



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

BACHELORARBEIT

**Realitätsnahe Fahrzeugsteuerung  
für die  
Eisenbahnbetriebssimulation im  
Eisenbahn-Betriebs- und  
Experimentierfeld**

*Friedrich Kasper Völkers*

betreut von  
Dr.-Ing. Christian BLOME

1. Februar 2021

## Aufgabenstellung

Im Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld (EBuEf) des Fachgebietes Bahnbetrieb und Infrastruktur der Technischen Universität Berlin können Prozesse des Bahnbetriebs unter realitätsnahen Bedingungen simuliert werden. Den Mittelpunkt der Anlagen bilden originale Stellwerke unterschiedlicher Entwicklungsstufen der Eisenbahnsicherungstechnik vom mechanischen Stellwerk bis zu aus einer Betriebszentrale gesteuerten Elektronischen Stellwerken.

Das „Ausgabemedium“ ist eine Modellbahnanlage, die in verkleinertem Maßstab die Abläufe darstellt. Das Betriebsfeld wird in der Lehre im Rahmen der Bachelor- und Masterstudiengänge am Fachgebiet sowie darüber hinaus zur Ausbildung von Fahrdienstleitern, für Schulungen und Weiterbildungen Externer sowie bei öffentlichen Veranstaltungen wie beispielsweise der Langen Nacht der Wissenschaften eingesetzt.

Neben den Stellwerken ist auch bei den Fahrzeugen ein möglichst realitätsnaher Betrieb Teil der umfassenden Eisenbahnbetriebssimulation.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Steuerungssoftware, die auf dem (modellseitig nur) punktförmig überwachten Netz die Fahrzeuge kontinuierlich überwacht, um die Fahrzeuge realitätsnäher zu steuern (beispielsweise durch maßstäbliche Beschleunigung oder punktgenaues Anhalten an Bahnsteigen gemäß der aktuellen Zuglänge) und zukünftig auch andere und neue Betriebsverfahren wie Moving Block im EBuEf simulieren zu können.

Teil der kontinuierlichen Überwachung ist die exakte Positionsbestimmung der Fahrzeuge im Netz sowie die Übermittlung der aktuellen Geschwindigkeit.

Beschleunigungs- und Bremsvorgänge sowie Ausrollphasen für optional energieoptimales Fahren sind ebenso zu berücksichtigen. Zur Kalibrierung sind die schon vorhandenen Ortungsmöglichkeiten (Belegung von Gleisabschnitten) zu verwenden.

Weitere zu berücksichtigende Eingangsgrößen aus der vorhandenen Softwarelandschaft im EBuEf sind die Netztopologie (z.B. Streckenlängen, Signalstandorte), die Fahrzeugdaten, die aktuelle Zugbildung sowie die Prüfung (vorhandene API), ob ein Zug an einer Station anhalten muss und ob er abfahren darf. Damit sind in der Simulation Fahrplantage, Verspätungen sowie Personalausfälle darstellbar.

Die Erkenntnisse sind in einem umfassenden Bericht und einer zusammenfassenden Textdatei darzustellen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Arbeit ggf. im Rahmen einer Vortragsveranstaltung des Fachgebiets zu präsentieren.

Der Bericht soll in gedruckter Form als gebundenes Dokument sowie in elektronischer Form als ungeschütztes PDF-Dokument eingereicht werden.

Methodik und Vorgehen bei der Arbeit sind explizit zu beschreiben und auf eine entsprechende Zitierweise ist zu achten. Alle genutzten bzw. verarbeiteten zugrundeliegenden Rohdaten sowie nicht-veröffentlichte Quellen müssen der Arbeit (ggf. in elektronischer Form) beiliegen.

In dem Bericht ist hinter dem Deckblatt der originale Wortlaut der Aufgabenstellung der Arbeit einzuordnen. Weiterhin muss der Bericht eine einseitige Zusammenfassung der Arbeit enthalten. Diese Zusammenfassung der Arbeit ist zusätzlich noch einmal als eigene, unformatierte Textdatei einzureichen.

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung sind die Hinweise zu beachten, die auf der Webseite mit der Adresse [www.railways.tu-berlin.de/?id=66923](http://www.railways.tu-berlin.de/?id=66923) gegeben werden.

Der Fortgang der Abarbeitung ist in engem Kontakt mit dem Betreuer regelmäßig abzustimmen. Hierzu zählen insbesondere mindestens alle vier Wochen kurze Statusberichte in mündlicher oder schriftlicher Form.

## Zusammenfassung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Inhalt</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Zitate . . . . .	2
2.2	Abkürzungen . . . . .	2
2.3	Zitat . . . . .	3
2.4	Bild . . . . .	3
2.5	Tabelle . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Todo</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Formeln</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Methodik</b>	<b>6</b>
	<b>Literatur</b>	<b>IV</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Schienennetz . . . . .	3
---	------------------------	---

## Tabellenverzeichnis

1	Sehr sehr schöne Tabelle . . . . .	3
---	------------------------------------	---

## Abkürzungsverzeichnis

**ICE** Inter City Express

**EBuEf** Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld

**RE** Regional Express

**PZ** Personenzug

**GZ** Güterzug

# 1 Inhalt

- Programmablauf
- Grundlagen zur linienförmigen Zugbeeinflussung, moving-block-Verfahren etc.
- Aufbau der Tabelle
- Formeln, Herkunft, Ableitung, Vereinfachung und Annahmen etc.
- Beschreibung der Methoden
- Was sind Ziele, Grundlagen oder Rahmenbedingung, auf die immer geachtet wird (Skalierbarkeit, Erweiterbar, Wenig „traffic“ in der Datenbank, Einheitlichkeit etc.)
- Was wird benötigt? (SQL, php etc.)
- Struktogramm (<http://rhinodidactics.de/Artikel/latex3.html>)
- Umgang mit dem Auf- und Abrunden bei Kommazahlen (Zeitangaben z.B.)
- möglichst Energiesparend, also so langsam, dass der Zug gerade noch so pünktlich ankommt



