahntechnik in Sachsen – TETIS“ [1] zeigt.

**Betriebskonzept und Anlagen der technischen Ausrüstung**

Der Auslegung der Versuchsstrecke liegt ein Betriebskonzept zugrunde, das folgende drei Prämissen enthält:

1. „Zweirichtungsbetrieb auf den Testgleisen“
2. „Aufteilung der Abstellgleise in Vor- und Hauptabstellung zur Optimierung des Testbetriebes“ und
3. „Rangiertätigkeiten in den Abstellungen mit Hilfe von Hybrid-Rangierloks“.

Das Konzept der sicherungstechnischen Anlagen der Versuchsstrecke berücksichtigt die aufgeführten Prämissen und konkretisiert diese in der sicherungstechnischen Planung. In der Planung, die mit Hilfe des Programms „Signalschablone 2.0 auf Microsoft Visio“ erstellt wurde, wird zwischen Anlagen unterschieden, die einerseits für den sicheren Zugbetrieb auf der Versuchsstrecke notwendig sind und andererseits für Testzwecke benötigt werden. Diese notwendige Unterscheidung soll am Beispiel des Zulassungsprogramms des Hochgeschwindigkeitszuges „Giruno“ der Schweizer Bundesbahnen verdeutlicht werden. Für die Zulassung des Zuges, der für den länderübergreifenden Fernverkehr konzipiert und mit dem europäischen Zugsicherungssystem ETCS ausgerüstet ist, wird eine Versuchsstrecke benötigt, die die komplementäre Zugbeeinflussungseinrichtung aufweist. Nur so können die notwendigen Tests des Zugsteuer- und Regelsystems gemäß der Europanorm EN 50215 durchgeführt und die Nachweise für die Zulassung erbracht werden. Für den sicheren Zugbetrieb auf der Versuchsstrecke ist die Installation von ETCS hingegen nicht zwingend notwendig.

Das Energieversorgungssystem der Versuchsstrecke ist so ausgelegt, dass sowohl Schienenfahrzeuge mit Gleichstrom- als auch mit Wechselstromantrieb getestet werden können. Dies ist notwendig, da in Europa historisch bedingt beide Energiesysteme und entsprechende Fahrzeugtypen vorzufinden sind - von Gleichstromsystemen mit Spannungen bis ca. 3 Kilovolt, wie zum Beispiel in Italien, bis hin zu Wechselstromenergiesystemen mit Spannungen bis zu 25 Kilovolt, wie zum Beispiel in Finnland.

Neben den Gleisanlagen sind für den Testbetrieb der Versuchsstrecke verschiedene Hochbauten, wie zum Beispiel eine Zugbilde- und Werkstatthalle, eine Maschinenhalle mit Unterflur-Radsatz-Drehmaschine, ein Stellwerksgebäude mit Bedienplätzen und ein Verwaltungsgebäude notwendig. Die Hochbauten werden ergänzt um einen Akustikmessplatz zur Messung der Geräuschemissionen der Schienenfahrzeuge sowie um eine Wasserstofftankstelle.

Das Resultat der Anlagenauslegung ist eine Versuchsstrecke, bestehend aus ca. 55 km Gleisanlagen inkl. zweier Testringe, einer Mehrsystem-Energieversorgung, modernster Zugsicherungs- und Maschinentechnik, Zugbilde- und Maschinenhallen sowie einer Wasserstofftankstelle.

## 4. Kostenschätzung für Bau und Instandhaltung

Die Kostenschätzung für den Bau der Versuchsstrecke basiert auf den Mengengerüsten der vorangegangenen Anlagenauslegung und erfolgt unter Verwendung von valorisierten Kostenkennwerten sowie unter Beachtung der Vorgaben der DIN 276 „Ermittlung von Projektkosten im Bauwesen“ (siehe [6]). Der Fokus der Kostenschätzung liegt auf den eisenbahnspezifischen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Anlagen und hat den Detaillierungsgrad eines Grobkostenrahmens.

Bild 2 zeigt die Aufteilung der Bau-/Errichtungskosten, untergliedert nach den eisenbahnspezifischen Gewerken. Auf die bautechnischen Gewerke: „Erdbau", „Oberbau", „Hochbau", „Ingenieurbau" und „befestigte Flächen" entfallen ca. 66 Prozent und auf die Ausrüstungsgewerke: „leit- und sicherungstechnische Anlagen", „Bahnstrom" und „technische Anlagen" ca. 34 Prozent der gesamten Kosten.

