



TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

BACHELORARBEIT

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

*Friedrich Kasper Völkers*

betreut von  
Dr.-Ing. Christian BLOME

13. September 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.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Glossar</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Aufbau des Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfelds . . . . .	2
2.2 Aufbau der <i>MySQL</i> -Datenbank . . . . .	3
2.3 Ziele und Prioritätssetzung der Fahrzeugsteuerung . . . . .	3
2.4 Fahrdynamik . . . . .	4
2.5 Aufbau des Projekts . . . . .	4
<b>3 Ablauf des Hauptprogramms</b>	<b>6</b>
3.1 Einlesen von statischen und mehrfach verwendeten Daten aus der <i>SQL</i> - Datenbank in den Cache . . . . .	6
3.2 Ermittlung aller Fahrzeuge im eingleisigen Netz und den zugehörigen Daten .	7
3.3 Berechnung der Fahrtverläufe aller Fahrzeuge . . . . .	8
3.4 Übermittlung der Echtzeitdaten an die Fahrzeuge . . . . .	11
3.5 Überprüfung nach einer Änderung der Fahrstraße . . . . .	13
3.6 Neukalibrierung der Fahrzeugposition . . . . .	14
3.7 Ermittlung von neuen Fahrzeugen im eingleisigen Netz . . . . .	14
<b>4 Berechnung des Fahrtverlaufs</b>	<b>16</b>
4.1 Ermittlung der Start- und Endposition der einzelnen Infrastrukturabschnitte unter Berücksichtigung der Zuglänge . . . . .	16
4.2 Berechnung bei einer Beschleunigung auf die maximal mögliche Geschwindigkeit	20
4.3 Überprüfung des Fahrtverlaufs nach Geschwindigkeitsüberschreitungen . . . .	22
4.4 Neuberechnung unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsüber- schreitung . . . . .	22
4.5 Einhaltung der Mindestzeit auf einer Geschwindigkeit . . . . .	24
4.6 Berücksichtigung der Ankunftszeit bei der Berechnung des Fahrtverlaufs . . .	27
4.7 Berücksichtigung der exakten Ankunftszeit bei der Berechnung des Fahrtverlaufs	29
4.8 Einleitung einer Gefahrenbremsung . . . . .	32
<b>5 Beispielrechnung eines Fahrtverlaufs im EBUf</b>	<b>34</b>
<b>6 Visualisierung der Fahrtverläufe</b>	<b>38</b>
<b>7 Formeln</b>	<b>40</b>
7.1 Formeln für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen . . . . .	40
7.2 Formeln für gleichförmige Bewegungen . . . . .	41

<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>43</b>
8.1	Was funktioniert gut? . . . . .	43
8.2	Was funktioniert nicht? . . . . .	43
8.3	Wie könnte man die Fehler in der Zukunft ausbessern? . . . . .	43
8.4	Was für Erweiterungsmöglichkeiten gibt es? . . . . .	43
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>45</b>
A.1	main.php . . . . .	45
A.2	sort_functions.php . . . . .	50
A.3	fahrtverlauf_functions . . . . .	70
A.4	cache_functions_own.php . . . . .	109
A.5	globalVariables.php . . . . .	113
A.6	speedOverPosition.m . . . . .	113

## Abbildungsverzeichnis

1	Schiennetz des EBUefs . . . . .	2
2	Aufbau der Dateistrukturen . . . . .	5
3	Ablauf des Hauptprogramms . . . . .	6
4	Eigene Darstellung der Positionsbestimmung bei einem Richtungswechsel . .	12
5	Ablaufplan der Fahrtverlaufsberechnung . . . . .	17
6	Darstellung der Infrastrukturabschnitte und die zugehörige Höchstgeschwindigkeit . . . . .	19
7	Darstellung Infrastrukturabschnitte und die zugehörige Höchstgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Fahrzeuglänge . . . . .	20
8	Fahrtverlaufberechnung (1. Iteration) . . . . .	22
9	Fahrtverlaufberechnung (2. Iteration) . . . . .	24
10	Fahrtverlaufberechnung (3. Iteration) . . . . .	25
11	Fahrtverlaufberechnung (4. Iteration) . . . . .	25
12	Einteilung des Fahrtverlaufs in <i>\$subsections</i> . . . . .	26
13	Fahrtverlauf unter Einhaltung der Mindestzeit . . . . .	27
14	Fahrtverlauf mit reduzierter Geschwindigkeit unter Einhaltung der Ankunftszeit	29
15	speedFineTuning_1 . . . . .	30
16	speedFineTuning_2 . . . . .	31
17	Finaler Fahrtverlauf . . . . .	32
18	Fahrtverlauf für eine Beispielrechnung . . . . .	35

## Tabellenverzeichnis

1	Beschreibung der wichtigsten Tabellen der <i>MySQL</i> -Datenbank . . . . .	3
2	Aufbau eines Arrays in <i>next_betriebsstellen_data</i> . . . . .	8
3	Aufbau des <i>zeiten</i> -Arrays in <i>next_betriebsstellen_data</i> . . . . .	9
4	Aufbau eines Eintrags aus dem <i>\$allTimes</i> -Array . . . . .	12
5	Verhalten eines Fahrzeugs nach dem Erreichen des Ziels . . . . .	13
6	Beschreibung der verwendeten Variablen für die Fahrtverlaufsberechnung . .	16
7	Exemplarische Infrastrukturabschnitte . . . . .	18
8	Exemplarische Zugdaten . . . . .	19
9	Aufbau des <i>\$subsection</i> -Arrays . . . . .	28
10	Geschwindigkeiten, Strecken und Zeiten vor und nach der Verzögerung . . . .	30
11	Geschwindigkeiten, Strecken und Zeiten vor und nach der Verzögerung nach der Anpassung . . . . .	31
12	<i>\$keyPoints</i> am Beispiel der Fahrt von XAB nach XZO . . . . .	34
13	Fahrtverlauf am Beispiel der Fahrt von XAB nach XZO . . . . .	35

## Code-Beispiele

1	Deklaration und Initialisierung der Cache Variablen (main.php) . . . . .	7
2	<i>getCalibratedPosition()</i> (main.php) . . . . .	15
3	<i>getVMaxBetweenTwoPoints()</i> . . . . .	21
4	<i>getBrakeDistance()</i> . . . . .	21
5	<i>checkIfTrainIsToFastInCertainSections()</i> . . . . .	23
6	<i>safeTrainChangeToJSONFile()</i> . . . . .	38
7	<i>getBrakeDistance()</i> . . . . .	41
8	<i>getBrakeTime()</i> . . . . .	42



## Abkürzungsverzeichnis

**EBuEf** Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld

**Infra-Abschnitt** Infrastrukturabschnitt

## Glossar

**Echtzeitdaten** Die Echtzeitdaten beschreiben für jedes Fahrzeug die Position und Geschwindigkeit bei Beschleunigungen und Verzögerungen in  $2km/h$ -Schritten und bei konstanter Geschwindigkeit in in regelmäßigen Distanz-Intervallen in Abhängigkeit von der Simulationszeit.

**Fahrtverlauf** Der Fahrtverlauf beschreibt die Positionen, Zeiten und Geschwindigkeiten für alle Beschleunigungs- und Bremsvorgänge und den Fahrten auf einer konstanten Geschwindigkeit eines Fahrzeugs von der aktuellen Position bis zum nächsten Halt.

# 1 Einleitung

In dieser Arbeit wird eine Fahrzeugsteuerung für das EBUf entwickelt und dokumentiert. Das EBUf ist eine Einrichtung des Fachgebiets Bahnbetrieb und Infrastruktur der Technischen Universität Berlin und bietet die Möglichkeit, theoretisch erlerntes Wissen realitätsnah zu vertiefen.<sup>1</sup>

Für die Dokumentierung werden in Kapitel 2 die Grundlagen, die Ausgangssituation, die Herangehensweise und die Ziele beschrieben. Die Funktionsweise der Fahrzeugsteuerung wird in Kapitel 3 in chronologischer Form beschrieben, wobei im Kapitel 4 die Ermittlung des Fahrtverlaufs im Detail beschrieben ist. Damit die Allgemeingültigkeit der Fahrtverlaufsrechnung in Kapitel 4 gezeigt werden kann, wurden Infrastrukturdaten verwendet, die in dieser Form im EBUf nicht vorkommen. Aus diesem Grund wird in Kapitel 5 die Funktionsweise anhand eines Beispiels im EBUf gezeigt und mit Hilfe der in Kapitel 7 hergeleiteten Formeln auf die Richtigkeit überprüft.

Der Quellcode der Fahrzeugsteuerung befindet sich im Anhang der Arbeit und wird nur in Ausschnitten innerhalb der Arbeit abgebildet, wenn das der Erläuterung der Funktionsweise dient. Im Quellcode der Fahrzeugsteuerung wird auf Funktionen zugegriffen, welche bereits vorhanden waren und als Grundlage gedient haben. Diese Funktionen werden bei der Erwähnung mit einem Sternchen (\*) gekennzeichnet und nicht näher erläutert.

---

<sup>1</sup> *EBUf: Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld Berlin* (2021)

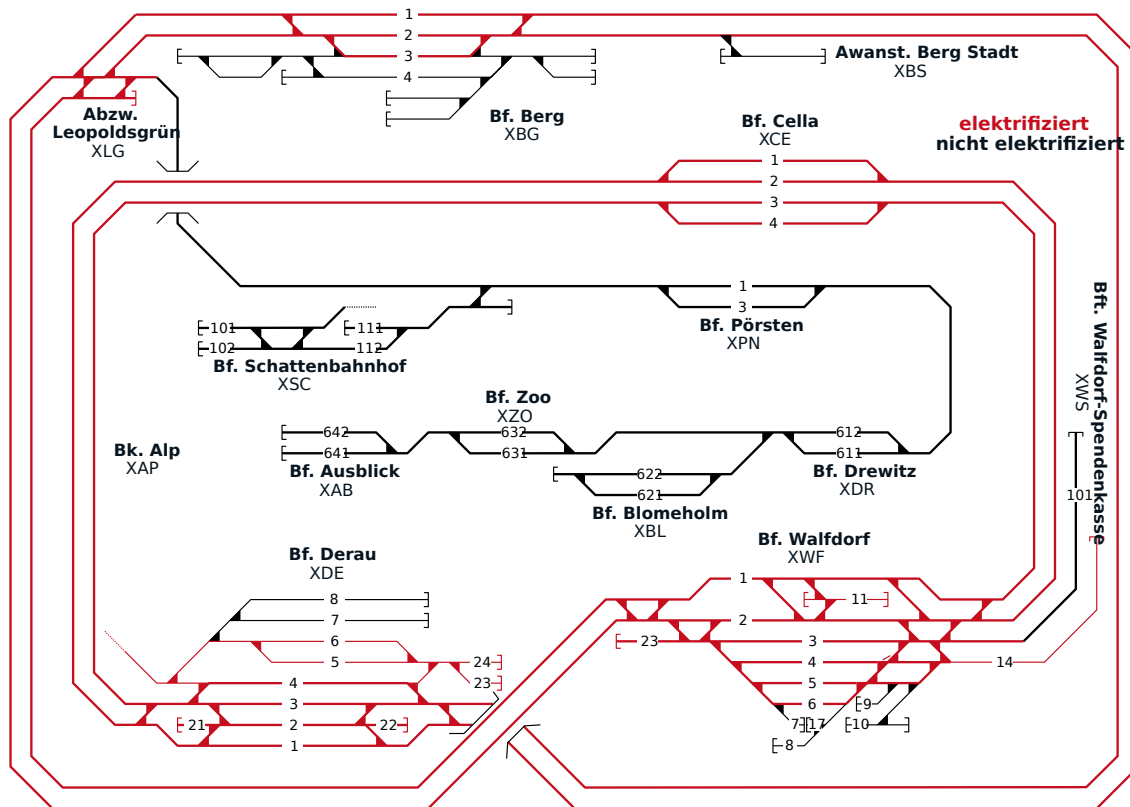


Abbildung 1: Schienennetz des EBUefs (Quelle: [www.ebuef.de/das-betriebsfeld/stellwerke](http://www.ebuef.de/das-betriebsfeld/stellwerke); Letzter Zugriff am: 4. September 2021)

## 2 Grundlagen

### 2.1 Aufbau des Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfelds

Das Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld (EBuEf) ist unterteilt in ein einglisiges nicht-elektrifiziertes und ein zweigleisiges elektrifiziertes Streckennetz, welche über die Betriebsstelle Leopoldgrün miteinander verbunden sind. In der Abbildung 1 ist das einglisige Netz in schwarz dargestellt und die zweigleisige Hauptstrecke in rot. Das einglisige Netz ist in Infrastrukturabschnitte (Infra-Abschnitte) - welche mit Blockstrecken vergleichbar sind und eine Zugfolge im festen Raumabstand ermöglichen - eingeteilt.<sup>2</sup> Die Infra-Abschnitte sind mit der RailCom-Technik ausgestattet, welche über die Decoder in den Fahrzeugen den aktuellen Infra-Abschnitt ermittelt und diesen in der *fma*-Tabelle der *MySQL*-Datenbank speichert.<sup>3</sup> Zudem sind in der Datenbank alle Informationen über die Infrastruktur gespeichert. Für die Fahrzeugsteuerung essentiell sind dabei die aktuellen Signalbegriffe aller Signale und die Längen der Infra-Abschnitte.<sup>4</sup>

Für den Betrieb des EBUefs muss eine neue Session angelegt werden und gestartet werden. Der Start der Session muss vor dem Start der Fahrzeugsteuerung erfolgen, da die Fahrzeug-

<sup>2</sup> Pacht (2021, S. 7, 42)

<sup>3</sup> RailCom - DCC-Rückmeldeprotokoll (2019)

<sup>4</sup> EBUef: Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld Berlin (2021)

Name	Beschreibung
<i>fahrplan_sessionfahrplan</i>	Fahrpläne der Session für alle Fahrzeuge
<i>fahrzeuge</i>	Fahrzeuge
<i>fahrzeuge_baureihen</i>	Baureiheninformationen
<i>fahrzeuge_daten</i>	Statische Daten der Fahrzeuge
<i>fma</i>	Freimeldeabschnitte
<i>gbt_fma</i>	Zuordnung der GBT-Abschnitte, FMA-Abschnitte und Infra-Abschnitte
<i>infra_daten</i>	Statische Daten der Infrastruktur
<i>infra_zustand</i>	Zustand der Infrastruktur
<i>signale</i>	Standorte der Signale

Tabelle 1: Beschreibung der wichtigsten Tabellen der *MySQL*-Datenbank

steuerung beim Start alle benötigten Informationen der Session einliest.

## 2.2 Aufbau der *MySQL*-Datenbank

Alle Informationen und Daten, die für den Betrieb des EBUfs benötigt werden, werden in einer *MySQL*-Datenbank gespeichert. In der Tabelle 1 werden die wichtigsten Tabellen der Datenbank aufgelistet und kurz beschrieben.

## 2.3 Ziele und Prioritätssetzung der Fahrzeugsteuerung

An oberster Priorität der Fahrzeugsteuerung steht eine möglichst effiziente Umsetzung und das Einhalten der vorgegebenen Fahrpläne. Für eine effiziente Umsetzung wurden die Zugriffe auf die *MySQL*-Datenbank während des laufenden Betriebs der Fahrzeugsteuerung möglichst minimal gehalten und Teile des Quellcodes, welche häufiger verwendet werden, in Funktionen ausgelagert. Die Ermittlung der Fahrtverläufe berücksichtigt für die Einhaltung der Fahrplanzeiten neben den Ankunfts- und Abfahrtszeiten auch die aktuelle Verspätung und versucht diese auszugleichen.

An zweiter Stelle der Prioritätssetzung steht das energieeffiziente Fahren. Damit die Fahrten möglichst energieeffizient sind, fahren die Züge die kleinstmögliche Geschwindigkeit, bei der das Ziel ohne eine Verspätung erreicht wird. Sollte auch bei der größtmöglichen Geschwindigkeit das Ziel mit einer Verspätung erreicht werden, wird diese Geschwindigkeit gewählt und die Verspätung so möglichst gering gehalten. In dem Fall, dass es für ein Fahrzeug möglich ist mit einer geringeren Geschwindigkeit zu fahren, als die maximal zulässige Geschwindigkeit, wird die Geschwindigkeit möglichst am Ende des Fahrtverlaufs reduziert. Dadurch hat das Fahrzeug, für den Fall einer Fahrstraßenänderung oder Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, möglichst viel Zeitpuffer.

## 2.4 Fahrdynamik

In der Realität gibt es vier Bewegungsphasen, in denen sich ein Fahrzeug befinden kann:

- Anfahren
- Beharrungsfahrt
- Auslauf
- Bremsen

Beim Anfahren ist die Antriebskraft größer als die Summe der Widerstandskräfte, wodurch das Fahrzeug beschleunigt und in der Beharrungsfahrt entspricht die Antriebskraft der Summe der Widerstandskräfte, wodurch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs konstant bleibt. Für die Reduzierung der Geschwindigkeit kann entweder die Antriebskraft gleich null sein oder eine Bremskraft aufgewendet werden.<sup>5</sup>

Die Widerstandskräfte setzen sich aus dem Streckenwiderstand, dem Fahrzeugwiderstand und dem Anfahrwiderstand zusammen und lassen sich mit den gegebenen Daten nicht vollständig berechnen.<sup>6</sup> Aus diesem Grund werden die Widerstandskräfte bei der Fahrzeugsteuerung nicht berücksichtigt und die Auslaufphase, welche nur von der Widerstandskräften abhängig ist, wird ebenfalls nicht berücksichtigt.

## 2.5 Aufbau des Projekts

In der Darstellung 2 ist der Aufbau des gesamten Projekts und die für die Arbeit relevanten Dateien/Ordner dargestellt. Dateien, welche bereits vorhanden waren, sind die Funktionen mit einem Sternchen (\*) markiert. Die für die Fahrzeugsteuerung essentiellen Dateien befinden sich innerhalb des *php*-Ordners, wobei die Datei *main.php* die Fahrzeugsteuerung startet und für die Berechnung der Fahrtverläufe auf die Dateien in dem *functions*-Unterordner zugreift. Die benötigten Dateien für den Zugriff auf die *SQL*-Datenbank befinden sich in dem *config*-Unterordner und global festgelegte Parameter sind in der Datei *globalVariables.php* abgespeichert. Für die Visualisierung (siehe Kapitel 6) der Fahrtverläufe werden die Dateien aus dem *matlab*- und *json*-Ordner benötigt.

---

<sup>5</sup> Pachl (2021, S. 23 ff.)

<sup>6</sup> Pachl (2021, S. 25 ff.)

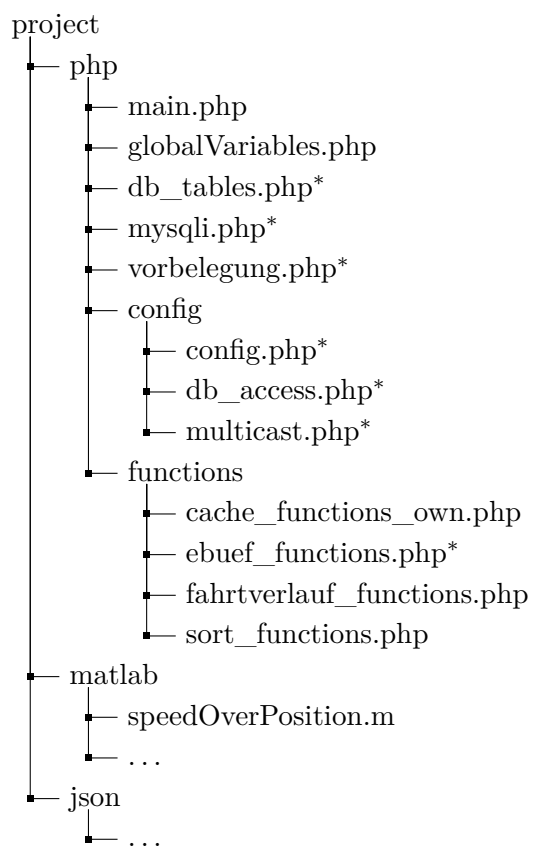


Abbildung 2: Aufbau der Dateistrukturen

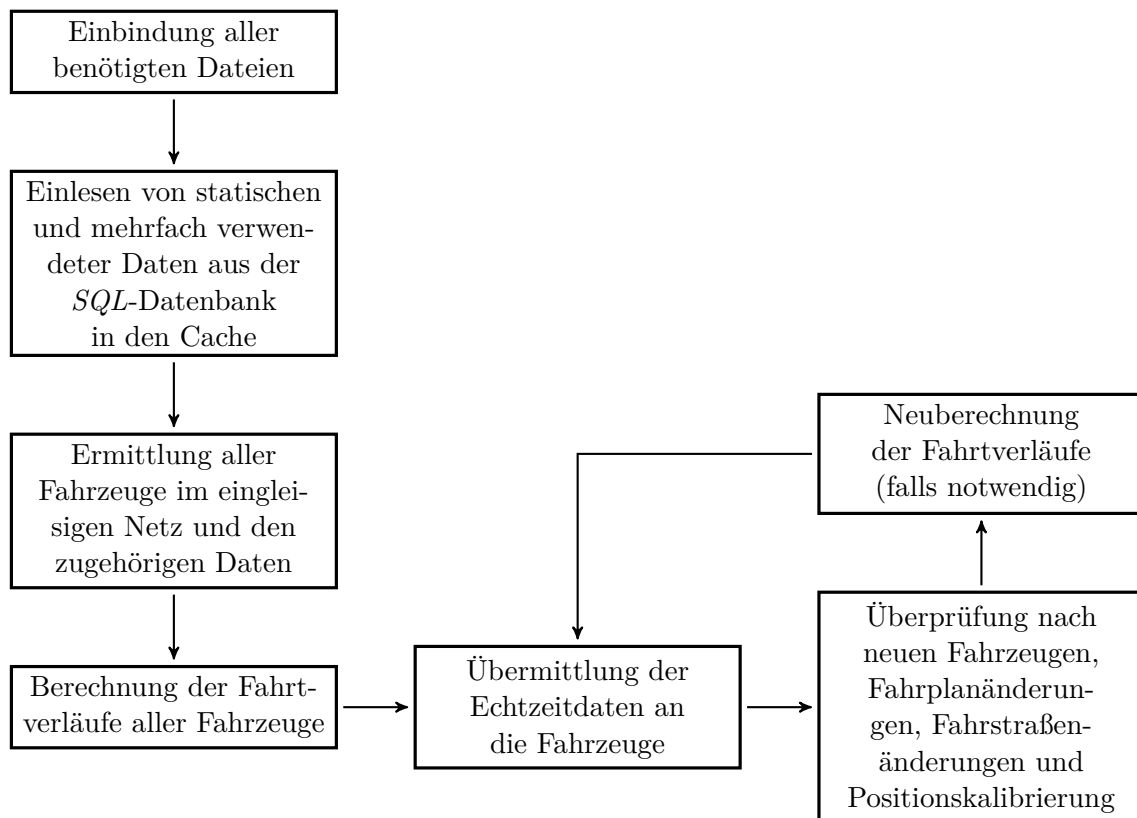


Abbildung 3: Ablauf des Hauptprogramms

### 3 Ablauf des Hauptprogramms

Um die Fahrzeugsteuerung zu starten, muss die Datei *main.php* ausgeführt werden. Obligatorisch für die Fahrzeugsteuerung ist die Abschnittsüberwachung (*abschnittueberwachung.php*), welche vor dem Start der Fahrzeugsteuerung ausgeführt werden muss. Auf die genaue Verwendung der Abschnittsüberwachung wird in Kapitel 3.6 eingegangen. In der folgenden Abbildung 3 ist der schematische Ablauf des Hauptprogramms abgebildet, welcher auch grob dem Aufbau dieses Kapitel dient.

#### 3.1 Einlesen von statischen und mehrfach verwendeten Daten aus der SQL-Datenbank in den Cache

Die Fahrzeugsteuerung benötigt für viele Berechnungen Daten aus der *SQL*-Datenbank. Damit diese Daten nicht bei jeder Verwendung erneut aus der Datenbank geladen werden müssen und somit die Anzahl an Datenbank-Abfragen möglichst gering gehalten werden kann, werden die wichtigsten Daten beim Programmstart bzw. bei der ersten Verwendung in den Cache geladen (Code-Beispiel 1). Beispielhaft zu nennen sind hierbei *\$cacheInfraLaenge* (Länge aller Infrastrukturabschnitte in Metern [*m*]), *\$cacheHaltepunkte* (zugehörige Infrastrukturabschnitte für alle Betriebsstellen und Richtung), *\$cacheZwischenhaltepunkte* (zugehörige Infrastrukturabschnitte für alle Zwischen-Betriebsstellen, die nur einem Infrastrukturabschnitt



zugeordnet sind), *\$cacheGbtToInfra* (Zuordnung der Infrastrukturabschnitte zu den GBT-Abschnitten) und *\$cacheInfraToGbt* (Zuordnung der GBT-Abschnitte zu den Infrastrukturabschnitten).

```

1 $cacheInfranachbarn = createCacheInfranachbarn();
2 $cacheInfradaten = createCacheInfradaten();
3 $cacheSignaldaten = createCacheSignaldaten();
4 $cacheInfraLaenge = createCacheInfraLaenge();
5 $cacheHaltepunkte = createCacheHaltepunkte();
6 $cacheZwischenhaltepunkte = createCacheZwischenhaltepunkte();
7 $cacheInfraToGbt = createCacheInfraToGbt();
8 $cacheGbtToInfra = createCacheGbtToInfra();
9 $cacheFmaToInfra = createCacheFmaToInfra();
10 $cacheInfraToFma = array_flip($cacheFmaToInfra);
11 $cacheFahrplanSession = createCacheFahrplanSession();
12 $cacheSignalIDToBetriebsstelle = createCacheSignalIDToBetriebsstelle();
13 $cacheFahrzeugeAbschnitte = createCacheFahrzeugeAbschnitte();
14 $cacheIDTDecoder = createCacheIDTDecoderToAdresse();
15 $cacheDecoderToID = array_flip($cacheIDTDecoder);
16 $cacheAdresseToID = array(); // Filled with data in getAllTrains()
17 $cacheIDToAdresse = array(); // Filled with data in getAllTrains()

```

Code-Beispiel 1: Deklaration und Initialisierung der Cache Variablen (main.php)

### 3.2 Ermittlung aller Fahrzeuge im eingleisigen Netz und den zugehörigen Daten

#### ALLTRAINS BESCHREIBEN!

Das eingleisige Netz des EBUf kann mittels der Railcon Technik und den Decodern in den Fahrzeugen ermitteln, welches Fahrzeug aktuell welche Infrastrukturabschnitte belegt. Belegt ein Fahrzeug einen Infrastrukturabschnitt, wird in der Tabelle *fma* in der Spalte *decoder\_adresse* die Adresse des Fahrzeugs hinterlegt und in der *infra\_zustand*-Tabelle in der Spalte *dir* der Wert 1 hinterlegt. Durch diese Informationen werden alle Fahrzeuge, die sich beim Start des Programms im eingleisigen Netz befinden, mit der Funktion *findTrainsOnTheTracks()* eingelesen und die zugehörige Adresse wird der Funktion *prepareTrainForRide()* übergeben. Für jedes Fahrzeug, welches dieser Funktion übergeben wird, wird in dem Array *\$allUsedTrains* ein neuer Eintrag erstellt, wobei der Index der ID des Zugs entspricht. Dabei wird für jedes Fahrzeug die exakte Position bestimmt und der Fahrplan geladen. Bei der Positionsbestimmung wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge direkt vor dem zugehörigen Signal stehen, da ansonsten die Position nicht exakt ermittelt werden kann. Belegt ein Fahrzeug mehrere Infrastrukturabschnitte, wird mittels der Fahrtrichtung der Züge der Abschnitt ermittelt, in dem sich der Zugkopf befindet. Die aktuelle Position wird daraufhin mit dem Infrastrukturabschnitt und der relativen Position (in Metern) innerhalb des Abschnitts angegeben. Dadurch, dass davon ausgegangen wird, dass das Fahrzeug sich direkt vor dem Signal befindet, entspricht die relative Position der Abschnittslänge. Für die Überprüfung, ob ein Fahrzeug nach Fahrplan fährt oder nicht wird die Funktion *getFahrzeugZugIds()*\* aufgerufen. Wenn ein Fahrzeug ohne Fahrplan unterwegs ist (Rückgabewert der Funktion *getFahrzeugZugIds()*\* ist ein leeres Array), wird in dem *\$allUsedTrains*-Array dem Fahrzeug unter dem Eintrag *operates\_on\_timetable* der Wert *false* zugewiesen. In dem Fall, dass für das Fahrzeug ein Fahrplan hinterlegt ist (Rückgabewert der Funktion *getFahrzeugZugIds()*\* ist ein

Bezeichnung	Funktion
<i>is_on_fahrstrasse</i> (Boolescher Wert)	Befindet sich die Betriebsstelle auf der Fahrstraße
<i>betriebsstelle</i> (String)	Name der Betriebsstelle
<i>zeiten</i> (Array)	Verspätung und Ankunfts- und Abfahrtszeiten (siehe Tabelle 3)
<i>haltepunkte</i> (Array)	Alle zugehörigen Infrastrukturabschnitte
<i>fahrplanhalt</i> (Boolescher Wert)	Ist diese Betriebsstelle ein Fahrplanhalt

Tabelle 2: Aufbau eines Arrays in *next\_betriebsstellen\_data*

Array mit allen Zug-IDs), wird mittels der Funktion *getNextBetriebsstellen()* der Fahrplan für den ersten Eintrag des Zug-ID Arrays aus der Datenbank geladen. Der Fahrplan wird in dem *\$allUsedTrains*-Array in dem *next\_betriebsstellen\_data*-Array hinterlegt, welches für jede Betriebsstelle ein Array mit den benötigten Daten enthält. Die Indizierung dieser Einträge entspricht dabei den natürlichen Zahlen in aufsteigender Reihenfolge angefangen bei der 0. Hierbei werden alle Betriebsstellen hinzugefügt, bei denen ein fahrplanmäßiger Halt vorgesehen ist. Damit ein Fahrzeug nicht erst losfahren kann, wenn die Fahrstraße bis zur nächsten Betriebsstelle gestellt ist, werden auch alle Betriebsstellen hinzugefügt, welche eindeutig einem Infrastrukturabschnitt zugeordnet sind *\$cacheZwischenhaltepunkte*. Das hat den Vorteil, dass Fahrzeuge losfahren können, auch wenn die Fahrstraße noch nicht bis zum nächsten fahrplanmäßigen Halt gestellt ist, das aber nur machen, wenn sichergestellt ist, dass die Zwischen-Betriebsstelle auf dem Weg zum nächsten fahrplanmäßigen Halt liegt. In Tabelle 2 ist für eine bessere Übersicht der Aufbau eines Eintrags abgebildet. Für die Ermittlung der Ankunfts- und Abfahrtszeiten wird die Funktion *getFahrplanzeiten()*\* aufgerufen, welche als Parameter den Namen der Betriebsstelle und die Zug-ID übergeben bekommt. Die zurückgegebenen Daten werden unter dem Eintrag *zeiten* abgespeichert und um den Eintrag *verspaetung* ergänzt. Zudem werden die Ankunfts- und Abfahrtszeiten in das Unixtimestamp-Format mittels der Funktion *getUhrzeit()*\* umgewandelt. Der Aufbau des *zeiten*-Arrays ist in der Tabelle 3 dargestellt. Für die Überprüfung, ob eine Betriebsstelle durch die aktuelle Fahrstraße erreichbar ist, müssen den Betriebsstellen die Infrastrukturabschnitte zugeordnet werden. Dafür werden mittels des *\$cacheHaltepunkte*-Arrays, jeder Betriebsstelle mögliche Infrastrukturabschnitte zugeordnet. Das *\$cacheHaltepunkte*-Array ist so aufgebaut, dass jeder Betriebsstelle für jede Richtung alle Infrastrukturabschnitte zugeordnet sind, welche ein Ausfahrtsignal zugeordnet ist.

### 3.3 Berechnung der Fahrtverläufe aller Fahrzeuge

Nachdem für alle Fahrzeuge die Fahrplandaten (falls vorhanden) hinterlegt sind, wird für jedes Fahrzeug überprüft, wie die Fahrstraße aktuell eingestellt ist. Dafür wird die Funktion *calculateNextSections()* aufgerufen und das Array *\$allUsedTrains* für jedes Fahrzeug um die Einträge *next\_sections*, *next\_lengths* und *next\_v\_max* als Array ergänzt. Diese Arrays speichern die IDs, Längen und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten der nächsten Infrastrukturabschnitte ab, welche auf der Fahrstraße liegen. Im ersten Schritt wird überprüft, ob das Fahrzeug aktuell in einem Abschnitt steht, welchem ein auf Halt stehendes Signal zugeordnet ist.

Bezeichnung	Funktion
<i>ankunft_soll</i> (String)	Ankunftszeit (hh:mm:ss)
<i>abfahrt_soll</i> (String)	Abfahrtszeit (hh:mm:ss)
<i>ankunft_soll_timestamp</i> (Integer)	Ankunftszeit (Unixtimestamp)
<i>abfahrt_soll_timestamp</i> (Integer)	Abfahrtszeit (Unixtimestamp)
<i>fahrtrichtung</i> (Array)	Fahrtrichtung (Eintrag aus der Tabelle <i>fahrplan_sessionfahrplan</i> )
<i>ist_durchfahrt</i> (Integer)	Fahrplanhalt (Eintrag aus der Tabelle <i>fahrplan_sessionfahrplan</i> )
<i>used_haltepunkt</i> (Integer)	Infrastrukturabschnitt der Betriebsstelle, welcher auf der Fahrstraße liegt
<i>wendet</i> (Integer)	Wendeauftrag nach Erreichen der Betriebsstelle (Eintrag aus der Tabelle <i>fahrplan_sessionfahrplan</i> )
<i>verspaetung</i> (Integer)	Verspätung, mit der das Fahrzeug diese Betriebsstelle erreicht hat

Tabelle 3: Aufbau des *zeiten*-Arrays in *next\_betriebsstellen\_data*

Wenn das der Fall ist, wird den Arrays *next\_sections*, *next\_lenghts* und *next\_v\_max* ein leeres Array zugeordnet. Wenn das Fahrzeug aktuell nicht in einem Abschnitt steht, welchem ein auf Halt stehendes Signal zugeordnet ist, wird über die Funktion *getNaechsteAbschnitte()*\* die aktuelle Fahrstraße ermittelt und der Rückgabewert der Funktion *getNaechsteAbschnitte()*\* in dem *\$allUsedTrains*-Array unter dem Eintrag *last\_get\_naechste\_abschnitte* gespeichert. Diese Speicherung ist notwendig, um zu überprüfen, ob sich die Fahrstraße geändert hat. Nach der Ermittlung der Fahrstraße und der Zuordnung der Infrastrukturabschnitte zu den Betriebsstellen wird im nächsten Schritt überprüft, welche Betriebsstellen des Fahrplans auf der aktuellen Fahrstraße liegen. Dafür wird mittels der Funktion *checkIfFahrstrasseIsCorrect()* über alle Betriebsstellen der Fahrzeuge in aufsteigender Reihenfolge iteriert und die *haltepunkte* mit den Werten aus dem Array *next\_sections* verglichen. Bei jedem Aufruf der Funktion wird dem Fahrzeug anfangs (falls das Fahrzeug nach Fahrplan fährt) in dem Array *\$allUsedTrains* der Eintrag *fahrstrasse\_is\_correct* der Wert *false* zugewiesen und erst dann auf *true* gesetzt, wenn eine Betriebsstelle auf der Fahrstraße liegt. Beim Iterieren über die Betriebsstellen wird jeder Betriebsstelle anfangs der Wert *false* für den Eintrag *is\_on\_fahrstrasse* zugeordnet. Sobald ein Infrastrukturabschnitt einer Betriebsstelle in dem Array *next\_sections* ist, wird dem Eintrag *is\_on\_fahrstrasse* der Wert *true* zugewiesen und unter dem Eintrag *used\_haltepunkt* der Infrastrukturabschnitt gespeichert, welche auf der Fahrstraße liegt. Bei dem Iterieren über alle Betriebsstellen werden nur die Betriebsstellen beachtet, welche das Fahrzeug noch nicht erreicht hat. Dies wird über den Eintrag *angekommen* (*true/false*) jeder Betriebsstelle ermittelt. Für Fahrzeuge ohne Fahrplan wird der Eintrag *fahrstrasse\_is\_correct* direkt auf *true* gesetzt.

