



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

BACHELORARBEIT

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

Friedrich Kasper Völkers

betreut von
Dr.-Ing. Christian BLOME

3. August 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 Fahrplanteue, 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 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.

Inhaltsverzeichnis

1	Inhalt	1
2	Grundlagen	2
2.1	Zitate	2
2.2	Abkürzungen	2
2.3	Zitat	3
2.4	Bild	3
2.5	Tabelle	3
3	Todo	4
4	Formeln	5
4.1	Weg-Zeit Berechnung	5
4.2	Teil 2	6
4.3	speedFineTuning	16
5	Code Beispiele	17
6	Methodik	23
7	Ablaufplan	25
A	Anhang	26
A.1	main.php	26
A.2	globalVariables.php	28

Abbildungsverzeichnis

1	Schienennetz	3
2	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	8
3	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	9
4	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	10
5	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	11
6	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	12
7	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	13
8	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	14
9	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	15
10	Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke	16

Tabellenverzeichnis

1	Sehr sehr schöne Tabelle	3
2	Beispiel Infrastrukturabschnitte	7
3	Beispiel Zugdaten	8

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.^{1, 2} 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.^{3, 4}

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 duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet PZ.

¹ Maschek (2013)

² Wende (2013)

³ Maschek (2013)

⁴ Wende (2013)

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

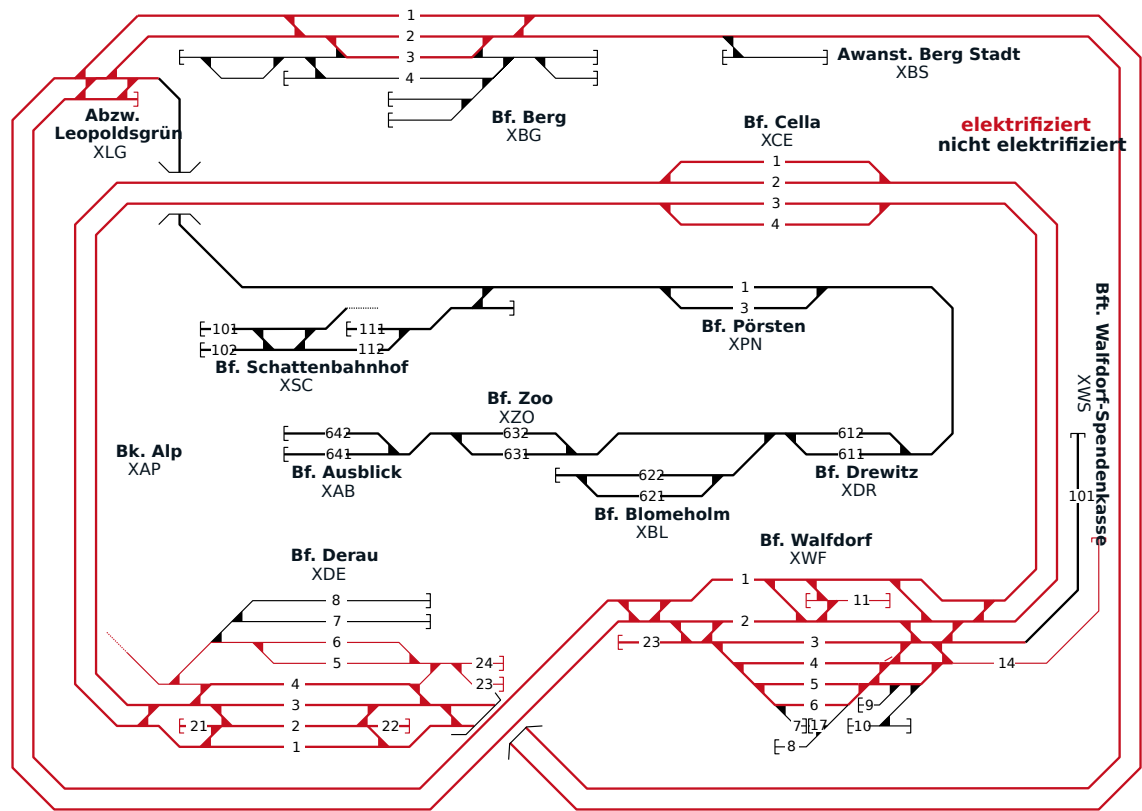


Abbildung 1: Schienennetz

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

4.1 Weg-Zeit Berechnung

Für die im folgenden Abschnitt verwendeten Gleichungen gilt:

a = Bremsverzögerung [m/s^2]
 v = Geschwindigkeit [m/s]
 s = Strecke [m]
 t = Zeit [s]

Bei einer konstanten Beschleunigung gilt:

$$a(t) = a \quad (1)$$

Für die Bestimmung der Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit, muss die Beschleunigung $a(t)$ nach der Zeit t integriert werden.⁵

$$v(t) = \int a(t) dt \quad (2)$$

Daraus ergibt sich folgende Gleichung für die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit. Die bei der Integration entstehende Integrationskonstante v_0 gibt dabei die Startgeschwindigkeit an.

$$v(t) = a \cdot t + v_0 \quad (3)$$

Für die Bestimmung der benötigten Zeit muss die Geschwindigkeit erneut integriert werden.⁶ Die dabei entstehende Integrationskonstante s_0 gibt dabei die bereits zurückgelegte Strecke an.

$$s(t) = \int v(t) dt \quad (4)$$

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0 \quad (5)$$

Bei der Verwendung dieser Gleichung werden die Integrationskonstanten v_0 und s_0 gleich 0 gesetzt, damit die Gleichungen allgemein gültig sind. Für die Berechnung des Beschleunigungs- und Abbremsverhalten der Fahrzeuge ist es notwendig zu wissen, welche Strecke ein Fahrzeug zurücklegen muss, um von einer Startgeschwindigkeit v_0 auf eine Zielgeschwindigkeit v_1 zu beschleunigen bzw. abzubremsen. Dafür wird die Gleichung für die Geschwindigkeit $v(t)$ nach t umgestellt und in die Gleichung $s(t)$ eingesetzt. Daraus ergibt sich folgende Gleichung für die Strecke in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit:

$$t(v) = \frac{v}{a} \quad (6)$$

$$s(v) = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{a} \quad (7)$$

Durch die Festlegung von $v_0 = 0$ wird so die benötigte Strecke ermittelt, welche ein Fahrzeug bei einer gegebenen Bremsverzögerung a benötigt, um von 0 m/s auf eine gegebenen

⁵ Richard & Sander (2011, S. 20)

⁶ ebd. (S. 20)