Der „Oberbau" der Versuchsstrecke ist mit 30 % die mit Abstand größte Einzelposition in der gesamten Kostenermittlung für Bau und Errichtung. Die nähere Betrachtung der Einzelposition „Oberbau" ist daher für das Verständnis der Kostenstruktur und der Identifikation der Kostentreiber von besonderem Interesse. Die Analyse der Zusammensetzung der Kosten zeigt, dass der größte Teil, ca. zwei Drittel, auf die Gleisanlage „großer Testring" entfällt. Dies liegt darin begründet, dass der „große Testring" einerseits mit ca. 26,1 km die größte Länge unter allen Gleisanlagen aufweist und andererseits, dass der Oberbau des großen Testrings aufgrund der hohen Entwurfsgeschwindigkeit von 250 km/h als „Feste Fahrbahn" ausgeführt ist. Die Kosten für einen Kilometer „Feste Fahrbahn" liegen gegenüber den Kosten für einen Kilometer „Schotteroberbau" ca. beim Doppelten.

Die Instandhaltungskosten der Versuchsstrecke werden auf Basis der zuvor ermittelten Baukosten berechnet. Dies erfolgt, indem die Baukosten mit prozentualen Instandhaltungsfaktoren, die die jährlichen Aufwendungen der Instandhaltung der jeweiligen Anlagengruppen repräsentieren, multipliziert werden. Im Ergebnis werden so die jährlichen Instandhaltungskosten je Anlagengruppe errechnet und anschließend aufsummiert.

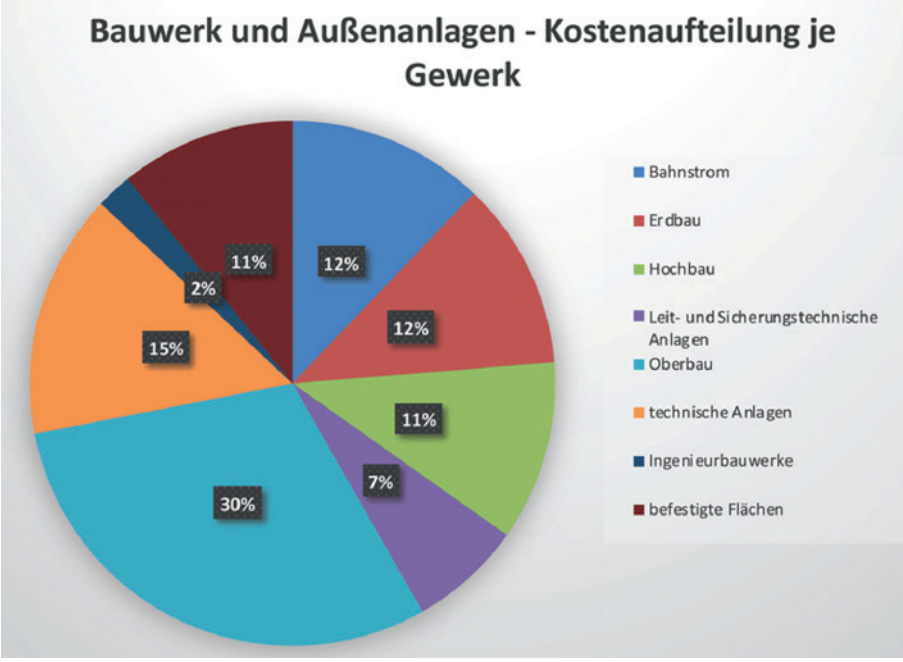
Für das Standortszenario „Lausitz" ergeben sich Investitionskosten (CAPEX) von ca. 230 Mio. Euro, inkl. 15 % Risikovorsorge. Die Instandhaltungskosten pro Jahr belaufen sich auf ca. 1,1 Mio. Euro.