Durch die Ermittlung der Fahrstraße kann für jedes Fahrzeug der Fahrtverlauf berechnet werden. Für die Berechnung der Fahrtverläufe wird für jedes Fahrzeug die Funktion *calculateFahrverlauf()* aufgerufen und innerhalb der Funktion überprüft, ob die Fahrstraße aktuell richtig eingestellt ist (*fahrstrasse\_is\_correct == true*). Wenn die Fahrstraße korrekt eingestellt ist, wird zwischen Fahrzeugen unterschieden, die nach Fahrplan unterwegs sind

und Fahrzeugen, die keinen Fahrplan haben. Für Fahrzeuge mit Fahrplan muss im ersten Schritt der nächste Halt ermittelt werden. Dafür wird mit einer *for*-Schleife über alle in *next\_betriebsstellen\_data* hinterlegten Betriebsstellen iteriert, die das Fahrzeug noch nicht angefahren hat (*angekommen == false*), die auf der Fahrstraße liegen (*is\_on\_fahrstrasse == true*) und die ein fahrplanmäßiger Halt sind (*fahrplanhalt == true*). Sobald eine Betriebsstelle gefunden wurde, wird die *for*-Schleife abgebrochen und der Index der Betriebsstelle als *\$nextBetriebsstelleIndex* abgespeichert. Sollte unter den nächsten Betriebsstellen keine dabei sein, auf die die Kriterien zutreffen, wird in einer zweiten *for*-Schleife nach den selben Kriterien (außer dem des fahrplanmäßigen Halts) nach einer Betriebsstelle gesucht und sobald eine Betriebsstelle gefunden wurde, wird die Schleife abgebrochen und der Index der Betriebsstelle unter der Variablen *\$nextBetriebsstelleIndex* abgespeichert. In dem Fall, dass keine nächste Betriebsstelle ermittelt werden konnte und das Fahrzeug aktuell eine Geschwindigkeit hat, für die gilt:  $v > 0\text{km/h}$ , so wird eine Gefahrenbremsung eingeleitet (siehe Kapitel 4.8).

Für alle Fahrzeuge, für die eine nächste Betriebsstelle ermittelt werden konnte, werden im Folgenden alle notwendigen Daten ermittelt. Dazu zählt, ob die Fahrzeuge nach dem Erreichen der Betriebsstelle einen Wendeauftrag erhalten sollen (*wendet*-Eintrag der nächsten Betriebsstelle), in welchen Infrastrukturabschnitt das Fahrzeug zum Stehen kommen soll (*used\_haltepunkt*-Eintrag der nächsten Betriebsstelle) und an welcher relativen Position innerhalb des Abschnitts das Fahrzeug angehalten soll (Länge des Infrastrukturabschnitts). Neben den Informationen zur Position, müssen noch die Informationen zur Zeit ermittelt werden. Dafür reicht es nicht aus, die Ankunfts- und Abfahrtszeit aus den Daten der Betriebsstelle zu übernehmen, denn in dem Fall einer Verspätung beispielsweise, würde das Fahrzeug zu kurz an einer Betriebsstelle anhalten. Deswegen, wird im ersten Schritt die zuletzt angefahren Betriebsstelle unter der Variablen *\$prevBetriebsstelle* abgespeichert. Sollte die nächste Betriebsstelle der erste fahrplanmäßige Halt sein (Ankunftszeit nicht definiert), so wird als Start- und Zielzeit (*\$startTime* und *\$endTime*) die aktuelle Simulationszeit genommen. Wenn die nächste Betriebsstelle nicht dem ersten fahrplanmäßigen Halt entspricht, wird als Zielzeit die Ankunftszeit der Betriebsstelle festgelegt und als Startzeit die Abfahrtszeit der vorherigen Betriebsstelle (*\$prevBetriebsstelle*) plus die eingetragene Verspätung der vorherigen Betriebsstelle. Sollte es zu dem Zeitpunkt der Berechnung keine vorherige Betriebsstelle geben (*\$prevBetriebsstelle == null*), so wird als Startzeit die aktuelle Simulationszeit gewählt. Im zweiten Schritt wird überprüft, ob die Startzeit kleiner als die aktuelle Simulationszeit ist und wenn das der Fall ist wird die Startzeit gleich der Simulationszeit gesetzt. Im dritten Schritt wird überprüft, ob die Startzeit kleiner ist als die frühestmögliche Startzeit des Fahrzeugs (*earliest\_possible\_start\_time*-Eintrag des Fahrzeugs) und dieser Zeit gleichgesetzt, falls das der Fall ist. Der Eintrag *earliest\_possible\_start\_time* der Züge gibt die frühestmögliche Abfahrtszeit der Züge an und wird zum Beispiel bei einem Wendeauftrag auf die aktuelle Simulationszeit gesetzt und um 30s erhöht.

Allen Zügen, die ohne Fahrplan unterwegs sind, wird als Ziel-Infrastrukturabschnitt der letzte Infrastrukturabschnitt aus dem Array *last\_get\_naechste\_abschnitte* verwendet, welchem ein Signal zugeordnet ist. Die Ziel-Position innerhalb des Abschnitts entspricht dabei ebenfalls der Länge des Abschnitts und die Überprüfung, ob ein Wendeauftrag nach dem Erreichen des Ziel-Infrastrukturabschnitt dem Fahrzeug übermittelt werden soll, wird von dem Signalbegriff abgeleitet. Die Start- und Zielzeit entsprechen der aktuellen Simulationszeit, bzw. der *earliest\_possible\_start\_time*. Sollte keinem der nächsten Infrastrukturabschnitten aus dem *last\_get\_naechste\_abschnitte*-Array ein Signal zugeordnet sein und die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs ist größer als  $0\text{km/h}$ , so wird eine Gefahrenbremsung ein-

geleitet. Andernfalls wird die Funktion an dieser Stelle abgebrochen und es wird erst dann wieder versucht einen Fahrtverlauf zu berechnen, wenn sie die Fahrstraße geändert hat.

Nach der Ermittlung aller notwendigen Daten für die Berechnung des Fahrtverlaufs, wird für jedes Fahrzeug die Funktion *updateNextSpeed()* aufgerufen, welche den Fahrtverlauf berechnet und in Kapitel 4 im Detail beschrieben wird. Wichtig an dieser Stelle ist allerdings der Rückgabewert der Funktion. Dieser gibt für Fahrzeuge mit Fahrplan die Verspätung in Sekunden an, mit der das Fahrzeug die Ziel-Betriebsstelle erreicht, und wird unter dem Eintrag *verspaetung* der zugehörigen Betriebsstelle gespeichert. Ob ein Fahrzeug eine Betriebsstelle mit einer Verspätung erreicht oder nicht kann nur ermittelt werden, wenn die Ankunftszeit definiert ist. Für den ersten fahrplanmäßigen Halt ist in der *SQL*-Tabelle *fahrplan\_sessionfahrplan* allerdings keine Ankunftszeit hinterlegt. Für den Fall, dass für ein Fahrzeug eine Fahrplan hinterlegt ist, das Fahrzeug in einem Infrastrukturabschnitt steht, welcher keiner Betriebsstelle des Fahrplans zugeordnet ist und die Fahrstraße so eingestellt ist, dass das Fahrzeug den ersten fahrplanmäßigen Halt anfahren könnte, kann nicht ermittelt werden, ob das Fahrzeug diese Betriebsstelle mit einer Verspätung erreicht. Aus diesem Grund, wurde in der Datei *globalVariables.php* die Variable *\$globalFirstHaltMinTime* definiert, die angibt, wie lange ein Fahrzeug an der ersten Betriebsstelle des Fahrplans halten sollte. Wenn diese Zeit eingehalten werden kann, wird das Fahrzeug (sofern die Fahrstraße richtig eingestellt ist) zur Abfahrtszeit die Betriebsstelle verlassen. Andernfalls gilt für die Verspätung der ersten Betriebsstelle:

$$\text{Verspätung} = \text{Ankunftszeit} + \$globalFirstHaltMinTime - \text{Abfahrtszeit}$$

### 3.4 Übermittlung der Echtzeitdaten an die Fahrzeuge

Nach dem Aufruf der Funktion *updateNextSpeed()* sind für alle Fahrzeuge, für die ein Fahrtverlauf berechnet wurde, in dem Array *\$allTimes* alle Echtzeitdaten enthalten. Das Array beinhaltet für jedes Fahrzeug, für das Echtzeitdaten ermittelt wurden, wiederum ein Array. Dieses Array ist unter der Adresse des Zuges abgespeichert und beinhaltet alle Echtzeitdaten eines Zuges. Der Aufbau eines Array mit Echtzeitdaten ist in Tabelle 4 dargestellt. In einer *while*-Schleife wird über alle Einträge des *\$allTimes*-Arrays iteriert und überprüft, ob der erste Eintrag eines Fahrzeugs Echtzeitdaten enthält, welche an das Fahrzeug übermittelt werden müssen. Dafür wird der Eintrag *live\_time* mit der aktuellen Simulationszeit verglichen und wenn dieser kleiner ist als die aktuelle Simulationszeit ist, ausgeführt. Nach jedem Durchlauf der *while*-Schleife wird diese mit der Funktion *sleep()* für 0,03s pausiert. An dieser Stelle wurde sich für einen Wert von 0,03s entschieden, da so die Position auf einen Meter genau bestimmt werden kann, wenn das Fahrzeug eine Geschwindigkeit von 120km/h hat.

Wenn für ein Fahrzeug neue Echtzeitinformationen vorliegen, wird im ersten Schritt überprüft, ob der Eintrag *live\_is\_speed\_change true* ist, wenn das der Fall ist, wird die neue Geschwindigkeit über die Funktion *sendFahrzeugbefehl()*\* dem Fahrzeug übergeben und mittels einer Terminal-Ausgabe angezeigt. Im zweiten Schritt wird der aktuelle Infrastrukturabschnitt, die aktuelle Position innerhalb des Abschnitts und die Geschwindigkeit in dem Array *\$allUsedTrains* abgespeichert.

Sollte das Fahrzeug nach dem Ausführen der Echtzeitdaten einen Wendeauftrag bekommen und dementsprechend der Eintrag *wendet true* sein, so wird die Funktion *change-Direction()* aufgerufen. In der Funktion wird neben der Richtungsänderung auch die neue Position ermittelt (die Position eines Fahrzeugs wird immer durch den Zugkopf beschrie-

Bezeichnung	Funktion
<i>live_position</i> (Float)	absolute Position (kann weg...)
<i>live_speed</i> (Integer)	Geschwindigkeit des Fahrzeugs
<i>live_time</i> (Float)	Zeit der Übermittlung an das Fahrzeug
<i>live_relative_position</i> (Integer)	relative Position im Infrastrukturabschnitt
<i>live_section</i> (Integer)	Infrastrukturabschnitt
<i>live_is_speed_change</i> (Boolescher Wert)	Angabe, ob bei diesen Echtzeitdaten die Geschwindigkeit verändert wird
<i>live_target_reached</i> (Boolescher Wert)	Das Fahrzeug hat sein Ziel erreicht
<i>id</i> (String)	ID des Zugs
<i>wendet</i> (Boolescher Wert)	Angabe, ob ein Wendeauftrag durchgeführt werden soll
<i>betriebsstelle</i> (String)	Name der Betriebsstelle des nächsten Halts
<i>live_all_targets_reached</i> (Integer)	Index der Betriebsstelle, die erreicht wurde

Tabelle 4: Aufbau eines Eintrags aus dem *\$allTimes*-Array

ben) und überprüft, ob die Richtung geändert werden kann. Damit die Richtungsänderung auch funktioniert, wenn das Fahrzeug nicht am Ende eines Infrastrukturabschnitts steht, wird für die Ermittlung der neuen Position auf die Fahrzeuglänge der Abstand bis zum Ende Infrastrukturabschnitts addiert (siehe Abbildung 4). Über den aktuellen und die folgenden Infrastrukturabschnitte (ermittelt durch die Funktion *getNaechsteAbschnitte()*\*, des aktuellen Infrastrukturabschnitts und der neuen Richtung) wird iteriert und die Summe der Längen gebildet, bis die Fahrzeuglänge (zuzüglich des Abstands bis zum Ende des Infrastrukturabschnitts) überschritten wird. Der Infrastrukturabschnitt, in dem die Fahrzeuglänge inkl. des Abstands zum ersten Mal überschritten wird, entspricht dem Infrastrukturabschnitt der neuen Position.

Sollte die Länge aller nächsten Abschnitte inklusive des aktuellen Abschnitts in der Sum-

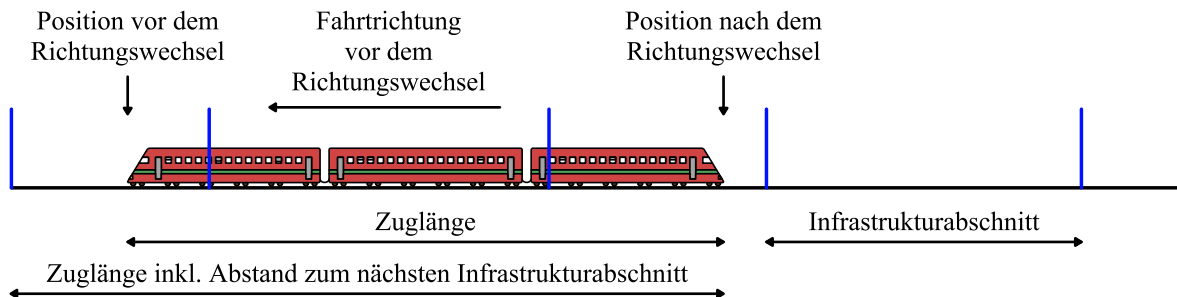


Abbildung 4: Eigene Darstellung der Positionsbestimmung bei einem Richtungswechsel

	Fährt jetzt ohne Fahrplan	Fährt jetzt nach Fahrplan
Führt davor ohne Fahrplan	1. Fall	2. Fall
Führt davor nach Fahrplan	3. Fall	4. Fall

Tabelle 5: Verhalten eines Fahrzeugs nach dem Erreichen des Ziels

me kleiner sein, als die Zuglänge inkl. dem Abstands bis zum Ende des Infrastrukturabschnitts, so kann die neue Position nicht ermittelt werden und dem Fahrzeug wird eine Fehlermeldung übergeben, sodass das Fahrzeug nicht weiter fahren wird. Andernfalls wird die Richtung des Fahrzeugs in der Datenbank geändert und dem Fahrzeug mit der Funktion *sendFahrzeugbefehl()*\* die Geschwindigkeit  $-4\text{km/h}$  (entspricht einem Wendeauftrag) übergeben.

Bei einem Fahrtverlauf kann es vorkommen, dass Fahrzeuge mit Fahrplan auf der Fahrt mehrere Betriebsstellen passieren. Damit dem Eintrag *angekommen* dieser Betriebsstellen auch der Wert *true* zugewiesen werden kann, wird überprüft, ob in den Echtzeitdaten dem Eintrag *live\_all\_targets\_reached* ein Wert zugewiesen ist. Dieser Eintrag enthält - falls das Fahrzeug eine Betriebsstelle erreicht hat - den Index der Betriebsstelle und weist der Betriebsstelle unter dem Eintrag *angekommen* den Wert *true* zu.

Wenn die letzten Echtzeitdaten eines Fahrzeugs übermittelt wurden (*live\_target\_reached == true*) und das Fahrzeug dementsprechend zum Stehen gekommen ist, wird überprüft, wie sich das Fahrzeug als nächstes verhalten soll. Dafür wird zwischen vier Fällen (siehe Tabelle 5) unterschieden. Für die Überprüfung, ob sich der Fahrplan eines Fahrzeugs geändert hat, wird über die Funktion *getFahrzeugZugIds()* die aktuelle Zug-ID abgefragt und mit der vorherigen verglichen. In dem **1. Fall** (alte und neue Zug-ID haben beide den Wert *null*) werden dem Fahrzeug keine neue Daten übergeben und ein neuer Fahrtverlauf wird versucht zu berechnen, sobald die Fahrstraße sich verändert hat. In dem **2. und 4. Fall** wird die neue Zug-ID dem Fahrzeug übergeben, der Eintrag *operates\_on\_timetable* auf *true* gesetzt und die Funktionen *getFahrplanAndPositionForOneTrain()*, *addStopsectionsForTimetable()*, *calculateNextSections()*, *checkIfFahrstrasseIsCorrect()* und *calculateFahrverlauf()* aufgerufen. Abgesehen von der ersten Funktion, werden diese Funktionen auch beim Start des Programms ausgeführt, welcher in Kapitel 3.2 beschrieben wird. Die Funktion *getFahrplanAndPositionForOneTrain()* ähnelt der in Kapitel 3.2 beschriebenen Funktion *prepareTrainForRide()*, fügt aber nur die Position und den Fahrplan hinzu, da alle anderen Daten schon eingelesen wurden. In dem **3. Fall** (die neu ermittelte Zug-ID hat den Wert *null*) wird der Eintrag *operates\_on\_timetable* auf *false* gesetzt und die Funktionen *calculateNextSections()* und *calculateFahrverlauf()* aufgerufen.

### 3.5 Überprüfung nach einer Änderung der Fahrstraße

Für die Überprüfung, ob sich die Fahrstraße der Züge verändert hat, wird in regelmäßigen Abständen die Fahrstraße der Fahrzeuge ermittelt und mit der aktuell hinterlegten Fahrstraße verglichen. Das Intervall, in dem diese Überprüfung stattfindet kann über die Variable *\$timeCheckFahrstrasseInterval* (*main.php*) festgelegt werden und ist standardgemäß auf 3 Sekunden festgelegt. Bei der Ermittlung und dem Vergleich der Fahrstraße wird für jedes Fahrzeug die Funktion *compareTwoNaechsteAbschnitte()* aufgerufen. Innerhalb dieser Funk-

tion wird die in Kapitel 3.2 erläuterte Funktion *calculateNextSections()* aufgerufen, mit dem Unterschied, dass die ermittelten nächsten Infrastrukturabschnitte inkl. der Längen und zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nicht dem Fahrzeug hinterlegt werden, sondern lokal in der Funktion gespeichert. Damit die ermittelten Daten für ein Fahrzeug berechnet werden, aber nicht dem Fahrzeug hinterlegt werden, kann der Parameter *\$writeResultToTrain* der Funktion *calculateNextSections()* (standardgemäß auf *true* gesetzt) auf *false* gesetzt werden.

### 3.6 Neukalibrierung der Fahrzeugposition

Für eine genau Fahrzeugsteuerung ist die aktuelle Position der Züge **essenziell!** und muss während der Fahrt kalibriert werden, damit Ungenauigkeiten ausgeglichen werden können. Dafür werden die Daten aus der *SQL*-Tabelle *fahrzeuge\_abschnitte* benötigt, welche durch Abschnittsüberwachung ermittelt werden. Die Abschnittsüberwachung schreibt für jedes Fahrzeug den aktuellen Infrastrukturabschnitt in die Datenbank, sobald der Zugkopf den Abschnitt befährt inklusive der aktuellen Zeit (Realzeit). Für jedes Fahrzeug, welches durch die Übermittlung der Echtzeitdaten in einen neuen Infrastrukturabschnitt einfährt und seit der Einfahrt in den Abschnitt die Geschwindigkeit nicht verändert hat, wird die aktuelle Position neu ermittelt. Würde sich das Fahrzeug in einem Abschnitt befinden und hätte seit der Einfahrt die Geschwindigkeit angepasst, könnte mit der Fahrzeugsteuerung die Position nicht neu berechnet werden, da nicht bekannt ist, welche Strecke das Fahrzeug seit der Einfahrt zurückgelegt. Aus diesem Grund wird, sobald das Fahrzeug laut den Echtzeitdaten einen neuen Abschnitt befährt und aktuell nicht die Geschwindigkeit anpasst (*live\_is\_speed\_change == false*), dem Eintrag *calibrate\_section\_one* der aktuelle Infrastrukturabschnitt hinzugefügt und dem Eintrag *calibrate\_section\_two* wird ebenfalls der aktuelle Infrastrukturabschnitt hinzugefügt, wenn *calibrate\_section\_one* ein Wert zugewiesen ist und dieser nicht dem aktuellen Infrastrukturabschnitt der Echtzeitdaten entspricht. Sobald das Fahrzeug seine Geschwindigkeit anpasst (*live\_is\_speed\_change == true*), wird beiden Einträgen der Wert *null* zugewiesen. Dadurch ist dem Eintrag *calibrate\_section\_two* nur dann ein Infrastrukturabschnitt zugewiesen, wenn das Fahrzeug in diesem seit der Einfahrt die Geschwindigkeit nicht verändert hat. Wenn dem Eintrag *\$useRecalibration* aus der Datei *globalVariables.php* der Wert *true* zugewiesen ist, wird in regelmäßigen Abständen überprüft, ob eine Neukalibrierung möglich ist. Das Zeitintervall, in dem die Überprüfung stattfindet ist standardmäßig auf 3 Sekunden eingestellt, kann aber mittels der Variable *\$timeCheckCalibrationInterval* (*main.php*) angepasst werden.

Für die Neukalibrierung wird die Funktion *getCalibratedPosition()* (Code-Beispiel 2) aufgerufen, welche als Rückgabewert die aktuelle relative Position und den aktuellen Infrastrukturabschnitt zurückgibt. Sollte die ermittelte Position innerhalb des Abschnitts größer als die Länge des Abschnitts, welche in dem Array *\$cacheInfraLaenge* abgespeichert ist, sein, wird die Neukalibrierung nicht durchgeführt. Der aktuelle Infrastrukturabschnitt wird aus der Tabelle *fahrzeuge\_abschnitte* der Datenbank geladen und durch die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs und die Differenz der Zeit zwischen dem Einfahren in den Abschnitt und der aktuellen Zeit wird die relative Position innerhalb des Abschnitts berechnet.

### 3.7 Ermittlung von neuen Fahrzeugen im eingleisigen Netz

Die Fahrzeugsteuerung betrachtet neben den Fahrzeugen, welche sich schon zu Beginn des Programmstarts im eingleisigen Netz befinden auch alle Fahrzeuge, die nach dem Programm-



```

1 function getCalibratedPosition ($id, $speed) {
2     global $cacheFahrzeugeAbschnitte;
3     $DB = new DB_MySQL();
4     $positionReturn = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'.infra_id',
        ↳ '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'.unixtimestamp' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'" WHERE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'.
        ↳ fahrzeug_id' = $id")[0];
5     unset($DB);
6     if (in_array($id, array_keys($cacheFahrzeugeAbschnitte))) {
7         if ($positionReturn->unixtimestamp == $cacheFahrzeugeAbschnitte[$id]["unixtimestamp"
            ↳ ]) {
8             return array("possible" => false);
9         }
10    }
11    $timeDiff = time() - $positionReturn->unixtimestamp;
12    $position = ($speed / 3.6) * $timeDiff;
13    return array("possible" => true, "section" => $positionReturn->infra_id, "position" =>
        ↳ $position);
14 }

```

Code-Beispiel 2: *getCalibratedPosition()* (main.php)

relative Position = Geschwindigkeit · Zeitdifferenz (aktuelle Zeit – Zeit des Einfahrens)

start hinzugefügt werden. Für alle Fahrzeuge, die beim Start des Programms erkannt werden, wird in dem Array *\$allTrainsOnTheTrack* die zugehörige Adresse gespeichert (*findTrainsOnTheTracks()*). Für die Überprüfung, ob Fahrzeuge entfernt wurden oder neu hinzugekommen sind, wird die Funktion *updateAllTrainsOnTheTrack()* verwendet. Diese Funktion wird - wie die Neukalibrierung in Kapitel 3.6 - alle 3 Sekunden ausgeführt. Bei dem Aufruf der Funktion werden alle Fahrzeuge geladen, denen in der *fma*-Tabelle aus der Datenbank ein Infrastrukturabschnitt zugeordnet ist und mit dem Array *\$allTrainsOnTheTrack* verglichen. Fahrzeugadressen, die nicht in dem Array hinterlegt sind, werden in dem Rückgabe-Array unter dem Eintrag *new* zurückgegeben und alle Fahrzeugadressen, die in dem Array enthalten sind, aber bei dem Aufruf der Funktion keinem Infrastrukturabschnitt zugeordnet sind, werden in dem Rückgabe-Array unter dem Eintrag *removed* zurückgegeben. Nach dem Aufruf der Funktion, werden für alle neuen Fahrzeuge die Funktion *prepareTrainForRide()*, *addStopsectionsForTimetable()*, *calculateNextSections()*, *checkIfTrainReachedHaltepunkt()*, *checkIfFahrstrasseIsCorrect()* und *calculateFahrverlauf()* aufgerufen (siehe Kapitel 3.2 und 3.3). Alle entfernten Fahrzeuge werden aus dem Array *\$allUsedTrains* entfernt und somit nicht mehr von der Fahrzeugsteuerung beachtet.

Bezeichnung	Funktion
<i>\$keyPoint</i> (Array)	Beschreibt eine Beschleunigung bzw. Verzögerung ( <i>position_0</i> , <i>position_1</i> , <i>time_0</i> , <i>time_1</i> , <i>speed_0</i> , <i>speed_1</i> )
<i>\$next_section</i> (Array)	IDs aller Abschnitte
<i>\$next_lengths</i> (Array)	Längen aller Abschnitte
<i>\$next_v_max</i> (Array)	Höchstgeschwindigkeit aller Abschnitte
<i>\$indexCurrentSection</i> (Integer)	Index des aktuellen Abschnitts
<i>\$indexTargetSection</i> (Integer)	Index des Ziel-Abschnitts
<i>\$cumulativeSectionLengthStart</i> (Array)	Absolute Startposition aller Abschnitte
<i>\$cumulativeSectionLengthEnd</i> (Array)	Absolute Endposition aller Abschnitte
<i>\$trainPositionChange</i> (Array)	Alle absoluten Positionen des Fahrtverlaufs
<i>\$trainSpeedChange</i> (Array)	Alle Geschwindigkeiten des Fahrtverlaufs

Tabelle 6: Beschreibung der verwendeten Variablen für die Fahrtverlaufsrechnung

## 4 Berechnung des Fahrtverlaufs

Der Fahrtverlauf eines Fahrzeuges wird bei der Berechnung in zwei verschiedenen Arten gespeichert. Einmal in so genannten *\$keyPoints*, welche in einem Array die Start- und Zielgeschwindigkeit (*time\_0* und *time\_1*), die Start- und Endposition (*position\_0* und *position\_1*) und die Start- und Endzeit (*time\_0* und *time\_1*) einer Beschleunigung bzw. Verzögerung abspeichern. Für die Überprüfung, ob ein Fahrzeug die zulässige Höchstgeschwindigkeit in einem Infrastrukturabschnitt überschreitet, für die spätere Übermittlung der Echtzeitdaten an das Fahrzeug und die exakte Positionsbestimmung, werden mittels der *\$keyPoints* für jede Geschwindigkeitsänderungen (und bei konstanter Geschwindigkeit in 1 Meter Abständen) die aktuelle relative Position innerhalb eines Infrastrukturabschnitts, der Infrastrukturabschnitt, die aktuelle Zeit und die aktuelle Geschwindigkeit in einem Array gespeichert. Der Fahrtverlauf wird mit der Funktion *updateNextSpeed()* berechnet, welche als Parameter unter anderem die Zugdaten aus dem *\$allUsedTrains*-Array, Start- und Endzeit der Fahrt (*\$startTime* und *\$endTime*), den Ziel-Infrastrukturabschnitt (*\$targetSection*) und die relative Position in dem Ziel-Infrastrukturabschnitt (*\$targetPosition*) übergeben bekommt. Die für die Berechnung benötigten Daten werden in den in Tabelle 6 beschriebenen Variablen gespeichert. In dem folgenden Abschnitt werden die einzelnen Schritte beschrieben, die durchlaufen werden um den optimalen Fahrtverlauf zu berechnen. In der Darstellung 5 wird der Ablauf grob schematisch dargestellt.

### 4.1 Ermittlung der Start- und Endposition der einzelnen Infrastrukturabschnitte unter Berücksichtigung der Zuglänge

Für die Berechnung eines exemplarischen Fahrtverlaufs wurden die in Tabelle 7 definierten Infrastrukturabschnitte benutzt. Diese Abschnitte wurden so gewählt, sodass alle Funktionen

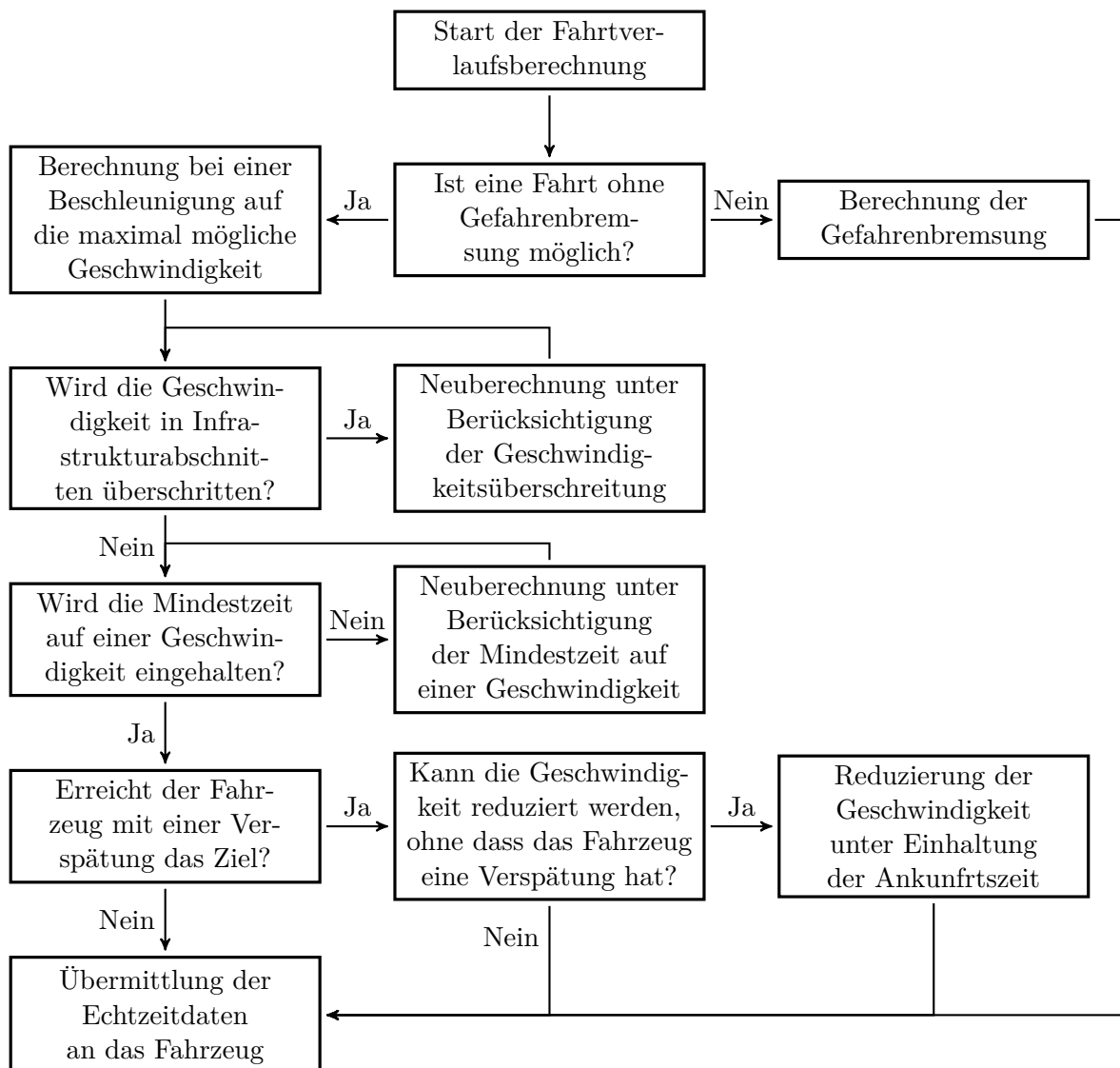


Abbildung 5: Ablaufplan der Fahrtverlaufsrechnung

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 7: Exemplarische Infrastrukturabschnitte

und die Allgemeingültigkeit des Algorithmus gezeigt werden können und treten so im EBUf nicht auf. Als exemplarisch gewählte Zugdaten wurden die in Tabelle 8 definierten Daten verwendet. Die zuvor ermittelten nächsten Infrastrukturabschnitte inklusive derer Längen und zulässigen Höchstgeschwindigkeit müssen für die Berechnung des Fahrtverlaufs angepasst werden, da ein Fahrzeug erst beschleunigen darf, wenn das komplette Fahrzeug in den Infrastrukturabschnitt eingefahren ist. In Darstellung 6 sind die Infrastrukturabschnitte dargestellt, so wie sie von dem Fahrzeug ermittelt wurden. Dabei werden alle Abschnitte, die das Fahrzeug schon durchfahren hat oder hinter dem Zielabschnitt liegen nicht dargestellt. Zudem wird in dem aktuellen Abschnitt die relative Position von der Länge abgezogen und in der Zielabschnitt wird nur bis zur relativen Zielposition abgebildet. Dementsprechend ist der erste Abschnitt in der Darstellung 6 der Abschnitt mit der ID 1001. Dieser hat aufgrund der aktuellen relativen Position des Fahrzeugs eine Länge von 290 *m*. Und der letzte Abschnitt ist der Abschnitt mit der ID 1010 und einer Länge von ebenfalls 290 *m*. Bei der Berücksichtigung der Fahrzeuglänge wird durch alle Infrastrukturabschnitt iteriert und die Zuglänge auf die Länge des Abschnitts addiert. Von dieser neu ermittelten Endposition des Abschnitts wird überprüft, ob zwischen der vorherigen Endposition und der neu ermittelten Endposition ein Infrastrukturabschnitt liegt, dessen zulässige Höchstgeschwindigkeit geringer ist, als die des ursprünglichen Abschnitts. Wenn dieser Fall eintritt, wird der Abschnitt nur so weit verlängert, sodass keine Höchstgeschwindigkeit der folgenden Abschnitte überschritten wird. Von der neu ermittelten Endposition wird überprüft, in welchem Abschnitt diese liegt und mit dem Abschnitt wird dann weiter gerechnet. Sobald der Ziel-Abschnitt erreicht wurde, wird die Schleife abgebrochen. Die neu ermittelten Abschnitte werden in den Arrays *\$next\_lengths\_mod* und *\$next\_v\_max\_mod* abgespeichert. Durch diesen Algorithmus kann es dazu kommen, dass sich die Anzahl der Abschnitte verändert hat. Dementsprechend können die Abschnitte nicht mehr eindeutig mit der Infrastruktur-ID bezeichnet werden. Mittels *\$next\_lengths\_mod* und *\$next\_v\_max\_mod* werden mit der Funktion *createCumulativeSections()* für jeden Abschnitt die absolute Start- und Endposi-

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> <sup>2</sup>
Fahrplan vorhanden	ja
Zeit bis zur nächsten Betriebsstelle	210 <i>s</i>

Tabelle 8: Exemplarische Zugdaten

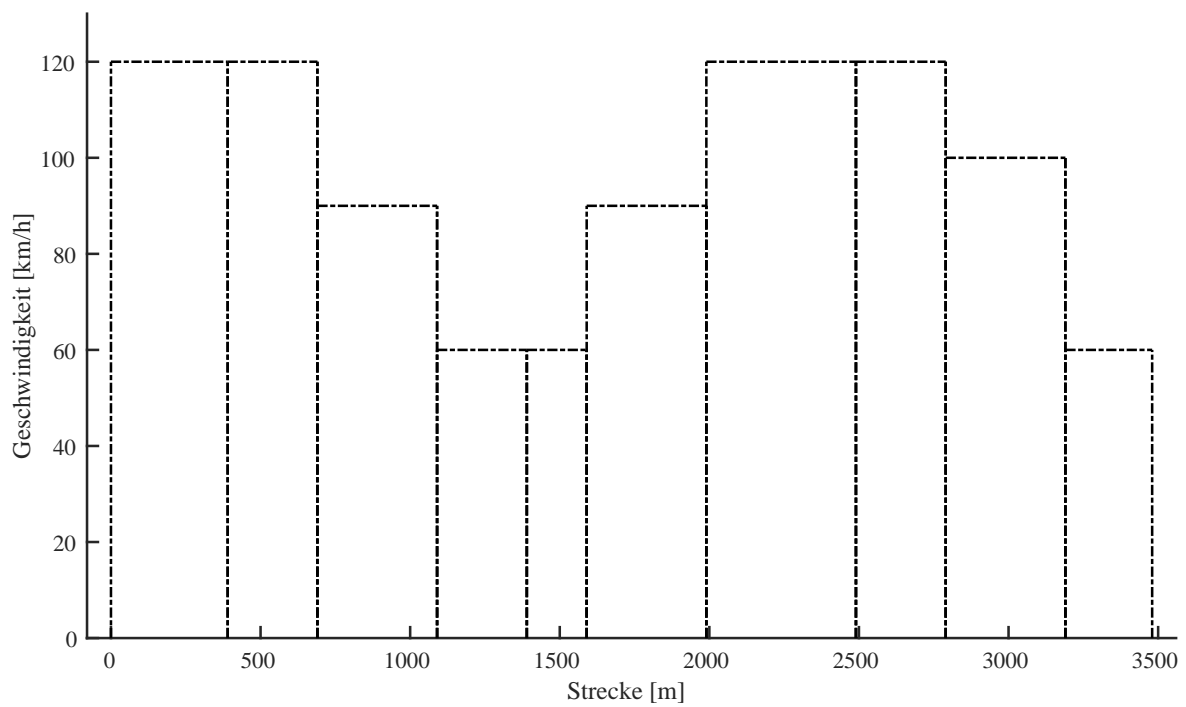


Abbildung 6: Darstellung der Infrastrukturabschnitte und die zugehörige Höchstgeschwindigkeit

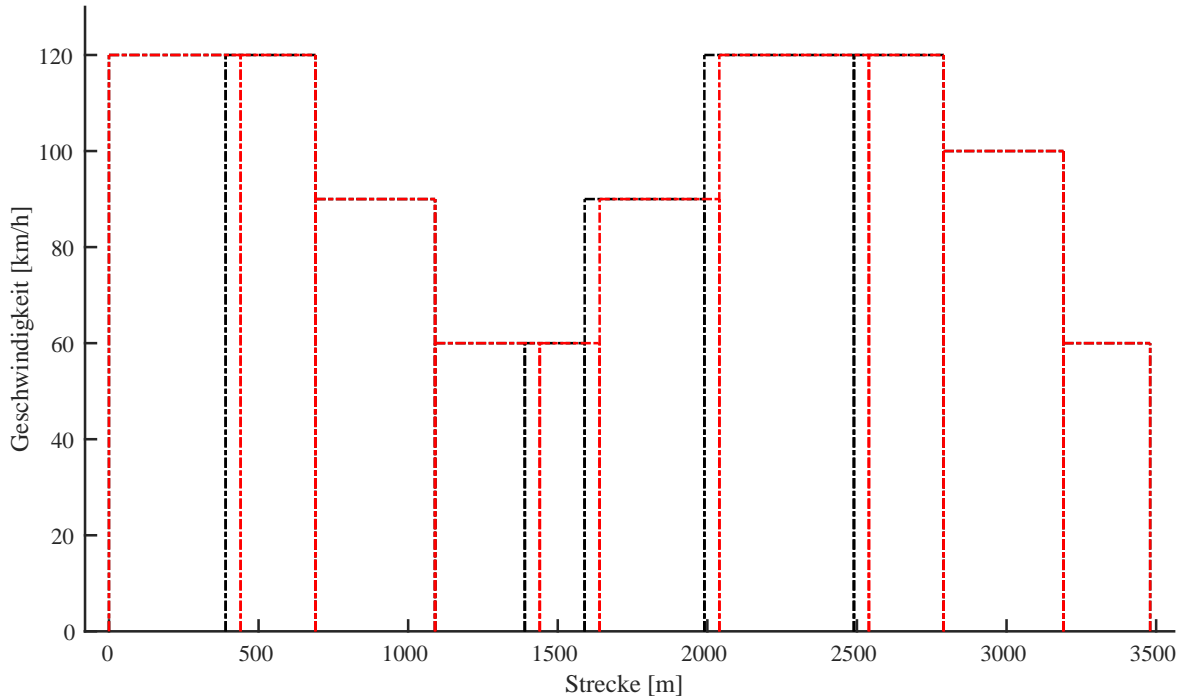


Abbildung 7: Darstellung Infrastrukturabschnitte und die zugehörige Höchstgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Fahrzeuglänge

on in den Arrays *\$cumulativeSectionLengthStartMod* und *\$cumulativeSectionLengthEndMod* gespeichert. Diese Umwandlung ist essentiell für die Überprüfung, in welchem Abschnitt ein Fahrzeug sich aktuell befindet. Die neu berechneten Abschnitte werden in der Darstellung 7 in rot abgebildet und beschreiben die maximale Geschwindigkeit, die ein Fahrzeug fahren darf an der jeweiligen Position.