Zielgeschwindigkeit v_1 zu beschleunigen. Bei der Berechnung des Beschleunigungs- und Abbremsverhalten wird es aber auch zu Situationen kommen, bei denen ein Fahrzeug eine Startgeschwindigkeit hat, für die gilt $v_0 \neq 0$. Um eine allgemein gültige Gleichung aufzustellen, wird für die Ermittlung der benötigten Strecke bei einer gegebenen Start- und Zielgeschwindigkeit die Strecke berechnet, die das Fahrzeug benötigt um von 0 m/s auf v_1 zu beschleunigen und von 0 m/s auf v_0 . Für die gesuchte Strecke gilt dann:

$$s(v_0, v_1) = s(v_1) - s(v_0) \quad (8)$$

$$s(v_0, v_1) = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_1^2 - v_0^2}{a} \quad (9)$$

In dem Programm übernimmt diese Berechnung die Funktion *getBrakeDistance()*. Damit keine negativen Rückgabewerte entstehen, wird im Falle einer Bremsung ($v_1 < v_0$) das Ergebnis mit -1 multipliziert. Beispiel eines Querverweis (9).

```

1 function getBrakeDistance (float $v_0, float $v_1, float $verzoeigerung) {
2   if ($v_0 > $v_1) {
3     return $bremsweg = 0.5 * ((pow($v_0/3.6,2)-pow($v_1/3.6, 2))/($verzoeigerung));
4   } else if ($v_0 < $v_1) {
5     return $bremsweg = -0.5 * ((pow($v_0/3.6,2)-pow($v_1/3.6, 2))/($verzoeigerung));
6   } else {
7     return 0;
8   }
9 }

```

Neben der Berechnung der Strecke ist auch die benötigte Zeit essenziell. Dafür wird mittels $t(v)$ die Zeit berechnet, die das Fahrzeug benötigt, um von v_0 auf v_1 zu beschleunigen bzw. abzubremsen und aus der Differenz die benötigte Zeit berechnet.

$$t(v_0, v_1) = \frac{v_1 - v_0}{a} \quad (10)$$

In dem Programm übernimmt diese Berechnung die Funktion *getBrakeTime()*. Damit keine negativen Rückgabewerte entstehen, wird im Falle einer Bremsung ($v_1 < v_0$) das Ergebnis mit -1 multipliziert.

```

1 function getBrakeTime (float $v_0, float $v_1, float $verzoeigerung) {
2   if ($v_0 < $v_1) {
3     return (($v_1/3.6)/$verzoeigerung) - (($v_0/3.6)/$verzoeigerung);
4   } else if ($v_0 > $v_1) {
5     return (($v_0/3.6)/$verzoeigerung) - (($v_1/3.6)/$verzoeigerung);
6   } else {
7     return 0;
8   }
9 }

```

4.2 Teil 2

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

Infrastrukturabschnitts-ID	Länge	zulässige Höchstgeschwindigkeit
1000	300 <i>m</i>	120 <i>km/h</i>
1001	400 <i>m</i>	120 <i>km/h</i>
1002	300 <i>m</i>	120 <i>km/h</i>
1003	400 <i>m</i>	90 <i>km/h</i>
1004	300 <i>m</i>	60 <i>km/h</i>
1005	200 <i>m</i>	60 <i>km/h</i>
1006	400 <i>m</i>	90 <i>km/h</i>
1007	500 <i>m</i>	120 <i>km/h</i>
1008	300 <i>m</i>	120 <i>km/h</i>
1009	400 <i>m</i>	100 <i>km/h</i>
1010	300 <i>m</i>	60 <i>km/h</i>
1011	300 <i>m</i>	40 <i>km/h</i>

Tabelle 2: Beispiel Infrastrukturabschnitte

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 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 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 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 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. In der nächsten Darstellung sind die beispielhaften Infrastruktabschnitte bildlich dargestellt. Auf der x-Achse ist die Strecke in Metern angegeben und auf der y-Achse die zulässige Höchstgeschwindigkeit.

relative Startposition	10 <i>m</i>
relative Zielposition	290 <i>m</i>
aktueller Infrastrukturabschnitt	1001
Ziel-Infrastrukturabschnitt	1010
Startgeschwindigkeit	0 <i>km/h</i>
Zielgeschwindigkeit	0 <i>km/h</i>
Zuglänge	50 <i>m</i>
Bremsverzögerung	0,8 <i>m/s</i> ²
Fahrplan vorhanden	ja
Zeit bis zur nächsten Betriebsstelle	210 <i>s</i>