## 5. Conclusio

Mit den hier vorliegenden Ergebnissen wird der Grundstein für die Initialisierung eines Projektes zum Neubau einer Schienenfahrzeugversuchsstrecke gelegt. Dabei sind insbesondere folgende Erkenntnisse und Schlussfolgerungen als nutzbringend zu betrachten:

1. Die Konzeption einer neuen Versuchsstrecke zum Test von Schienenfahrzeugen ist zwingend auf die Anforderungen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH




**2:** Aufteilung der Errichtungskosten nach Gewerk Quelle: Eigene Darstellung

der Fahrzeugzulassung abzustimmen. Die Anforderungsanalyse und -definition ist der entscheidende Ausgangspunkt für die erfolgreiche Konzeption einer Versuchsstrecke, die die Bedürfnisse der zukünftigen Nutzer in den Vordergrund stellt.

2. Die Höhe der Entwurfsgeschwindigkeit ist der bestimmende Faktor bei der Auslegung der Versuchsstrecke. Sie hat maßgeblichen Einfluss auf die Dimension der Gleisanlagen und somit auf den Flächenbedarf der Gesamtanlage. Aufgrund der hohen Sensitivität des Flächenbedarfs sollte stets gründlich abgewogen werden, ob eine geringfügige Absenkung der Entwurfsgeschwindigkeit zugunsten eines deutlich geringeren Flächenbedarfs vertretbar ist.
3. Für den Bau einer neuen Versuchsstrecke sind hohe Investitionskosten (CAPEX) notwendig. Für das hier beschriebene Szenario belaufen sich die Investitionskosten (CAPEX) auf ca. 230 Mio. Euro.
4. Die Analyse der Kostenstruktur der Versuchsstrecke ermöglicht die Identifizierung der maßgeblichen Kostentreiber und zeigt, dass die „Fahrbahn des großen Testrings" der Hauptkostentreiber ist.

Eine neue Versuchsstrecke würde zusätzliche Testkapazitäten für die Zulassung von Schienenfahrzeugen schaffen und den derzeitigen Engpass beseitigen. Öffentliche Investitionen in eine neue Versuchsstrecke würden somit unmittelbar zur Förderung des umweltfreundlichen Verkehrsmittels Eisenbahn beitragen.

Mit diesem Wissen hat der Projektträger/Bauherr einerseits valide Daten für die Erstellung eines Projektauftrages und andererseits die Möglichkeit, Einfluss auf die Höhe der Investitions- und Instandhaltungskosten zu nehmen.

## Literatur

[1] Landkreis Görlitz „Testzentrum für Eisenbahntechnik in Sachsen - TETIS". https://www.kreis-goerlitz.de/Aktuelles/Archiv-der-Meldungen.htm/05-Kultur-und-Tourismus/Bekanntmachungen/Testzentrum-fuer-Eisenbahntechnik-in-Sachsen-TETIS-Die-Wirtschaftsregion-Lausitz-GmbH-legt-Grundlage-fuer-Schluesselvorhaben.html? (Zugegriffen Nov. 07, 2021).
[2] Siemens Mobility GmbH, „Prüf- und Validationcenter Wegberg-Wildenrath", Siemens Mobility globale Website, Sep. 26, 2020. https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/services/qualification-services/certified-test-and-validation.html (zugegriffen Sep. 26, 2020).
[3] Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, „DIN EN 50215:2009 Bahnanwendungen – Bahnfahrzeuge – Prüfung von Bahnfahrzeugen nach Fertigstellung und vor Indienststellung"; VDE VERLAG GMBH, Juli 2010.
[4] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Handbuch Eisenbahnfahrzeuge - Leitfaden für Herstellung und Zulassung. Berlin, 2011. Zugegriffen: Nov. 10, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Fahrzeuge/Inbetriebnahme/Handbuch/Handbuch_Eisenbahnfahrzeuge.pdf?__blob=publicationFile&v=2
[5] Vgl. Walther, R. (2021). Auslegung einer optimierten Versuchsstrecke für Testfahrten mit Personen-Schienenfahrzeugen [Diplomarbeit FH St.Pölten]. FH St.Pölten Hochschulbibliothek. https://phaidra.fhstp.ac.at/detail/o:4587
[6] Beuth Verlag, „DIN 276 Kosten im Bauwesen"; Beuth Verlag, Dezember 2018

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

## Summary

**Design of an optimized test track for test drives with rail passenger vehicles**

The result of a conceptual design is a test track consisting of 55 km of track, a multi-system power supply, state-of-the-art train protection and machine technology (i.a. ETCS), train formation and garage halls as well as hydrogen filling stations. The investment costs (CAPEX) for the test track approx. 230 million euro.