## 4.2 Berechnung bei einer Beschleunigung auf die maximal mögliche Geschwindigkeit

Im ersten Schritt für die Distanz zwischen der aktuellen Position und der Ziel-Position mittels *\$cumulativeSectionLengthStart*, *\$cumulativeSectionLengthEnd*, *\$indexCurrentSection* und *\$indexTargetSection* berechnet. Für diese Distanz und die Startgeschwindigkeit wird mit Hilfe der Funktion *getVMaxBetweenTwoPoints()* (Code-Beispiel 3) die maximale Geschwindigkeit ermittelt, die das Fahrzeug aufnehmen kann, um noch bis zum Ziel rechtzeitig bremsen zu können. Dabei wird in 10 *km/h*-Schritten iteriert und der maximale Wert zurückgegeben. Innerhalb der Funktion wird die Funktion *getBrakeDistance()* (Code-Beispiel 7) aufgerufen, welche die benötigte Distanz für eine Beschleunigung bzw. Verzögerung berechnet.

Durch die gegebene Startgeschwindigkeit und die höchstmögliche Geschwindigkeit wird ein erster Fahrtverlauf berechnet. Dabei werden zwei *\$keyPoints* erzeugt. Mithilfe der Funktion *createTrainChanges()* wird aus diesen beiden *\$keyPoints* für jede Geschwindigkeitsveränderung die aktuelle absolute Position und Geschwindigkeit ermittelt. An den Positionen, an denen das Fahrzeug eine konstante Geschwindigkeit hat, wird in 1 Meter Abständen die absolute Position und die Geschwindigkeit gespeichert. Die ermittelten Daten werden in den Arrays *\$trainPositionChange* und *\$trainSpeedChange* gespeichert. In der Darstellung 8 ist

```

1 function getVMaxBetweenTwoPoints(float $distance, int $v_0, int $v_1) {
2   global $verzoeigerung;
3   global $globalFloatingPointNumbersRoundingError;
4   $v_max = array();
5   for ($i = 0; $i <= 120; $i = $i + 10) {
6     if ((getBrakeDistance($v_0, $i, $verzoeigerung) + getBrakeDistance($i, $v_1,
7       ↳ $verzoeigerung)) < ($distance + $globalFloatingPointNumbersRoundingError)) {
8       array_push($v_max, $i);
9     }
10  }
11  if (sizeof($v_max) == 0) {
12    if ($v_0 == 0 && $v_1 == 0 && $distance > 0) {
13      echo "Der zug müsste langsamer als 10 km/h fahren, um das Ziel zu erreichen.";
14    } else {
15      // TODO: Notbremsung
16    }
17  } else {
18    if ($v_0 == $v_1 && max($v_max) < $v_0) {
19      $v_max = array($v_0);
20    }
21  }
22  return max($v_max);
23 }

```

Code-Beispiel 3: *getVMaxBetweenTwoPoints()*

```

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   } 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 }

```

Code-Beispiel 4: *getBrakeDistance()*

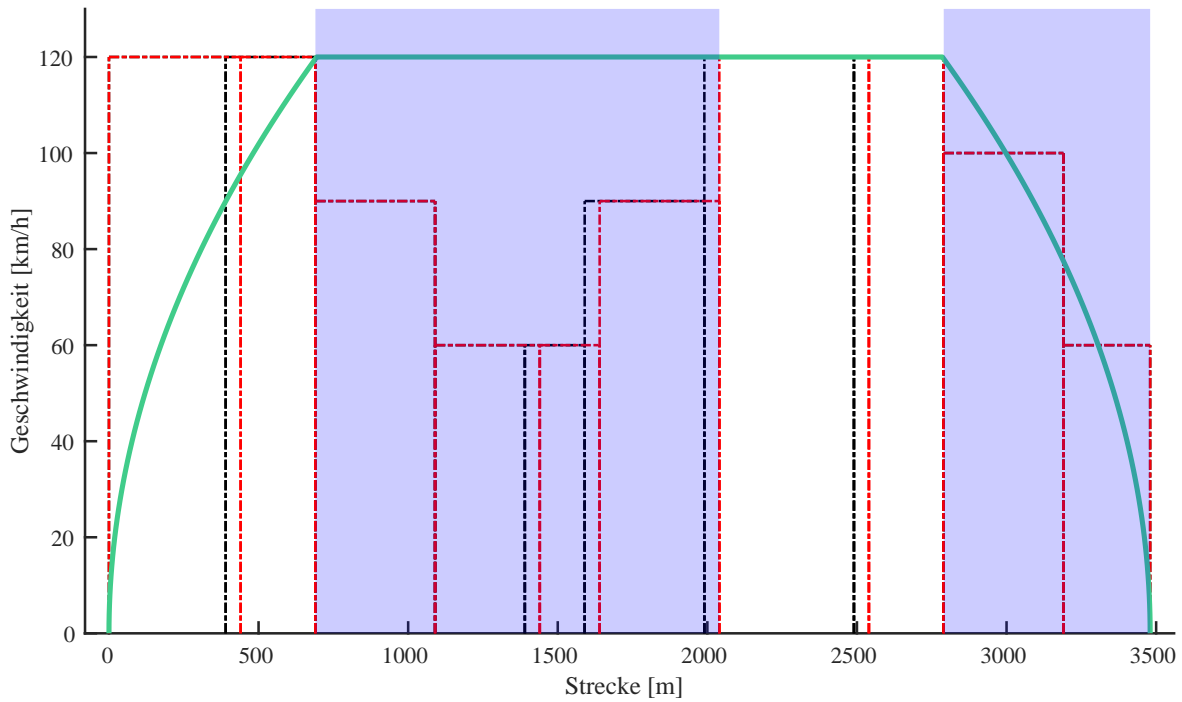


Abbildung 8: Fahrtverlaubberechnung (1. Iteration)

das Ergebnis der 1. Iteration abgebildet.

### 4.3 Überprüfung des Fahrtverlaufs nach Geschwindigkeitsüberschreitungen

Für die Überprüfung, ob bei einem Fahrtverlauf in manchen Infrastrukturabschnitten die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten wird, wird nach jeder Berechnung die Funktion *checkIfTrainIsToFastInCertainSections()* (Code-Beispiel 5) aufgerufen. In dieser Funktion wird über alle absoluten Positionen (*\$trainPositionChange*) iteriert, überprüft in welchem Abschnitt sich diese Position befindet und überprüft, ob die zugehörige Geschwindigkeit aus dem *\$trainSpeedChange*-Array die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschreitet. Sobald in einem Abschnitt eine Geschwindigkeitsüberschreitung vorliegt, wird der zugehörige Index des Abschnitts in dem *\$failedSections*-Array gespeichert. Diese Abschnitte sind in der Darstellung 8 Lila hinterlegt. Als Rückgabewert der Funktion wird ein Array wiedergegeben, welches abspeichert, ob es zu einer Geschwindigkeitsüberschreitung gekommen ist (*“failed“*) und wenn das der Fall ist auch die Indexe der Abschnitte (*“failed\_sections“*).

### 4.4 Neuberechnung unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsüberschreitung

In dem Fall, dass es zu einer Geschwindigkeitsüberschreitung gekommen ist, wird der Fahrtverlauf neu berechnet. Als Grundlage dafür dienen die *“failed\_sections“* aus der *checkIfTrainIsToFastInCertainSections()* Funktion (Code-Beispiel 5). Die Funktion *recalculateKeyPoints()* vergleicht immer zwei benachbarte *\$keyPoints* und berechnet in dem Fall einer Geschwindigkeitsüberschreitung mit der Funktion *checkBetweenTwoKeyPoints()* diese neu. In dem



```

1 function checkIfTrainIsToFastInCertainSections() {
2     global $trainPositionChange;
3     global $trainSpeedChange;
4     global $cumulativeSectionLengthStartMod;
5     global $next_v_max_mod;
6     global $indexTargetSectionMod;
7     $failedSections = array();
8     foreach ($trainPositionChange as $trainPositionChangeKey => $trainPositionChangeValue)
9         ↪ {
10         foreach ($cumulativeSectionLengthStartMod as $cumulativeSectionLengthStartKey =>
11             ↪ $cumulativeSectionLengthStartValue) {
12             if ($trainPositionChangeValue < $cumulativeSectionLengthStartValue) {
13                 if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
14                     ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey - 1]) {
15                     array_push($failedSections, ($cumulativeSectionLengthStartKey - 1));
16                 }
17                 break;
18             } else if ($cumulativeSectionLengthStartKey == $indexTargetSectionMod) {
19                 if ($trainPositionChangeValue > $cumulativeSectionLengthStartValue) {
20                     if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
21                         ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey]) {
22                         array_push($failedSections, $cumulativeSectionLengthStartKey);
23                     }
24                     break;
25                 }
26             }
27         }
28     }
29     if (sizeof($failedSections) == 0) {
30         return array("failed" => false);
31     } else {
32         return array("failed" => true, "failed_sections" => array_unique($failedSections));
33     }
34 }

```

Code-Beispiel 5: *checkIfTrainIsToFastInCertainSections()*

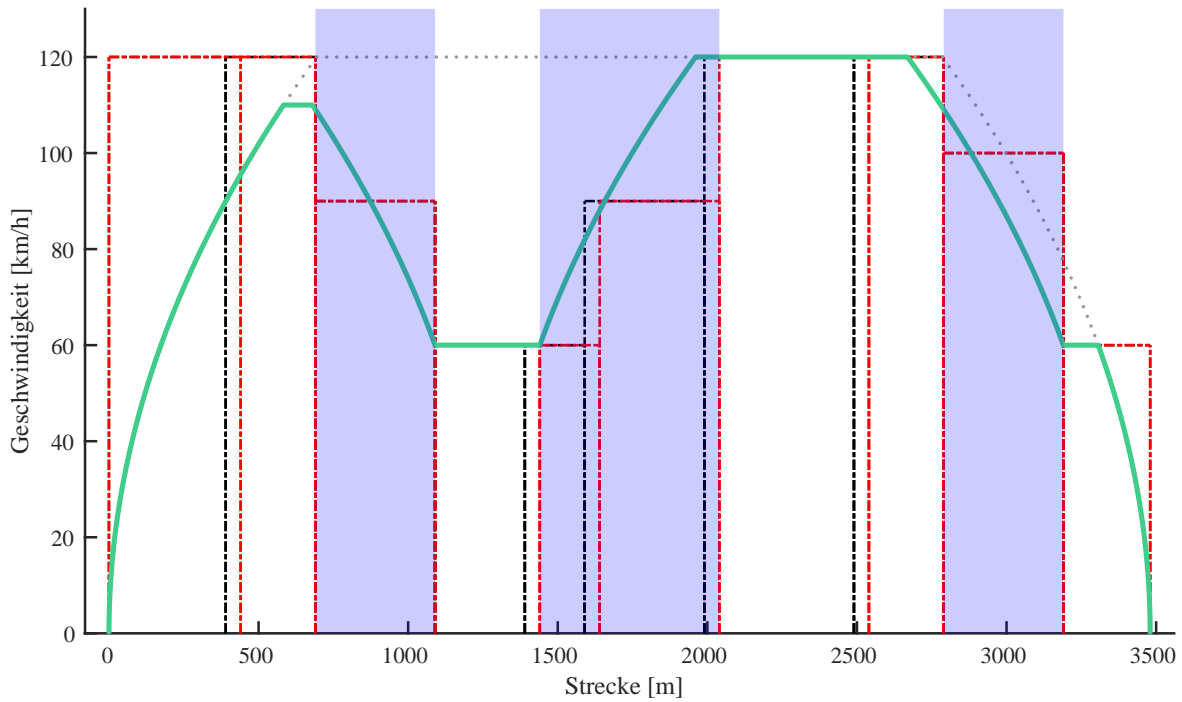


Abbildung 9: Fahrtverlaubberechnung (2. Iteration)

Fall, dass zwischen zwei benachbarten *\$keyPoints* die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten wird, wird die absolute Start- und End-Position dieser Geschwindigkeitsüberschreitung gespeichert. Im folgenden Schritt wird wie in dem Abschnitt 4.2 zwischen den Start-Werten des ersten *\$keyPoints* und der ersten Geschwindigkeitsüberschreitung die maximale Geschwindigkeit berechnet und zwei neue *\$keyPoints* erzeugt. Das gleiche passiert zwischen der Position der letzten Geschwindigkeitsüberschreitung und den End-Werten des zweiten *\$keyPoints*. Dadurch wird sichergestellt, dass es immer eine gerade Anzahl an *\$keyPoints* gibt und somit in jedem Iterationsschritt zwei benachbarte *\$keyPoints* verglichen werden können. Nachdem alle *\$keyPoint*-Paare überprüft werden, werden mit Hilfe der *createTrainChanges()* Funktion die Arrays *\$trainPositionChange* und *\$trainSpeedChange* erzeugt. Dieser neu berechnete Fahrtverlauf wird dann wieder der Funktion *checkIfTrainIsTooFastInCertainSections()* Funktion (Code-Beispiel 5) übergeben. Dieser Prozess wird solange durchlaufen, bis es zu keiner Geschwindigkeitsüberschreitung mehr kommt. In den folgenden Abbildungen (Darstellung 9, 10 und 11) werden die Ergebnisse der einzelnen Iterationsschritte visuell abgebildet, wobei die grau gepunkteten Linien die Ergebnisse der vorherigen Iterationsschritte darstellen.

#### 4.5 Einhaltung der Mindestzeit auf einer Geschwindigkeit

1. Ideal: möglichst späte v reduzieren

Für eine möglichst realitätsnahe Simulation kann über die Variable *\$globalTimeOnOneSpeed* in der Datei *globalVariables.php* eine Mindestzeit festgelegt werden, die ein Fahrzeug auf einer Geschwindigkeit mindestens einhalten muss. Ebenfalls kann über die Variablen *\$useMinTimeOnSpeed* und *\$errorMinTimeOnSpeed* festgelegt werden, ob die Funktion aktiviert sein

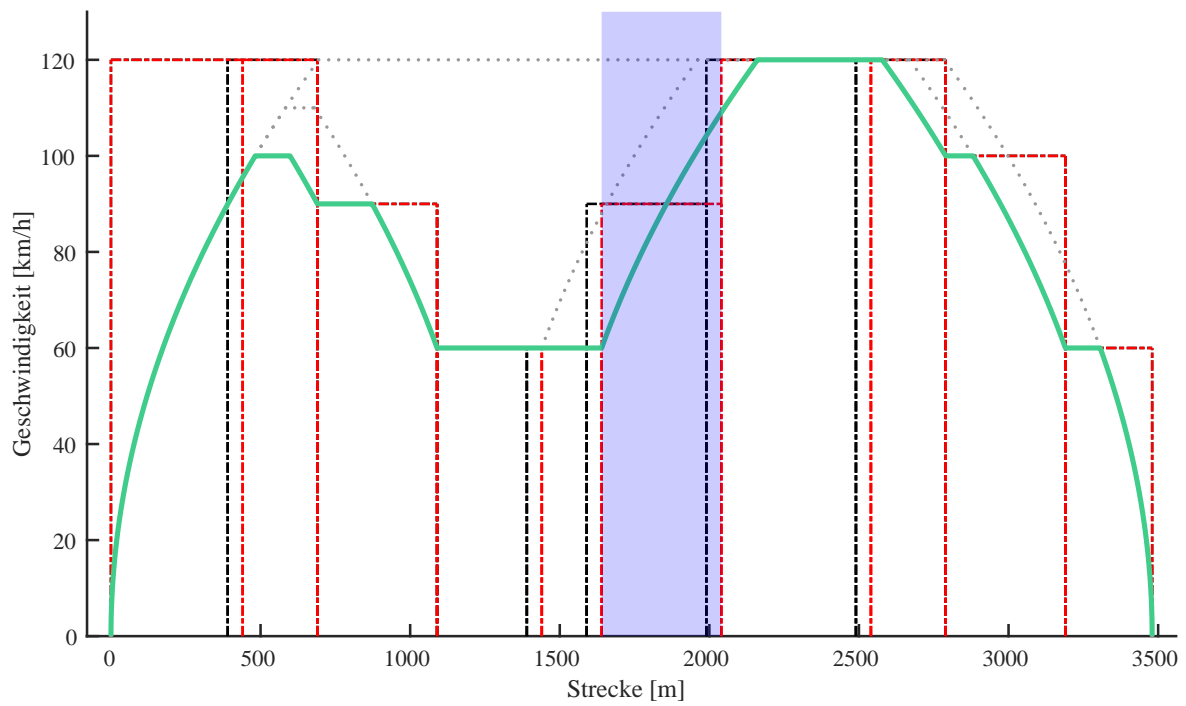


Abbildung 10: Fahrtverlaufberechnung (3. Iteration)

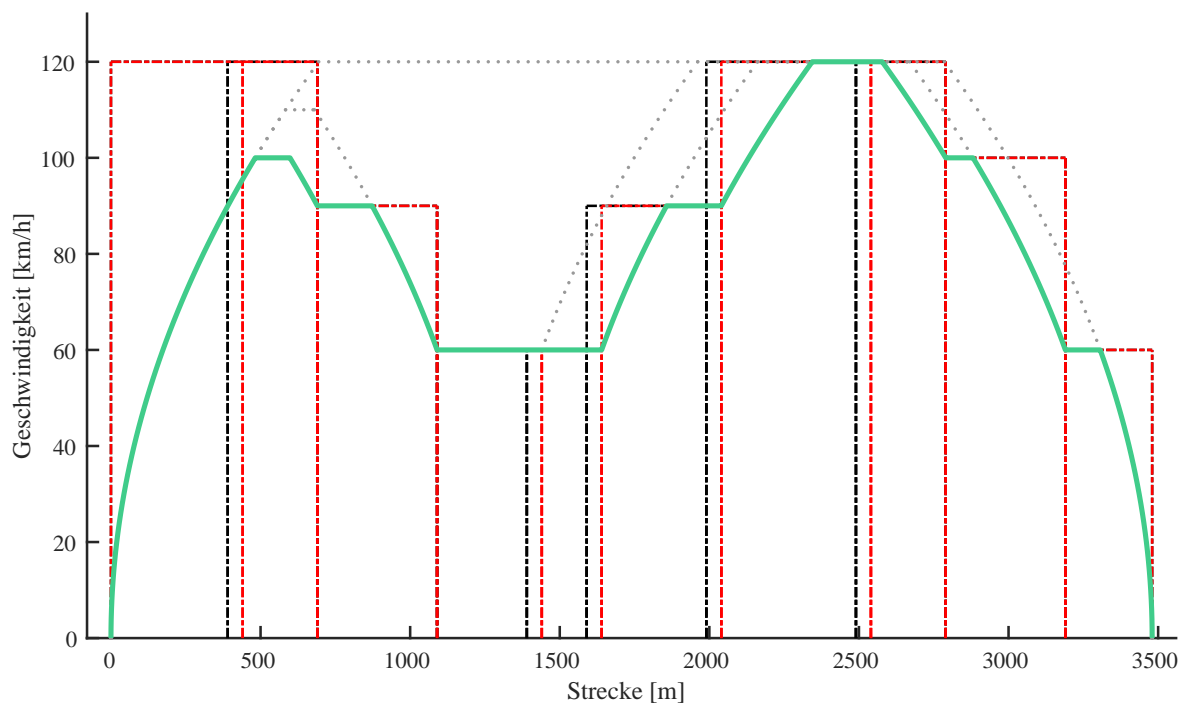


Abbildung 11: Fahrtverlaufberechnung (4. Iteration)

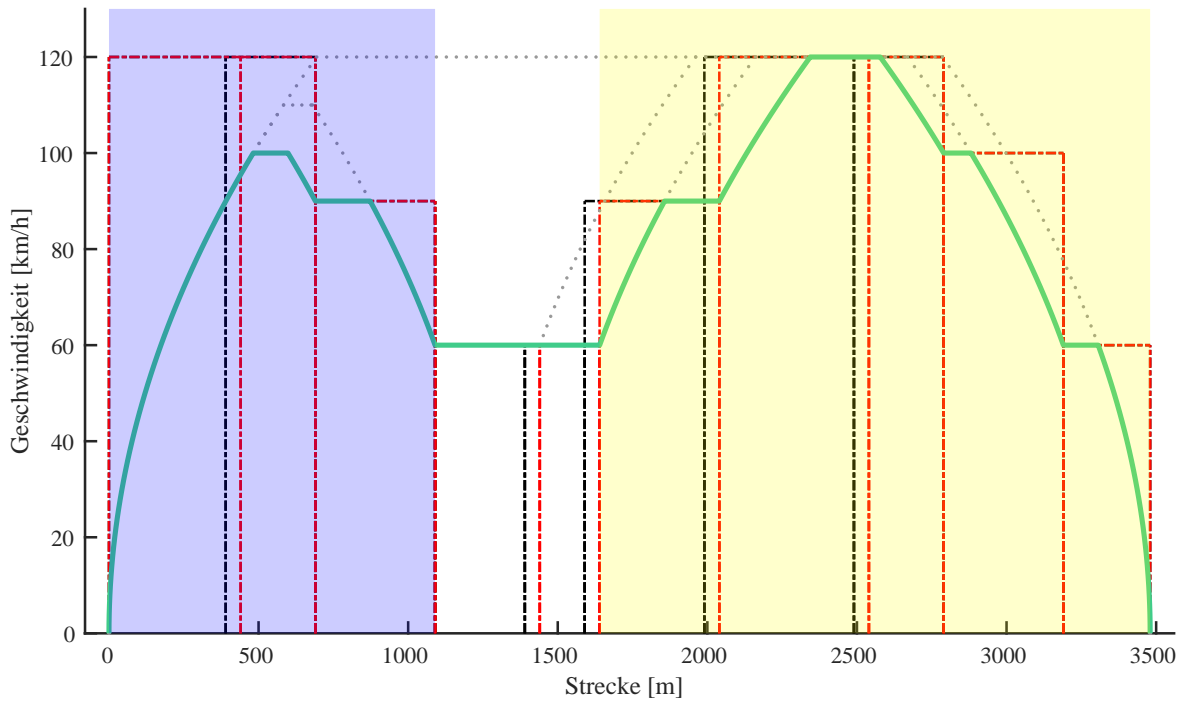


Abbildung 12: Einteilung des Fahrtverlaufs in *subsections*

soll und ob es in dem Fall, dass diese Zeit nicht eingehalten werden kann, zu einer Fehlermeldung kommen soll. Im Falle einer Fehlermeldung würde das Fahrzeug nicht losfahren bzw. eine Gefahrenbremsung einleiten, falls das Fahrzeug aktuell eine Geschwindigkeit  $v > 0$  hat. Wenn auf einem Abschnitt die Mindestzeit nicht eingehalten werden kann, kann eine Beschleunigung später eingeleitet werden, eine Verzögerung vorzeitig eingeleitet werden oder auf eine kleinere Geschwindigkeit beschleunigt werden. In dem folgenden Algorithmus werden die ... Dadurch, dass sich eine Verschiebung einer Beschleunigung bzw. Verzögerung auf die nächsten Abschnitte auswirken kann, wird der Fahrtverlauf in *subsections* unterteilt. Eine *subsection* beschreibt dabei den Bereich des Fahrtverlaufs, in dem das Fahrzeug zum ersten Mal beschleunigt und zum letzten Mal abbremst. In der Darstellung 12 wurde der exemplarische Fahrtverlauf somit in zwei *subsection* unterteilt, welche Lila bzw. Gelb hinterlegt sind. Diese Einteilung wird vorgenommen, da sich die Verschiebung einer Beschleunigung bzw. Verzögerung auf die folgenden bzw. vorherigen Abschnitte auswirkt. Durch diese Einteilung kann verhindert werden, dass es dadurch zu Konflikten kommt. Falls die Beschleunigungen bzw. Verzögerungen soweit nach hinten bzw. nach vorne verschoben werden müssen, kann die maximale Geschwindigkeit auf dieser *subsection* reduziert werden und die zur Verfügung stehende Strecke vergrößert werden. Wie in Darstellung 12 zu erkennen wird hierbei im ersten Schritt der Abschnitt zwischen zwei *subsections* ausgelassen. Nach der Ermittlung der *subsections* wird überprüft, ob auf den Abschnitten zwischen den *subsections* die Mindestzeit eingehalten wird. Wenn das nicht der Fall ist, wird der Abschnitt automatisch dem in Fahrtrichtung hinteren *subsection* zugeordnet. Dadurch wird sichergestellt, dass das Fahrzeug, wenn es an einer Stelle des Fahrtverlaufs die Geschwindigkeit reduziert, dies möglichst spät tut. Nachdem die *subsections* mittels der Funktion `createSubsections()` erstellt wurden und mit der Funktion `array_reverse()` in umgekehrte Reihenfolge in dem Array *subsection\_list* gesammelt wurden, wird für jede *subsection* überprüft, ob die Beschleunigungen

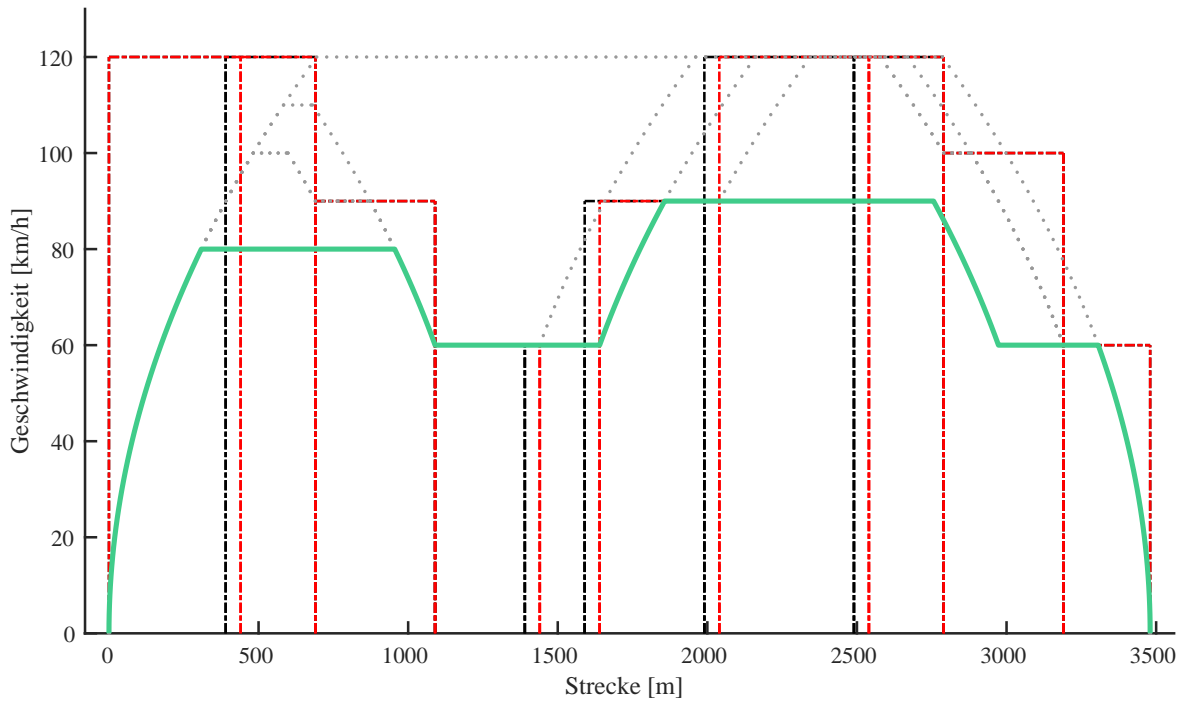


Abbildung 13: Fahrtverlauf unter Einhaltung der Mindestzeit

bzw. Verzögerungen verschoben werden können. Dabei wird über alle konstanten Geschwindigkeiten iteriert, überprüft, ob die Mindestzeit eingehalten wird und wenn das nicht der Fall ist, wird überprüft, ob eine Verschiebung möglich ist. Sollte bei einer Verschiebung die *position\_1* des *\$keyPoints* hinter *position\_0* des zweiten *\$keyPoints* liegen (bei einer Beschleunigung), wird der zweite *\$keyPoint* gelöscht. Gleiches geschieht bei der Verzögerung in umgekehrter Reihenfolge. Nach der Verschiebung wird überprüft, ob auf allen konstanten Geschwindigkeit die Mindestzeit eingehalten wird. Wenn das der Fall ist, wird die nächste *\$subsection* überprüft. In dem Fall, dass durch die Verschiebung die Mindestzeit nicht eingehalten werden kann, wird die maximale Geschwindigkeit auf dieser *\$subsection* um  $10\text{km/h}$  reduziert, die *\$subsections* neu berechnet und erneut über alle *\$subsection* iteriert. Die Neuberechnung ist notwendig, da durch die Reduzierung der Geschwindigkeit die *\$subsections* anders aufgeteilt sein können. Wenn alle *\$subsections* die Mindestzeit einhalten, wird der Algorithmus beendet. In der Darstellung 13 ist der Fahrtverlauf unter Einhaltung der Mindestzeit auf einer Geschwindigkeit abgebildet. Für den Fall, dass das Fahrzeug auf einer Geschwindigkeit die Mindestzeit nicht einhält und als nächstes beschleunigen würde, kann die Beschleunigung später eingeleitet werden.

#### 4.6 Berücksichtigung der Ankunftszeit bei der Berechnung des Fahrtverlaufs

Der berechnete Fahrtverlauf in den Kapiteln 4.2, 4.3, 4.4 und 4.5 ermittelt die frühestmögliche Ankunftszeit am Ziel. In dem Fall, dass der Zug dadurch mit einer Verspätung am Ziel ankommt wird der Fahrtverlauf an das Fahrzeug übergeben. Falls der Zug allerdings mit dem Fahrtverlauf zu früh am Ziel ankommen würde, wird überprüft, ob es möglich ist die Geschwindigkeit zu reduzieren, sodass der Zug energieeffizienter fahren kann und ohne

Index	Funktion
<i>max_index</i>	Index des <i>\$keyPoints</i> mit der Beschleunigung auf die maximale Geschwindigkeit in der <i>\$subsection</i>
<i>indexes</i>	Indexe aller beinhalteten <i>\$keyPoints</i>
<i>is_prev_section</i>	Berücksichtigung des Abschnitts vor der <i>\$subsection</i>
<i>is_next_section</i>	Berücksichtigung des Abschnitts nach der <i>\$subsection</i>
<i>failed</i>	Unterschreitung der Mindestzeit auf der <i>\$subsection</i>

Tabelle 9: Aufbau des *\$subsection*-Arrays

Verspätung am Ziel ankommt. Ergebnis ist in 13 abgebildet. Im ersten Schritt wird mittels der Funktion *checkIfTheSpeedCanBeDecreased()* überprüft, ob die Geschwindigkeit reduziert werden kann. Dabei werden alle *\$keyPoints* ermittelt, bei denen das Fahrzeug beschleunigt und die beim darauffolgenden *\$keyPoint* abbremst. Für jeden dieser *\$keyPoints* werden die möglichen Geschwindigkeiten ermittelt, welche das Fahrzeug zwischen den beiden *\$keyPoints* fahren könnte. Für die Berechnung dieser Geschwindigkeiten wird als niedrigste Geschwindigkeit die *speed\_0* des ersten *\$keyPoints* bzw. *speed\_1* des zweiten *\$keyPoints* - je nachdem, welche niedriger ist - genommen und in 10 km/h-Schritten bis *speed\_1* des ersten *\$keyPoints* abgespeichert. Daraus ergibt sich für jeden *\$keyPoint* eine *range* an möglichen Geschwindigkeiten. Als Rückgabewert der Funktion wird ein *Array* wiedergegeben, welches die Einträge *possible* und *range* enthält und als *\$returnSpeedDecrease* abgespeichert. Der Eintrag *possible* gibt an, ob das Fahrzeug auf dem gesamten Fahrtverlauf die Geschwindigkeit reduzieren könnte und wird als Boolescher Wert (*true/false*) abgespeichert und in dem *Array range* werden alle Indexe der möglichen *\$keyPoints* inklusive der ermittelten Geschwindigkeiten abgespeichert. In dem in Abbildung 13 dargestellten Fahrtverlauf wären so für den *\$keyPoint* mit dem Index 0 (die Indexe der *\$keyPoints* entsprechen dem Zahlenbereich der  $\mathbb{N}_0$ ) die Geschwindigkeiten 60, 70 und 80 km/h ermittelt worden und für den *\$keyPoint* mit dem Index 2 die Geschwindigkeiten 60, 70, 80 und 90 km/h. Wenn eine Reduzierung der Geschwindigkeit möglich ist, wird in einer *while*-Schleife versucht die Geschwindigkeit zu reduzieren, bis das Fahrzeug bei der nächsten Reduzierung mit einer Verspätung am Ziel ankommen würde oder eine weitere Reduzierung nicht möglich ist, da die Maximalgeschwindigkeit auf dem Fahrtverlauf 10 km/h beträgt. Innerhalb der *while*-Schleife ermittelt die Funktion *findMaxSpeed()* aus dem *\$returnSpeedDecrease*-Array den *\$keyPoint* mit der höchsten Geschwindigkeit. Für den Fall, dass mehrere *\$keyPoints* die selbe Höchstgeschwindigkeit haben, wird der letzte dieser *\$keyPoints* ermittelt. Im Anschluss wird mit einer *for*-Schleife in 10er-Schritten in absteigender Reihenfolge über die möglichen Geschwindigkeiten iteriert und überprüft, ob durch die Anpassung die Ankunftszeit eingehalten werden kann. Sobald die Ankunftszeit nicht eingehalten werden kann, werden die *\$keyPoints* aus dem vorherigen Iterationsschritt gespeichert und die *while*-Schleife wird abgebrochen. Sollte die *for*-Schleife durchlaufen, ohne dass es zu einer Überschreitung der maximal verfügbaren Zeit kommt, wird die Funktion *checkIfTheSpeedCanBeDecreased()* erneut aufgerufen. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in der Abbildung 14 zu sehen.