Tabelle 3: Beispiel Zugdaten

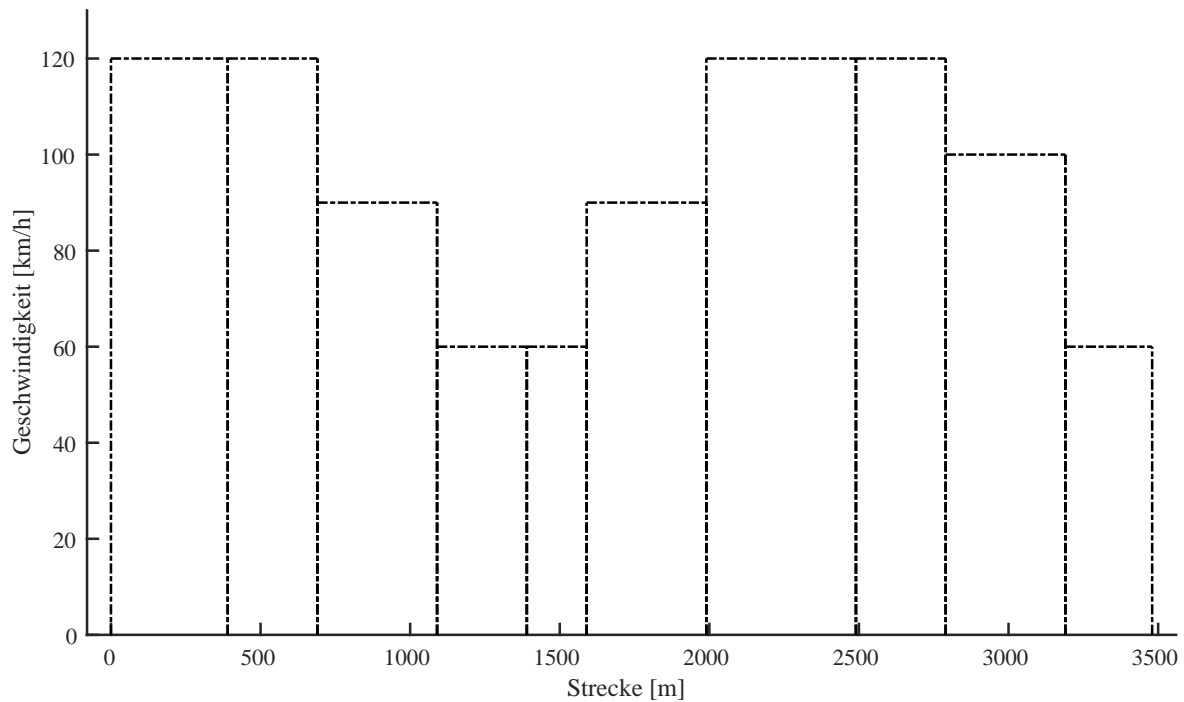


Abbildung 2: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

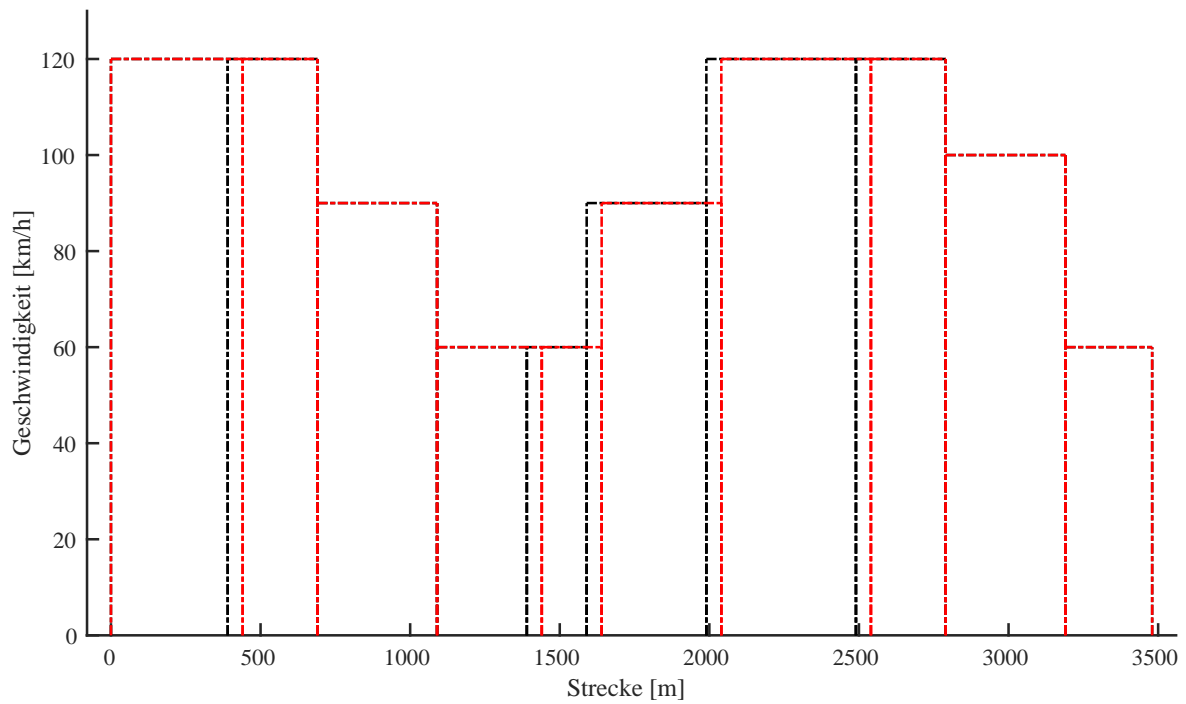


Abbildung 3: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

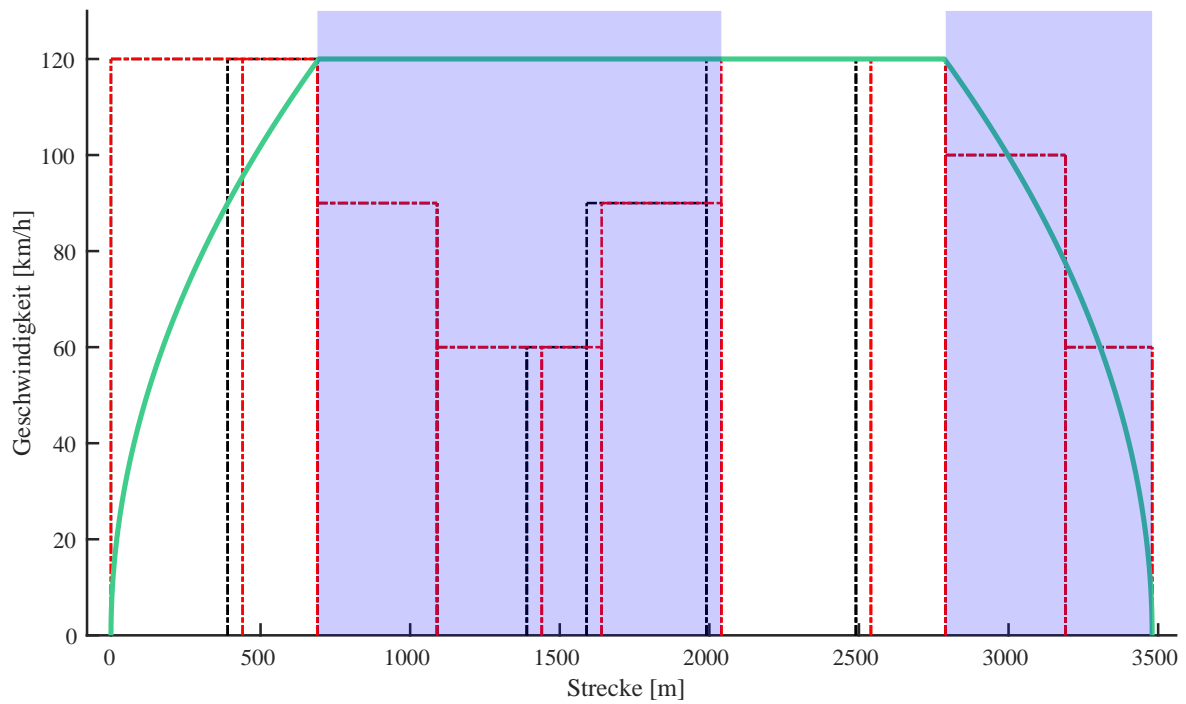


Abbildung 4: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