## 2 Grundlagen

### 2.1 Zitate

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. L consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet.(Maschek, 2013), (Wende, 2013) Lorem ipsum dolor sit amem nonumore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumgnoluptua. At vero eos lor sit amet. Loreonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet.(Maschek, 2013), (Wende, 2013)

### 2.2 Abkürzungen

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, Regional Express (RE) sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et Inter City Express (ICE) dolore magna aliquyam erat, sed diam Personenzug (PZ) voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan

et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue dui dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet PZ.

## 2.3 Zitat

„Hongkong must build a [...] rapid transit system, or a more expensive roads system, in the next 16 years – or face potentially devastating effects on its economy.“

## 2.4 Bild

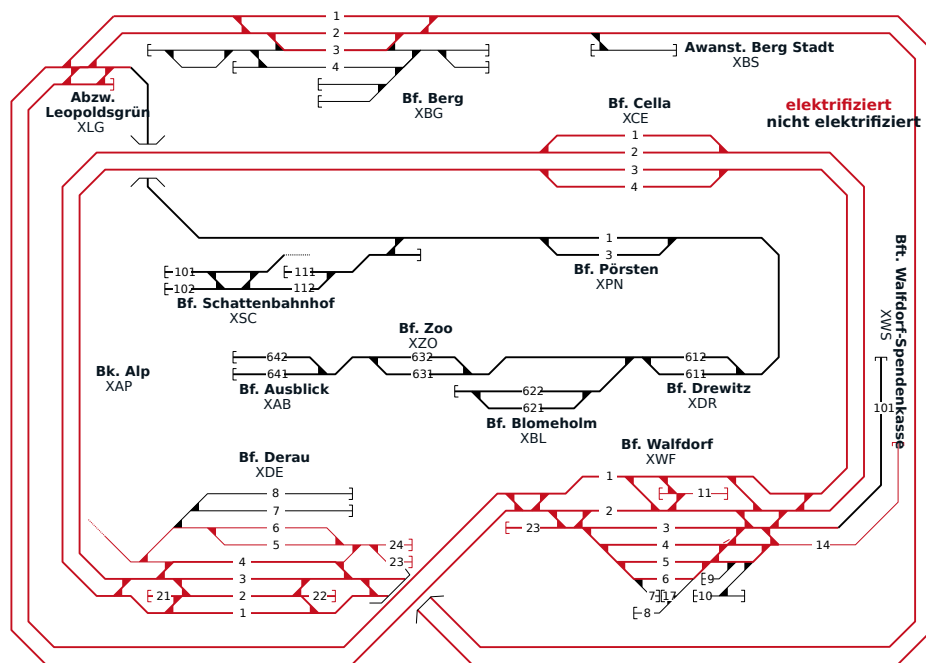


Abbildung 1: Schienennetz

## 2.5 Tabelle

ICE 1	ICE 2	ICE 3
200 km/h	250 km/h	300 km/h

Tabelle 1: Sehr sehr schöne Tabelle

### 3 Todo

- kontinuierliche Überwachung der Fahrzeuge
  - Beschleunigung
  - Abbremsen
  - genaue Lokalisierung
  - aktuelle Geschwindigkeit
  - kalibrierung durch die Belegung der Gleisabschnitte
- energieoptimales Fahren
- Eingangsgrößen
  - Streckenlängen
  - Signalstandorte
  - Fahrzeugdaten
  - Zugbildung
- Abgabe
  - umfassender Bericht
    - \* gedruckt in gebundener Form
    - \* elektronisch als .pdf
  - zusammenfassender Textdatei
  - ggf. Präsentation im Rahmen einer Vortragsveranstaltung
- Aufbau
  - Deckblatt
  - originale Wortlaut der Aufgabenstellung
  - einseitige Zusammenfassung der Arbeit
    - \* als unformatierte Textdatei einreichen

## 4 Formeln

$$s_b = v_0 \cdot t_0 + \frac{v_0^2}{2 \cdot (a + \frac{9.81 \cdot st}{1000})} \quad (1)$$

wobei:

$s_b$  = Bremsweg [m]

$v_0$  = Ausgangsgeschwindigkeit [m/s]

$a$  = mittlere Bremsverzögerung [m/s<sup>2</sup>]

$st$  = Steigung [‰]

$$a = \mu \cdot g \quad (2)$$

$$v = a \cdot t \quad (3)$$

$$s_b = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (4)$$

$$s_b = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot g \cdot \left[ \frac{v}{(\mu \cdot g)} \right]^2 = 1006m \quad (5)$$

wobei:

$\mu$  = 0,1

$s_b$  = Bremsweg [m]

$g$  = Fallbeschleunigung [m/s<sup>2</sup>]

$a$  = mittlere Bremsverzögerung [m/s<sup>2</sup>]

$v$  = Ausgangsgeschwindigkeit [m/s]

$t$  = Zeit [s]

## 5 Methodik

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Das hier ist der zweite Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Nach diesem vierten Absatz beginnen wir eine neue Zählung. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder

schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

## Literatur

- Maschek, U. (2013). Zugbeeinflussung. In *Sicherung des schienenverkehrs* (S. 184–212). Springer.
- Wende, D. (2013). *Fahrdynamik des schienenverkehrs*. Springer-Verlag.