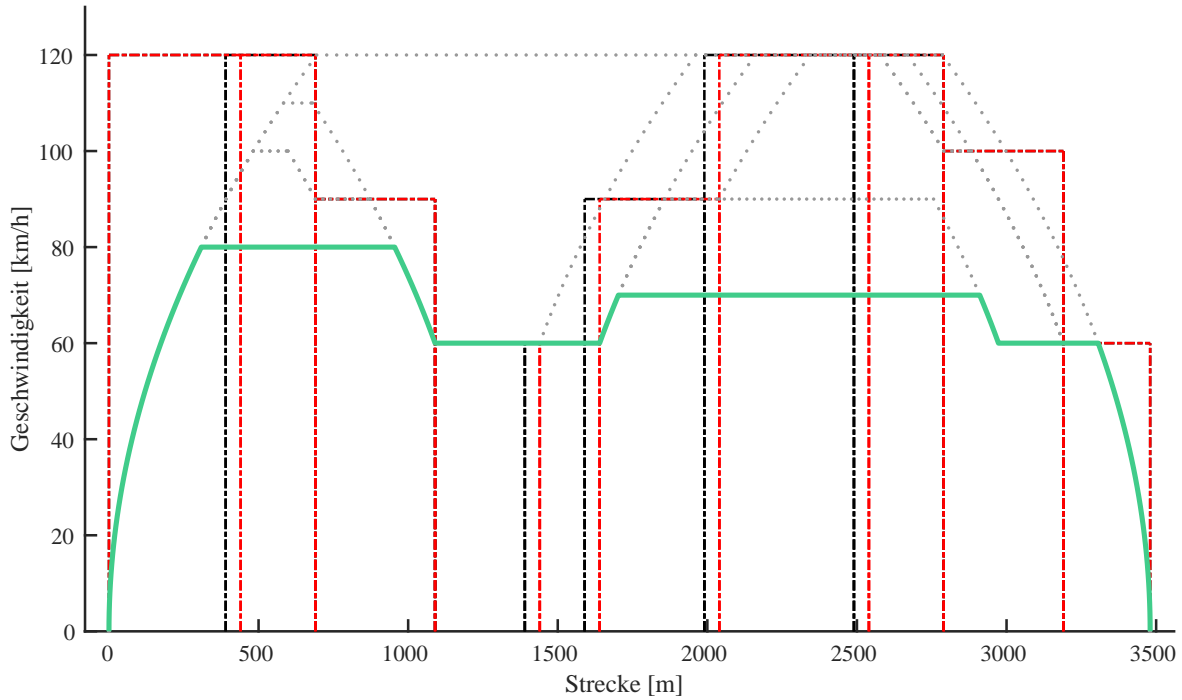


Abbildung 14: Fahrtverlauf mit reduzierter Geschwindigkeit unter Einhaltung der Ankunftszeit

#### 4.7 Berücksichtigung der exakten Ankunftszeit bei der Berechnung des Fahrtverlaufs

Die in Kapitel 4.5 errechnete Ankunftszeit, beschreibt die spätmöglichste Ankunftszeit am Ziel, ohne dass das Fahrzeug mit einer Verspätung am Ziel ankommt, wenn bei einer Beschleunigung auf eine geringere Zielgeschwindigkeit beschleunigt wird. Dadurch wird das Fahrzeug im Normalfall noch nicht exakt pünktlich das Ziel erreichen. Über die Variable *\$useSpeedFineTuning* kann festgelegt werden, ob das Fahrzeug eine exakte Ankunftszeit versuchen soll zu erreichen. Wenn diese Funktion aktiviert ist und der Eintrag *possible* aus dem Array *\$returnSpeedDecrease* *true* ist, wird für den letzten *\$keyPoint* aus dem *\$returnSpeedDecrease*-Array überprüft, ob die Verzögerung des nächsten *\$keyPoints* vorzeitiger eingeleitet werden kann. Sollte die Zielgeschwindigkeit der Verzögerung 0 *km/h* sein, wird die Verzögerung unterteilt in eine Verzögerung auf 10 *km/h* und eine von 10 *km/h* auf 0 *km/h*. Die Position der vorzeitig eingeleiteten Verzögerung wird mittels der Funktion *speedFineTuning()* berechnet, welche als Parameter den Betrag der Differenz zwischen aktueller Soll- und Ist-Ankunftszeit und den Index des vorherigen *\$keyPoints* übergeben bekommt. In Abbildung 15 werden die Geschwindigkeiten ( $v_1, v_2$ ), Strecken ( $s_1, s_2$ ) und Zeiten ( $t_1, t_2$ ) vor und nach der Verzögerung, welche vorzeitig eingeleitet werden soll, um eine pünktliche Ankunft am Ziel zu ermöglichen, dargestellt und in Tabelle 10 sind die exakten Werte des exemplarischen Fahrtverlaufs aufgelistet, damit die verwendete Gleichung (Gleichung 19 aus Kapitel 7) an diesem Beispiel angewandt werden kann. In diesem konkreten Beispiel würde das Fahrzeug 3,31 s ( $t_\Delta$ ) zu früh an der Haltestelle ankommen, wodurch das Fahrzeug für die Zurücklegung der Strecken  $s_1$  und  $s_2$  insgesamt 85,42s ( $t_{ges} = t_1 + t_2 + t_\Delta$ ) zur Verfügung hat. Durch das Einsetzen dieser Werte in die Gleichung 19 aus dem Kapitel 7 ergibt sich für  $t_3$  ( $t_3, t_4, s_3$  und  $s_4$  bezeichnen

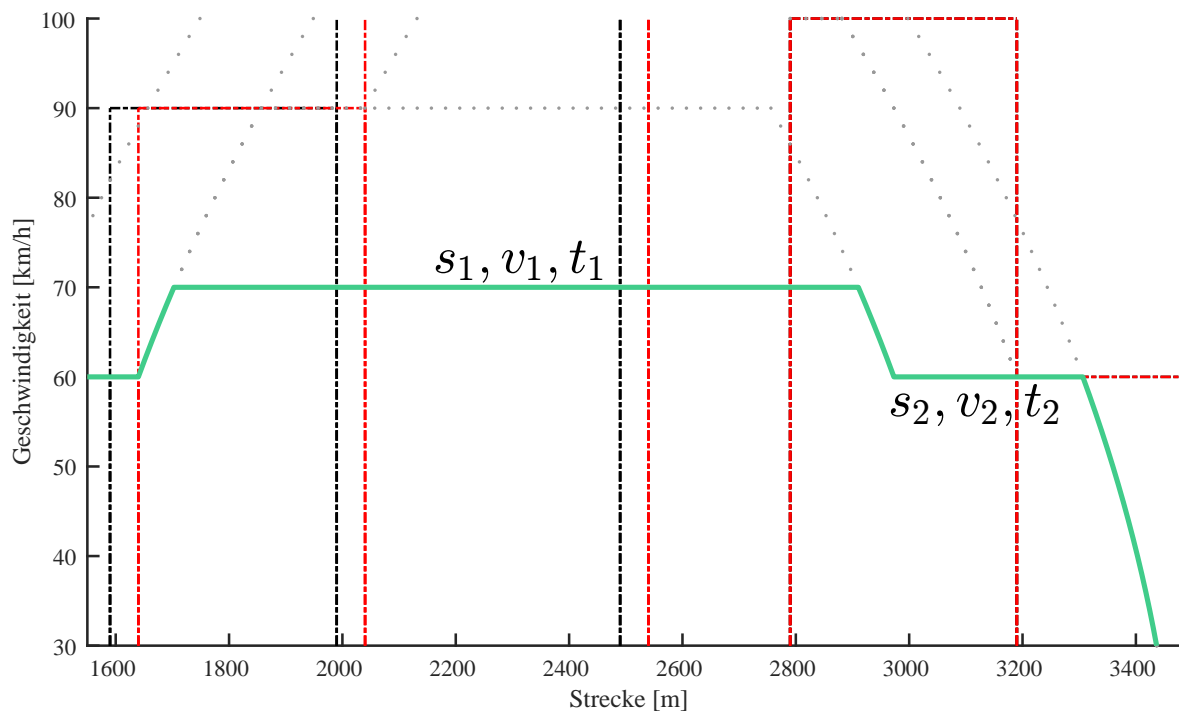


Abbildung 15: speedFineTuning\_1

$v_1$	70 km/h (19,44m/s)
$v_2$	60 km/h (16,67m/s)
$s_1$	1207,67 m
$s_2$	333,33 m
$s_{ges}$	1541 m
$t_1$	62,11 s
$t_2$	20 s
$t_{\Delta}$	3,31 s
$t_{ges}$	85,42 s

Tabelle 10: Geschwindigkeiten, Strecken und Zeiten vor und nach der Verzögerung



$$t_3 = \frac{1541m - 16,67m/s \cdot 85,42s}{19,44m/s - 16,67m/s}$$

$$t_3 = 42,26s$$

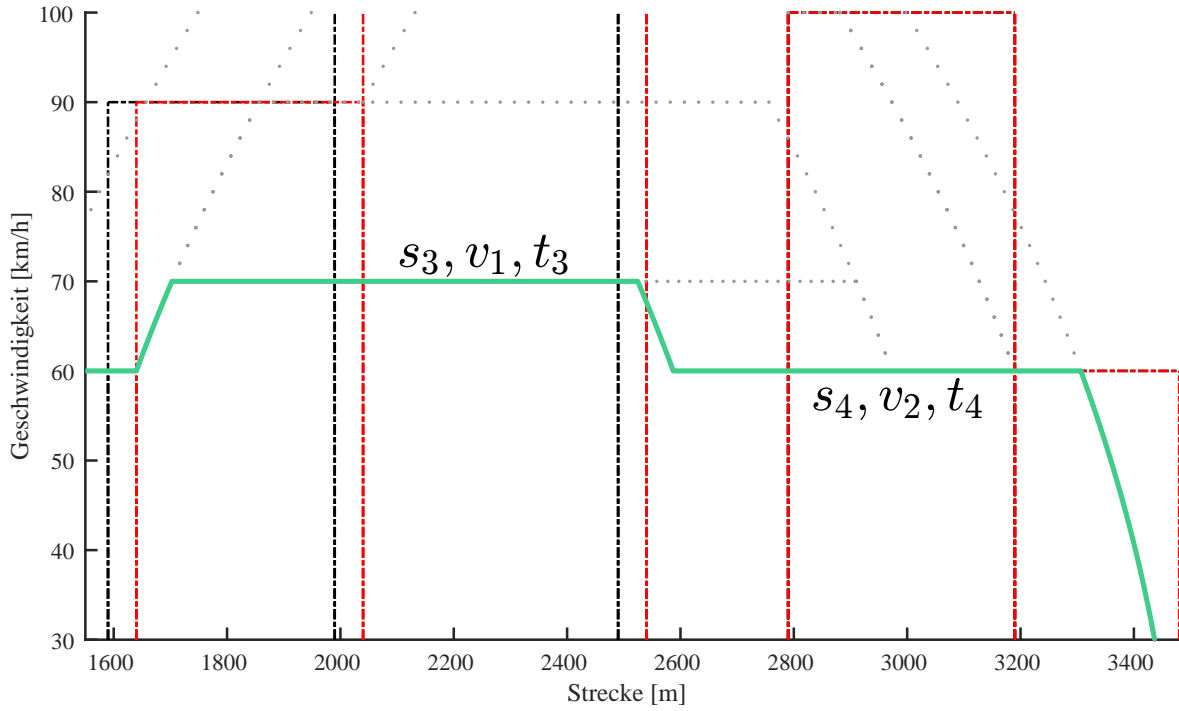


Abbildung 16: speedFineTuning\_2

die Strecken und Zeiten nach der Anpassung) ein Wert von  $42,2s$ . Dementsprechend muss die Verzögerung  $19,85s$  ( $t_1 - t_3$ ) früher eingeleitet werden. Die vorzeitige Einleitung der Verzögerung sorgt dafür, dass das Fahrzeug seinen nächsten Haltepunkt genau pünktlich erreicht und ist in Abbildung 16 dargestellt, wobei durch die gepunktete Linie der Fahrtverlauf vor der Anpassung zu sehen ist. Die neu berechneten Werte sind in Tabelle 11 aufgelistet. Der finale Fahrtverlauf ist in Abbildung 17 dargestellt und kann so dem Fahrzeug übergeben werden.

$s_3$	$821,91m$
$s_4$	$719,1m$
$t_3$	$42,26s$
$t_4$	$43,16s$

Tabelle 11: Geschwindigkeiten, Strecken und Zeiten vor und nach der Verzögerung nach der Anpassung

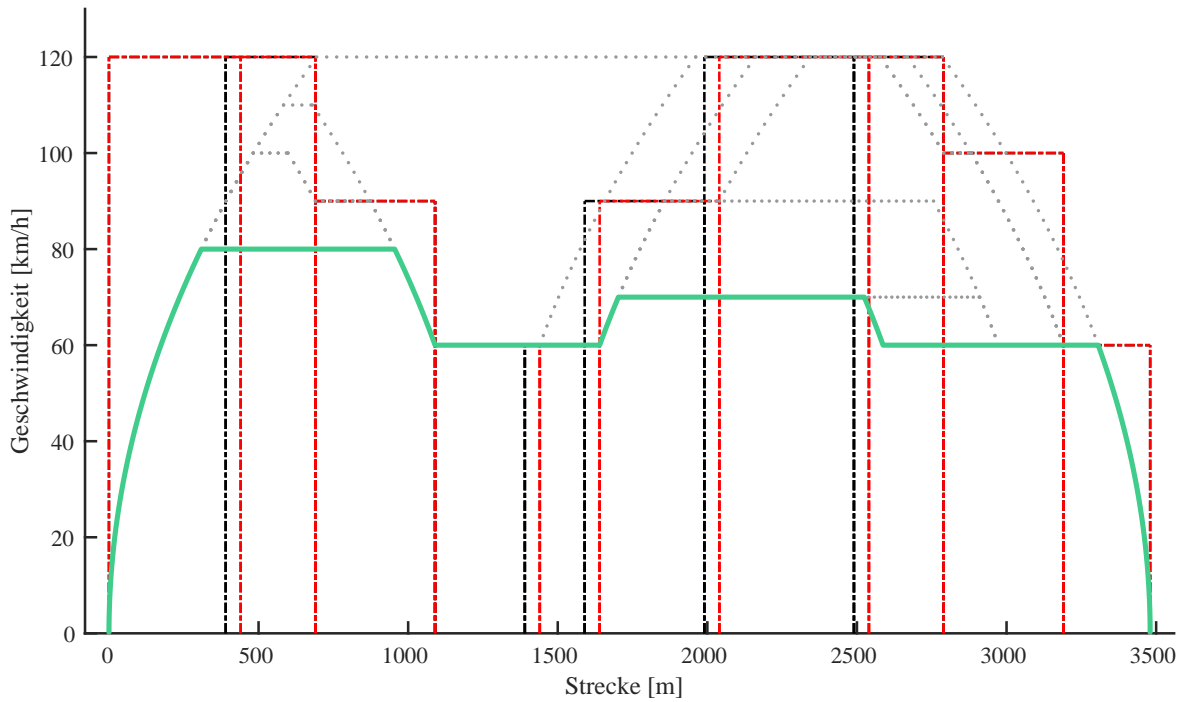


Abbildung 17: Finaler Fahrtverlauf

#### 4.8 Einleitung einer Gefahrenbremsung

Eine Gefahrenbremsung wird eingeleitet, sobald ein Fahrzeug bei einer sofortigen Verzögerung ein auf Halt stehendes Signal überfahren würde, in einem Infrastruktur-Abschnitt die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschreiten würde oder an dem nächsten planmäßigen Halt nicht rechtzeitig zum stehen kommen würde. Bei einer Gefahrenbremsung wird mit einer Notbremsverzögerung von  $2m/s^2$  abgebremst. Dieser Wert kann in der Datei *globalVariables.php* über die Variable *\$globalNotverzoeigerung* angepasst werden. Für eine möglichst realitätsnahe Simulation einer Gefahrenbremsung, bei der das Risiko für Fahrzeugschäden möglichst gering ist, wurde sich dafür entschieden, dass die Fahrzeuge, wenn sie an der Gefahrenstelle eine Geschwindigkeit haben, für die gilt:  $v \geq 10km/h$ , nach der Geschwindigkeit von  $10km/h$  direkt die Geschwindigkeit von  $0km/h$  übermittelt bekommen. Dadurch wird bei der Berechnung einer Gefahrenbremsung zwischen drei Fällen unterschieden:

1. Fahrzeug hält mit der Notbremsverzögerung vor der Gefahrenstelle
2. Fahrzeug hat bei der Gefahrenstelle eine Geschwindigkeit von  $v < 10km/h$
3. Fahrzeug hat bei der Gefahrenstelle eine Geschwindigkeit von  $v \geq 10km/h$

Für die Überprüfung, ob das Fahrzeug mit der Notbremsverzögerung vor der Gefahrenstelle zum Stehen kommt, wird mittels der Funktion *getBrakeDistance()* der Bremsweg ( $s_{Bremsweg}$ ) berechnet und mit der Distanz zur Gefahrenstelle ( $s_{Gefahrenstelle}$ ) verglichen. Sollte für den Bremsweg gelten:  $s_{Bremsweg} \leq s_{Gefahrenstelle}$ , wird das Fahrzeug die Gefahrenbremsung einleiten und in  $2km/h$ -Schritten auf  $0km/h$  abbremsen. In dem Fall, dass der Bremsweg länger als die Strecke bis zur Gefahrenstelle ist, wird überprüft, welche Geschwindigkeit das

Fahrzeug an der Gefahrenstelle hat. Für diese Berechnung wird die Gleichung 11 aus dem Kapitel 7 verwendet. Sollte das Fahrzeug an der Gefahrenstelle eine Geschwindigkeit von  $v \geq 10\text{km/h}$  haben, bremst das Fahrzeug in  $2\text{km/h}$ -Schritten auf  $10\text{km/h}$  ab und bekommt nach der Übermittlung der  $10\text{km/h}$  direkt  $0\text{km/h}$  übergeben. In dem Fall, dass das Fahrzeug an der Gefahrenstelle langsamer als  $10\text{km/h}$  ist, bremst das Fahrzeug wie im 1. Fall in  $2\text{km/h}$ -Schritten auf  $0\text{km/h}$  ab. Bei einer Gefahrenbremsung bekommt das jeweilige Fahrzeug eine Fehlermeldung übermittelt und wird nicht weiterfahren. Das liegt daran, dass durch die Gefahrenbremsung keine genaue Positionsbestimmung vorgenommen werden kann. Damit das Fahrzeug wieder seinen Fahrtbetrieb aufnehmen kann, muss das Fahrzeug händisch von der Anlage genommen werden, gewartet werden, bis die Fahrzeugsteuerung das Entfernen registriert hat und wieder neu positioniert werden.

<i>\$keyPoint</i> -Index	0	1	1
<i>\$speed_0</i>	0 km/h	30 km/h	10 km/h
<i>\$speed_1</i>	30 km/h	10 km/h	0 km/h
<i>\$position_0</i>	0 m	528.83m	667.18m
<i>\$position_1</i>	43.40m	567.41m	672m
<i>\$time_0</i> (Unix-Timestamp)	1631088005	1631088073,67	1631088116,53
<i>\$time_1</i> (Unix-Timestamp)	1631088015,41	1631088080,61	1631088120
<i>\$time_0</i> (hh:mm:ss)	10:00:05	10:01:14	10:01:57
<i>\$time_1</i> (hh:mm:ss)	10:00:15	10:01:21	10:02:00

Tabelle 12: *\$keyPoints* am Beispiel der Fahrt von XAB nach XZO

## 5 Beispielrechnung eines Fahrtverlaufs im EBUf

Die in Kapitel 4 beschriebene Berechnung des Fahrtverlaufs wird in diesem Kapitel an einer Beispielfahrt von Ausblick (XAB) nach Zoo (XZO) exemplarisch gezeigt. Dafür wurde dem Zug ein Fahrplan zugewiesen, nachdem der Zug nach Simulationszeit um 10:00:05 in Ausblick losfahren soll und um 10:02:00 in dem Bahnhof Zoo ankommen soll. Zu Beginn steht der Zug im Infrastrukturabschnitt 1189, hat die Fahrtrichtung 1 und die Fahrstraße ist so eingestellt, dass das Fahrzeug bis zum Ausfahrtsignal im Bahnhof Zoo fahren kann, und dort im Infrastrukturabschnitt 1178 zum Stehen kommen kann. Somit beträgt die Strecke bis zum nächsten Halt 672m und das Fahrzeug hat 115s zur Verfügung. Die Bremsverzögerung des Fahrzeugs beträgt  $0,8m/s^2$ .

Für die Fahrt wurde eine Mindestzeit von 20s festgelegt, welche das Fahrzeug auf einer Geschwindigkeit mindestens fahren muss (*\$globalTimeOnOneSpeed = 20*), den Optionen *\$useSpeedFineTuning*, *\$useMinTimeOnSpeed* und *\$slowDownIfTooEarly* wurde der Wert *true* zugewiesen und der Option *\$errorMinTimeOnSpeed* der Wert *false*.

In der Tabelle 12 sind die berechneten *\$keyPoints* aufgelistet, welche durch die Berechnung des Fahrtverlaufs ermittelt wurden, und in der Darstellung 18 ist der Fahrtverlauf visuell dargestellt. Bei der Berechnung des Fahrtverlaufs wurde laut der Fahrzeugsteuerung die Ankunftszeit exakt eingehalten. Die Zeit-Werte der *\$keyPoints* geben bei der Berechnung die Simulationszeit im Unix-Timestamp-Format an und sind deswegen ebenfalls im Format *hh:mm:ss* angegeben. Durch die *\$keyPoints* und die Darstellung des Fahrtverlaufs (Abbildung 18) lässt sich der Fahrtverlauf in 5 Abschnitte einteilen. Die Start- und Zielgeschwindigkeit, die Strecke und die Zeit der einzelnen Abschnitt sind in der Tabelle 13 aufgelistet und werden mittels der Formeln aus Kapitel 7 überprüft. Bei der Überprüfung werden die Start- und Zielgeschwindigkeiten als Grundlage genommen und untersucht, ob unter Einhaltung der gegebenen Zeit die selben Werte rauskommen. Damit der berechnete Fahrtverlauf den Vorgaben entspricht, muss gelten:

$$t_{ges} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 = 115s$$

$$s_{ges} = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 = 672m$$

Für die Berechnung werden die Strecken und Zeiten in gleichförmige und gleichmäßig be-

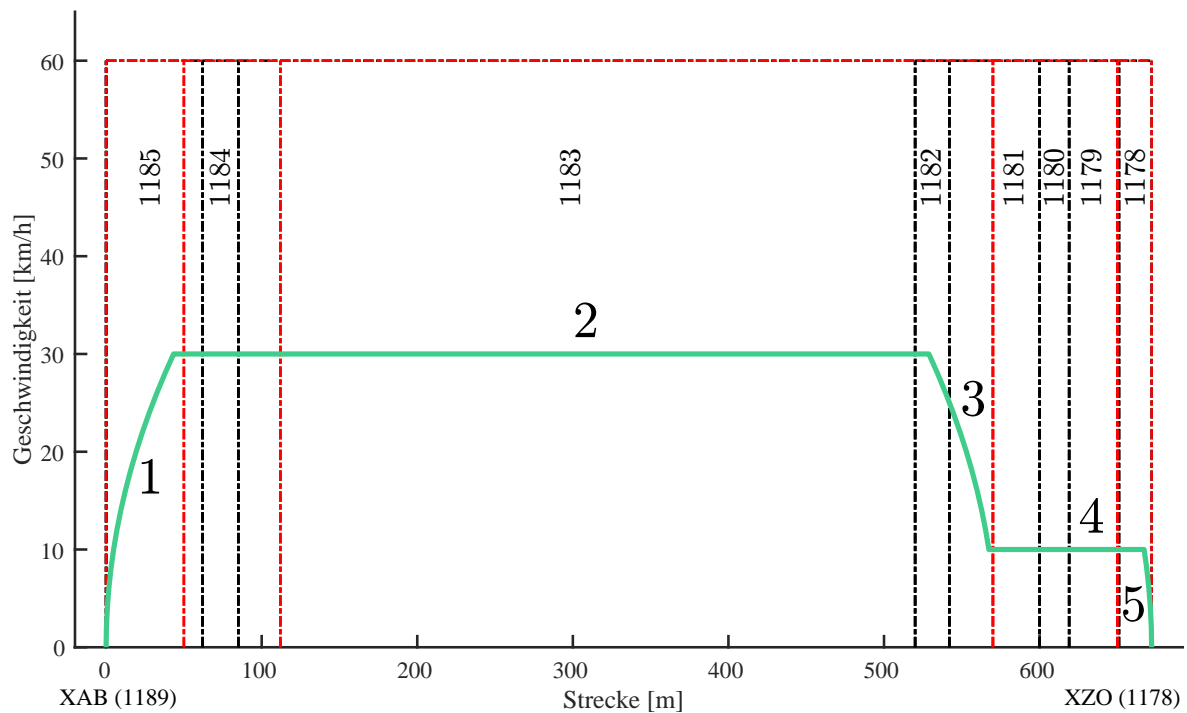


Abbildung 18: Fahrtverlauf für eine Beispielrechnung

Abschnitt	Beschleunigung/Verzögerung	$v_0$	$v_1$	Strecke	Zeit
1	ja	0 $km/h$	30 $km/h$	43,40m	10,42s
2	nein	30 $km/h$	30 $km/h$	485,43m	58,25s
3	ja	30 $km/h$	10 $km/h$	38,58m	6,94s
4	nein	10 $km/h$	10 $km/h$	99,76m	35,92s
5	ja	10 $km/h$	0 $km/h$	4,82m	3,47s
$\Sigma$	-	-	-	672m <sup>1</sup>	115s

<sup>1</sup> Die Werte in der Strecken-Spalte sind auf zwei Nachkommastellen gerundet und würden durch das Aufsummieren der Strecken von Abschnitt 1 bis 5 eine Gesamtstrecke von 671,99m kommen. Die angegebenen 672m entsprechen der Summe der Abschnitte 1 bis 5, ohne dass die einzelnen Strecken gerundet werden.

Tabelle 13: Fahrtverlauf am Beispiel der Fahrt von XAB nach XZO

schleunigte Bewegungen unterteilt:

$$t_{ges} = t_{gleichförmigeBewegungen} + t_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen}$$

$$s_{ges} = s_{gleichförmigeBewegungen} + s_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen}$$

$$t_{gleichförmigeBewegungen} = t_2 + t_4$$

$$s_{gleichförmigeBewegungen} = s_2 + s_4$$

$$t_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen} = t_1 + t_3 + t_5$$

$$s_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen} = s_1 + s_3 + s_5$$

Für die Beschleunigungen gilt nach den Gleichungen 9 und 10:

$$t_1 = \left| \frac{\frac{30km/h}{3,6} - \frac{0km/h}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{125}{12}s \approx 10,42s$$

$$t_3 = \left| \frac{\frac{10km/h}{3,6} - \frac{30km/h}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{125}{18}s \approx 6,94s$$

$$t_5 = \left| \frac{\frac{0km/h}{3,6} - \frac{10km/h}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{125}{36}s \approx 3,47s$$

$$s_1 = \frac{1}{2} \cdot \left| \frac{\frac{30km/h^2}{3,6} - \frac{0km/h^2}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{3125}{72}m \approx 43,40m$$

$$s_3 = \frac{1}{2} \cdot \left| \frac{\frac{10km/h^2}{3,6} - \frac{30km/h^2}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{3125}{81}m \approx 38,58m$$

$$s_5 = \frac{1}{2} \cdot \left| \frac{\frac{0km/h^2}{3,6} - \frac{10km/h^2}{3,6}}{0,8m/s^2} \right| = \frac{3125}{648}m \approx 4,82m$$

Dadurch ergibt sich für die Beschleunigungen und Verzögerungen insgesamt eine Strecke von:

$$t_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen} = \frac{125}{6}s$$

$$s_{gleichmässigbeschleunigteBewegungen} = \frac{3125}{36}m$$

Und für die gleichförmigen Bewegungen bleiben dementsprechend noch:

$$t_{gleichförmigeBewegungen} = \frac{565}{6}s$$

$$s_{gleichförmigeBewegungen} = \frac{21067}{36}m$$

Für die Berechnung der Strecke und Zeit, welche das Fahrzeug auf  $30\text{km/h}$  fährt gilt nach der Gleichung 19:

$$t_2 = \frac{s_{\text{gleichförmigeBewegungen}} - \frac{10\text{km/h}}{3,6} \cdot t_{\text{gleichförmigeBewegungen}}}{\frac{30\text{km/h}}{3,6} - \frac{10\text{km/h}}{3,6}}$$

$$t_2 = \frac{\frac{21067}{36}m - \frac{10\text{km/h}}{3,6} \cdot \frac{565}{6}s}{\frac{30\text{km/h}}{3,6} - \frac{10\text{km/h}}{3,6}}$$

$$t_2 = \frac{34951}{600}s$$

$$t_2 \approx 58,25s$$

Daraus folgt nach der Gleichung 15 für die Abschnitte 2 und 4:

$$t_4 = \frac{7183}{200}s \approx 35,91s$$

$$s_2 = \frac{34951}{600}s \cdot \frac{30\text{km/h}}{3,6}$$

$$s_2 = \frac{34951}{72}m \approx 485,43m$$

$$s_4 = \frac{7183}{200}s \cdot \frac{10\text{km/h}}{3,6}$$

$$s_4 = \frac{7183}{72}m \approx 99,76m$$

In Summe ergibt das:

$$t_{ges} = \frac{125}{12}s + \frac{34951}{600}s + \frac{125}{18}s + \frac{7183}{200}s + \frac{125}{36}s = 115s$$

$$s_{ges} = \frac{3125}{72}m + \frac{34951}{72}m + \frac{3125}{81}m + \frac{7183}{72}m + \frac{3125}{648}m = 672m$$

Wie an den errechneten Werten zu erkennen ist, wurde die Mindestzeit von  $20s$  auf einer konstanten Geschwindigkeit ( $t_2$  und  $t_4$ ) eingehalten und die Werte stimmen mit den Werten aus der Tabelle 13 überein.

## 6 Visualisierung der Fahrtverläufe

Für die Visualisierung der Fahrtverläufe wurde ein MATLAB-Skript geschrieben, welches aus den Arrays *\$cumulativeSectionLengthStart*, *\$cumulativeSectionLengthEnd*, *\$cumulativeSectionLengthStartMod*, *\$cumulativeSectionLengthEndMod*, *\$trainSpeedChange* und *\$trainPositionChange* eines Fahrtverlaufs den kompletten Fahrtverlauf darstellt. Dieses Skript wurde auch verwendet, um die einzelnen Schritte bei der Kalkulation des Fahrtverlaufs in dieser Arbeit darzustellen (wie z. B. in Abbildung 17).

Damit die Daten aus der Berechnung des Fahrtverlaufs von MATLAB eingelesen werden können, wurde die Funktion *safeTrainChangeToJSONFile()* (Code-Beispiel 6) geschrieben, welche die Daten aus den Arrays als JSON-Datei speichert. Für eine bessere Verdeutlichung des Prozesses bei der Ermittlung des Fahrtverlaufs, werden neben dem Ergebnis auch alle vorherigen Iterationsschritte abgebildet.

```
1 function safeTrainChangeToJSONFile(int $indexCurrentSection, int $indexTargetSection,
   ↪ int $indexCurrentSectionMod, int $indexTargetSectionMod, array
   ↪ $speedOverPositionAllIterations) {
2     global $trainPositionChange;
3     global $trainSpeedChange;
4     global $next_v_max;
5     global $cumulativeSectionLengthEnd;
6     global $next_v_max_mod;
7     global $cumulativeSectionLengthEndMod;
8
9     $speedOverPosition = array_map('toArr', $trainPositionChange, $trainSpeedChange);
10    $speedOverPosition = json_encode($speedOverPosition);
11    $fp = fopen('../json/speedOverPosition.json', 'w');
12    fwrite($fp, $speedOverPosition);
13    fclose($fp);
14
15    $v_maxFromUsedSections = array();
16    for ($i = $indexCurrentSection; $i <= $indexTargetSection; $i++) {
17        array_push($v_maxFromUsedSections, $next_v_max[$i]);
18    }
19    $VMaxOverCumulativeSections = array_map('toArr', $cumulativeSectionLengthEnd,
   ↪ $v_maxFromUsedSections);
20    $VMaxOverPositionsJSON = json_encode($VMaxOverCumulativeSections);
21    $fp = fopen('../json/VMaxOverCumulativeSections.json', 'w');
22    fwrite($fp, $VMaxOverPositionsJSON);
23    fclose($fp);
24
25    $v_maxFromUsedSections = array();
26    for ($i = $indexCurrentSectionMod; $i <= $indexTargetSectionMod; $i++) {
27        array_push($v_maxFromUsedSections, $next_v_max_mod[$i]);
28    }
29    $VMaxOverCumulativeSectionsMod = array_map('toArr', $cumulativeSectionLengthEndMod,
   ↪ $v_maxFromUsedSections);
30    $VMaxOverPositionsJSONMod = json_encode($VMaxOverCumulativeSectionsMod);
31    $fp = fopen('../json/VMaxOverCumulativeSectionsMod.json', 'w');
32    fwrite($fp, $VMaxOverPositionsJSONMod);
33    fclose($fp);
34}
```



```

35 $jsonReturn = array();
36 for ($i = 0; $i < sizeof($speedOverPositionAllIterations); $i++) {
37     $iteration = array_map('toArr', $speedOverPositionAllIterations[$i][0],
        ↪ $speedOverPositionAllIterations[$i][1]);
38     array_push($jsonReturn, $iteration);
39 }
40 $speedOverPosition = json_encode($jsonReturn);
41 $fp = fopen('../json/speedOverPosition_prevIterations.json', 'w');
42 fwrite($fp, $speedOverPosition);
43 fclose($fp);
44 }

```

Code-Beispiel 6: *safeTrainChangeToJSONFile()*

Das MATLAB-Skript ist im Anhang (siehe A.6) dieser Arbeit angehängt und auf weitere Details bezüglich der Funktionsweise wird im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

## 7 Formeln

Für die im folgenden Abschnitt verwendeten Einheiten gilt:

$$\begin{aligned}a &= \text{Bremsverzögerung } [m/s^2] \\v &= \text{Geschwindigkeit } [m/s] \\s &= \text{Strecke } [m] \\t &= \text{Zeit } [s]\end{aligned}$$

### 7.1 Formeln für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen

Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung 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.<sup>7</sup>

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

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.<sup>8</sup> Die dabei entstehende Integrationskonstante  $s_0$  gibt 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  $t(v)$  umgestellt und in die Gleichung  $s(t)$  eingesetzt. Daraus ergibt sich folgende Gleichung für die Strecke in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit:

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

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

---

<sup>7</sup> Richard & Sander (2011, S. 20)

<sup>8</sup> Richard & Sander (2011, S. 20)

```

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 }

```

Code-Beispiel 7: *getBrakeDistance()*

Durch die Festlegung von  $v_0 = 0$  wird so die benötigte Strecke ermittelt, welche ein Fahrzeug bei einer gegebenen Bremsverzögerung  $a$  benötigt, um von  $0 \text{ m/s}$  auf eine gegebenen 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  $0 \text{ m/s}$  auf  $v_1$  zu beschleunigen und von  $0 \text{ m/s}$  auf  $v_0$ . Für die gesuchte Strecke gilt dann:

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

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

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 Querverweises (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.

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

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. Für die Berechnung einer Gefahrenbremsung ist es notwendig zu wissen, welche Geschwindigkeit das Fahrzeug an der Stelle der Gefahrenstelle hat. Dafür wird die Gleichung (9) nach  $v_2$  umgestellt.

$$v_2(v_1, s) = \sqrt{-2 \cdot s \cdot a} + v_1 \quad (11)$$

## 7.2 Formeln für gleichförmige Bewegungen

Bei einer gleichförmigen Bewegung gilt der Grundsatz:

$$v(t) = v \quad (12)$$

```

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

```

Code-Beispiel 8: *getBrakeTime()*

Für die Berechnung der Strecke gilt wie bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

$$s(t) = \int v(t) dt \quad (13)$$

$$s(t) = v \cdot t + s_0 \quad (14)$$

Damit die Gleichung allgemeingültig ist, wird die Integrationskonstante  $s_0$  gleich 0 gesetzt.

$$s(t) = v \cdot t \quad (15)$$

Für die Einhaltung der exakten Ankunftszeit, muss errechnet werden, wie lange das Fahrzeug bei zwei gegebenen Geschwindigkeiten ( $v_1$  und  $v_2$ ) auf den jeweiligen Geschwindigkeiten fahren muss, um die Gesamtstrecke ( $s_{ges}$ ) und die Gesamtzeit ( $t_{ges}$ ) einzuhalten. Für die Zeiten und Strecken gilt:

$$t_{ges} = t_1 + t_2 \quad (16)$$

$$s_{ges} = s_1 + s_2 \quad (17)$$

Durch das Einsetzen der Gleichung (15) in die Gleichung (17) erhält man folgende Gleichung:

$$s_{ges} = v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2 \quad (18)$$

Durch das Umstellen der Gleichung (16) nach  $t_2$  und dem Einsetzen in Gleichung (18) gilt für  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{s_{ges} - v_2 \cdot t_{ges}}{v_1 - v_2} \quad (19)$$

## 8 Fazit

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.

### 8.1 Was funktioniert gut?

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.

### 8.2 Was funktioniert nicht?

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.

### 8.3 Wie könnte man die Fehler in der Zukunft ausbessern?

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.

### 8.4 Was für Erweiterungsmöglichkeiten gibt es?

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.