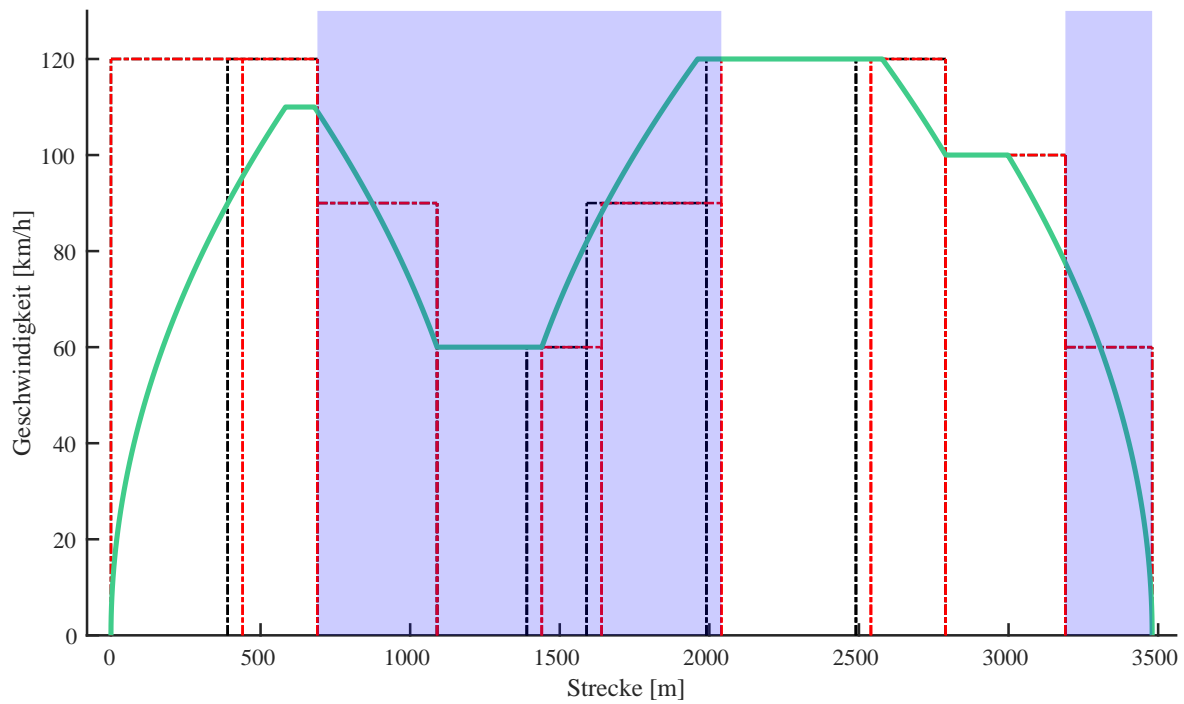


Abbildung 5: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

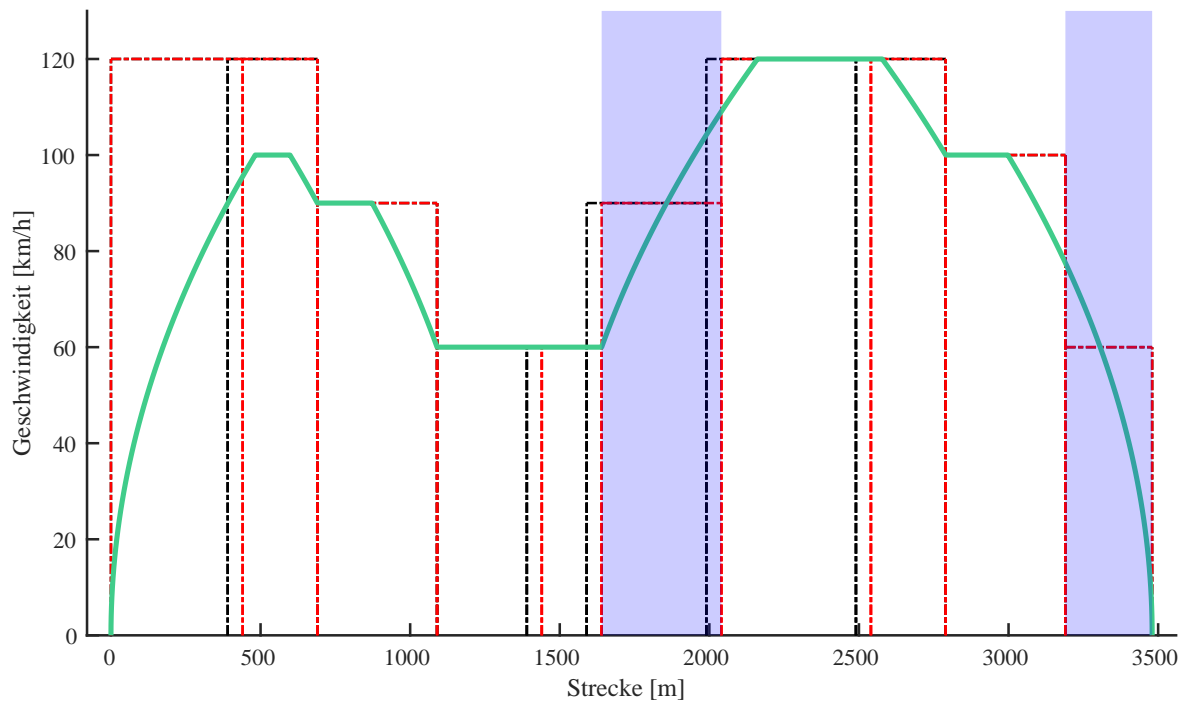


Abbildung 6: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

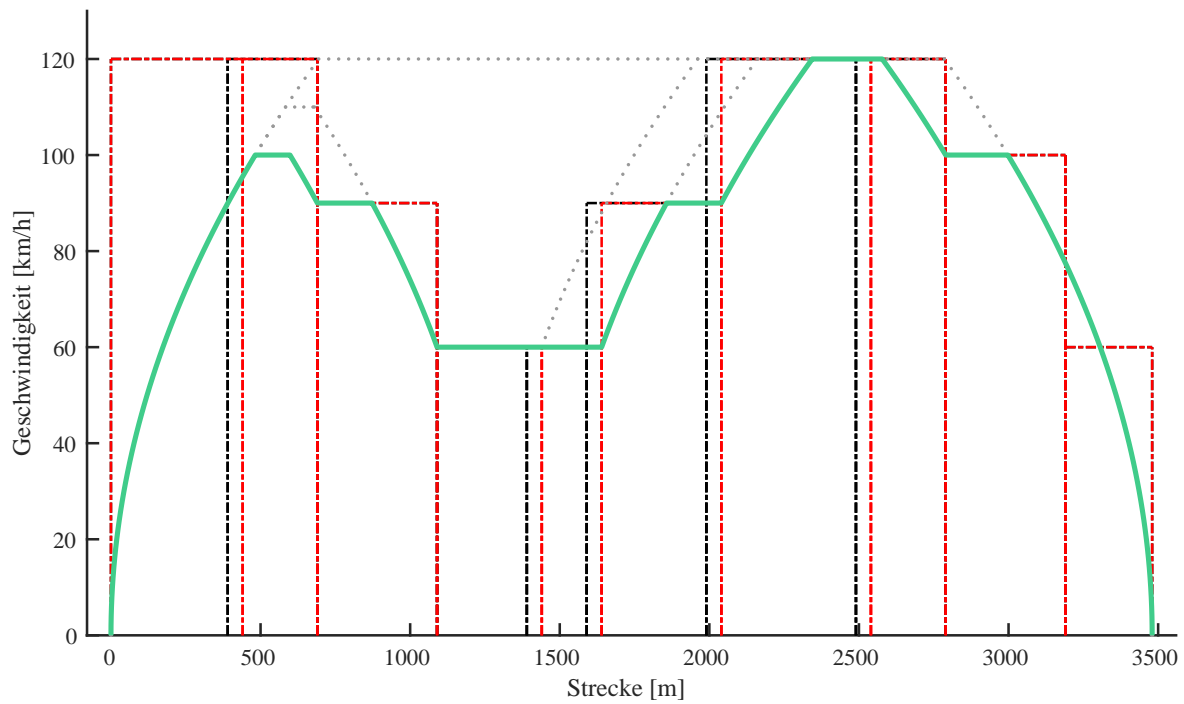


Abbildung 7: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