## A Anhang

### A.1 main.php

```
1 <?php
2 // Load all required external files
3 require 'config/multicast.php';
4 require 'vorbelegung.php';
5 require 'functions/sort_functions.php';
6 require 'functions/cache_functions_own.php';
7 require 'functions/ebuef_functions.php';
8 require 'functions/fahrtverlauf_functions.php';
9 require 'globalVariables.php';
10
11 // Set timezone
12 date_default_timezone_set("Europe/Berlin");
13
14 // Reports only errors
15 error_reporting(1);
16
17 // Global Variables
18 global $useRecalibration;
19
20 // Define own train errors
21 $trainErrors = array();
22 $trainErrors[0] = "Zug stand falsch herum und war zu lang um die Richtung zu ändern.";
23 $trainErrors[1] = "In der Datenbank ist für den Zug keine Zuglänge angegeben.";
24 $trainErrors[2] = "In der Datenbank ist für den Zug keine v_max angegeben.";
25 $trainErrors[3] = "Zug musste eine Notbremsung durchführen.";
26
27 // Load static data from the databse into the cache
28 $cacheInfranachbarn = createCacheInfranachbarn();
29 $cacheInfradaten = createCacheInfradaten();
30 $cacheSignaldaten = createCacheSignaldaten();
31 $cacheInfraLaenge = createCacheInfraLaenge();
32 $cacheHaltepunkte = createCacheHaltepunkte();
33 $cacheZwischenhaltepunkte = createCacheZwischenhaltepunkte();
34 $cacheInfraToGbt = createCacheInfraToGbt();
35 $cacheGbtToInfra = createCacheGbtToInfra();
36 $cacheFmaToInfra = createCacheFmaToInfra();
37 $cacheInfraToFma = array_flip($cacheFmaToInfra);
38 $cacheFahrplanSession = createCacheFahrplanSession();
39 $cacheSignalIDToBetriebsstelle = createCacheToBetriebsstelle();
40 $cacheFahrzeugeAbschnitte = createCacheFahrzeugeAbschnitte();
41 $cacheIDTDecoder = createCacheDecoderToAdresse();
42 $cacheDecoderToID = array_flip($cacheIDTDecoder);
43 $cacheAdresseToID = array(); // Filled with data in getAllTrains()
44 $cacheIDToAdresse = array(); // Filled with data in getAllTrains()
45
46 // Global variables
47 $allTrainsOnTheTrack = array(); // All addresses found on the tracks
48 $allTrains = array(); // All trains with the status 1 or 2
```

```

49 $allUsedTrains = array(); // All trains with the status 1 or 2 that are standing on
    ↳ the tracks
50 $allTimes = array();
51 $lastMaxSpeedForInfraAndDir = array();
52
53 // Get simulation and real time
54 $simulationStartTimeToday = getUhrzeit(getUhrzeit($cacheFahrplanSession->sim_startzeit,
    ↳ "simulationszeit", null, array("outputtyp"=>"h:i:s")), "simulationszeit", null,
    ↳ array("inputtyp"=>"h:i:s"));
55 $simulationEndTimeToday = getUhrzeit(getUhrzeit($cacheFahrplanSession->sim_endzeit, "
    ↳ simulationszeit", null, array("outputtyp"=>"h:i:s")), "simulationszeit", null,
    ↳ array("inputtyp"=>"h:i:s"));
56 $simulationDuration = $cacheFahrplanSession->sim_endzeit - $cacheFahrplanSession->
    ↳ sim_startzeit;
57 $realStartTime = time();
58 $realEndTime = $realStartTime + $simulationDuration;
59 $timeDifference = $simulationStartTimeToday - $realStartTime;
60
61 // Start Message
62 startMessage();
63
64 // Load all trains
65 $allTrains = getAllTrains();
66
67 // Loads all trains that are in the rail network and prepares everything for the start
68 findTrainsOnTheTracks();
69
70 // Adds all the stops of the trains.
71 addStopsectionsForTimetable();
72
73 // Checks whether the trains are already at the first scheduled stop or not.
74 checkIfTrainReachedHaltepunkt();
75
76 // Checks if the trains are in the right direction and turns them if it is necessary and
    ↳ possible.
77 checkIfStartDirectionIsCorrect();
78 consoleAllTrainsPositionAndFahrplan();
79 showErrors();
80
81 // Determination of the current routes of all trains.
82 calculateNextSections();
83
84 // Checks whether the routes are set correctly.
85 checkIfFahrstrasseIsCorrect();
86
87 // Calculate driving curve
88 calculateFahrverlauf();
89
90 //$unusedTrains = array_keys($allTimes);
91 $timeCheckFahrstrasseInterval = 3;
92 $timeCheckFahrstrasse = $timeCheckFahrstrasseInterval + microtime(true);
93 $timeCheckAllTrainErrorsInterval = 30;
94 $timeCheckAllTrainErrors = $timeCheckAllTrainErrorsInterval + microtime(true);

```



```

95 $timeCheckCalibrationInterval = 3;
96 $timeCheckCalibration = $timeCheckCalibrationInterval + microtime(true);
97 $sleepTime = 0.03;
98 while (true) {
99     foreach ($allTimes as $timeIndex => $timeValue) {
100         if (sizeof($timeValue) > 0) {
101             $id = $timeValue[0]["id"];
102             if ((microtime(true) + $timeDifference) > $timeValue[0]["live_time"]) {
103                 if ($timeValue[0]["live_is_speed_change"]) {
104                     $allUsedTrains[$id]["calibrate_section_one"] = null;
105                     $allUsedTrains[$id]["calibrate_section_two"] = null;
106                     if ($timeValue[0]["betriebsstelle"] == 'Notbremsung') {
107                         sendFahrzeugbefehl($timeValue[0]["id"], intval($timeValue[0]["live_speed"]));
108                         $allTrains[$id]["speed"] = intval($timeValue[0]["live_speed"]);
109                         echo "Der Zug mit der Adresse ", $timeIndex, " leitet gerade eine
                                ↳ Gefahrenbremsung ein und hat seine Geschwindigkeit auf ", $timeValue
                                ↳ [0]["live_speed"], " km/h angepasst.\n";
110                     } else {
111                         sendFahrzeugbefehl($timeValue[0]["id"], intval($timeValue[0]["live_speed"]));
112                         $allTrains[$id]["speed"] = intval($timeValue[0]["live_speed"]);
113                         echo "Der Zug mit der Adresse ", $timeIndex, " hat auf der Fahrt nach ",
                                ↳ $timeValue[0]["betriebsstelle"],
114                         " seine Geschwindigkeit auf ", $timeValue[0]["live_speed"], " km/h angepasst
                                ↳ .\n";
115                     }
116                 } else {
117                     if (isset($allUsedTrains[$id]["calibrate_section_one"])) {
118                         if ($allUsedTrains[$id]["calibrate_section_one"] != $timeValue[0]["
                                ↳ live_section"]) {
119                             $allUsedTrains[$id]["calibrate_section_two"] = $timeValue[0]["live_section"
                                ↳ ];
120                         }
121                     }
122                     $allUsedTrains[$id]["calibrate_section_one"] = $timeValue[0]["live_section"];
123                 }
124             }
125             $allUsedTrains[$id]["current_position"] = $timeValue[0]["live_relative_position"
                                ↳ ];
126             $allUsedTrains[$id]["current_speed"] = $timeValue[0]["live_speed"];
127             $allUsedTrains[$id]["current_section"] = $timeValue[0]["live_section"];
128
129             if ($timeValue[0]["wendet"]) {
130                 changeDirection($timeValue[0]["id"]);
131             }
132
133             if (isset($timeValue[0]["live_all_targets_reached"])) {
134                 $allUsedTrains[$id]["next_betriebsstellen_data"][$timeValue[0]["
                                ↳ live_all_targets_reached"]]["angekommen"] = true;
135                 echo "Der Zug mit der Adresse ", $timeIndex, " hat den Halt ", $allUsedTrains[
                                ↳ $id]["next_betriebsstellen_data"][$timeValue[0]["
                                ↳ live_all_targets_reached"]]["betriebsstelle"], " erreicht.\n";
136             }
137         }

```

```

138     if ($timeValue[0]["live_target_reached"]) {
139
140         $currentZugId = $allUsedTrains[$id]["zug_id"];
141         $newZugId = getFahrzeugZugIds(array($id));
142
143         if (sizeof($newZugId) == 0) {
144             $newZugId = null;
145         } else {
146             $newZugId = getFahrzeugZugIds(array($timeValue[0]["id"]));
147             $newZugId = $newZugId[array_key_first($newZugId)]["zug_id"];
148         }
149         if (!($currentZugId == $newZugId && $currentZugId != null)) {
150             if ($currentZugId != null && $newZugId != null) {
151                 // The train runs from now on a new timetable
152                 $allUsedTrains[$id]["zug_id"] = $newZugId;
153                 $allUsedTrains[$id]["operates_on_timetable"] = true;
154                 getFahrplanAndPositionForOneTrain($id, $newZugId);
155                 addStopsectionsForTimetable($id);
156                 checkIfTrainReachedHaltepunkt($id);
157                 checkIfStartDirectionIsCorrect($id);
158                 calculateNextSections($id);
159                 checkIfFahrstrasseIsCorrect($id);
160                 calculateFahrverlauf($id);
161
162             } else if ($currentZugId == null && $newZugId != null) {
163                 // The train runs from now on timetable
164                 $allUsedTrains[$id]["zug_id"] = $newZugId;
165                 $allUsedTrains[$id]["operates_on_timetable"] = true;
166                 getFahrplanAndPositionForOneTrain($id);
167                 addStopsectionsForTimetable($id);
168                 checkIfTrainReachedHaltepunkt($id);
169                 checkIfStartDirectionIsCorrect($id);
170                 calculateNextSections($id);
171                 checkIfFahrstrasseIsCorrect($id);
172                 calculateFahrverlauf($id);
173             } else if ($currentZugId != null && $newZugId == null) {
174                 // The train runs from now on without timetable
175                 $allUsedTrains[$id]["operates_on_timetable"] = false;
176                 calculateNextSections($id);
177                 calculateFahrverlauf($id);
178             }
179         }
180     }
181     array_shift($allTimes[$timeIndex]);
182 }
183 }
184 }
185 // Recalibration
186 if ($useRecalibration) {
187     if (microtime(true) > $timeCheckCalibration) {
188         foreach ($allUsedTrains as $trainKey => $trainValue) {
189             if (isset($allUsedTrains[$trainKey]["calibrate_section_two"])) {

```

```

190     $newPosition = getCalibratedPosition($trainKey, $allUsedTrains[$trainKey]["
        ↳ current_speed"]);
191     if ($newPosition["possible"]) {
192         echo "Die Position des Fahrzeugs mit der ID: ", $trainKey, " wird neu
        ↳ ermittelt.\n";
193         $position = $newPosition["position"];
194         $section = $newPosition["section"];
195         echo "Die alte Position war Abschnitt: ", $allUsedTrains[$trainKey]["
        ↳ current_section"], " (", number_format($allUsedTrains[$trainKey]["
        ↳ current_position"], 2), " m) und die neue Position ist Abschnitt: ",
        ↳ $section, " (", number_format($position, 2), " m).\n";
196         if ($position > $cacheInfraLaenge[$section]) {
197             echo "Die Position konnte nicht neu kalibriert werden, da die aktuelle
        ↳ Position im Abschnitt größer ist, als die Länge des Abschnitts.\n";
198         } else {
199             $allUsedTrains[$trainKey]["current_section"] = $section;
200             $allUsedTrains[$trainKey]["current_position"] = $position;
201             calculateNextSections($trainKey);
202             checkIfFahrstrasseIsCorrect($trainKey);
203             calculateFahrverlauf($trainKey, true);
204             echo "Die Position des Fahrzeugs mit der ID: ", $trainKey, " wurde neu
        ↳ ermittelt.\n";
205         }
206     }
207 }
208 }
209 $timeCheckCalibration = $timeCheckCalibration + $timeCheckCalibrationInterval;
210 }
211 }
212 // Checking whether the route has changed and whether new vehicles have been placed on
        ↳ the network
213 if (microtime(true) > $timeCheckFahrstrasse) {
214     foreach ($allUsedTrains as $trainID => $trainValue) {
215         compareTwoNaechsteAbschnitte($trainID);
216     }
217     $returnUpdate = updateAllTrainsOnTheTrack();
218     $newTrains = $returnUpdate["new"];
219     $removeTrains = $returnUpdate["removed"];
220
221     if (sizeof($newTrains) > 0) {
222         echo "Neu hinzugefügte Züge: \n";
223         foreach ($newTrains as $newTrain) {
224             $id = $cacheDecoderToID[$newTrain];
225             echo "\tID:\t", $id, "\tAdresse:\t", $newTrain;
226         }
227         echo "\n";
228     }
229     foreach ($newTrains as $newTrain) {
230         $id = $cacheDecoderToID[$newTrain];
231         prepareTrainForRide($newTrain);
232         addStopsectionsForTimetable($id);
233         checkIfTrainReachedHaltepunkt($id);
234         checkIfStartDirectionIsCorrect($id);

```

```

235 consoleAllTrainsPositionAndFahrplan($id);
236 calculateNextSections($id);
237 checkIfFahrstrasseIsCorrect($id);
238 calculateFahrverlauf($id);
239 }
240 if (sizeof($removeTrains) > 0) {
241     echo "Entfernte Züge:\n";
242     foreach ($removeTrains as $removeTrain) {
243         $id = $cacheDecoderToID[$removeTrain];
244         unset($allUsedTrains[$id]);
245         echo "\tID:\t", $id, "\tAdresse:\t", $removeTrain;
246     }
247     echo "\n";
248 }
249 $timeCheckFahrstrasse = $timeCheckFahrstrasse + $timeCheckFahrstrasseInterval;
250 }
251 // Output of all current data of the vehicles
252 if (microtime(true) > $timeCheckAllTrainErrors) {
253     consoleAllTrainsPositionAndFahrplan();
254     showFahrplan();
255     $timeCheckAllTrainErrors = $timeCheckAllTrainErrors +
        ↳ $timeCheckAllTrainErrorsInterval;
256 }
257 sleep($sleepTime);
258 }

```

## A.2 sort\_functions.php

[illegible]



```

72     return "$strStunden:$strMinuten:$strSekunden";
73 }
74
75 function getAllAddresses () : array {
76
77     $zustand = array("0", "1");
78     //$zustand = array("0", "1", "2");
79     echo "Alle Züge, die den Zustand ", implode(", ", $zustand), " haben, werden
        ↳ eingelesen.\n\n";
80     $returnAddresses = array();
81     $DB = new DB_MySQL();
82     $addresses = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.adresse', '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.zustand' FROM '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'");
83     unset($DB);
84
85     foreach ($addresses as $addressIndex => $addressValue) {
86         if (in_array($addressValue->zustand, $zustand)) {
87             array_push($returnAddresses, (int) $addressValue->adresse);
88         }
89     }
90
91     return $returnAddresses;
92 }
93
94 function getAllTrains () : array {
95     global $cacheAdresseToID;
96     global $cacheIDToAdresse;
97     global $globalMinSpeed;
98
99     $allAddresses = getAllAddresses();
100    $DB = new DB_MySQL();
101    $allTrains = array();
102    $id = null;
103
104    foreach ($allAddresses as $address) {
105        $train_fahrzeuge = get_object_vars($DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.id
            ↳ ', '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.adresse', '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.speed', '".
            ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.dir', '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.zugtyp', '".
            ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.zuglaenge', '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.verzoeigerung', '
            ↳ ".DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.zustand' FROM '".DB_TABLE_FAHRZEUGE."' WHERE '".
            ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE."'.'.adresse' = $address")[0]);
106        $id = $train_fahrzeuge["id"];
107        $train_datan = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_DATEN."'.'.baureihe' FROM '"
            ↳ .DB_TABLE_FAHRZEUGE_DATEN."' WHERE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_DATEN."'.'.id' = $id"
            ↳ ")[0]->baureihe;
108        $train_baureihe = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_BAUREIHEN."'.'.vmax' FROM
            ↳ '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_BAUREIHEN."' WHERE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_BAUREIHEN."'
            ↳ '.'.nummer' = $train_datan");
109        if (sizeof($train_baureihe) != 0) {
110            $train_baureihe_return["v_max"] = intval($train_baureihe[0]->vmax);
111        } else {
112            $train_baureihe_return["v_max"] = $globalMinSpeed;
113        }

```

```

114     $id = intval($train_fahrzeuge["id"]);
115     $cacheAdresseToID[intval($train_fahrzeuge["adresse"])] = intval($id);
116     $returnArray = array_merge($train_fahrzeuge, $train_baureihe_return);
117     $allTrains[$id] = $returnArray;
118 }
119 unset($DB);
120 $cacheIDToAdresse = array_flip($cacheAdresseToID);
121 return $allTrains;
122 }
123
124 function updateAllTrainsOnTheTrack () {
125     global $allTrainsOnTheTrack;
126     $newTrains = array();
127     $removedTrains = array();
128     $allTrains = array();
129
130     $DB = new DB_MySQL();
131     $foundTrains = $DB->select("SELECT DISTINCT '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' FROM
        ↳ '".DB_TABLE_FMA."' WHERE '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' IS NOT NULL AND '
        ↳ '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' <> '".0"."'");
132     unset($DB);
133     foreach ($foundTrains as $train) {
134         array_push($allTrains, intval($train->decoder_adresse));
135         if (!in_array($train->decoder_adresse, $allTrainsOnTheTrack)) {
136             array_push($newTrains, intval($train->decoder_adresse));
137         }
138     }
139     foreach ($allTrainsOnTheTrack as $train) {
140         if (!in_array($train, $allTrains)) {
141             array_push($removedTrains, $train);
142         }
143     }
144     $allTrainsOnTheTrack = $allTrains;
145     return array("new"=>$newTrains, "removed"=>$removedTrains);
146 }
147
148 function findTrainsOnTheTracks () {
149
150     global $allTrainsOnTheTrack;
151
152     $DB = new DB_MySQL();
153     $foundTrains = $DB->select("SELECT DISTINCT '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' FROM
        ↳ '".DB_TABLE_FMA."' WHERE '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' IS NOT NULL AND '
        ↳ '".DB_TABLE_FMA."'.'.decoder_adresse' <> '".0"."'");
154     unset($DB);
155     foreach ($foundTrains as $train) {
156         if (!in_array($train->decoder_adresse, $allTrainsOnTheTrack)) {
157             array_push($allTrainsOnTheTrack, intval($train->decoder_adresse));
158             prepareTrainForRide($train->decoder_adresse);
159         }
160     }
161 }
162

```

```

163 function prepareTrainForRide(int $adresse) {
164
165     global $allUsedTrains;
166     global $allTrains;
167     global $cacheAdresseToID;
168     global $cacheFmaToInfra;
169     global $cacheInfraToFma;
170     global $cacheZwischenhaltepunkte;
171     global $cacheInfraLaenge;
172     global $globalNotverzoegerung;
173
174     $trainID = $cacheAdresseToID[$adresse];
175     $zugID = null;
176     $keysZwischenhalte = array_keys($cacheZwischenhaltepunkte);
177     $allUsedTrains[$trainID]["id"] = $allTrains[$trainID]["id"];
178     $allUsedTrains[$trainID]["adresse"] = $allTrains[$trainID]["adresse"];
179     $allUsedTrains[$trainID]["zug_id"] = null;
180     $allUsedTrains[$trainID]["verzoegerung"] = floatval($allTrains[$trainID]['verzoegerung
        ↵ ']);
181     $allUsedTrains[$trainID]["notverzoegerung"] = $globalNotverzoegerung;
182     $allUsedTrains[$trainID]["zuglaenge"] = $allTrains[$trainID]["zuglaenge"];
183     $allUsedTrains[$trainID]["v_max"] = $allTrains[$trainID]["v_max"];
184     $allUsedTrains[$trainID]["dir"] = $allTrains[$trainID]["dir"];
185     $allUsedTrains[$trainID]["error"] = array();
186     $allUsedTrains[$trainID]["operates_on_timetable"] = false;
187     $allUsedTrains[$trainID]["fahrstrasse_is_correct"] = false;
188     $allUsedTrains[$trainID]["current_speed"] = intval($allTrains[$trainID]["speed"]);
189     $allUsedTrains[$trainID]["current_position"] = null;
190     $allUsedTrains[$trainID]["current_section"] = null;
191     $allUsedTrains[$trainID]["next_sections"] = array();
192     $allUsedTrains[$trainID]["next_lenghts"] = array();
193     $allUsedTrains[$trainID]["next_v_max"] = array();
194     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array();
195     $allUsedTrains[$trainID]["next_bs"] = '';
196     $allUsedTrains[$trainID]["earliest_possible_start_time"] = null;
197     $allUsedTrains[$trainID]["calibrate_section_one"] = null;
198     $allUsedTrains[$trainID]["calibrate_section_two"] = null;
199
200     // Check for errors
201     if (!($allUsedTrains[$trainID]["zuglaenge"] > 0)) {
202         array_push($allUsedTrains[$trainID]["error"], 1);
203     }
204     if (!isset($allUsedTrains[$trainID]["v_max"])) {
205         array_push($allUsedTrains[$trainID]["error"], 2);
206     }
207     // Get position
208     $fma = getPosition($adresse);
209     if (sizeof($fma) == 0) {
210         $allUsedTrains[$trainID]["current_fma_section"] = null;
211         $allUsedTrains[$trainID]["current_section"] = null;
212     } elseif (sizeof($fma) == 1) {
213         $allUsedTrains[$trainID]["current_fma_section"] = $fma[0];
214         $allUsedTrains[$trainID]["current_section"] = $cacheFmaToInfra[$fma[0]];

```



```

215 } else {
216     $infraArray = array();
217     foreach ($fma as $value) {
218         array_push($infraArray, $cacheFmaToInfra[$value]);
219     }
220     $infra = getFrontPosition($infraArray, $allTrains[$trainID]["dir"]);
221     $allUsedTrains[$trainID]["current_fma_section"] = $cacheInfraToFma[$infra];
222     $allUsedTrains[$trainID]["current_section"] = $infra;
223 }
224
225 $allUsedTrains[$trainID]["current_position"] = $cacheInfraLaenge[$allUsedTrains[
    ↪ $trainID]["current_section"];
226 // Get Zug ID/Check for timetable
227 $timetableIDs = getFahrzeugZugIds(array($trainID));
228 if (sizeof($timetableIDs) != 0) {
229     $timetableID = $timetableIDs[array_key_first($timetableIDs)];
230     $allUsedTrains[$trainID]["zug_id"] = intval($timetableID["zug_id"]);
231     $zugID = intval($timetableID["zug_id"]);
232     $allUsedTrains[$trainID]["operates_on_timetable"] = true;
233 }
234 } else {
235     $allUsedTrains[$trainID]["zug_id"] = null;
236     $allUsedTrains[$trainID]["operates_on_timetable"] = false;
237 }
238 // Get timetable data
239 if (isset($zugID)) {
240     $nextBetriebsstellen = getNextBetriebsstellen($zugID);
241 }
242 if ($zugID != null && sizeof($nextBetriebsstellen) != 0) {
243     for ($i = 0; $i < sizeof($nextBetriebsstellen); $i++) {
244         if (sizeof(explode("-", $nextBetriebsstellen[$i])) != 2) {
245             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"] =
    ↪ false;
246             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["betriebsstelle"] =
    ↪ $nextBetriebsstellen[$i];
247             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["zeiten"] =
    ↪ getFahrplanzeiten($nextBetriebsstellen[$i], $zugID);
248             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"] = true;
249         } else if (in_array($nextBetriebsstellen[$i], $keysZwischenhalte)) {
250             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"] =
    ↪ false;
251             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["betriebsstelle"] =
    ↪ $nextBetriebsstellen[$i];
252             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["zeiten"] =
    ↪ getFahrplanzeiten($nextBetriebsstellen[$i], $zugID);
253             $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"] = false
    ↪ ;
254         }
255     }
256     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array_values($allUsedTrains[
    ↪ $trainID]["next_betriebsstellen_data"]);
257 } else {
258     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array();

```

```

259 }
260
261 foreach ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] as $betriebsstelleKey
    ↳ => $betriebsstelleValue) {
262     if ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["
        ↳ zeiten"]["abfahrt_soll"] != null) {
263         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
            ↳ ]["abfahrt_soll_timestamp"] = getUhrzeit($betriebsstelleValue["zeiten"]["
            ↳ abfahrt_soll"], "simulationszeit", null, array("inputtyp" => "h:i:s"));
264     } else {
265         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
            ↳ ]["abfahrt_soll_timestamp"] = null;
266     }
267     if ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["
        ↳ zeiten"]["ankunft_soll"] != null) {
268         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
            ↳ ]["ankunft_soll_timestamp"] = getUhrzeit($betriebsstelleValue["zeiten"]["
            ↳ ankunft_soll"], "simulationszeit", null, array("inputtyp" => "h:i:s"));
269     } else {
270         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
            ↳ ]["ankunft_soll_timestamp"] = null;
271     }
272     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"][
        ↳ "verspaetung"] = 0;
273 }
274 }
275
276 function getPosition(int $adresse) {
277     $returnPosition = array();
278     $DB = new DB_MySQL();
279     $position = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FMA.'".'fma_id' FROM '".DB_TABLE_FMA.'"
        ↳ WHERE '".DB_TABLE_FMA.'".'decoder_adresse' = $adresse");
280     unset($DB);
281     if (sizeof($position) != 0) {
282         for ($i = 0; $i < sizeof($position); $i++) {
283             array_push($returnPosition, intval(get_object_vars($position[$i])["fma_id"]));
284         }
285     }
286     return $returnPosition;
287 }
288
289 function getFrontPosition(array $infra, int $dir) : int {
290
291     foreach ($infra as $section) {
292         $nextSections = array();
293         $test = getNaechsteAbschnitte($section, $dir);
294         foreach ($test as $value) {
295             array_push($nextSections, $value["infra_id"]);
296         }
297         if (sizeof(array_intersect($infra, $nextSections)) == 0) {
298             return $section;
299         }
300     }

```

```

301     return false;
302 }
303 }
304
305 function getNextBetriebsstellen (int $id) : array {
306     $DB = new DB_MySQL();
307     $returnBetriebsstellen = array();
308     $betriebsstellen = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSIONFAHRPLAN.'".'.
        ↳ betriebsstelle' FROM '".DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSIONFAHRPLAN.'" WHERE '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSIONFAHRPLAN.'".'.zug_id' = $id ORDER BY '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSIONFAHRPLAN.'".'.id' ASC");
309     unset($DB);
310     foreach ($betriebsstellen as $betriebsstellenIndex => $betriebsstellenValue) {
311         array_push($returnBetriebsstellen, $betriebsstellenValue->betriebsstelle);
312     }
313     if (sizeof($betriebsstellen) == 0) {
314         debugMessage("Zu dieser Zug ID sind keine nächsten Betriebsstellen im Fahrplan
            ↳ vorhanden.");
315     }
316     return $returnBetriebsstellen;
317 }
318
319 function consoleAllTrainsPositionAndFahrplan($id = false) {
320     global $allUsedTrains;
321     $checkAllTrains = true;
322     if ($id != false) {
323         $checkAllTrains = false;
324     } else {
325         echo "Alle vorhandenen Züge:\n\n";
326     }
327     foreach ($allUsedTrains as $train) {
328         if ($checkAllTrains || $train["id"] == $id) {
329             $fahrplan = null;
330             $error = null;
331             $zugId = null;
332             if ($train["operates_on_timetable"]) {
333                 $fahrplan = "ja";
334             } else {
335                 $fahrplan = "nein";
336             }
337             if (sizeof($train["error"]) != 0) {
338                 $error = "ja";
339             } else {
340                 $error = "nein";
341             }
342             if (!isset($train["zug_id"])) {
343                 $zugId = '-----';
344             } else {
345                 $zugId = $train["zug_id"];
346             }
347             echo "Zug ID: ", $train["id"], " (Adresse: ", $train["adresse"], ", Zug ID: ",
                ↳ $zugId, ")\t Führt nach Fahrplan: ",

```

```

348     $fahrplan, "\t Fahrtrichtung: ", $train["dir"], "\t Infra-Abschnitt: ", $train["
    ↳ current_section"],
349     "\t\t Aktuelle relative Position im Infra-Abschnitt: ", number_format($train["
    ↳ current_position"],2), "m\t\t Fehler vorhanden:\t", $error, "\n";
350 }
351 }
352 echo "\n";
353 }
354
355 function showFahrplan ($id = false) {
356
357     global $allUsedTrains;
358     $checkAllTrains = true;
359
360     if ($id != false) {
361         $checkAllTrains = false;
362     } else {
363         echo "Alle vorhandenen Fahrpläne:\n\n";
364     }
365
366     foreach ($allUsedTrains as $train) {
367         if ($checkAllTrains || $train["id"] == $id) {
368             $fahrplan = null;
369             $error = null;
370             $zugId = null;
371             if ($train["operates_on_timetable"]) {
372                 if (!isset($train["zug_id"])) {
373                     $zugId = '-----';
374                 } else {
375                     $zugId = $train["zug_id"];
376                 }
377                 $nextStations = '';
378                 $lastStation = '';
379                 //var_dump($train["next_betriebsstellen_data"]);
380                 foreach ($train["next_betriebsstellen_data"] as $bs) {
381                     if (!$bs["angekommen"]) {
382                         $nextStations = $nextStations . $bs["betriebsstelle"] . ' ';
383                     } else {
384                         $lastStation = $bs["betriebsstelle"];
385                     }
386                 }
387             }
388             if ($lastStation == '') {
389                 $lastStation = '---';
390             }
391             echo "Zug ID: ", $train["id"], " (Adresse: ", $train["adresse"], ", Zug ID: ",
    ↳ $zugId, ")\t Letzte Station: ", $lastStation, " \t Nächste Stationen: ",
    ↳ $nextStations, "\n";
392         }
393     }
394 }
395 echo "\n";
396 }

```

```

397
398 function checkIfStartDirectionIsCorrect($id = false) {
399     global $allUsedTrains;
400     $checkAllTrains = true;
401     if ($id != false) {
402         $checkAllTrains = false;
403         echo "Für den Fall, dass die Fahrtrichtung der Züge nicht mit dem Fahrplan ü
            ↳ bereinstimmt, wird die Richtung verändert:\n\n";
404     } else {
405         echo "Für den Fall, dass die Fahrtrichtung des Zuges nicht mit dem Fahrplan ü
            ↳ bereinstimmt, wird die Richtung verändert:\n\n";
406     }
407     foreach ($allUsedTrains as $train) {
408         if ($checkAllTrains || $train["id"] == $id) {
409             if ($train["operates_on_timetable"]) {
410                 $endLoop = 0;
411                 for ($i = 0; $i < sizeof($train["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
412                     if ($train["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"]) {
413                         $endLoop = $i;
414                     }
415                 }
416                 if ($train["dir"] != $train["next_betriebsstellen_data"][$endLoop]["zeiten"]["
                    ↳ fahrtrichtung"])[1]) {
417                     changeDirection($train["id"]);
418                 }
419             }
420         }
421     }
422     echo "\n";
423 }
424
425 function changeDirection (int $id) {
426     global $allUsedTrains;
427     global $cacheInfraLaenge;
428     global $timeDifference;
429     global $allTrains;
430     $section = $allUsedTrains[$id]["current_section"];
431     $position = $allUsedTrains[$id]["current_position"];
432     $direction = $allUsedTrains[$id]["dir"];
433     $length = $allUsedTrains[$id]["zuglaenge"];
434     $newTrainLength = $length + ($cacheInfraLaenge[$section] - $position);
435     $newDirection = null;
436     $newSection = null;
437     $cumLength = 0;
438     if ($direction == 0) {
439         $newDirection = 1;
440     } else {
441         $newDirection = 0;
442     }
443     $newPosition = null;
444     $nextSections = getNextSections($section, $newDirection);
445     $currentData = array(0 => array("laenge" => $cacheInfraLaenge[$section], "infra_id" =>
        ↳ $section));

```

```

446 $mergedData = array_merge($currentData, $nextSections);
447 foreach ($mergedData as $sectionValue) {
448     $cumLength += $sectionValue["laenge"];
449     if ($newTrainLength <= $cumLength) {
450         $newSection = $sectionValue["infra_id"];
451         $newPosition = $cacheInfraLaenge[$newSection] - ($cumLength - $newTrainLength);
452         break;
453     }
454 }
455 if ($newPosition == null) {
456     echo "Die Richtung des Zugs mit der ID ", $id, " lässt sich nicht ändern, weil das
        ↳ Zugende auf einem auf Halt stehenden Signal steht.\n";
457     echo "\tDie Zuglänge beträgt:\t", $length, " m\n\tDie Distanz zwischen Zugende und
        ↳ dem auf Halt stehenden Signal beträgt:\t", ($cumLength - ($cacheInfraLaenge[
        ↳ $section] - $position)), " m\n\n";
458     array_push($allUsedTrains[$id]["error"], 0);
459 } else {
460     echo "Die Richtung des Zugs mit der ID: ", $id, " wurde auf ", $newDirection, " geä
        ↳ ndert.\n";
461     $allUsedTrains[$id]["current_section"] = $newSection;
462     $allUsedTrains[$id]["current_position"] = $newPosition;
463     $allUsedTrains[$id]["dir"] = $newDirection;
464     $allUsedTrains[$id]["earliest_possible_start_time"] = FZS_WARTEZEIT_WENDEN + time()
        ↳ + $timeDifference;
465     $allTrains[$id]["dir"] = $newDirection;
466     $DB = new DB_MySQL();
467     $DB->select("UPDATE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE.'" SET '".DB_TABLE_FAHRZEUGE.'".'dir' =
        ↳ $newDirection WHERE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE.'".'id' = $id");
468     unset($DB);
469     sendFahrzeugbefehl($id, -4);
470 }
471 }
472
473 function showErrors() {
474
475     global $allUsedTrains;
476     global $trainErrors;
477
478     $foundError = false;
479     echo "Hier werden für alle Züge mögliche Fehler angezeigt:\n\n";
480
481     foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
482         if (sizeof($trainValue["error"]) != 0) {
483             $foundError = true;
484             echo "Zug ID: ", $trainValue["id"], "\n";
485             $index = 1;
486             foreach ($trainValue["error"] as $error) {
487                 echo "\t", $index, ". Fehler:\t", $trainErrors[$error], "\n";
488                 $index++;
489             }
490             echo "\n";
491         }
492     }

```

```

493
494     if (!$foundError) {
495         echo "Keiner der Züge hat eine Fehlermeldung.\n";
496     }
497 }
498
499 // Adds for all trains (if no ID is passed) or for one train (if an ID is passed)
500 // the stops of the schedule (if the train runs according to schedule)
501 function addStopsectionsForTimetable($id = false) {
502     global $allUsedTrains;
503     global $cacheHaltepunkte;
504     global $cacheZwischenhaltepunkte;
505     $checkAllTrains = true;
506     if ($id != false) {
507         $checkAllTrains = false;
508     }
509     foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
510         if ($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id) {
511             if (sizeof($trainValue["error"]) == 0) {
512                 if ($trainValue["operates_on_timetable"]) {
513                     foreach ($trainValue["next_betriebsstellen_data"] as $betriebsstelleKey =>
514                         ↳ $betriebsstelleValue) {
515                         if (in_array($betriebsstelleValue["betriebsstelle"], array_keys(
516                             ↳ $cacheHaltepunkte))) {
517                             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey
518                                 ↳ ]["haltepunkte"] = $cacheHaltepunkte[$betriebsstelleValue["
519                                 ↳ betriebsstelle"]][$trainValue["dir"]];
520                         } else if (in_array($betriebsstelleValue["betriebsstelle"], array_keys(
521                             ↳ $cacheZwischenhaltepunkte))) {
522                             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey
523                                 ↳ ]["haltepunkte"] = array($cacheZwischenhaltepunkte[
524                                 ↳ $betriebsstelleValue["betriebsstelle"]]);
525                         } else {
526                             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey
527                                 ↳ ]["haltepunkte"] = array();
528                         }
529                     }
530                 }
531             }
532         }
533     }
534 }
535
536 function initialFirstLiveData($id = false) {
537     global $allUsedTrains;
538     global $allTimes;
539     $checkAllTrains = true;
540     if ($id != false) {
541         $checkAllTrains = false;
542     }

```

```

538
539 foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
540     if (($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id)) {
541         $allTimes[$trainValue["adresse"]] = array();
542     }
543 }
544 }
545
546 // Determines for all trains (if no ID is passed) or for one train
547 // (if an ID is passed) the route including the lengths, maximum
548 // allowed speeds and IDs of the next sections.
549 //
550 // The results can be stored directly in the $usedTrains array
551 // ($writeResultToTrain = true) or returned as return
552 // ($writeResultToTrain = false) so that they can be compared
553 // with the previous data.
554 function calculateNextSections($id = false, $writeResultToTrain = true) {
555
556     global $allUsedTrains;
557     global $cacheInfraLaenge;
558     global $globalSpeedInCurrentSection;
559     global $lastMaxSpeedForInfraAndDir;
560
561     $checkAllTrains = true;
562
563     if ($id != false) {
564         $checkAllTrains = false;
565     }
566
567     foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
568         if (($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id) && sizeof($trainValue["error"]) ==
569             ↳ 0) {
570             $dir = $trainValue["dir"];
571             $currentSectionComp = $trainValue["current_section"];
572             $signal = getSignalForSectionAndDirection($currentSectionComp, $dir);
573             $nextSectionsComp = array();
574             $nextVMaxComp = array();
575             $nextLengthsComp = array();
576             $nextSignalbegriff = null;
577             if ($signal != null) {
578                 $nextSignalbegriff = getSignalbegriff($signal);
579                 $nextSignalbegriff = $nextSignalbegriff[array_key_last($nextSignalbegriff)][
580                     ↳ geschwindigkeit"];
581                 if ($nextSignalbegriff == -25) {
582                     $nextSignalbegriff = 25;
583                 } else if ($nextSignalbegriff <= 0) {
584                     $nextSignalbegriff = 0;
585                 }
586             } else {
587                 $nextSignalbegriff = null;
588             }
589             $return = getNaechsteAbschnitte($currentSectionComp, $dir);
590             $allUsedTrains[$trainIndex]["last_get_naechste_abschnitte"] = $return;

```



```

589     if (isset($lastMaxSpeedForInfraAndDir[$trainValue["dir"]][$trainValue["
590         ↳ current_section"]])) {
591         $currentVMax = $lastMaxSpeedForInfraAndDir[$trainValue["dir"]][$trainValue["
592             ↳ current_section"]];
593     } else {
594         $currentVMax = $globalSpeedInCurrentSection;
595     }
596     array_push($nextSectionsComp, $currentSectionComp);
597     array_push($nextVMaxComp, $currentVMax);
598     array_push($nextLengthsComp, $cacheInfraLaenge[$currentSectionComp]);
599     if (isset($nextSignalbegriff)) {
600         $currentVMax = $nextSignalbegriff;
601     }
602     if ($currentVMax == 0) {
603         if ($writeResultToTrain) {
604             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_sections"] = $nextSectionsComp;
605             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_lengths"] = $nextLengthsComp;
606             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_v_max"] = $nextVMaxComp;
607         } else {
608             return array($nextSectionsComp, $nextLengthsComp, $nextVMaxComp);
609         }
610     } else {
611         foreach ($return as $section) {
612             array_push($nextSectionsComp, $section["infra_id"]);
613             array_push($nextVMaxComp, $currentVMax);
614             array_push($nextLengthsComp, $cacheInfraLaenge[$section["infra_id"]]);
615             $lastMaxSpeedForInfraAndDir[intval($trainValue["dir"])[intval($section["
616                 ↳ infra_id"])] = intval($currentVMax);
617             if ($section["signal_id"] != null) {
618                 $signal = $section["signal_id"];
619                 $nextSignalbegriff = getSignalbegriff($signal);
620                 $nextSignalbegriff = $nextSignalbegriff[array_key_last($nextSignalbegriff)]["
621                     ↳ geschwindigkeit"];
622                 if ($nextSignalbegriff == -25) {
623                     $currentVMax = 25;
624                 } else if ($nextSignalbegriff < 0) {
625                     $currentVMax = 0;
626                 } else {
627                     $currentVMax = $nextSignalbegriff;
628                 }
629             }
630         }
631         if ($writeResultToTrain) {
632             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_sections"] = $nextSectionsComp;
633             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_lengths"] = $nextLengthsComp;
634             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_v_max"] = $nextVMaxComp;
635         } else {
636             return array($nextSectionsComp, $nextLengthsComp, $nextVMaxComp);
637         }
638     }
639 }

```

```

638
639 // Determines the associated signal (if there is one) for a section and a direction.
640 function getSignalForSectionAndDirection(int $section, int $dir) {
641     $DB = new DB_MySQL();
642     $signal = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.id' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id' = $section AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.wirkrichtung' =
        ↳ $dir");
643     unset($DB);
644     if ($signal != null) {
645         $signal = intval(get_object_vars($signal[0])["id"]);
646     }
647     return $signal;
648 }
649
650 // Checks for all trains (no ID passed) or for one train (one ID passed)
651 // whether the train is already at the first scheduled stop or not.
652 function checkIfTrainReachedHaltepunkt ($id = false) {
653
654     global $allUsedTrains;
655     global $cacheInfraToGbt;
656     global $cacheGbtToInfra;
657
658     $checkAllTrains = true;
659     if ($id != false) {
660         $checkAllTrains = false;
661     }
662     foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
663         if ($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id) {
664             $currentInfrasection = $trainValue["current_section"];
665             $currentGbt = $cacheInfraToGbt[$currentInfrasection];
666             $allInfraSections = $cacheGbtToInfra[$currentGbt];
667             for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
668                 if (sizeof(array_intersect($trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["
                    ↳ haltepunkte"], $allInfraSections)) != 0) {
669                     $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"] =
                        ↳ true;
670                     for ($j = 0; $j < $i; $j++) {
671                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$j]["angekommen"] =
                            ↳ true;
672                     }
673                 } else {
674                     $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"] =
                        ↳ false;
675                 }
676             }
677         }
678     }
679 }
680
681 // Checks for all trains (no ID is passed) or for one train (one ID is passed)
682 // whether the route is currently set correctly so that the next operating
683 // point can be reached according to the timetable.