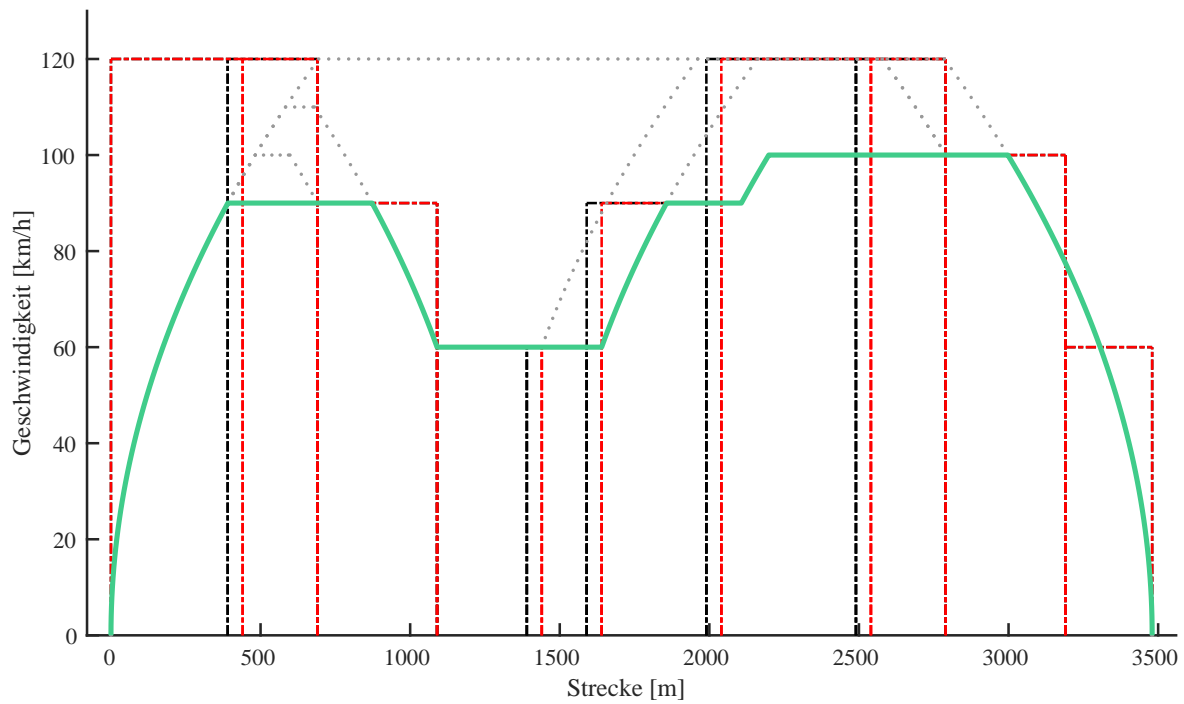


Abbildung 8: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

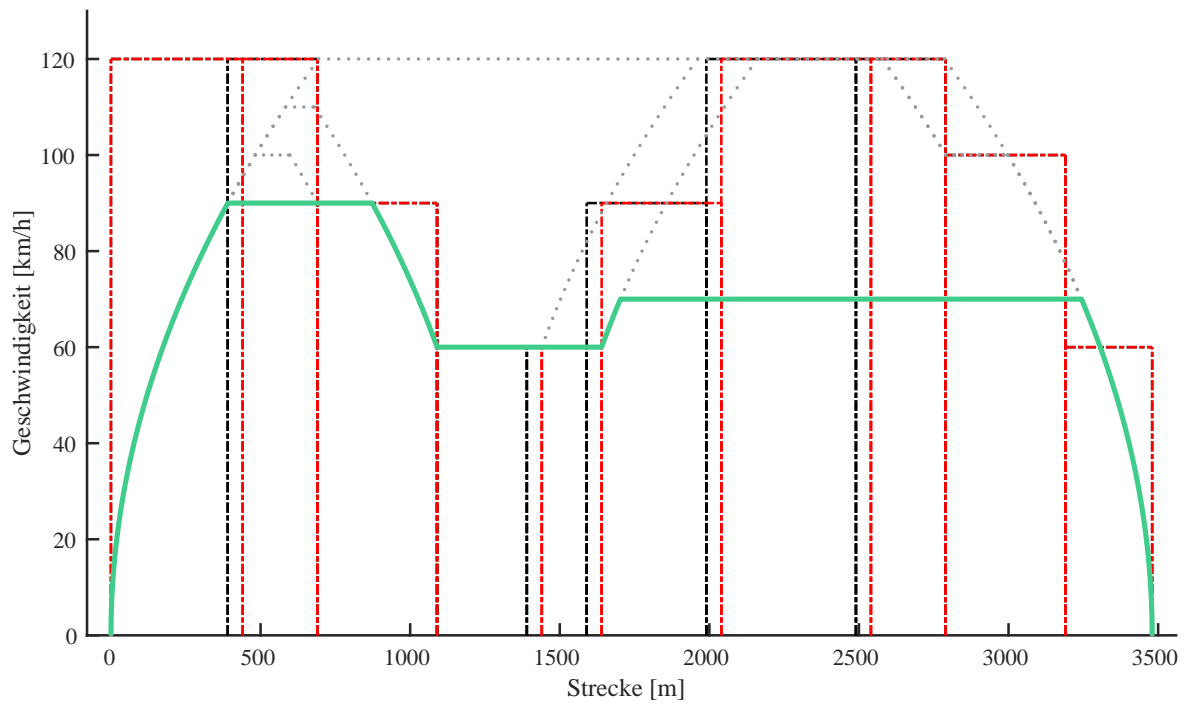


Abbildung 9: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

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, 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.