```

```

684 //
685 // For trains without timetable the route is always correct.
686 function checkIfFahrstrasseIsCorrect($id = false) {
687     global $allUsedTrains;
688     $checkAllTrains = true;
689     if ($id != false) {
690         $checkAllTrains = false;
691     }
692     foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
693         if (($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id) && sizeof($trainValue["error"]) ==
        ↪ 0) {
694             if ($trainValue["operates_on_timetable"]) {
695                 $allUsedTrains[$trainIndex]["fahrstrasse_is_correct"] = false;
696                 foreach ($trainValue["next_betriebsstellen_data"] as $stopIndex => $stopValue) {
697                     if (!$stopValue["angekommen"]) {
698                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$stopIndex]["
        ↪ is_on_fahrstrasse"] = false;
699                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$stopIndex]["
        ↪ used_haltepunkt"] = array();
700                         $indexSection = 0;
701                         for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_sections"]); $i++) {
702                             if ($stopValue["haltepunkte"] != null) {
703                                 if (in_array($trainValue["next_sections"][$i], $stopValue["haltepunkte"])
        ↪ ) {
704                                     if ($i >= $indexSection) {
705                                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$stopIndex]["
        ↪ is_on_fahrstrasse"] = true;
706                                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$stopIndex]["
        ↪ used_haltepunkt"] = $trainValue["next_sections"][$i];
707                                         $allUsedTrains[$trainIndex]["fahrstrasse_is_correct"] = true;
708                                         $i = sizeof($trainValue["next_sections"]);
709                                         $indexSection = $i;
710                                     }
711                                 }
712                             }
713                         }
714                     } else {
715                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][$stopIndex]["
        ↪ is_on_fahrstrasse"] = true;
716                     }
717                 }
718             } else {
719                 $allUsedTrains[$trainIndex]["fahrstrasse_is_correct"] = true;
720             }
721         }
722     }
723 }
724
725 // Calculates the acceleration and braking curves for all trains (if no ID is passed)
726 // or for one train (if an ID is passed). For trains running according to a timetable,
727 // for all operating points that lie on the currently set route and for trains without
728 // a timetable up to the next red signal.
729 function calculateFahrverlauf($id = false, $recalibrate = false) {

```

```

730
731 global $allUsedTrains;
732 global $cacheInfraLaenge;
733 global $timeDifference;
734 global $simulationStartTimeToday;
735 global $globalFirstHaltMinTime;
736 $checkAllTrains = true;
737 if ($id != false) {
738     $checkAllTrains = false;
739 }
740 foreach ($allUsedTrains as $trainIndex => $trainValue) {
741     $allPossibleStops = array();
742     for($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
743         if ($trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"]) {
744             array_push($allPossibleStops, $i);
745         }
746     }
747     if (sizeof($trainValue["error"]) == 0 && $trainValue["fahrstrasse_is_correct"]) {
748         if ($checkAllTrains || $trainValue["id"] == $id) {
749             if ($trainValue["operates_on_timetable"]) {
750                 $nextBetriebsstelleIndex = null;
751                 $allreachedInfras = array();
752                 $wendet = false;
753                 for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
754                     if (!$trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"] &&
755                         ⇨ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"] &&
756                         ⇨ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"]) {
757                         $nextBetriebsstelleIndex = $i;
758                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_bs"] = $i;
759                         break;
760                     }
761                 }
762                 if (!isset($nextBetriebsstelleIndex)) {
763                     for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
764                         if (!$trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"] &&
765                             ⇨ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"]) {
766                             $nextBetriebsstelleIndex = $i;
767                             break;
768                         }
769                     }
770                 }
771                 if (isset($nextBetriebsstelleIndex)) {
772                     if ($allUsedTrains[$trainIndex]["next_bs"] != $trainValue["
773                         ⇨ next_betriebsstellen_data"][$nextBetriebsstelleIndex]["betriebsstelle"]
774                         ⇨ || $recalibrate) {
775                         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_bs"] = $trainValue["
776                             ⇨ next_betriebsstellen_data"][$nextBetriebsstelleIndex]["betriebsstelle"]
777                             ⇨ ";
778                         if (intval($trainValue["next_betriebsstellen_data"][$
779                             ⇨ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["wendet"]) == 1) {
780                             $wendet = true;
781                         }
782                     }
783                     for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {

```

```

775         if (!$trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"] &&
            ↳ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"]
            ↳ && $i <= $nextBetriebsstelleIndex) {
776             array_push($allreachedInfras, array("index" => $i, "infra" =>
                ↳ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["used_haltepunkt"])
                ↳ );
777         }
778     }
779     $targetSection = $trainValue["next_betriebsstellen_data"][
        ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["used_haltepunkt"];
780     $targetPosition = $cacheInfraLaenge[$targetSection];
781     $startTime = null;
782     $endTime = null;
783     $prevBetriebsstelle = null;
784     for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["next_betriebsstellen_data"]); $i++) {
785         if ($trainValue["next_betriebsstellen_data"][$i]["angekommen"]) {
786             $prevBetriebsstelle = $i;
787             break;
788         }
789     }
790     if ($nextBetriebsstelleIndex == 0) {
791         $startTime = microtime(true) + $timeDifference;
792         $endTime = $startTime;
793     } else {
794         $endTime = $trainValue["next_betriebsstellen_data"][
            ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["ankunft_soll_timestamp"];
795         if (isset($prevBetriebsstelle)) {
796             if ($trainValue["next_betriebsstellen_data"][$prevBetriebsstelle]["
                ↳ zeiten"]["verspaetung"] > 0) {
797                 $startTime = $trainValue["next_betriebsstellen_data"][
                    ↳ $prevBetriebsstelle]["zeiten"]["abfahrt_soll_timestamp"] +
                    ↳ $trainValue["next_betriebsstellen_data"][
                        ↳ $nextBetriebsstelleIndex - 1]["zeiten"]["verspaetung"];
798             } else {
799                 $startTime = $trainValue["next_betriebsstellen_data"][
                    ↳ $prevBetriebsstelle]["zeiten"]["abfahrt_soll_timestamp"];
800             }
801         } else {
802             $startTime = microtime(true) + $timeDifference;
803         }
804     }
805     $reachedBetriebsstele = true;
806     if ($startTime < microtime(true) + $timeDifference) {
807         $startTime = microtime(true) + $timeDifference;
808     }
809     if (isset($trainValue["earliest_possible_start_time"])) {
810         if ($startTime < $trainValue["earliest_possible_start_time"]) {
811             $startTime = $trainValue["earliest_possible_start_time"];
812         }
813     }
814     $verapetung = updateNextSpeed($trainValue, $startTime, $endTime,
        ↳ $targetSection, $targetPosition, $reachedBetriebsstele,
        ↳ $nextBetriebsstelleIndex, $wendet, false, $allreachedInfras);

```

```

815     if ($nextBetriebsstelleIndex != 0) {
816         // TODO: Reicht nicht einer der Einträge aus? Wenn ja, welcher?
817         $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][
818             ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["verspaetung"] = $verapetung;
819         $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$nextBetriebsstelleIndex]["
820             ↳ zeiten"]["verspaetung"] = $verapetung;
821     } else {
822         $end = $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][
823             ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["abfahrt_soll_timestamp"];
824         $start = $startTime;
825         if ($start + $verapetung + $globalFirstHaltMinTime < $end) {
826             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][
827                 ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["verspaetung"] = 0;
828             $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$nextBetriebsstelleIndex]["
829                 ↳ zeiten"]["verspaetung"] = 0;
830         } else {
831             $allUsedTrains[$trainIndex]["next_betriebsstellen_data"][
832                 ↳ $nextBetriebsstelleIndex]["zeiten"]["verspaetung"] = $start +
833                 ↳ $verapetung + $globalFirstHaltMinTime - $end;
834             $trainValue["next_betriebsstellen_data"][$nextBetriebsstelleIndex]["
835                 ↳ zeiten"]["verspaetung"] = $start + $verapetung +
836                 ↳ $globalFirstHaltMinTime - $end;
837         }
838     }
839 } else {
840     if ($trainValue["current_speed"] > 0) {
841         emergencyBreak($trainValue["id"]);
842     }
843 } else {
844     $startTime = microtime(true) + $timeDifference;
845     if (isset($trainValue["earliest_possible_start_time"])) {
846         if ($startTime < $trainValue["earliest_possible_start_time"]) {
847             $startTime = $trainValue["earliest_possible_start_time"];
848         }
849     }
850     $endTime = $startTime;
851     $targetSection = null;
852     $targetPosition = null;
853     $reachedBetriebsstele = true;
854     $wendet = false;
855     $signalId = null;
856     for ($i = 0; $i < sizeof($trainValue["last_get_naechste_abschnitte"]); $i++) {
857         if (isset($trainValue["last_get_naechste_abschnitte"][$i]["signal_id"])) {
858             $signalId = $trainValue["last_get_naechste_abschnitte"][$i]["signal_id"];
859             $targetSection = $trainValue["last_get_naechste_abschnitte"][$i]["infra_id"]
860                 ↳ ];
861             $targetPosition = $cacheInfraLaenge[$targetSection];
862         }
863     }
864     if (!isset($signalId)) {
865         // gibt kein nächstes Signal

```

```

858         if ($trainValue["current_speed"] != 0) {
859             emergencyBreak($trainValue["id"]);
860         }
861     } else {
862         $signal = getSignalbegriff($signalId)[0]["geschwindigkeit"];
863         if ($signal > -25 && $signal < 0) {
864             $wendet = true;
865         }
866         updateNextSpeed($trainValue, $startTime, $endTime, $targetSection,
            ↳ $targetPosition, $reachedBetriebsstele, $signalId, $wendet, true,
            ↳ array());
867     }
868 }
869 }
870 } else {
871     if ($trainValue["current_speed"] != 0) {
872         emergencyBreak($trainValue["id"]);
873     }
874 }
875 }
876 }
877
878 function compareTwoNaechsteAbschnitte(int $id) {
879     global $allUsedTrains;
880     global $allTimes;
881     if (sizeof($allUsedTrains[$id]["error"]) == 0) {
882         $newSections = calculateNextSections($id, false);
883         $newNextSection = $newSections[0];
884         $newNextLenghts = $newSections[1];
885         $newNextVMax = $newSections[2];
886         $oldNextSections = $allUsedTrains[$id]["next_sections"];
887         $oldLenghts = $allUsedTrains[$id]["next_lenghts"];
888         $oldNextVMax = $allUsedTrains[$id]["next_v_max"];
889         $currentSectionOld = $allUsedTrains[$id]["current_section"];
890         $keyCurrentSection = array_search($currentSectionOld, $oldNextSections);
891         $keyLatestSection = array_key_last($oldNextSections);
892         $dataIsIdentical = true;
893         $numberOfSection = $keyLatestSection - $keyCurrentSection + 1;
894         $compareNextSections = array();
895         $compareNextLenghts = array();
896         $compareNextVMax = array();
897         for($i = $keyCurrentSection; $i <= $keyLatestSection; $i++) {
898             array_push($compareNextSections, $oldNextSections[$i]);
899             array_push($compareNextLenghts, $oldLenghts[$i]);
900             array_push($compareNextVMax, $oldNextVMax[$i]);
901         }
902         if (sizeof($newNextSection) != ($numberOfSection)) {
903             $dataIsIdentical = false;
904         } else {
905             for ($i = 0; $i < $keyLatestSection - $keyCurrentSection; $i++) {
906                 if ($newNextSection[$i] != $compareNextSections[$i] || $newNextLenghts[$i] !=
                    ↳ $compareNextLenghts[$i] || $newNextVMax[$i] != $compareNextVMax[$i]) {
907                     $dataIsIdentical = false;

```

```

908         break;
909     }
910 }
911 }
912 if (!$dataIsIdentical) {
913     echo "Die Fahrstraße des Zuges mit der ID: ", $id, " hat sich geändert.\n";
914     calculateNextSections($id);
915     $adresse = $allUsedTrains[$id]["adresse"];
916     $allTimes[$adresse] = array();
917     checkIfFahrstrasseIsCorrect($id);
918     calculateFahrverlauf($id);
919 }
920 }
921 }
922
923 function getCalibratedPosition ($id, $speed) {
924     global $cacheFahrzeugeAbschnitte;
925     $DB = new DB_MySQL();
926     $positionReturn = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'. 'infra_id', '
        ↳ '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'. 'unixtimestamp' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'" ' WHERE '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'. '
        ↳ fahrzeug_id' = $id")[0];
927     unset($DB);
928     if (in_array($id, array_keys($cacheFahrzeugeAbschnitte))) {
929         if ($positionReturn->unixtimestamp == $cacheFahrzeugeAbschnitte[$id]["unixtimestamp"
            ↳ ]) {
930             return array("possible" => false);
931         }
932     }
933     $timeDiff = time() - $positionReturn->unixtimestamp;
934     $position = ($speed / 3.6) * $timeDiff;
935     return array("section" => $positionReturn->infra_id, "position" => $position);
936 }

```

### A.3 fahrtverlauf\_functions

```

1 <?php
2
3 // TODO: current_speed = 0
4 function
5 updateNextSpeed (array $train, float $startTime, float $endTime, int $targetSectionPara,
    ↳ int $targetPositionPara, bool $reachedBetriebsstelle, string $targetSignal, bool
    ↳ $wendet, bool $freieFahrt, array $allreachedInfras) {
6
7     global $useSpeedFineTuning;
8     global $next_sections;
9     global $next_lengths;
10    global $next_v_max;
11    global $allTimes;
12    global $verzoegerung;
13    global $notverzoegerung;
14    global $currentSection;

```



```

15 global $currentPosition;
16 global $currentSpeed;
17 global $targetSpeed;
18 global $targetSection;
19 global $targetPosition;
20 global $targetTime;
21 global $indexCurrentSection;
22 global $indexTargetSection;
23 global $distanceToNextStop;
24 global $trainSpeedChange;
25 global $trainPositionChange;
26 global $trainTimeChange;
27 global $cumulativeSectionLengthEnd;
28 global $cumulativeSectionLengthStart;
29 global $keyPoints;
30 global $allUsedTrains;
31 global $globalIndexBetriebsstelleFreieFahrt;
32 global $cacheSignalIDToBetriebsstelle;
33 global $useMinTimeOnSpeed;
34 global $slowDownIfTooEarly;
35 global $globalFloatingPointNumbersRoundingError;
36
37 $emptyArray = array();
38 $keyPoints = $emptyArray;
39 $cumulativeSectionLengthStart = $emptyArray;
40 $cumulativeSectionLengthEnd = $emptyArray;
41 $next_sections = $train["next_sections"];
42 $next_lengths = $train["next_lengths"];
43 $next_v_max = $train["next_v_max"];
44 $verzoegerung = $train["verzoegerung"];
45 $notverzoegerung = $train["notverzoegerung"];
46 $train_v_max = $train["v_max"];
47 $currentSection = $train["current_section"];
48 $currentPosition = $train["current_position"];
49 $currentSpeed = $train["current_speed"];
50 $train_length = $train["zuglaenge"];
51
52 $targetSection = $targetSectionPara;
53 $targetPosition = $targetPositionPara;
54
55 $targetSpeed = 0;
56 $targetTime = $endTime;
57
58 $indexCurrentSection = null;
59 $indexTargetSection = null;
60 $timeToNextStop = null;
61 $maxTimeToNextStop = $targetTime - $startTime;
62 $maxSpeedNextSections = 120;
63
64 $indexReachedBetriebsstelle = $targetSignal;
65
66
67 // $targetBetriebsstelle = null;

```

```

68 // $targetTime = $startTime + 210;
69
70 /*
71
72 $currentSection = 1189;
73 $targetSection = 1182;
74
75 $next_sections = array(100, 1189, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 1182, 107);
76 // $next_lengths = array(4000, 190, 210, 200, 200, 200, 200, 200, 200, 200);
77 $next_lengths = array(300, 400, 300, 400, 300, 200, 400, 500, 300, 400, 300, 300);
78 $next_v_max = array(120, 120, 120, 90, 60, 60, 90, 120, 120, 100, 60, 40);
79 // $next_v_max = array(100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 40, 80, 100);
80 $currentPosition = 10;
81 $targetPosition = 290;
82 $train_v_max = 120;
83 $train_length = 50;
84 */
85
86
87
88
89 if (!$freieFahrt) {
90     $targetBetriebsstelle = $train["next_betriebsstellen_data"][
91         ↳ $indexReachedBetriebsstelle]["betriebsstelle"];
92 } else {
93     $targetBetriebsstelle = $cacheSignalIDToBetriebsstelle[intval($targetSignal)];
94 }
95
96 // TODO: Zug steht schon am Ziel (ist das nötig?)
97 if ($targetSection == $currentSection && $targetPosition == $currentPosition) {
98     // Freie Fahrt
99     if ($indexReachedBetriebsstelle == $globalIndexBetriebsstelleFreieFahrt) {
100         $indexReachedBetriebsstelle = -1;
101     }
102     $adress = $train["adresse"];
103     $return = array(array("live_position" => $targetPosition, "live_speed" =>
104         ↳ $targetSpeed, "live_time" => $endTime, "live_relative_position" =>
105         ↳ $targetPosition, "live_section" => $targetSection, "live_is_speed_change" =>
106         ↳ false, "live_target_reached" => $reachedBetriebsstelle, "wendet" => $wendet,
107         ↳ "id" => $train["id"], "betriebsstelle_name" => $targetBetriebsstelle));
108     $allTimes[$adress] = array_merge($allTimes[$adress], $return);
109     return 0;
110 }
111
112 // Wenn ein Abschnitt eine Geschwindigkeit zulässt, die größer als die v_max des Zugs
113     ↳ ist, wird die Geschwindigkeit auf die v_max des Zuges beschränkt
114 if ($train_v_max != null) {
115     foreach ($next_sections as $sectionKey => $sectionValue) {
116         if ($next_v_max[$sectionKey] > $train_v_max) {
117             $next_v_max[$sectionKey] = $train_v_max;
118         }
119     }
120 }

```

```

115
116 // Index des Start- und Zielabschnitts
117 foreach ($next_sections as $sectionKey => $sectionValue) {
118     if ($sectionValue == $currentSection) {
119         $indexCurrentSection = $sectionKey;
120     }
121     if ($sectionValue == $targetSection) {
122         $indexTargetSection = $sectionKey;
123     }
124 }
125
126 $returnCumulativeSections = createCumulativeSections($indexCurrentSection,
127     ↳ $indexTargetSection, $currentPosition, $targetPosition, $next_lengths);
128 $cumulativeSectionLengthStart = $returnCumulativeSections[0];
129 $cumulativeSectionLengthEnd = $returnCumulativeSections[1];
130 $cumLengthEnd = array();
131 $cumLengthStart = array();
132 $sum = 0;
133
134
135 foreach ($next_lengths as $index => $value) {
136     if ($index >= $indexCurrentSection) {
137         $cumLengthStart[$index] = $sum;
138         $sum += $value;
139         $cumLengthEnd[$index] = $sum;
140     }
141 }
142
143 $distanceToNextStop = $cumulativeSectionLengthEnd[$indexTargetSection];
144 if (getBrakeDistance($currentSpeed, $targetSpeed, $verzoeigerung) > $distanceToNextStop
145     ↳ && $currentSpeed != 0) {
146     if (!isset($distanceToNextStop)) {
147         emergencyBreak($train["id"]);
148         return 0;
149     } else {
150         emergencyBreak($train["id"], $distanceToNextStop);
151         return 0;
152     }
153 }
154
155 // TODO: Als Funktion ausgliedern
156 global $next_v_max_mod;
157 global $next_lengths_mod;
158 $next_v_max_mod = array();
159 $next_lengths_mod = array();
160
161 global $indexCurrentSectionMod;
162 global $indexTargetSectionMod;
163 $indexCurrentSectionMod = null;
164 $indexTargetSectionMod = null;
165

```

```

166 if ($indexCurrentSection == $indexTargetSection) {
167     $next_lengths_mod = $next_lengths;
168     $next_v_max_mod = $next_v_max;
169     $indexCurrentSectionMod = $indexCurrentSection;
170     $indexTargetSectionMod = $indexTargetSection;
171     $next_lengths_mod[$indexTargetSectionMod] = $targetPosition;
172 } else {
173     $startPosition = 0;
174     $indexStartPosition = null;
175     $indexEndPosition = null;
176     do {
177         $reachedTargetSection = false;
178         for ($j = $indexCurrentSection; $j <= $indexTargetSection; $j++) {
179             if ($startPosition >= $cumLengthStart[$j] && $startPosition < $cumLengthEnd[$j])
180                 ↪ {
181                 $indexStartPosition = $j;
182             }
183             $endPosition = $cumLengthEnd[$indexStartPosition] + $train_length;
184             $current_v_max = $next_v_max[$indexStartPosition];
185             if ($endPosition >= $cumLengthEnd[$indexTargetSection]) {
186                 $indexEndPosition = $indexTargetSection;
187                 $endPosition = $cumLengthEnd[$indexTargetSection - 1] + $targetPosition;
188                 $reachedTargetSection = true;
189             } else {
190                 for ($j = $indexCurrentSection; $j <= $indexTargetSection; $j++) {
191                     if ($endPosition >= $cumLengthStart[$j] && $endPosition < $cumLengthEnd[$j]) {
192                         $indexEndPosition = $j;
193                     }
194                 }
195             }
196             for ($j = $indexStartPosition + 1; $j <= $indexEndPosition; $j++) {
197                 if ($next_v_max[$j] < $current_v_max) {
198                     $endPosition = $cumLengthStart[$j];
199                     $indexEndPosition = $j - 1;
200                 }
201             }
202             if ($reachedTargetSection) {
203                 if (!($endPosition >= $distanceToNextStop)) {
204                     $reachedTargetSection = false;
205                 }
206             }
207             array_push($next_lengths_mod, ($endPosition - $startPosition));
208             array_push($next_v_max_mod, $current_v_max);
209             $startPosition = $endPosition;
210         } while (!$reachedTargetSection);
211         $indexCurrentSectionMod = array_key_first($next_lengths_mod);
212         $indexTargetSectionMod = array_key_last($next_lengths_mod);
213     }
214
215     $returnCumulativeSectionsMod = createCumulativeSections($indexCurrentSectionMod,
216         ↪ $indexTargetSectionMod, $currentPosition, $next_lengths_mod[
217         ↪ $indexTargetSectionMod], $next_lengths_mod);

```

```

216
217 global $cumulativeSectionLengthStartMod;
218 global $cumulativeSectionLengthEndMod;
219 $cumulativeSectionLengthStartMod = $returnCumulativeSectionsMod[0];
220 $cumulativeSectionLengthEndMod = $returnCumulativeSectionsMod[1];
221
222 $minTimeOnSpeedIsPossible = checkIfItsPossible();
223
224
225 $v_maxFirstIteration = getVMaxBetweenTwoPoints($distanceToNextStop, $currentSpeed,
    ↪ $targetSpeed);
226
227 // Anpassung an die maximale Geschwindigkeit auf der Strecke
228 for ($i = $indexCurrentSection; $i <= $indexTargetSection; $i++) {
229     if ($next_v_max[$i] > $maxSpeedNextSections) {
230         $maxSpeedNextSections = $next_v_max[$i];
231     }
232 }
233
234 if ($maxSpeedNextSections < $v_maxFirstIteration) {
235     $v_maxFirstIteration = $maxSpeedNextSections;
236 }
237
238 // Key Points für die erste Iteration erstellen.
239 array_push($keyPoints, createKeyPoint(0, getBrakeDistance($currentSpeed,
    ↪ $v_maxFirstIteration, $verzoegerung), $currentSpeed, $v_maxFirstIteration));
240 array_push($keyPoints, createKeyPoint(($distanceToNextStop - getBrakeDistance(
    ↪ $v_maxFirstIteration, $targetSpeed, $verzoegerung)), $distanceToNextStop,
    ↪ $v_maxFirstIteration, $targetSpeed));
241
242 //function keyPoints => trainChangeArrays
243 $trainChange = convertKeyPointsToTrainChangeArray($keyPoints);
244 $trainPositionChange = $trainChange[0];
245 $trainSpeedChange = $trainChange[1];
246
247 $speedOverPositionAllIterations = array();
248
249 while (checkIfTrainIsToFastInCertainSections()["failed"]) {
250     // saves the keyPoints local
251     $tempKeyPoints = $keyPoints;
252
253     // berechnet die "live Daten"
254     $trainChange = createTrainChanges(true);
255     $trainPositionChange = $trainChange[0];
256     $trainSpeedChange = $trainChange[1];
257
258     array_push($speedOverPositionAllIterations, array($trainPositionChange,
    ↪ $trainSpeedChange));
259
260     // suche nach Fehlern und Neuberechnung...
261     $keyPoints = recalculateKeyPoints($tempKeyPoints);
262
263     $localKeyPointsTwo = array();

```

```

264
265 // Löschung von zwei aufeinanderfolgenden "unnötigen" KeyPoints
266 for ($i = 0; $i < sizeof($keyPoints); $i++) {
267     if ($i < sizeof($keyPoints) - 1) {
268         if (!($keyPoints[$i]["speed_0"] == $keyPoints[$i]["speed_1"] && $keyPoints[$i]["
            ↳ speed_0"] == $keyPoints[$i + 1]["speed_0"] && $keyPoints[$i]["speed_0"]
            ↳ == $keyPoints[$i + 1]["speed_1"])) {
269             array_push($localKeyPointsTwo, $keyPoints[$i]);
270         } else {
271             $i++;
272         }
273     } else {
274         array_push($localKeyPointsTwo, $keyPoints[$i]);
275     }
276 }
277
278 $keyPoints = $localKeyPointsTwo;
279 $trainChange = createTrainChanges(true);
280 $trainPositionChange = $trainChange[0];
281 $trainSpeedChange = $trainChange[1];
282 $count++;
283 }
284
285 // Adding time to first KeyPoint
286 $keyPoints[0]["time_0"] = $startTime;
287 $keyPoints = deleteDoubledKeyPoints($keyPoints);
288 $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
289 if ($useMinTimeOnSpeed && $minTimeOnSpeedIsPossible) {
290     array_push($speedOverPositionAllIterations, array($trainPositionChange,
        ↳ ↳ $trainSpeedChange));
291     toShortOnOneSpeed();
292 }
293 $trainChange = createTrainChanges(true);
294 $trainPositionChange = $trainChange[0];
295 $trainSpeedChange = $trainChange[1];
296 $timeToNextStop = end($keyPoints)["time_1"] - $keyPoints[0]["time_0"];
297
298 // Train arrives at destination with a delay
299 if (!$freieFahrt) {
300     if ($timeToNextStop > $maxTimeToNextStop) {
301         // TODO: Als allgemeine Info am Anfang der Funktion...
302         echo "Der Zug mit der Adresse ", $train["adresse"], " wird mit einer Verspätung
            ↳ ↳ von ", number_format($timeToNextStop - $maxTimeToNextStop, 2), " Sekunden
            ↳ ↳ im nächsten planmäßigen Halt (" , $targetBetriebsstelle,") ankommen.\n";
303     } else {
304         echo "Aktuell benötigt der Zug mit der Adresse ", $train["adresse"], " ",
            ↳ ↳ number_format($timeToNextStop, 2), " Sekunden, obwohl er ", number_format(
            ↳ ↳ $maxTimeToNextStop, 2), " Sekunden zur Verfügung hat.\n";
305         if ($slowDownIfTooEarly) {
306             echo "Evtl. könnte der Zug zwischendurch die Geschwindigkeit verringern, um
                ↳ ↳ Energie zu sparen.";
307             array_push($speedOverPositionAllIterations, array($trainPositionChange,
                ↳ ↳ $trainSpeedChange));

```

```

308     $keyPointsPreviousStep = array();
309     $finish = false;
310     $possibleSpeedRange = null;
311     $returnSpeedDecrease = checkIfTheSpeedCanBeDecreased();
312     while ($returnSpeedDecrease["possible"] && !$finish) {
313         $possibleSpeedRange = findMaxSpeed($returnSpeedDecrease);
314         if ($possibleSpeedRange["min_speed"] == $possibleSpeedRange["max_speed"]) {
315             break;
316         }
317         $localKeyPoints = $keyPoints;
318         $newCalculatedTime = null;
319         $newKeyPoints = null;
320         for ($i = $possibleSpeedRange["max_speed"]; $i >= $possibleSpeedRange["
            ↪ min_speed"]; $i = $i - 10) {
321             $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["speed_1"] = $i
            ↪ ;
322             $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["speed_0"]
            ↪ = $i;
323             $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["position_1"] =
            ↪ (getBrakeDistance($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["
            ↪ first_key_point_index"]]["speed_0"], $i, $verzoegerung) +
            ↪ $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["
            ↪ position_0"]);
324             $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["position_0
            ↪ "] = ($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] +
            ↪ 1]["position_1"] - getBrakeDistance($i, $localKeyPoints[
            ↪ $possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["speed_1"],
            ↪ $verzoegerung));
325             $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints);
326             $newCalculatedTime = $localKeyPoints[array_key_last($localKeyPoints)]["time_1
            ↪ "]
            ↪ ;
327             if ($i == 10) {
328                 if ($newCalculatedTime > $maxTimeToNextStop) {
329                     $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["speed_1"]
                    ↪ = $i + 10;
330                     $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["
                    ↪ speed_0"] = $i + 10;
331                     $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["position_1
                    ↪ "] = (getBrakeDistance($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["
                    ↪ first_key_point_index"]]["speed_0"], ($i + 10), $verzoegerung) +
                    ↪ $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["
                    ↪ position_0"]);
332                     $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["
                    ↪ position_0"] = ($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["
                    ↪ first_key_point_index"] + 1]["position_1"] - getBrakeDistance(($i
                    ↪ + 10), $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"
                    ↪ "] + 1]["speed_1"], $verzoegerung));
333                 }
334                 $finish = true;
335                 $newKeyPoints = $localKeyPoints;
336                 break;
337             }
338             if (($newCalculatedTime - $startTime) > $maxTimeToNextStop) {

```

```

339         if ($i == $possibleSpeedRange["max_speed"]) {
340             $localKeyPoints = $keyPointsPreviousStep;
341             $localKeyPoints = deleteDoubledKeyPoints($localKeyPoints);
342             $keyPoints = $localKeyPoints;
343             $finish = true;
344             break;
345         }
346         $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["speed_1"] =
            ↪ $i + 10;
347         $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["speed_0"]
            ↪ = $i + 10;
348         $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["position_1"]
            ↪ = (getBrakeDistance($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["
            ↪ first_key_point_index"]]["speed_0"], ($i + 10), $verzoegerung) +
            ↪ $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"]]["
            ↪ position_0"]);
349         $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] + 1]["
            ↪ position_0"] = ($localKeyPoints[$possibleSpeedRange["
            ↪ first_key_point_index"] + 1]["position_1"] - getBrakeDistance(($i +
            ↪ 10), $localKeyPoints[$possibleSpeedRange["first_key_point_index"] +
            ↪ 1]["speed_1"], $verzoegerung));
350         $newKeyPoints = $localKeyPoints;
351         $finish = true;
352         $keyPoints = $localKeyPoints;
353         break;
354     }
355     if ($i == $possibleSpeedRange["min_speed"]) {
356         $newKeyPoints = $localKeyPoints;
357         $newKeyPoints = deleteDoubledKeyPoints($newKeyPoints);
358         $keyPoints = $newKeyPoints;
359         break;
360     }
361     $newKeyPoints = $localKeyPoints;
362 }
363 $keyPointsPreviousStep = $localKeyPoints;
364 if ($newKeyPoints != null) {
365     $keyPoints = $newKeyPoints;
366 }
367 $keyPoints = deleteDoubledKeyPoints($keyPoints);
368 $returnSpeedDecrease = checkIfTheSpeedCanBeDecreased();
369 }
370 $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
371 if ($useSpeedFineTuning && $returnSpeedDecrease["possible"]) {
372     $trainChangeReturn = createTrainChanges(true);
373     $trainPositionChange = $trainChangeReturn[0];
374     $trainSpeedChange = $trainChangeReturn[1];
375     $newCalculatedTime = $keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["time_1"];
376     speedFineTuning(($maxTimeToNextStop - ($newCalculatedTime - $startTime)),
        ↪ $returnSpeedDecrease["range"][array_key_last($returnSpeedDecrease["range
        ↪ "])]["KeyPoint_index"]);
377 }
378 $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
379 $timeToNextStop = end($keyPoints)["time_1"] - $keyPoints[0]["time_0"];

```



```

380     echo "\nDurch die Anpassung der Geschwindigkeit benötigt der Zug mit der Adresse
        ↳ ", $train["adresse"], " jetzt ", number_format($timeToNextStop, 2), "
        ↳ Sekunden bis\n";
381     if (abs($timeToNextStop - $maxTimeToNextStop) <
        ↳ $globalFloatingPointNumbersRoundingError) {
382         echo "zum nächsten planmäßigen Halt (", $targetBetriebsstelle, ") und wird
        ↳ diesen genau pünktlich erreichen.\n";
383     } else if (($timeToNextStop - $maxTimeToNextStop) > 0) {
384         echo "zum nächsten planmäßigen Halt (", $targetBetriebsstelle, ") und wird
        ↳ diesen mit einer Verspätung von ", number_format($timeToNextStop -
        ↳ $maxTimeToNextStop, 2), " Sekunden erreichen.\n";
385     } else {
386         echo "zum nächsten planmäßigen Halt (", $targetBetriebsstelle, ") und wird
        ↳ diesen ", number_format($timeToNextStop - $maxTimeToNextStop, 2), "
        ↳ Sekunden zu früh erreichen.\n";
387     }
388 } else {
389     echo "Dadurch, dass \$slowDownIfTooEarly = true ist, wird das Fahrzeug ",
        ↳ number_format($maxTimeToNextStop - $timeToNextStop, 2), " Sekunden zu frü
        ↳ h am Ziel ankommen.";
390 }
391 }
392 } else {
393     echo "Der Zug mit der Adresse ", $train["adresse"], " fährt aktuell ohne Fahrplan
        ↳ bis zum nächsten auf Halt stehendem Signal (Signal ID: ", $targetSignal, ",
        ↳ Betriebsstelle: ", $targetBetriebsstelle, ").\n";
394 }
395
396 $returnTrainChanges = createTrainChanges(false);
397 $trainPositionChange = $returnTrainChanges[0];
398 $trainSpeedChange = $returnTrainChanges[1];
399 $trainTimeChange = $returnTrainChanges[2];
400 $trainRelativePosition = $returnTrainChanges[3];
401 $trainSection = $returnTrainChanges[4];
402 $trainIsSpeedChange = $returnTrainChanges[5];
403 $trainTargetReached = array();
404 $trainBetriebsstelleName = array();
405 $trainWendet = array();
406 $allReachedTargets = array();
407 $allReachedInfrasIndex = array();
408 $allReachedInfrasID = array();
409 $allReachedInfrasUsed = array();
410 foreach ($allReachedInfras as $value) {
411     array_push($allReachedInfrasIndex, $value["index"]);
412     array_push($allReachedInfrasID, $value["infra"]);
413 }
414 foreach ($trainPositionChange as $key => $value) {
415     $trainBetriebsstelleName[$key] = $targetBetriebsstelle;
416     if (array_key_last($trainPositionChange) != $key) {
417         $trainTargetReached[$key] = false;
418         $trainWendet[$key] = false;
419     } else {
420         if ($wendet) {

```

```

421     $trainWendet[$key] = true;
422 } else {
423     $trainWendet[$key] = false;
424 }
425 if ($reachedBetriebsstelle) {
426     $trainTargetReached[$key] = true;
427 } else {
428     $trainTargetReached[$key] = false;
429 }
430 }
431 }
432 for($i = sizeof($trainSection) - 1; $i >= 0; $i--) {
433     if (in_array($trainSection[$i], $allreachedInfrasID) && !in_array($trainSection[$i],
434         ↳ $allreachedInfrasUsed)) {
435         array_push($allreachedInfrasUsed, $trainSection[$i]);
436         $InfracIndex = array_search($trainSection[$i], $allreachedInfrasID);
437         $allReachedTargets[$i] = $allreachedInfrasIndex[$InfracIndex];
438     } else {
439         $allReachedTargets[$i] = null;
440     }
441 }
442 ksort($allReachedTargets);
443 $returnArray = array();
444 $adress = $train["adresse"];
445 $trainID = array();
446 $id = $train["id"];
447 foreach ($trainPositionChange as $key => $value) {
448     $trainID[$key] = $id;
449 }
450 foreach ($trainPositionChange as $trainPositionChangeIndex =>
451     ↳ $trainPositionChangeValue) {
452     array_push($returnArray, array("live_position" => $trainPositionChangeValue,
453         "live_speed" => $trainSpeedChange[$trainPositionChangeIndex],
454         "live_time" => $trainTimeChange[$trainPositionChangeIndex],
455         "live_relative_position" => $trainRelativePosition[$trainPositionChangeIndex],
456         "live_section" => $trainSection[$trainPositionChangeIndex],
457         "live_is_speed_change" => $trainIsSpeedChange[$trainPositionChangeIndex],
458         "live_target_reached" => $trainTargetReached[$trainPositionChangeIndex],
459         "id" => $trainID[$trainPositionChangeIndex],
460         "wendet" => $trainWendet[$trainPositionChangeIndex],
461         "betriebsstelle" => $trainBetriebsstelleName[$trainPositionChangeIndex],
462         "live_all_targets_reached" => $allReachedTargets[$trainPositionChangeIndex]));
463 }
464 $allTimes[$adress] = $returnArray;
465 var_dump($keyPoints);
466 var_dump($allTimes[$adress]);
467 safeTrainChangeToJSONFile($indexCurrentSection, $indexTargetSection,
468     ↳ $indexCurrentSectionMod, $indexTargetSectionMod,
469     ↳ $speedOverPositionAllIterations);
470 return (end($trainTimeChange) - $trainTimeChange[0]) - ($endTime - $startTime);
471 }
472
473 function getBrakeDistance (float $v_0, float $v_1, float $verzoeigerung) {

```

```

470     return abs(0.5 * ((pow($v_0/3.6,2)-pow($v_1/3.6, 2))/($verzoegerung)));
471 }
472
473 // TODO: Überarbeitung
474 function getVMaxBetweenTwoPoints(float $distance, int $v_0, int $v_1) {
475     global $verzoegerung;
476     global $globalFloatingPointNumbersRoundingError;
477
478     $v_max = array();
479     for ($i = 0; $i <= 120; $i = $i + 10) {
480         if ((getBrakeDistance($v_0, $i, $verzoegerung) + getBrakeDistance($i, $v_1,
481             ↪ $verzoegerung)) < ($distance + $globalFloatingPointNumbersRoundingError)) {
482             array_push($v_max, $i);
483         }
484     }
485     if (sizeof($v_max) == 0) {
486         if ($v_0 == 0 && $v_1 == 0 && $distance > 0) {
487             echo "Der zug müsste langsamer als 10 km/h fahren, um das Ziel zu erreichen.";
488         } else {
489             // TODO: Notbremsung
490         }
491     } else {
492         if ($v_0 == $v_1 && max($v_max) < $v_0) {
493             $v_max = array($v_0);
494         }
495     }
496     return max($v_max);
497 }
498
499 function createKeyPoint (float $position_0, float $position_1, int $speed_0, int
500     ↪ $speed_1) {
501     return array("position_0" => $position_0, "position_1" => $position_1, "speed_0" =>
502         ↪ $speed_0, "speed_1" => $speed_1);
503 }
504
505 // TODO: Funktion doppelt sich... (evtl. hilfreich, weil diese Funktion nur
506     ↪ Geschwindigkeit und Position zurückgibt)
507 function convertKeyPointsToTrainChangeArray (array $keyPoints) {
508     global $verzoegerung;
509
510     $trainSpeedChangeReturn = array();
511     $trainPositionChnageReturn = array();
512
513     array_push($trainPositionChnageReturn, $keyPoints[0]["position_0"]);
514     array_push($trainSpeedChangeReturn, $keyPoints[0]["speed_0"]);
515
516     for ($i = 0; $i <= (sizeof($keyPoints) - 2); $i++) {
517         if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
518             for ($j = $keyPoints[$i]["speed_0"]; $j < $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j = $j + 2)
519                 ↪ {
520                 array_push($trainPositionChnageReturn, (end($trainPositionChnageReturn) +
521                     ↪ getBrakeDistance($j, ($j + 2), $verzoegerung)));
522                 array_push($trainSpeedChangeReturn, ($j + 2));
523             }
524         }
525     }
526 }

```

```

517     }
518 } elseif ($keyPoints[$i]["speed_0"] > $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
519     for ($j = $keyPoints[$i]["speed_0"]; $j > $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j = $j - 2)
520         ↪ {
521         array_push($trainPositionChnageReturn, (end($trainPositionChnageReturn) +
522             ↪ getBrakeDistance($j, ($j - 2), $verzoegerung)));
523         array_push($trainSpeedChangeReturn, ($j - 2));
524     }
525 }
526 array_push($trainPositionChnageReturn, $keyPoints[$i + 1]["position_0"]);
527 array_push($trainSpeedChangeReturn, $keyPoints[$i + 1]["speed_0"]);
528 }
529 if (end($keyPoints)["speed_0"] < end($keyPoints)["speed_1"]) {
530     for ($j = end($keyPoints)["speed_0"]; $j < end($keyPoints)["speed_1"]; $j = $j + 2)
531         ↪ {
532         array_push($trainPositionChnageReturn, (end($trainPositionChnageReturn) +
533             ↪ getBrakeDistance($j, ($j + 2), $verzoegerung)));
534         array_push($trainSpeedChangeReturn, ($j + 2));
535     }
536 } else if (end($keyPoints)["speed_0"] > end($keyPoints)["speed_1"]) {
537     for ($j = end($keyPoints)["speed_0"]; $j > end($keyPoints)["speed_1"]; $j = $j - 2)
538         ↪ {
539         array_push($trainPositionChnageReturn, (end($trainPositionChnageReturn) +
540             ↪ getBrakeDistance($j, ($j - 2), $verzoegerung)));
541         array_push($trainSpeedChangeReturn, ($j - 2));
542     }
543 }
544 return array($trainPositionChnageReturn, $trainSpeedChangeReturn);
545 }
546
547 function safeTrainChangeToJSONFile(int $indexCurrentSection, int $indexTargetSection,
548     ↪ int $indexCurrentSectionMod, int $indexTargetSectionMod, array
549     ↪ $speedOverPositionAllIterations) {
550     global $trainPositionChange;
551     global $trainSpeedChange;
552     global $next_v_max;
553     global $cumulativeSectionLengthEnd;
554     global $next_v_max_mod;
555     global $cumulativeSectionLengthEndMod;
556
557     $speedOverPosition = array_map('toArr', $trainPositionChange, $trainSpeedChange);
558     $speedOverPosition = json_encode($speedOverPosition);
559     $fp = fopen('../json/speedOverPosition.json', 'w');
560     fwrite($fp, $speedOverPosition);
561     fclose($fp);
562
563     $v_maxFromUsedSections = array();
564     for ($i = $indexCurrentSection; $i <= $indexTargetSection; $i++) {
565         array_push($v_maxFromUsedSections, $next_v_max[$i]);
566     }
567     $VMaxOverCumulativeSections = array_map('toArr', $cumulativeSectionLengthEnd,
568         ↪ $v_maxFromUsedSections);

```

```

561 $VMaxOverPositionsJSon = json_encode($VMaxOverCumulativeSections);
562 $fp = fopen('../json/VMaxOverCumulativeSections.json', 'w');
563 fwrite($fp, $VMaxOverPositionsJSon);
564 fclose($fp);
565
566 $v_maxFromUsedSections = array();
567 for ($i = $indexCurrentSectionMod; $i <= $indexTargetSectionMod; $i++) {
568     array_push($v_maxFromUsedSections, $next_v_max_mod[$i]);
569 }
570 $VMaxOverCumulativeSectionsMod = array_map('toArr', $cumulativeSectionLengthEndMod,
    ↪ $v_maxFromUsedSections);
571 $VMaxOverPositionsJSon = json_encode($VMaxOverCumulativeSectionsMod);
572 $fp = fopen('../json/VMaxOverCumulativeSectionsMod.json', 'w');
573 fwrite($fp, $VMaxOverPositionsJSon);
574 fclose($fp);
575
576 $jsonReturn = array();
577 for ($i = 0; $i < sizeof($speedOverPositionAllIterations); $i++) {
578     $iteration = array_map('toArr', $speedOverPositionAllIterations[$i][0],
    ↪ $speedOverPositionAllIterations[$i][1]);
579     array_push($jsonReturn, $iteration);
580 }
581 $speedOverPosition = json_encode($jsonReturn);
582 $fp = fopen('../json/speedOverPosition_prevIterations.json', 'w');
583 fwrite($fp, $speedOverPosition);
584 fclose($fp);
585 }
586
587 function checkIfTrainIsToFastInCertainSections() {
588
589     global $trainPositionChange;
590     global $trainSpeedChange;
591     global $cumulativeSectionLengthStartMod;
592     global $next_v_max_mod;
593     global $indexTargetSectionMod;
594
595     $faieldSections = array();
596
597     foreach ($trainPositionChange as $trainPositionChangeKey => $trainPositionChangeValue)
    ↪ {
598         foreach ($cumulativeSectionLengthStartMod as $cumulativeSectionLengthStartKey =>
    ↪ $cumulativeSectionLengthStartValue) {
599             if ($trainPositionChangeValue < $cumulativeSectionLengthStartValue) {
600                 if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
    ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey - 1]) {
601                     array_push($faieldSections, ($cumulativeSectionLengthStartKey - 1));
602                 }
603                 break;
604             } else if ($cumulativeSectionLengthStartKey == $indexTargetSectionMod) {
605                 if ($trainPositionChangeValue > $cumulativeSectionLengthStartValue) {
606                     if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
    ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey]) {
607                         array_push($faieldSections, $cumulativeSectionLengthStartKey);

```

```

608     }
609     break;
610 }
611 }
612 }
613 }
614
615 if (sizeof($failedSections) == 0) {
616     return array("failed" => false);
617 } else {
618     return array("failed" => true, "failed_sections" => array_unique($failedSections));
619 }
620 }
621
622 function deleteDoubledKeyPoints($temporaryKeyPoints) {
623
624     do {
625         $foundDoubledKeyPoints = false;
626         $doubledIndex = array();
627         for ($i = 1; $i < (sizeof($temporaryKeyPoints) - 1); $i++) {
628             if ($temporaryKeyPoints[$i]["speed_0"] == $temporaryKeyPoints[$i]["speed_1"]) {
629                 $foundDoubledKeyPoints = true;
630                 array_push($doubledIndex, $i);
631             }
632         }
633
634         foreach ($doubledIndex as $index) {
635             unset($temporaryKeyPoints[$index]);
636         }
637         $temporaryKeyPoints = array_values($temporaryKeyPoints);
638     } while ($foundDoubledKeyPoints);
639     return $temporaryKeyPoints;
640 }
641
642 function calculateTrainTimeChange() {
643
644     global $keyPoints;
645     global $verzoegerung;
646
647     $returnAllTimes = array();
648     $returnAllTimes[0] = $keyPoints[0]["time_0"];
649
650     for ($i = 0; $i < (sizeof($keyPoints) - 1); $i++) {
651         if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
652             for ($j = $keyPoints[$i]["speed_0"] + 2; $j <= $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j = $j
653                 ↪ + 2) {
654                 array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + (getBrakeTime($j - 2, $j,
655                 ↪ $verzoegerung))));
656             }
657             array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + distanceWithSpeedToTime(
658                 ↪ $keyPoints[$i]["speed_1"], ($keyPoints[$i + 1]["position_0"] - $keyPoints[
659                 ↪ $i]["position_1"]))));

```

```

657
658     } else if ($keyPoints[$i]["speed_0"] > $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
659         for ($j = $keyPoints[$i]["speed_0"] - 2; $j >= $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j = $j
        ↪ - 2) {
660             array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + (getBrakeTime($j + 2, $j,
        ↪ $verzoeigerung))));
661         }
662     }
663     array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + distanceWithSpeedToTime(
        ↪ $keyPoints[$i]["speed_1"], ($keyPoints[$i + 1]["position_0"] - $keyPoints[
        ↪ $i]["position_1"]))));
664 }
665 }
666
667 if ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] < $keyPoints[array_key_last(
        ↪ $keyPoints)]["speed_1"]) {
668     for ($i = ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] + 2); $i <= $keyPoints[
        ↪ array_key_last($keyPoints)]["speed_1"]; $i = $i + 2) {
669         array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + (getBrakeTime($i - 2, $i,
        ↪ $verzoeigerung))));
670     }
671 } else if ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] > $keyPoints[
        ↪ array_key_last($keyPoints)]["speed_1"]) {
672     for ($i = ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] - 2); $i >= $keyPoints[
        ↪ array_key_last($keyPoints)]["speed_1"]; $i = $i - 2) {
673         array_push($returnAllTimes, (end($returnAllTimes) + (getBrakeTime($i + 2, $i,
        ↪ $verzoeigerung))));
674     }
675 }
676 return $returnAllTimes;
677 }
678
679 function getBrakeTime (float $v_0, float $v_1, float $verzoeigerung) {
680     if ($v_0 < $v_1) {
681         return (($v_1/3.6)/$verzoeigerung) - (($v_0/3.6)/$verzoeigerung);
682     } elseif ($v_0 > $v_1) {
683         return (($v_0/3.6)/$verzoeigerung) - (($v_1/3.6)/$verzoeigerung);
684     } else {
685         return 0;
686     }
687 }
688
689 // TODO: Darf nichts negatives zurückgeben!
690 // TODO: Muss auch was neg. zurück geben für minTimeOnOneSpeed!
691 function distanceWithSpeedToTime (int $v, float $distance) {
692     if ($distance == 0) {
693         return 0;
694     }
695     return (($distance)/($v / 3.6));
696 }
697
698 function calculateTimeFromKeyPoints($inputKeyPoints = null, $skippingKeys = null) {
699

```

```

700 global $keyPoints;
701 global $verzoegerung;
702
703 if ($inputKeyPoints == null) {
704     $localKeyPoints = $keyPoints;
705 } else {
706     $localKeyPoints = $inputKeyPoints;
707 }
708 $keys = array_keys($localKeyPoints);
709 if ($skippingKeys != null) {
710     foreach ($skippingKeys as $skip) {
711         unset($keys[array_search($skip, $keys)]);
712     }
713 }
714 $keys = array_values($keys);
715
716 for ($i = 0; $i < (sizeof($keys) - 1); $i++) {
717     $localKeyPoints[$keys[$i]]["time_1"] = getBrakeTime($localKeyPoints[$keys[$i]]["
        ↳ speed_0"], $localKeyPoints[$keys[$i]]["speed_1"], $verzoegerung) +
        ↳ $localKeyPoints[$keys[$i]]["time_0"];
718     $localKeyPoints[$keys[$i] + 1]["time_0"] = distanceWithSpeedToTime($localKeyPoints[
        ↳ $keys[$i]]["speed_1"], ($localKeyPoints[$keys[$i] + 1]["position_0"]) -
        ↳ $localKeyPoints[$keys[$i]]["position_1"]) + $localKeyPoints[$keys[$i]]["
        ↳ time_1"];
719 }
720
721 $localKeyPoints[end($keys)]["time_1"] = getBrakeTime($localKeyPoints[end($keys)]["
    ↳ speed_0"], $localKeyPoints[end($keys)]["speed_1"], $verzoegerung) +
    ↳ $localKeyPoints[end($keys)]["time_0"];
722 return $localKeyPoints;
723 }
724
725 // TODO: Only Position and Speed
726 function createTrainChanges(bool $onlyPositionAndSpeed) {
727
728     global $keyPoints;
729     global $verzoegerung;
730     global $cumulativeSectionLengthStart;
731     global $cumulativeSectionLengthEnd;
732     global $next_sections;
733     global $indexCurrentSection;
734     global $indexTargetSection;
735     global $currentPosition;
736     global $globalFloatingPointNumbersRoundingError;
737     global $globalDistanceUpdateInterval;
738
739     $returnTrainSpeedChange = array();
740     $returnTrainTimeChange = array();
741     $returnTrainPositionChange = array();
742     $returnTrainRelativePosition = array();
743     $returnTrainSection = array();
744     $returnIsSpeedChange = array();
745

```



```

746 // Alle bis auf den letzten Key Point
747 // Erstellt immer alle Daten zwischen KeyPoint Anfang und dem letzten Wert vor dem nä
    ↳ chsten KeyPoint
748 for ($i = 0; $i < (sizeof($keyPoints) - 1); $i++) {
749     array_push($returnTrainTimeChange, $keyPoints[$i]["time_0"]);
750     array_push($returnTrainSpeedChange, $keyPoints[$i]["speed_0"]);
751     array_push($returnTrainPositionChange, $keyPoints[$i]["position_0"]);
752     array_push($returnIsSpeedChange, true);
753     if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
754         // Speichert alle ab dem zweiten Wert bis zum letzten Wert
755         for ($j = ($keyPoints[$i]["speed_0"] + 2); $j <= $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j =
            ↳ $j + 2) {
756             array_push($returnTrainPositionChange, (end($returnTrainPositionChange) +
                ↳ getBrakeDistance(($j - 2), $j, $verzoegerung)));
757             array_push($returnTrainSpeedChange, $j);
758             array_push($returnTrainTimeChange, (end($returnTrainTimeChange) + (getBrakeTime((
                ↳ $j - 2), $j, $verzoegerung))));
759             array_push($returnIsSpeedChange, true);
760         }
761     } else {
762         for ($j = ($keyPoints[$i]["speed_0"] - 2); $j >= $keyPoints[$i]["speed_1"]; $j =
            ↳ $j - 2) {
763             array_push($returnTrainPositionChange, (end($returnTrainPositionChange) +
                ↳ getBrakeDistance(($j + 2), $j, $verzoegerung)));
764             array_push($returnTrainSpeedChange, $j);
765             array_push($returnTrainTimeChange, (end($returnTrainTimeChange) + (getBrakeTime((
                ↳ $j + 2), $j, $verzoegerung))));
766             array_push($returnIsSpeedChange, true);
767         }
768     }
769     $startPosition = $keyPoints[$i]["position_1"];
770     $endPosition = $keyPoints[$i + 1]["position_0"];
771     $speedToNextKeyPoint = $keyPoints[$i]["speed_1"];
772     $distanceForOneTimeInterval = $speedToNextKeyPoint / 3.6;
773     for ($position = $startPosition + $distanceForOneTimeInterval; $position <
        ↳ $endPosition; $position = $position + $distanceForOneTimeInterval) {
774         array_push($returnTrainPositionChange, $position);
775         array_push($returnTrainSpeedChange, $speedToNextKeyPoint);
776         array_push($returnTrainTimeChange, end($returnTrainTimeChange) +
            ↳ $globalDistanceUpdateInterval);
777         array_push($returnIsSpeedChange, false);
778     }
779 }
780 array_push($returnTrainPositionChange, $keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["
    ↳ position_1"] - getBrakeDistance($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"]
    ↳ "], $keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_1"], $verzoegerung));
781 array_push($returnTrainSpeedChange, $keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"]);
    ↳ ;
782 array_push($returnTrainTimeChange, $keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["time_0"]);
783 array_push($returnIsSpeedChange, true);
784 // letzter KeyPoint
785 if ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] < $keyPoints[array_key_last(
    ↳ $keyPoints)]["speed_1"]) {

```

```

786 for ($j = ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] + 2); $j <= $keyPoints[
    ↳ array_key_last($keyPoints)]["speed_1"]; $j = $j + 2) {
787     array_push($returnTrainPositionChange, (end($returnTrainPositionChange) +
    ↳ getBrakeDistance(($j - 2), $j, $verzoegerung)));
788     array_push($returnTrainSpeedChange, $j);
789     array_push($returnTrainTimeChange, (end($returnTrainTimeChange) + (getBrakeTime((
    ↳ $j - 2), $j, $verzoegerung))));
790     array_push($returnIsSpeedChange, true);
791 }
792 } else {
793     for ($j = ($keyPoints[array_key_last($keyPoints)]["speed_0"] - 2); $j >= $keyPoints[
    ↳ array_key_last($keyPoints)]["speed_1"]; $j = $j - 2) {
794         array_push($returnTrainPositionChange, (end($returnTrainPositionChange) +
    ↳ getBrakeDistance(($j + 2), $j, $verzoegerung)));
795         array_push($returnTrainSpeedChange, $j);
796         array_push($returnTrainTimeChange, (end($returnTrainTimeChange) + (getBrakeTime((
    ↳ $j + 2), $j, $verzoegerung))));
797         array_push($returnIsSpeedChange, true);
798     }
799 }
800 if ($onlyPositionAndSpeed) {
801     return array($returnTrainPositionChange, $returnTrainSpeedChange);
802 } else {
803     // Erstellt die relativen Positionen und Abschnitte zu den absoluten Werten.
    ↳ position
804     foreach ($returnTrainPositionChange as $absolutPositionKey => $absolutPositionValue)
    ↳ {
805         foreach ($cumulativeSectionLengthStart as $sectionStartKey => $sectionStartValue)
    ↳ {
806             if ($absolutPositionValue >= $sectionStartValue && $absolutPositionValue <
    ↳ $cumulativeSectionLengthEnd[$sectionStartKey]) {
807                 if ($sectionStartKey == $indexCurrentSection && $sectionStartKey ==
    ↳ $indexTargetSection) {
808                     $returnTrainRelativePosition[$absolutPositionKey] = $absolutPositionValue +
    ↳ $currentPosition;
809                 } else if ($sectionStartKey == $indexCurrentSection) {
810                     $returnTrainRelativePosition[$absolutPositionKey] = $absolutPositionValue +
    ↳ $currentPosition;
811                 } else if ($sectionStartKey == $indexCurrentSection) {
812                     $returnTrainRelativePosition[$absolutPositionKey] = $absolutPositionValue -
    ↳ $sectionStartValue;
813                 } else {
814                     $returnTrainRelativePosition[$absolutPositionKey] = $absolutPositionValue -
    ↳ $sectionStartValue;
815                 }
816                 break;
817             } else if ($absolutPositionKey == array_key_last($returnTrainPositionChange) &&
    ↳ abs($absolutPositionValue - floatval($cumulativeSectionLengthEnd[
    ↳ $sectionStartKey])) < $globalFloatingPointNumbersRoundingError) {
818                 $returnTrainRelativePosition[$absolutPositionKey] = $cumulativeSectionLengthEnd
    ↳ [$sectionStartKey] - $sectionStartValue;
819                 break;
820             } else {

```

```

821         debugMessage("Eine absolute Position konnte keine relativen Position in einem
            ↳ Abschnitt zugeordnet werden!");
822     }
823 }
824 }
825
826 // Erstellt die relativen Positionen und Abschnitte zu den absoluten Werten. section
827 foreach ($returnTrainPositionChange as $absolutPositionKey => $absolutPositionValue)
828     ↳ {
829     foreach ($cumulativeSectionLengthStart as $sectionStartKey => $sectionStartValue)
830         ↳ {
831         if ($absolutPositionValue >= $sectionStartValue && $absolutPositionValue <
832             ↳ $cumulativeSectionLengthEnd[$sectionStartKey]) {
833             if ($sectionStartKey == $indexCurrentSection && $sectionStartKey ==
834                 ↳ $indexTargetSection) {
835                 $returnTrainSection[$absolutPositionKey] = $next_sections[$sectionStartKey];
836             } else if ($sectionStartKey == $indexCurrentSection) {
837                 $returnTrainSection[$absolutPositionKey] = $next_sections[$sectionStartKey];
838             } else if ($sectionStartKey == $indexTargetSection) {
839                 $returnTrainSection[$absolutPositionKey] = $next_sections[$sectionStartKey];
840             } else {
841                 $returnTrainSection[$absolutPositionKey] = $next_sections[$sectionStartKey];
842                 break;
843             } else {
844                 debugMessage("Eine absolute Position konnte keine relativen Position in einem
845                     ↳ Abschnitt zugeordnet werden!");
846             }
847         }
848     }
849     return array($returnTrainPositionChange, $returnTrainSpeedChange,
850         ↳ $returnTrainTimeChange, $returnTrainRelativePosition, $returnTrainSection,
851         ↳ $returnIsSpeedChange);
852 }
853 }
854
855 // Überprüft immer zwei benachbarte KeyPoints (0+1, 2+3, 4+5, 6+7 etc.)
856 // TODO: schöner schreiben die Funktion... sieht hässlich aus!
857 // TODO: Sollte auch bei einer ungeraden Anzahl an KeyPoints funktionieren, bitte aber
858     ↳ nochmal überprüfen
859 function recalculateKeyPoints(array $tempKeyPoints) {
860     $returnKeyPoints = array();
861     $numberOfPairs = sizeof($tempKeyPoints) / 2;
862     for($j = 0; $j < $numberOfPairs; $j++) {
863         $i = $j * 2;
864         $return = checkBetweenTwoKeyPoints($tempKeyPoints, $i);
865         foreach ($return as $keyPoint) {
866             array_push($returnKeyPoints, $keyPoint);
867         }
868     }
869 }

```

```

863     }
864 }
865 return $returnKeyPoints;
866 }
867
868 function checkBetweenTwoKeyPoints(array $temKeyPoints, int $keyPointIndex) {
869     global $trainPositionChange;
870     global $trainSpeedChange;
871     global $cumulativeSectionLengthStartMod;
872     global $cumulativeSectionLengthEndMod;
873     global $next_v_max_mod;
874     global $verzoegerung;
875     global $indexTargetSectionMod;
876
877     $failedSections = array();
878     $groupedFailedSections = array();
879     $returnKeyPoints = array();
880     $failedPositions = array();
881     $failedSpeeds = array();
882
883     foreach ($trainPositionChange as $trainPositionChangeKey => $trainPositionChangeValue)
884         ↪ {
885         if ($trainPositionChangeValue >= $temKeyPoints[$keyPointIndex]["position_0"] &&
886             ↪ $trainPositionChangeValue <= $temKeyPoints[$keyPointIndex + 1]["position_1"])
887             ↪ {
888             foreach ($cumulativeSectionLengthStartMod as $cumulativeSectionLengthStartKey =>
889                 ↪ $cumulativeSectionLengthStartValue) {
890                 if ($trainPositionChangeValue < $cumulativeSectionLengthStartValue) {
891                     if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
892                         ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey - 1]) {
893                         array_push($failedSections, ($cumulativeSectionLengthStartKey - 1));
894                         array_push($failedSpeeds, $trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey]);
895                         $failedPositions[$trainPositionChangeKey] = $trainPositionChange[
896                             ↪ $trainPositionChangeKey];
897                     }
898                     break;
899                 } else if ($cumulativeSectionLengthStartKey == $indexTargetSectionMod) {
900                     if ($trainPositionChangeValue > $cumulativeSectionLengthStartValue) {
901                         if ($trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey] > $next_v_max_mod[
902                             ↪ $cumulativeSectionLengthStartKey]) {
903                             array_push($failedSections, $cumulativeSectionLengthStartKey);
904                             array_push($failedSpeeds, $trainSpeedChange[$trainPositionChangeKey]);
905                             $failedPositions[$trainPositionChangeKey] = $trainPositionChange[
906                                 ↪ $trainPositionChangeKey];
907                         }
908                     }
909                     break;
910                 }
911             }
912         }
913     }
914 }
915
916 }
917
918 }

```

```

908 // Alle Sections zwischen denn beiden KeyPoints, bei denen die v_max überschritten
    ↳ wird
909 $failedSections = array_unique($failedSections);
910
911 // Info: Der Index der failedPositions entspricht dem Index der trainChanges
912
913 // Wenn es kein Fehler gibt, werden die beiden KeyPoints zurückgegeben und wenn es
    ↳ einen Fehler gibt, wird der
914 // erste der beiden KeyPoints im $returnKeyPoints gespeichert
915 if (sizeof($failedSections) == 0) {
916     return array($temKeyPoints[$keyPointIndex], $temKeyPoints[$keyPointIndex + 1]);
917 } else {
918     $returnKeyPoints[0]["speed_0"] = $temKeyPoints[$keyPointIndex]["speed_0"];
919     $returnKeyPoints[0]["position_0"] = $temKeyPoints[$keyPointIndex]["position_0"];
920 }
921
922 // Einteilung der benachbarten failedSections in zusammenhängende Gruppen
923 $previous = NULL;
924 $index = 0;
925 foreach($failedSections as $key => $value) {
926     if($value > $previous + 1) {
927         $index++;
928     }
929     $groupedFailedSections[$index][] = $value;
930     $previous = $value;
931 }
932
933 // Durch alle Gruppen gehen
934 foreach ($groupedFailedSections as $groupSectionsIndex => $groupSectionsValue) {
935     $firstFailedPositionIndex = null;
936     $lastFailedPositionIndex = null;
937     $firstFailedPosition = null;
938     $lastFailedPosition = null;
939     $lastElement = array_key_last($returnKeyPoints);
940     $failedSection = null;
941
942     // Ermittlung der Section mit der kleinsten v_max von allen failed Sections in der
    ↳ Gruppe
943     if (sizeof($groupSectionsValue) == 1) {
944         $failedSection = $groupSectionsValue[0];
945     } else {
946         $slowestSpeed = 200;
947         for ($i = 0; $i <= (sizeof($groupSectionsValue) - 1); $i++) {
948             if ($next_v_max_mod[$groupSectionsValue[$i]] < $slowestSpeed) {
949                 $slowestSpeed = $next_v_max_mod[$groupSectionsValue[$i]];
950                 $failedSection = $groupSectionsValue[$i];
951             }
952         }
953     }
954
955     // Start- und Endposition der $failedSection
956     $failedSectionStart = $cumulativeSectionLengthStartMod[$failedSection];
957     $failedSectionEnd = $cumulativeSectionLengthEndMod[$failedSection];

```

```

958 // $vMaxInFailedSection = $next_v_max[$failedSection];
959
960 // Bestimmung der ersten und letzten Position, in der es in der failed Section
961 // zu einer Geschwindigkeitsüberschreitung kommt
962 foreach ($failedPositions as $failPositionIndex => $failPositionValue) {
963     if ($failPositionValue > $failedSectionStart && $failPositionValue <
        ↳ $failedSectionEnd) {
964         if ($firstFailedPositionIndex == null) {
965             $firstFailedPositionIndex = $failPositionIndex;
966         }
967         $lastFailedPositionIndex = $failPositionIndex;
968     }
969 }
970
971 // Bestimmung des letzten Punktes, bei dem die Geschwindigkeit noch nicht zu schnell
        ↳ war
972 // Wenn der Punkt davor außerhalb der failedSection liegt => Startpunkt = Anfang der
        ↳ Section
973 // Wenn der Punkt davor innerhalb der failed Section liegt => Startpunkt = der
        ↳ Punkt davor
974 if ($firstFailedPositionIndex != 0) {
975     if ($trainPositionChange[$firstFailedPositionIndex - 1] < $failedSectionStart) {
976         $firstFailedPosition = $failedSectionStart;
977     } else {
978         $firstFailedPosition = $trainPositionChange[$firstFailedPositionIndex - 1];
979     }
980 } else {
981     $firstFailedPosition = $failedSectionStart;
982 }
983
984 // Bestimmung des ersten Punktes, bei dem die Geschwindigkeit nicht mehr zu schnell
        ↳ war
985 // Beschreibung: siehe $firstFailedPosition Berechnung
986 if ($lastFailedPositionIndex != array_key_last($trainPositionChange)) {
987     if ($trainPositionChange[$lastFailedPositionIndex + 1] > $failedSectionEnd) {
988         $lastFailedPosition = $failedSectionEnd;
989     } else {
990         $lastFailedPosition = $trainPositionChange[$lastFailedPositionIndex + 1];
991     }
992 } else {
993     $lastFailedPosition = $failedSectionEnd;
994 }
995 $returnKeyPoints[$lastElement + 1]["position_1"] = $firstFailedPosition;
996 $returnKeyPoints[$lastElement + 1]["speed_1"] = $next_v_max_mod[$failedSection];
997 $returnKeyPoints[$lastElement + 2]["position_0"] = $lastFailedPosition;
998 $returnKeyPoints[$lastElement + 2]["speed_0"] = $next_v_max_mod[$failedSection];
999 }
1000
1001 // Hinzufügen von dem "Ende"
1002 $returnKeyPoints[array_key_last($returnKeyPoints) + 1]["position_1"] = $temKeyPoints[
        ↳ $keyPointIndex + 1]["position_1"];
1003 $returnKeyPoints[array_key_last($returnKeyPoints)]["speed_1"] = $temKeyPoints[
        ↳ $keyPointIndex + 1]["speed_1"];

```

```

1004 $numberOfPairs = sizeof($returnKeyPoints) / 2;
1005 for($j = 0; $j < $numberOfPairs; $j++) {
1006     $i = $j * 2;
1007     $distance = $returnKeyPoints[$i + 1]["position_1"] - $returnKeyPoints[$i]["
        ↳ position_0"];
1008     $vMax = getVMaxBetweenTwoPoints($distance, $returnKeyPoints[$i]["speed_0"],
        ↳ $returnKeyPoints[$i + 1]["speed_1"]);
1009     // TODO: Der Teil kann weg, getVMaxBetweenTwoPoints() kann nicht -10 zurückgeben
1010     if ($vMax == -10) {
1011         $returnKeyPoints[$i]["position_0"] = $returnKeyPoints[$i + 1]["position_1"] - (
            ↳ getBrakeDistance($returnKeyPoints[$i]["speed_0"], $returnKeyPoints[$i + 1][
            ↳ "speed_1"], $verzoeigerung));
1012         $distance = $returnKeyPoints[$i + 1]["position_1"] - $returnKeyPoints[$i]["
            ↳ position_0"];
1013         $vMax = getVMaxBetweenTwoPoints($distance, $returnKeyPoints[$i]["speed_0"],
            ↳ $returnKeyPoints[$i + 1]["speed_1"]);
1014     }
1015     $returnKeyPoints[$i]["speed_1"] = $vMax; //TODO
1016     $returnKeyPoints[$i]["position_1"] = $returnKeyPoints[$i]["position_0"] +
        ↳ getBrakeDistance($returnKeyPoints[$i]["speed_0"], $vMax, $verzoeigerung);
1017     $returnKeyPoints[$i + 1]["speed_0"] = $vMax;
1018     $returnKeyPoints[$i + 1]["position_0"] = $returnKeyPoints[$i + 1]["position_1"] -
        ↳ getBrakeDistance($vMax, $returnKeyPoints[$i + 1]["speed_1"], $verzoeigerung);
1019 }
1020 return $returnKeyPoints;
1021 }
1022
1023 // Wenn ein Key Point beschleunigt und der nächste Key Point abbremst, wird
1024 // die Geschwindigkeit zwischen den beiden KeyPoints als $v_maxBetweenKeyPoints
1025 // gespeichert und als $v_minBetweenKeyPoints der größere Wert von
1026 // $keyPoints[$i]["speed_0"] und $keyPoints[$i + 1]["speed_1"]
1027 function checkIfTheSpeedCanBeDecreased() {
1028     global $keyPoints;
1029     global $returnPossibleSpeed;
1030     $returnPossibleSpeed = array();
1031     for ($i = 0; $i < (sizeof($keyPoints) - 1); $i++) {
1032         $v_maxBetweenKeyPoints = $keyPoints[$i]["speed_1"];
1033         $v_minBetweenKeyPoints = null;
1034         if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $v_maxBetweenKeyPoints && $keyPoints[$i + 1][
            ↳ "speed_1"] < $v_maxBetweenKeyPoints) {
1035             $v_minBetweenKeyPoints = $keyPoints[$i]["speed_0"];
1036             if ($keyPoints[$i + 1]["speed_1"] > $v_minBetweenKeyPoints) {
1037                 $v_minBetweenKeyPoints = $keyPoints[$i + 1]["speed_1"];
1038             }
1039         }
1040         if (isset($v_minBetweenKeyPoints)) {
1041             if ($v_minBetweenKeyPoints == 0 && $v_maxBetweenKeyPoints >= 10) {
1042                 $v_minBetweenKeyPoints = 10;
1043             } else if ($v_minBetweenKeyPoints == 0 && $v_maxBetweenKeyPoints == 10) {
1044                 $v_minBetweenKeyPoints = null;
1045             }
1046         }
1047         if ($v_minBetweenKeyPoints != null) {