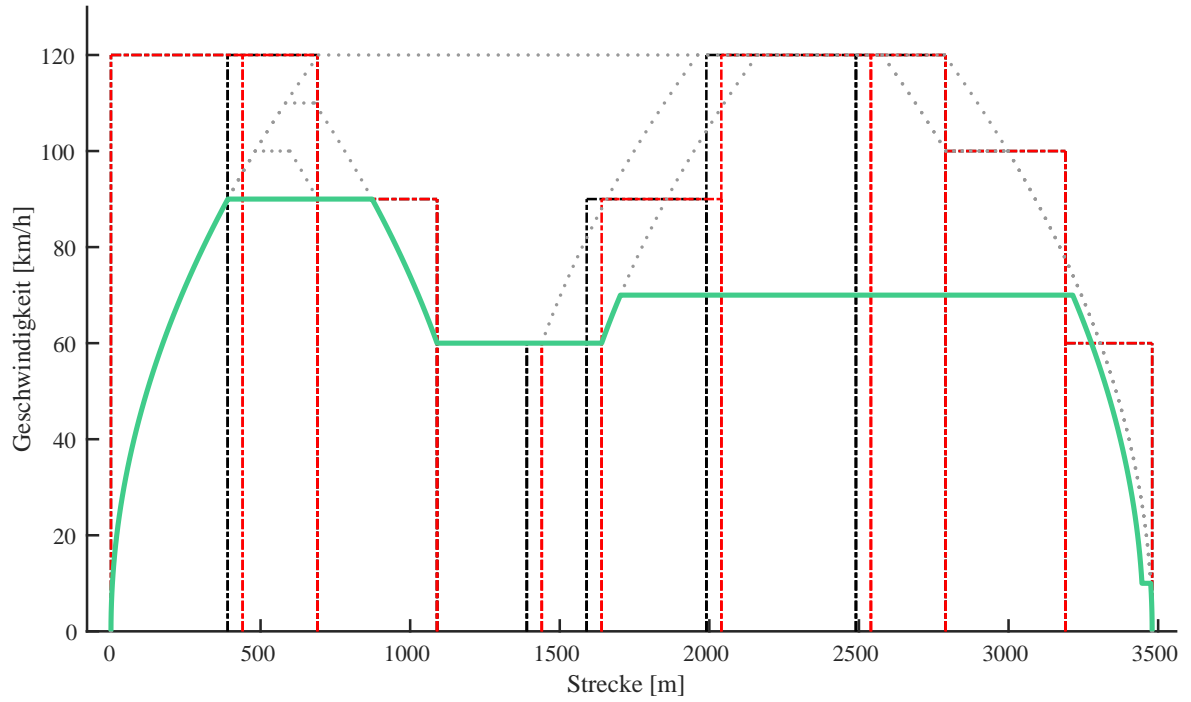


Abbildung 10: Darstellung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs über die Strecke

4.3 speedFineTuning

Es gilt:

$$t_{ges} = t_1 + t_2 \quad (11)$$

$$s_{ges} = s_1 + s_2 \quad (12)$$

$$s = v \cdot t \quad (13)$$

Durch das Einsetzen der Gleichung (13) in die Gleichung (12) erhält man folgende Gleichung:

$$s_{ges} = v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2 \quad (14)$$

Durch das Umstellen der Gleichung (11) nach t_2 und dem Einsetzen in Gleichung (14) gilt für t_1 :

$$t_1 = \frac{s_{ges} - v_2 \cdot t_{ges}}{v_1 - v_2} \quad (15)$$

5 Code Beispiele

```
1 function calculateDistanceforSpeedFineTuning(int $v_0, int $v_1, float $distance, float
    ↪ $time) : float {
2
3     $firstSecondsPerMeter = distanceWithSpeedToTime($v_0, 1);
4     $secondSecondsPerMeter = distanceWithSpeedToTime($v_1, 1);
5
6     if (!true) {
7         // Write some code...
8     }
9
10    $lengthDifference = $distance - (($time - ($distance *
        ↪ $firstSecondsPerMeter))/($secondSecondsPerMeter - $firstSecondsPerMeter));
11
12    return $lengthDifference;
13 }
```

Code-Beispiel 1: Some PHP code

```
1 function distanceWithSpeedToTime (int $v, float $distance) : float {
2
3     return (($distance)/($v / 3.6));
4
5 }
```

So wie im Code-Beispiel 1 zu sehen. 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, 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 ICE dolore magna aliquyam erat, sed diam 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 duis dolore te feugait nulla facilisi. Lorem ipsum dolor sit amet PZ.


```

1 function checkKeyPointsOverlap() {
2     global $keyPoints;
3     global $verzoegerung;
4
5     for ($i = 0; $i < (sizeof($keyPoints) - 1); $i++) {
6         if ($keyPoints[$i]["position_1"] > $keyPoints[$i + 1]["position_0"]) {
7             $v_max = getVMaxBetweenTwoPoints(($keyPoints[$i + 1]["position_1"] -
8                 ↳ $keyPoints[$i]["position_0"]), $keyPoints[$i]["speed_0"], $keyPoints[$i
9                 ↳ + 1]["speed_1"]);
10            $keyPoints[$i]["position_1"] = getBrakeDistance($keyPoints[$i]["speed_0"],
11                ↳ $v_max, $verzoegerung);
12            $keyPoints[$i + 1]["position_0"] = getBrakeDistance($v_max, $keyPoints[$i +
13                ↳ 1]["speed_0"], $verzoegerung);
14            $keyPoints[$i]["speed_1"] = $v_max;
15            $keyPoints[$i]["speed_0"] = $v_max;
16        }
17    }
18 }

```

```

1 function createKeyPointsFromGroupedSections(array $groupedSections) : array {
2
3     global $next_v_max;
4     global $next_lengths;
5     global $indexCurrentSection;
6     global $indexTargetSection;
7     global $currentSpeed;
8     global $targetSpeed;
9     global $targetPosition;
10    global $currentPosition;
11    global $verzoegerung;
12    global $cumulativeSectionLengthEnd;
13    global $cumulativeSectionLengthStart;
14
15    $newSpeedChange = array();
16    $newPositionChange = array();
17    $returnKeyPoints = array();
18
19    $increaseKeyPoint = array();
20    $decreaseKeyPoint = array();
21
22    foreach ($groupedSections as $groupKey => $groupValue) {
23        $distance = 0;
24        $v_max = null;
25        $v_0 = null;
26        $v_1 = null;
27        $absolutPositionStart = $cumulativeSectionLengthStart[$groupValue[0]];
28        $absolutPositionEnd = $cumulativeSectionLengthEnd[end($groupValue)];
29        for ($i = $groupValue[0]; $i <= end($groupValue); $i++) {
30            $distance = $distance + $next_lengths[$i];
31            if ($v_max == null) {
32                $v_max = $next_v_max[$i];
33            } else {
34                if ($v_max > $next_v_max[$i]) {

```

```

35         $v_max = $next_v_max[$i];
36     }
37 }
38 }
39
40 if (in_array($indexCurrentSection, $groupValue)) {
41     $distance = $distance - $currentPosition;
42 }
43
44 if (in_array($indexTargetSection, $groupValue)) {
45     $distance = $distance + $targetPosition - $next_lengths[$indexTargetSection];
46 }
47
48 if ($groupKey == 0) {
49     $v_0 = $currentSpeed;
50 } else {
51     if ($next_v_max[$groupValue[0] - 1] < $next_v_max[$groupValue[0]]) {
52         $v_0 = $next_v_max[$groupValue[0] - 1];
53     } else {
54         $v_0 = $next_v_max[$groupValue[0]];
55     }
56 }
57
58 if ($groupKey == sizeof($groupedSections) - 1) {
59     $v_1 = $targetSpeed;
60 } else {
61     if ($next_v_max[end($groupValue) + 1] < $next_v_max[end($groupValue)]) {
62         $v_1 = $next_v_max[end($groupValue) + 1];
63     } else {
64         $v_1 = $next_v_max[end($groupValue)];
65     }
66 }
67
68 $new_v_max = null;
69
70 for ($i = 0; $i <= $v_max; $i = $i + 10) {
71     if ((getBrakeDistance($v_0, $i, $verzoegerung) + getBrakeDistance($i, $v_0,
72         ↳ $verzoegerung)) < $distance) {
73         $new_v_max = $i;
74     }
75 }
76
77 $v_max = $new_v_max;
78
79 if (sizeof($newSpeedChange) == 0) {
80     array_push($newSpeedChange, $v_0);
81 }
82
83 if (sizeof($newPositionChange) == 0) {
84     array_push($newPositionChange, $absolutPositionStart);
85 }
86
87 if ($v_0 < $v_max) {

```

```

87     $increaseKeyPoint = ["position_0" => end($newPositionChange), "speed_0" =>
88         ↳ $v_0];
89     if ($v_0 % 2 != 0) {
90         $tempDistance = getBrakeDistance($v_0, ($v_0 + 1), $verzoegerung);
91         array_push($newSpeedChange, ($v_0 + 1));
92         array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
93         $v_0 = $v_0 + 1;
94     }
95     for ($i = $v_0; $i <= ($v_max - 2); $i = $i + 2) {
96         $tempDistance = getBrakeDistance($i, ($i + 2), $verzoegerung);
97         array_push($newSpeedChange, ($i + 2));
98         array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
99     }
100     $increaseKeyPoint["position_1"] = end($newPositionChange);
101     $increaseKeyPoint["speed_1"] = $v_max;
102 } elseif ($v_0 > $v_max) {
103     $increaseKeyPoint = ["position_0" => end($newPositionChange), "speed_0" =>
104         ↳ $v_0];
105     if ($v_0 % 2 != 0) {
106         $tempDistance = getBrakeDistance($v_0, ($v_0 - 1), $verzoegerung);
107         array_push($newSpeedChange, ($v_0 - 1));
108         array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
109         $v_0 = $v_0 - 1;
110     }
111     for ($i = $v_0; $i >= ($v_max + 2); $i = $i - 2) {
112         $tempDistance = getBrakeDistance($i, ($i - 2), $verzoegerung);
113         array_push($newSpeedChange, ($i - 2));
114         array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
115     }
116     $increaseKeyPoint["position_1"] = end($newPositionChange);
117     $increaseKeyPoint["speed_1"] = $v_max;
118 }
119 array_push($newSpeedChange, $v_max);
120 array_push($newPositionChange, $absolutPositionEnd - getBrakeDistance($v_max,
121     ↳ $v_1, $verzoegerung));
122
123 if ($v_1 > $v_max) {
124     $decreaseKeyPoint = ["position_0" => end($newPositionChange), "speed_0" =>
125         ↳ $v_max/*, "time_0" => end($newTimeChange)*]/];
126     for ($i = $v_max; $i <= ($v_1 - 2); $i = $i + 2) {
127         $tempDistance = getBrakeDistance($i, ($i + 2), $verzoegerung);
128         array_push($newSpeedChange, ($i + 2));
129         array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
130     }
131     $decreaseKeyPoint["position_1"] = end($newPositionChange);
132     $decreaseKeyPoint["speed_1"] = $v_1;
133 } if ($v_1 < $v_max) {
134     $decreaseKeyPoint = ["position_0" => end($newPositionChange), "speed_0" =>
135         ↳ $v_max];
136     for ($i = $v_max; $i >= ($v_1 + 2); $i = $i - 2) {
137         $tempDistance = getBrakeDistance($i, ($i - 2), $verzoegerung);
138         array_push($newSpeedChange, ($i - 2));

```

```

135     array_push($newPositionChange, end($newPositionChange) + $tempDistance);
136 }
137 $decreaseKeyPoint["position_1"] = end($newPositionChange);
138 $decreaseKeyPoint["speed_1"] = $v_1;
139 }
140
141 if (!in_array($increaseKeyPoint, $returnKeyPoints) && sizeof($increaseKeyPoint)
    ↪ != 0) {
142     array_push($returnKeyPoints, $increaseKeyPoint);
143 }
144 if (!in_array($decreaseKeyPoint, $returnKeyPoints) && sizeof($decreaseKeyPoint)
    ↪ != 0) {
145     array_push($returnKeyPoints, $decreaseKeyPoint);
146 }
147 }
148 return array($newPositionChange, $newSpeedChange, $returnKeyPoints);
149 }

```

```
project
├── php
│   ├── main.php
│   ├── functions
│   │   ├── sort_functions.php
│   │   └── time_functions.php
│   └── database
│       └── load_trains.php
├── matlab
│   └── plot_v_over_distance.m
└── latex
    ├── paper.tex
    ├── paper.bib
    ├── fazit.tex
    ├── grundlagen.tex
    └── paper.tex
```

6 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.

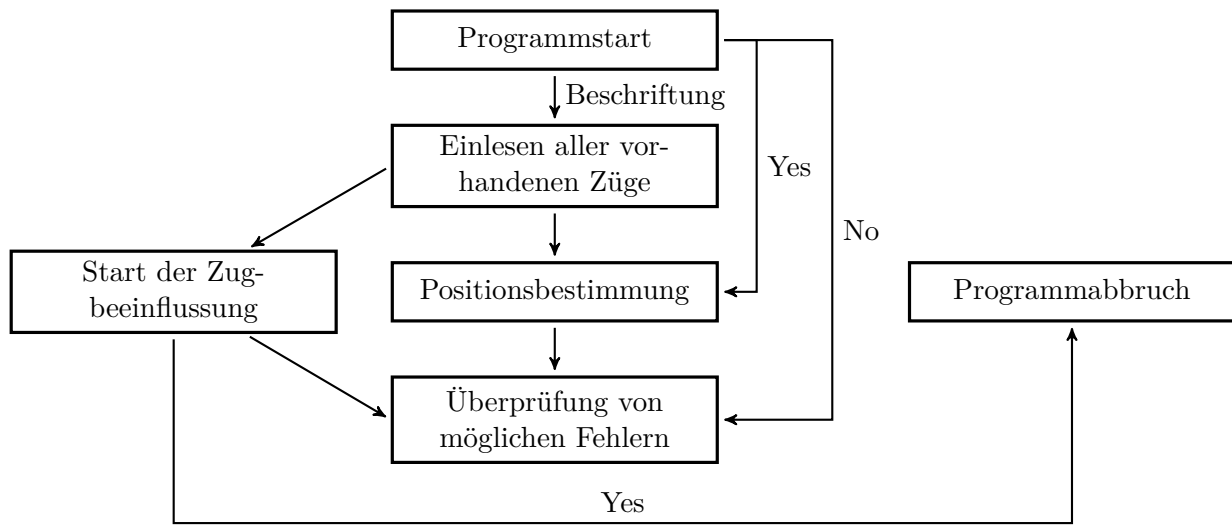
Und nun folgt – ob man es glaubt oder nicht – der dritte Absatz. Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ 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.

7 Ablaufplan



A Anhang

A.1 main.php

```
1 <?php
2 // TODO:
3 // - Rename TimeDifference ($newTimeDifference)
4 // - Train Errors hinzufügen
5
6 // Load all required external files
7 require 'vorbelegung.php';
8 require 'functions/sort_functions.php';
9 require 'functions/cache_functions.php';
10 require 'functions/ebuef.php';
11 require 'globalVariables.php';
12
13 // Set timezone
14 date_default_timezone_set("Europe/Berlin");
15
16 // Set memory
17 //ini_set('memory_limit', '1024M');
18
19 // Reports only errors
20 error_reporting(1);
21
22 // Define own train errors
23 $trainErrors = array();
24 $trainErrors[0] = "Zug_stand_falsch_herum_und_war_zu_lang_um_die_Richtung_zu_ändern.";
25 $trainErrors[1] = "In_der_Datenbank_ist_für_den_Zug_keine_Zuglänge_angegeben.";
26 $trainErrors[2] = "In_der_Datenbank_ist_für_den_Zug_keine_v_max_angegeben.";
27 $trainErrors[3] = "Zug_musste_eine_Notbremsung_durchführen.";
28
29 // Load static data from the databse into the cache
30 $cacheInfranachbarn = createCacheInfranachbarn();
31 $cacheInfradaten = createCacheInfradaten();
32 $cacheSignaldaten = createCacheSignaldaten();
33 $cacheInfraLaenge = createCacheInfraLaenge();
34 $cacheHaltepunkte = createCacheHaltepunkte();
35 $cacheZwischenhaltepunkte = createCacheZwischenhaltepunkte();
36 $cacheInfraToGbt = createCacheInfraToGbt();
37 $cacheGbtToInfra = createCacheGbtToInfra();
38 $cacheFmaToInfra = createCacheFmaToInfra();
39 $cacheInfraToFma = array_flip($cacheFmaToInfra);
40 $cacheFahrplanSession = createCacheFahrplanSession();
41 $cacheSignalIDToBetriebsstelle = createCacheToBetriebsstelle();
42 $cacheAdresseToID = array(); // Filled with data in getAllTrains()
43 $cacheIDToAdresse = array(); // Filled with data in getAllTrains()
44
45 // Global variables
46 $allTrainsOnTheTrack = array(); // All addresses found on the tracks
47 $allTrains = array(); // All trains with the status 1 or 2
48 $allUsedTrains = array(); // All trains with the status 1 or 2 that are standing on
    ↳ the tracks
```

```

49 $allTimes = array();
50
51 // Get simulation and real time
52 $simulationStartTimeToday = getUhrzeit(getUhrzeit($cacheFahrplanSession->sim_startzeit,
    ↳ "simulationszeit", null, array("outputtyp"=>"h:i:s")), "simulationszeit", null,
    ↳ array("inputtyp"=>"h:i:s"));
53 $simulationEndTimeToday = getUhrzeit(getUhrzeit($cacheFahrplanSession->sim_endzeit,
    ↳ "simulationszeit", null, array("outputtyp"=>"h:i:s")), "simulationszeit", null,
    ↳ array("inputtyp"=>"h:i:s"));
54 $simulationDuration = $cacheFahrplanSession->sim_endzeit -
    ↳ $cacheFahrplanSession->sim_startzeit;
55 $realStartTime = time();
56 $realEndTime = $realStartTime + $simulationDuration;
57 $newTimeDifference = $simulationStartTimeToday - $realStartTime;
58
59 // Start Message
60 startMessage();
61
62 // Load all trains
63 // TODO: Funktion benötigt, die die Daten updatet...
64 $allTrains = getAllTrains();
65
66 // Loads all trains that are in the rail network and prepares everything for the start
67 findTrainsOnTheTracks();
68
69 // Checks if the trains are in the right direction and turns them if it is necessary
    ↳ and possible.
70 consoleCheckIfStartDirectionIsCorrect();
71 consoleAllTrainsPositionAndFahrplan();
72 showErrors();
73
74 // Adds all the stops of the trains.
75 addStopsectionsForTimetable();
76
77 // Adds an index (address) to the $allTimes array for each train.
78 // TODO: Ist diese Funktion notwendig?
79 initalFirstLiveData();
80
81 // Determination of the current routes of all trains.
82 calculateNextSections();
83
84 // TODO: Wird die Funktion benötigt?
85 //addNextStopForAllTrains();
86
87 // Checks whether the trains are already at the first scheduled stop or not.
88 checkIfTrainReachedHaltepunkt();
89
90 // Checks whether the routes are set correctly.
91 checkIfFahrstrasseIsCorrect();
92
93 calculateFahrverlauf();
94
95 //var_dump($allTimes);

```

A.2 globalVariables.php

```
1 <?php
2
3 $globalNotverzoegerung = 2; // Bremsverzögerung bei einer Notbremsung
4 $globalMinSpeed = 60; // Maximale Geschwindigkeit, wenn keine vorgegeben ist
5 $globalSpeedInCurrentSection = 60; // Maximale Geschwindigkeit im aktuellen Abschnitt
6 $globalFirstHaltMinTime = 20; // calculateFahrverlauf -> Zeit fürs Wenden...
7 $globalIndexBetriebsstelleFreieFahrt = 999999999999;
8 $globalFloatingPointNumbersRoundingError = 0.0000000001;
9 $globalTimeUpdateInterval = 1; // Defines the time intervals in which the current data
   ↳ is sent to the vehicle when it is not changing speed.
10 $globalTimeOnOneSpeed = 10;
11
12 $useSpeedFineTuning = true;
13
14 $useMinTimeOnSpeed = true;
15 $errorMinTimeOnSpeed = false;
16
17 $slowDownIfTooEarly = true;
```

Literatur

Maschek, U. (2013). Zugbeeinflussung. In *Sicherung des schienenverkehrs* (S. 184–212). Springer.

Richard, H. & Sander, M. (2011). *Technische mechanik. dynamik: Grundlagen - effektiv und anwendungsnahe*. Vieweg+Teubner Verlag.

Wende, D. (2013). *Fahrdynamik des schienenverkehrs*. Springer-Verlag.