```



```

1048     if ($v_minBetweenKeyPoints % 10 != 0) {
1049         $rest = $v_minBetweenKeyPoints % 10;
1050         $v_minBetweenKeyPoints = $v_minBetweenKeyPoints - $rest + 10;
1051     }
1052     array_push($returnPossibleSpeed, array("KeyPoint_index" => $i, "values" => range(
        ↳ $v_minBetweenKeyPoints, $v_maxBetweenKeyPoints, 10)));
1053 }
1054 }
1055 if (sizeof($returnPossibleSpeed) > 0) {
1056     return array("possible" => true, "range" => $returnPossibleSpeed);
1057 } else {
1058     return array("possible" => false, "range" => array());
1059 }
1060 }
1061
1062 function speedFineTuning(float $timeDiff, int $index) {
1063     global $keyPoints;
1064     global $verzoegerung;
1065     global $globalTimeOnOneSpeed;
1066     global $useMinTimeOnSpeed;
1067     $speed_0 = $keyPoints[$index]["speed_1"];
1068     $speed_1 = null;
1069     $availableDistance = $keyPoints[$index + 1]["position_0"] - $keyPoints[$index]["
        ↳ position_1"];
1070     $timeBetweenKeyPoints = $keyPoints[$index + 1]["time_0"] - $keyPoints[$index]["time_1"
        ↳ ];
1071     $availableTime = $timeBetweenKeyPoints + $timeDiff;
1072     if ($keyPoints[$index + 1]["speed_1"] != 0) {
1073         $speed_1 = $keyPoints[$index + 1]["speed_1"];
1074         $lengthDifference = calculateDistanceforSpeedFineTuning($keyPoints[$index + 1]["
            ↳ speed_0"], $keyPoints[$index + 1]["speed_1"], $availableDistance,
            ↳ $availableTime);
1075         if ($useMinTimeOnSpeed) {
1076             if (distanceWithSpeedToTime($speed_0, $availableDistance - $lengthDifference) >
                ↳ $globalTimeOnOneSpeed && distanceWithSpeedToTime($speed_1,
                ↳ $lengthDifference) > $globalTimeOnOneSpeed) {
1077                 $keyPoints[$index + 1]["position_0"] = $keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
                    ↳ $lengthDifference;
1078                 $keyPoints[$index + 1]["position_1"] = $keyPoints[$index + 1]["position_1"] -
                    ↳ $lengthDifference;
1079             }
1080         } else {
1081             $keyPoints[$index + 1]["position_0"] = $keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
                ↳ $lengthDifference;
1082             $keyPoints[$index + 1]["position_1"] = $keyPoints[$index + 1]["position_1"] -
                ↳ $lengthDifference;
1083         }
1084     } else if ($keyPoints[$index + 1]["speed_0"] > 10) {
1085         $speed_1 = 10;
1086         $lengthDifference = calculateDistanceforSpeedFineTuning($keyPoints[$index + 1]["
            ↳ speed_0"], 10, $availableDistance, $availableTime);
1087         if ($useMinTimeOnSpeed) {

```



```

1088     if (distanceWithSpeedToTime($speed_0, $availableDistance - $lengthDifference) >
        ↳ $globalTimeOnOneSpeed && distanceWithSpeedToTime($speed_1,
        ↳ $lengthDifference) > $globalTimeOnOneSpeed) {
1089         $firstKeyPoint = createKeyPoint(($keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
        ↳ $lengthDifference), ($keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
        ↳ $lengthDifference + getBrakeDistance($keyPoints[$index + 1]["speed_0"
        ↳ ], 10, $verzoeigerung)), $keyPoints[$index + 1]["speed_0"], 10);
1090         $secondKeyPoint = createKeyPoint(($keyPoints[$index + 1]["position_1"] -
        ↳ getBrakeDistance(10, 0, $verzoeigerung)), $keyPoints[$index + 1]["
        ↳ position_1"], 10, $keyPoints[$index + 1]["speed_1"]);
1091         $keyPoints[$index + 1] = $secondKeyPoint;
1092         array_splice( $keyPoints, ($index + 1), 0, array($firstKeyPoint));
1093     }
1094 } else {
1095     $firstKeyPoint = createKeyPoint(($keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
        ↳ $lengthDifference), ($keyPoints[$index + 1]["position_0"] -
        ↳ $lengthDifference + getBrakeDistance($keyPoints[$index + 1]["speed_0"], 10,
        ↳ $verzoeigerung)), $keyPoints[$index + 1]["speed_0"], 10);
1096     $secondKeyPoint = createKeyPoint(($keyPoints[$index + 1]["position_1"] -
        ↳ getBrakeDistance(10, 0, $verzoeigerung)), $keyPoints[$index + 1]["position_1"
        ↳ ], 10, $keyPoints[$index + 1]["speed_1"]);
1097     $keyPoints[$index + 1] = $secondKeyPoint;
1098     array_splice( $keyPoints, ($index + 1), 0, array($firstKeyPoint));
1099 }
1100 }
1101 }
1102
1103 function calculateDistanceforSpeedFineTuning(int $v_0, int $v_1, float $distance, float
    ↳ $time) : float {
1104     return $distance - (($distance - $time * $v_1 / 3.6)/($v_0 / 3.6 - $v_1 / 3.6)) * (
        ↳ $v_0 / 3.6);
1105 }
1106
1107 // Sucht den KeyPoint der zu maximalen Geschwindigkeit beschleunigt
1108 // Wenn die maximale Geschwindigkeit mehrfach erreicht wird, wird
1109 // der letzte dieser KeyPoints genommen
1110 //
1111 // Zu dem Index wird auch noch die Speed Range abgespeichert wie bei
1112 // checkIfTheSpeedCanBeDecreased()
1113 // TODO: Kann man diese beiden Funktionen kombinieren?
1114 function findMaxSpeed(array $speedDecrease) {
1115     $maxSpeed = 0;
1116     $minSpeed = 0;
1117     $keyPointIndex = null;
1118
1119     for ($i = 0; $i < sizeof($speedDecrease["range"]); $i++) {
1120         if (max($speedDecrease["range"][$i]["values"]) >= $maxSpeed) {
1121             $maxSpeed = max($speedDecrease["range"][$i]["values"]);
1122             $minSpeed = min($speedDecrease["range"][$i]["values"]);
1123             $keyPointIndex = $speedDecrease["range"][$i]["KeyPoint_index"];
1124         }
1125     }

```

```

1126     return array("min_speed" => $minSpeed, "max_speed" => $maxSpeed, "
        ↳ first_key_point_index" => $keyPointIndex);
1127 }
1128
1129 // Beim Start der Berechnung
1130 function checkIfItsPossible() {
1131     global $currentSpeed;
1132     global $distanceToNextStop;
1133     global $verzoegerung;
1134     global $globalTimeOnOneSpeed;
1135     global $errorMinTimeOnSpeed;
1136
1137     $minTimeIsPossible = true;
1138     if ($currentSpeed == 0) {
1139         $distance_0 = getBrakeDistance(0, 10, $verzoegerung);
1140         $distance_1 = getBrakeDistance(10, 0, $verzoegerung);
1141         $time = distanceWithSpeedToTime(10, $distanceToNextStop - $distance_0 - $distance_1)
            ↳ ;
1142         if ($time < $globalTimeOnOneSpeed) {
1143             $minTimeIsPossible = false;
1144             if ($errorMinTimeOnSpeed) {
1145                 // TODO: Notbremsung einleiten/Zug bekommt Fehler
1146             }
1147             echo "Der Zug schafft es ohne Notbremsung am Ziel anzukommen, kann aber nicht die
                ↳ mind. Zeit einhalten.\n";
1148         }
1149         // Sollte egal sein, da der Zug schon vor der Berechnung auf v_0 war und somit die
            ↳ Zeit unbekannt ist.
1150     } else {
1151         if (getBrakeDistance($currentSpeed, 0, $verzoegerung) != $distanceToNextStop) {
1152             $distance_0 = getBrakeDistance($currentSpeed, 10, $verzoegerung);
1153             $distance_1 = getBrakeDistance(10, 0, $verzoegerung);
1154             $time = distanceWithSpeedToTime(10, $distanceToNextStop - $distance_0 -
                ↳ $distance_1);
1155             if ($time < $globalTimeOnOneSpeed) {
1156                 $minTimeIsPossible = false;
1157                 if ($errorMinTimeOnSpeed) {
1158                     // TODO: Notbremsung einleiten/Zug bekommt Fehler
1159                 }
1160                 echo "Der Zug schafft es, ohne Notbremsung am Ziel anzukommen.\n";
1161             }
1162         }
1163     }
1164     return $minTimeIsPossible;
1165 }
1166
1167 // TODO: General Options:
1168 // 1. Soll generell überprüft werden, ob der Zug die mind. Zeit auf einer
        ↳ Geschwindigkeit einhält
1169 // 2. Soll es zu einem Fehler kommen, wenn der Zug diese Bedingung nicht erfüllen kann?
1170 // => Der Zug könnte ein Error-Statement bekommen
1171 function toShortOnOneSpeed () {
1172

```

```

1173 global $keyPoints;
1174 global $verzoeigerung;
1175
1176 $index = 0;
1177 $localKeyPoints = $keyPoints;
1178 $subsections = createSubsections($localKeyPoints);
1179 $breakesOnly = false;
1180
1181 // Sobald in einer Section die Geschwindigkeit verändert werden müsste, wird erstmal
    ↳ die Geschwindigkeit angepasst und dann neu berechnet...
1182 while (toShortInSubsection($subsections)) {
1183     $breakesOnly = true;
1184     foreach ($subsections as $sectionKey => $sectionValue) {
1185         if ($sectionValue["failed"]) {
1186             if (!$sectionValue["brakes_only"]) {
1187                 $breakesOnly = false;
1188             }
1189             $return = postponeSubsection($localKeyPoints, $sectionValue);
1190             if (!$return["fail"]) {
1191                 $localKeyPoints = $return["keyPoints"];
1192             } else {
1193                 if (!$sectionValue["brakes_only"]) {
1194                     $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"]]["speed_1"] -= 10;
1195                     $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"] + 1]["speed_0"] -= 10;
1196                     $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"]]["position_1"] = $localKeyPoints[
                        ↳ $sectionValue["max_index"]]["position_0"] + getBrakeDistance(
                        ↳ $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"]]["speed_0"],
                        ↳ $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"]]["speed_1"], $verzoeigerung)
                        ↳ ;
1197                     $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"] + 1]["position_0"] =
                        ↳ $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"] + 1]["position_1"] -
                        ↳ getBrakeDistance($localKeyPoints[$sectionValue["max_index"] + 1]["
                        ↳ speed_0"], $localKeyPoints[$sectionValue["max_index"] + 1]["speed_1"],
                        ↳ $verzoeigerung);
1198                     $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints);
1199                     $localKeyPoints = deleteDoubledKeyPoints($localKeyPoints);
1200                     break;
1201                 }
1202             }
1203         }
1204     }
1205     $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints);
1206     $localKeyPoints = array_values($localKeyPoints);
1207     $subsections = createSubsections($localKeyPoints);
1208     if ($breakesOnly) {
1209         break;
1210     }
1211 }
1212 $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints);
1213 $keyPoints = $localKeyPoints;
1214 }
1215
1216

```

```

1217 function postponeSubsectionOld (array $localKeyPoints, array $subsection) {
1218
1219     //global $keyPoints;
1220     global $globalTimeOnOneSpeed;
1221
1222     $keyPoints = $localKeyPoints;
1223
1224     $indexMaxSection = array_search($subsection["max_index"], $subsection["indexes"]);
1225     $indexLastKeyPoint = array_key_last($subsection["indexes"]);
1226
1227     if ($subsection["is_prev_section"]) {
1228         $timeDiff = $keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["time_0"] - $keyPoints[$subsection
            ↳ ["indexes"][0] - 1]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1229         if ($timeDiff < 0) {
1230             $positionDiff = abs($timeDiff) * $keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["speed_0"]
            ↳ / 3.6;
1231             //$keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["time_0"] -= $timeDiff;
1232             //$keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["time_1"] -= $timeDiff;
1233             $keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_0"] += $positionDiff;
1234             $keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_1"] += $positionDiff;
1235             $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
1236
1237         }
1238     }
1239
1240     for ($i = 1; $i <= $indexMaxSection; $i++) {
1241         $timeDiff = $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[
            ↳ $subsection["indexes"][$i] - 1]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1242         if ($timeDiff < 0) {
1243             $positionDiff = abs($timeDiff) * $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["speed_0"]
            ↳ / 3.6;
1244             //$keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] -= $timeDiff;
1245             //$keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_1"] -= $timeDiff;
1246             $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] += $positionDiff;
1247             $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] += $positionDiff;
1248             $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
1249         }
1250     }
1251
1252     if ($subsection["is_next_section"]) {
1253         $timeDiff = $keyPoints[$indexLastKeyPoint + 1]["time_0"] - $keyPoints[
            ↳ $indexLastKeyPoint]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1254         if ($timeDiff < 0) {
1255             $positionDiff = abs($timeDiff) * $keyPoints[$indexLastKeyPoint]["speed_1"] / 3.6;
1256             //$keyPoints[$indexLastKeyPoint]["time_0"] += $timeDiff;
1257             //$keyPoints[$indexLastKeyPoint]["time_1"] += $timeDiff;
1258             $keyPoints[$indexLastKeyPoint]["position_0"] -= $positionDiff;
1259             $keyPoints[$indexLastKeyPoint]["position_1"] -= $positionDiff;
1260             $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
1261         }
1262     }
1263
1264     for ($i = $indexLastKeyPoint - 1; $i > $indexMaxSection; $i--) {

```

```

1265     $timeDiff = $keyPoints[$subsection["indexes"][$i + 1]]["time_0"] - $keyPoints[
1266         ↳ $subsection["indexes"][$i]]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1267     if ($timeDiff < 0) {
1268         $positionDiff = abs($timeDiff) * $keyPoints[$indexLastKeyPoint]["speed_1"] / 3.6;
1269         // $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] += $timeDiff;
1270         // $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_1"] += $timeDiff;
1271         $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] -= $positionDiff;
1272         $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] -= $positionDiff;
1273         $keyPoints = calculateTimeFromKeyPoints();
1274     }
1275 }
1276
1277 return $keyPoints;
1278 }
1279
1280 function postponeSubsection (array $localKeyPoints, array $subsection) {
1281
1282     global $globalTimeOnOneSpeed;
1283     global $verzoeigerung;
1284
1285     $deletedKeyPoints = array();
1286     $numberOfKeyPoints = sizeof($subsection["indexes"]);
1287     $indexMaxSection = array_search($subsection["max_index"], $subsection["indexes"]);
1288     $indexLastKeyPoint = array_key_last($subsection["indexes"]);
1289
1290     if ($subsection["is_prev_section"]) {
1291         $timeDiff = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["time_0"] - $localKeyPoints[
1292             ↳ $subsection["indexes"][0] - 1]]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1293         if ($timeDiff < 0) {
1294             $positionDiff = abs($timeDiff) * $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["
1295                 ↳ speed_0"] / 3.6;
1296             if (!($localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_1"] + $positionDiff >
1297                 ↳ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexMaxSection + 1]]["position_0"]
1298                 ↳ )) {
1299                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_0"] += $positionDiff;
1300                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_1"] += $positionDiff;
1301                 // Es muss einen nächsten KeyPoint geben, da der Zug hier beschleunigt und er
1302                 ↳ Ende der Strecke gilt v = 0
1303                 if ($localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_1"] > $localKeyPoints[
1304                     ↳ $subsection["indexes"][0] + 1]]["position_0"]) {
1305                     array_push($deletedKeyPoints, $subsection["indexes"][0] + 1);
1306                     $numberOfKeyPoints -= 1;
1307                     $v_0 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["speed_0"];
1308                     $v_1 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0] + 1]["speed_1"];
1309                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["position_1"] = $localKeyPoints[
1310                         ↳ $subsection["indexes"][0]]["position_0"] + getBrakeDistance($v_0, $v_1,
1311                         ↳ $verzoeigerung);
1312                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][0]]["speed_1"] = $v_1;
1313                 }
1314             }
1315             $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints, $deletedKeyPoints);
1316         }
1317     }

```

```

1309     }
1310 }
1311
1312 for ($i = 1; $i <= $indexMaxSection; $i++) {
1313     if (!in_array($subsection["indexes"][$i], $deletedKeyPoints)) {
1314         $timeDiff = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] -
            ↳ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i] - 1]["time_1"] -
            ↳ $globalTimeOnOneSpeed;
1315         if ($timeDiff < 0) {
1316             $positionDiff = abs($timeDiff) * $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["
                ↳ speed_0"] / 3.6;
1317             if (!($localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] + $positionDiff >
                ↳ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexMaxSection + 1]]["
                ↳ position_0"])) {
1318                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] += $positionDiff;
1319                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] += $positionDiff;
1320                 if ($i < $indexMaxSection && $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["
                    ↳ position_1"] > $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i] + 1]["
                    ↳ position_0"]) {
1321                     array_push($deletedKeyPoints, ($subsection["indexes"][$i] + 1));
1322                     $numberOfKeyPoints -= 1;
1323                     $v_0 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["speed_0"];
1324                     $v_1 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i] + 1]["speed_1"];
1325                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] = $localKeyPoints[
                        ↳ $subsection["indexes"][$i]]["position_0"] + getBrakeDistance($v_0,
                        ↳ $v_1, $verzoegerung);
1326                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["speed_1"] = $v_1;
1327                 }
1328                 $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints, $deletedKeyPoints
                    ↳ );
1329             }
1330         }
1331     }
1332 }
1333 if ($subsection["is_next_section"]) {
1334     $timeDiff = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint] + 1]["time_0"]
        ↳ - $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["time_1"] -
        ↳ $globalTimeOnOneSpeed;
1335     if ($timeDiff < 0) {
1336         $positionDiff = abs($timeDiff) * $localKeyPoints[$indexLastKeyPoint]["speed_1"] /
            ↳ 3.6;
1337         if (!($localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_0"] -
            ↳ $positionDiff < $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexMaxSection]]["
            ↳ position_0"])) {
1338             $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_0"] -=
                ↳ $positionDiff;
1339             $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_1"] -=
                ↳ $positionDiff;
1340             if ($localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_0"] <
                ↳ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint] - 1]["
                ↳ position_1"]) {
1341                 array_push($deletedKeyPoints, ($subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint] - 1))
                    ↳ ;

```

```

1342     $numberOfKeyPoints -= 1;
1343     $v_0 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint] - 1]["speed_0"]
        ↪ ";
1344     $v_1 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["speed_1"];
1345     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_0"] =
        ↪ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["position_1"]
        ↪ ] - getBrakeDistance($v_0, $v_1, $verzoegerung);
1346     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexLastKeyPoint]]["speed_0"] = $v_0;
1347 }
1348 $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints, $deletedKeyPoints);
1349 }
1350 }
1351 }
1352
1353 for ($i = $indexLastKeyPoint - 1; $i > $indexMaxSection; $i--) {
1354     if (!in_array($i, $deletedKeyPoints)) {
1355         $timeDiff = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i + 1]]["time_0"] -
            ↪ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_1"] -
            ↪ $globalTimeOnOneSpeed;
1356         if ($timeDiff < 0) {
1357             $positionDiff = abs($timeDiff) * $localKeyPoints[$indexLastKeyPoint]["speed_1"] /
                ↪ 3.6;
1358             if (!($localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] - $positionDiff <
                ↪ $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$indexMaxSection]]["position_0"])
                ↪ ) {
1359                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] -= $positionDiff;
1360                 $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_1"] -= $positionDiff;
1361                 if ($i > ($indexMaxSection + 1) && $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["
                    ↪ "position_0"] < $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i] - 1]["
                    ↪ position_1"]) {
1362                     array_push($deletedKeyPoints, ($subsection["indexes"][$i] - 1));
1363                     $numberOfKeyPoints -= 1;
1364                     $v_0 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i] - 1]["speed_0"];
1365                     $v_1 = $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["speed_1"];
1366                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["position_0"] = $localKeyPoints[
                        ↪ $subsection["indexes"][$i]]["position_1"] - getBrakeDistance($v_0,
                        ↪ $v_1, $verzoegerung);
1367                     $localKeyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["speed_0"] = $v_0;
1368                 }
1369                 $localKeyPoints = calculateTimeFromKeyPoints($localKeyPoints, $deletedKeyPoints
                    ↪ );
1370             }
1371         }
1372     }
1373 }
1374 // Info: Erster und letzter KeyPoint aus $subsection["indexes"] sind auf jedenfall
    ↪ noch vorhanden
1375 $keys = $subsection["indexes"];
1376 foreach ($deletedKeyPoints as $index) {
1377     unset($keys[array_search($index, $keys)]);
1378 }
1379 $keys = array_values($keys);
1380 $failed = false;

```



```

1381 if ($subsection["is_prev_section"]) {
1382     // Geht, weil die subsections von hinten nach vorne kontrolliert werden.
1383     // Und weil Start- und End-Keypoint immer gleich bleiben.
1384     if ($localKeyPoints[$keys[0]]["time_0"] - $localKeyPoints[$keys[0] - 1]["time_1"] <
        ↳ $globalTimeOnOneSpeed) {
1385         $failed = true;
1386     }
1387 }
1388 if ($subsection["is_next_section"]) {
1389     // Geht, weil die subsections von hinten nach vorne kontrolliert werden.
1390     // Und weil Start- und End-Keypoint immer gleich bleiben.
1391     if ($localKeyPoints[end($keys) + 1]["time_0"] - $localKeyPoints[end($keys)]["time_1"]
        ↳ ] < $globalTimeOnOneSpeed) {
1392         $failed = true;
1393     }
1394 }
1395 for ($i = 1; $i < sizeof($keys); $i++) {
1396     if ($localKeyPoints[$keys[$i]]["time_0"] - $localKeyPoints[$keys[$i] - 1]["time_1"]
        ↳ < $globalTimeOnOneSpeed) {
1397         $failed = true;
1398         break;
1399     }
1400 }
1401 if ($failed) {
1402     return array("fail" => true, "keyPoints" => array());
1403 } else {
1404     foreach ($deletedKeyPoints as $index) {
1405         unset($localKeyPoints[$index]);
1406     }
1407     return array("fail" => false, "keyPoints" => $localKeyPoints);
1408 }
1409 }
1410
1411 // Es werden nur "komplette" Subsections betrachtet. Der Zug MUSS beschleunigen und
        ↳ abbremsten!
1412 function createSubsections (array $localKeyPoints) {
1413     global $globalTimeOnOneSpeed;
1414
1415     $keyPoints = $localKeyPoints;
1416     $subsections = array();
1417     $subsection = array("max_index" => null, "indexes" => array(), "is_prev_section" =>
        ↳ false, "is_next_section" => false);
1418     $maxIndex = null;
1419
1420     // Wenn die erste Geschwindigkeit die maximale Geschwindigkeit der ersten Subsection
        ↳ ist.
1421     // TODO: Bei v_0 != 0 hat der erste Keypoint v_0 == v_1... Kommt es da zu Konflikten?
1422     for($i = 0; $i < sizeof($keyPoints); $i++) {
1423         // subsection zu ende
1424         if ($i > 0) {
1425             if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $keyPoints[$i]["speed_1"] && $keyPoints[$i - 1]["
                ↳ speed_0"] > $keyPoints[$i - 1]["speed_1"] || $i == sizeof($keyPoints) - 1)
                ↳ {

```



```

1426     if ($i == sizeof($keyPoints) - 1) {
1427         array_push($subsection["indexes"], $i);
1428     }
1429     array_push($subsections, $subsection);
1430     $subsection["indexes"] = array();
1431 }
1432 }
1433 if ($keyPoints[$i]["speed_0"] < $keyPoints[$i]["speed_1"]) {
1434     $subsection["max_index"] = $i;
1435 }
1436 array_push($subsection["indexes"], $i);
1437 }
1438
1439 // Check if middle section failed
1440 for ($i = 1; $i < sizeof($subsections); $i++) {
1441     //$firstIndex = $subsections[$i]["max_index"] + 1;
1442     $firstIndex = $subsections[$i]["indexes"][array_key_first($subsections[$i]["indexes"
        ↪ ])];
1443     if ($keyPoints[$firstIndex]["time_0"] - $keyPoints[$firstIndex - 1]["time_1"] <
        ↪ $globalTimeOnOneSpeed) {
1444         $subsections[$i]["is_prev_section"] = true;
1445         $subsections[$i]["failed"] = true;
1446     } else {
1447         $subsections[$i]["is_prev_section"] = false;
1448         $subsections[$i]["failed"] = false;
1449     }
1450 }
1451
1452 for ($i = sizeof($subsections) - 1; $i >= 0; $i--) {
1453     $isFirstSubsection = false;
1454     $isLastSubsection = false;
1455     if ($i == 0) {
1456         $isFirstSubsection = true;
1457     }
1458     if ($i == sizeof($subsections) - 1) {
1459         $isLastSubsection = true;
1460     }
1461     if ($subsections[$i]["failed"] || failOnSubsection($keyPoints, $subsections[$i])) {
1462         $subsections[$i]["failed"] = true;
1463         if (!$isFirstSubsection) {
1464             $subsections[$i]["is_prev_section"] = true;
1465         }
1466         if (!$isLastSubsection) {
1467             if (!$subsections[$i + 1]["is_prev_section"]) {
1468                 $subsections[$i]["is_next_section"] = true;
1469             }
1470         }
1471     } else {
1472         $subsections[$i]["failed"] = false;
1473     }
1474 }
1475

```

```

1476 // $subsections[$i]["max_index"] = null heißt, dass der Zug auf einer subsection nicht
      ↳ beschleunigt!
1477 for ($i = 0; $i < sizeof($subsections); $i++) {
1478     if (!isset($subsections[$i]["max_index"])) {
1479         $subsections[$i]["brakes_only"] = true;
1480         $subsections[$i]["max_index"] = $subsections[$i]["indexes"][0];
1481     } else {
1482         $subsections[$i]["brakes_only"] = false;
1483     }
1484 }
1485 $subsections = array_values($subsections);
1486 return array_reverse($subsections);
1487 }
1488
1489 function failOnSubsection(array $keyPoints, array $subsection) {
1490     global $globalTimeOnOneSpeed;
1491     $failed = false;
1492     for ($i = 1; $i < sizeof($subsection["indexes"]); $i++) {
1493         if ($keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[$subsection["
            ↳ indexes"][$i] - 1]["time_1"] < $globalTimeOnOneSpeed) {
1494             $failed = true;
1495             break;
1496         }
1497     }
1498     return $failed;
1499 }
1500
1501 function checkForPostponement(array $localKeyPoints, array $subsection) {
1502     global $globalTimeOnOneSpeed;
1503
1504     $keyPoints = $localKeyPoints;
1505     $timeBeforeMax = 0;
1506     $timeAfterMax = 0;
1507     $foundShortSectionBeforeMax = false;
1508     $foundShortSectionAfterMax = false;
1509     $indexMaxSection = array_search($subsection["max_index"], $subsection["indexes"]);
1510     $indexLastKeyPoint = array_key_last($subsection["indexes"]);
1511     $timeOnMax = $keyPoints[$subsection["max_index"] + 1]["time_0"] - $keyPoints[
        ↳ $subsection["max_index"]]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1512     if ($timeOnMax < 0) {
1513         return false;
1514     }
1515     if ($subsection["is_prev_section"]) {
1516         $timeDiff = $keyPoints[$subsection["indexes"][0]]["time_0"] - $keyPoints[$subsection
            ↳ ["indexes"][0] - 1]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1517         if ($timeDiff < 0) {
1518             $timeBeforeMax += $timeDiff;
1519             $foundShortSectionBeforeMax = true;
1520         }
1521     }
1522
1523     if ($subsection["is_next_section"]) {

```

```

1524     $timeDiff = $keyPoints[$subsection["indexes"][array_key_last($subsection["indexes"])]
           ↳ ] + 1]["time_0"] - $keyPoints[$subsection["indexes"][array_key_last(
           ↳ $subsection["indexes"])]]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1525     if ($timeDiff < 0) {
1526         $timeAfterMax += $timeDiff;
1527         $foundShortSectionAfterMax = true;
1528     }
1529 }
1530
1531 for ($i = 1; $i <= $indexMaxSection; $i++) {
1532     if ($keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[$subsection["
           ↳ indexes"][$i] - 1]["time_1"] < $globalTimeOnOneSpeed ||
           ↳ $foundShortSectionBeforeMax) {
1533         $foundShortSectionBeforeMax = true;
1534         $timeBeforeMax += $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[
           ↳ $subsection["indexes"][$i] - 1]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1535     }
1536 }
1537
1538 for ($i = $indexLastKeyPoint; $i > $indexMaxSection + 1; $i--) {
1539     if ($keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[$subsection["
           ↳ indexes"][$i] - 1]["time_1"] < $globalTimeOnOneSpeed ||
           ↳ $foundShortSectionAfterMax) {
1540         $foundShortSectionAfterMax = true;
1541         $timeAfterMax += $keyPoints[$subsection["indexes"][$i]]["time_0"] - $keyPoints[
           ↳ $subsection["indexes"][$i] - 1]["time_1"] - $globalTimeOnOneSpeed;
1542     }
1543 }
1544
1545 if ($timeBeforeMax > 0) {
1546     $timeBeforeMax = 0;
1547 }
1548
1549 if ($timeAfterMax > 0) {
1550     $timeAfterMax = 0;
1551 }
1552
1553 // true = kann verschoben werden...
1554 if ($timeOnMax + $timeBeforeMax + $timeAfterMax >= 0) {
1555     return true;
1556 } else {
1557     return false;
1558 }
1559 }
1560
1561 function toShortInSubsection (array $subsections) {
1562     $foundError = false;
1563     foreach ($subsections as $subsection) {
1564         if ($subsection["failed"]) {
1565             $foundError = true;
1566             break;
1567         }
1568     }

```

```

1569     return $foundError;
1570 }
1571
1572 function createCumulativeSections ($indexCurrentSection, $indexTargetSection,
    ↪ $currentPosition, $targetPosition, $next_lengths) {
1573     $cumLength = array();
1574     $sum = 0;
1575
1576     foreach ($next_lengths as $index => $value) {
1577         if ($index >= $indexCurrentSection) {
1578             $sum += $value;
1579             $cumLength[$index] = $sum;
1580         }
1581     }
1582     // Berechnung der kummulierten Start- und Endlängen der Abschnitte
1583     // TODO: Geht das auch, wenn Start- und Zielabschnitt der selbe sind?
1584     for ($i = $indexCurrentSection; $i <= $indexTargetSection; $i++) {
1585         if ($indexCurrentSection == $indexTargetSection) {
1586             $cumulativeSectionLengthStart[$i] = 0;
1587             $cumulativeSectionLengthEnd[$i] = $targetPosition - $currentPosition;
1588         } else {
1589             if ($i == $indexCurrentSection) {
1590                 $cumulativeSectionLengthStart[$i] = 0;
1591                 $cumulativeSectionLengthEnd[$i] = $cumLength[$i] - $currentPosition;
1592             } else if ($i == $indexTargetSection) {
1593                 $cumulativeSectionLengthStart[$i] = $cumLength[$i - 1] - $currentPosition;
1594                 $cumulativeSectionLengthEnd[$i] = $cumLength[$i - 1] + $targetPosition -
    ↪ $currentPosition;
1595             } else {
1596                 $cumulativeSectionLengthStart[$i] = $cumLength[$i - 1] - $currentPosition;
1597                 $cumulativeSectionLengthEnd[$i] = $cumLength[$i] - $currentPosition;
1598             }
1599         }
1600     }
1601     return array($cumulativeSectionLengthStart, $cumulativeSectionLengthEnd);
1602 }
1603
1604 function getFahrplanAndPositionForOneTrain (int $trainID, int $zugID) {
1605
1606     global $cacheZwischenhaltepunkte;
1607     global $allUsedTrains;
1608
1609     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array();
1610     $keysZwischenhalte = array_keys($cacheZwischenhaltepunkte);
1611
1612     // Get timetable data
1613     $nextBetriebsstellen = getNextBetriebsstellen($zugID);
1614
1615     if ($zugID != null && sizeof($nextBetriebsstellen) != 0) {
1616         for ($i = 0; $i < sizeof($nextBetriebsstellen); $i++) {
1617             if (sizeof(explode("_", $nextBetriebsstellen[$i])) != 2) {
1618                 $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"] =
    ↪ false;

```

```

1619     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["betriebsstelle"] =
1620         ↳ $nextBetriebsstellen[$i];
1621     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["zeiten"] =
1622         ↳ getFahrplanzeiten($nextBetriebsstellen[$i], $zugID);
1623     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"] = true;
1624 } else if(in_array($nextBetriebsstellen[$i], $keysZwischenhalte)) {
1625     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["is_on_fahrstrasse"] =
1626         ↳ false;
1627     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["betriebsstelle"] =
1628         ↳ $nextBetriebsstellen[$i];
1629     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["zeiten"] =
1630         ↳ getFahrplanzeiten($nextBetriebsstellen[$i], $zugID);
1631     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$i]["fahrplanhalt"] = false
1632         ↳ ;
1633 }
1634 }
1635 $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array_values($allUsedTrains[
1636     ↳ $trainID]["next_betriebsstellen_data"]);
1637 } else {
1638     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] = array();
1639 }
1640 foreach ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"] as $betriebsstelleKey
1641     ↳ => $betriebsstelleValue) {
1642     if ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["
1643         ↳ zeiten"]["abfahrt_soll"] != null) {
1644         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
1645             ↳ ]["abfahrt_soll_timestamp"] = getUhrzeit($betriebsstelleValue["zeiten"]["
1646                 ↳ abfahrt_soll"], "simulationszeit", null, array("inputtyp" => "h:i:s"));
1647     } else {
1648         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
1649             ↳ ]["abfahrt_soll_timestamp"] = null;
1650     }
1651     if ($allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["
1652         ↳ zeiten"]["ankunft_soll"] != null) {
1653         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
1654             ↳ ]["ankunft_soll_timestamp"] = getUhrzeit($betriebsstelleValue["zeiten"]["
1655                 ↳ ankunft_soll"], "simulationszeit", null, array("inputtyp" => "h:i:s"));
1656     } else {
1657         $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"
1658             ↳ ]["ankunft_soll_timestamp"] = null;
1659     }
1660     $allUsedTrains[$trainID]["next_betriebsstellen_data"][$betriebsstelleKey]["zeiten"][
1661         ↳ "verspaetung"] = 0;
1662 }
1663 }
1664
1665 function toArr(){
1666     return func_get_args();
1667 }
1668
1669 function emergencyBreak ($id, $distanceToNextStop = 0) {
1670

```

```

1655 global $allUsedTrains;
1656 global $timeDifference;
1657 global $allTimes;
1658
1659 $time = microtime(true) + $timeDifference;
1660 $currentSpeed = $allUsedTrains[$id]["current_speed"];
1661 $targetSpeed = 0;
1662 $notverzögerung = $allUsedTrains[$id]["notverzögerung"];
1663 $currentSection = $allUsedTrains[$id]["current_section"];
1664
1665 echo "Der Zug mit der Adresse: ", $allUsedTrains[$id]["adresse"], " leitet jetzt eine
    ↳ Notbremsung ein.\n";
1666 $returnArray = array();
1667 if (getBrakeDistance($currentSpeed, $targetSpeed, $notverzögerung) <=
    ↳ $distanceToNextStop) {
1668     for ($i = $currentSpeed; $i >= 0; $i = $i - 2) {
1669         array_push($returnArray, array("live_position" => 0, "live_speed" => $i, "
            ↳ live_time" => $time, "live_relative_position" => 0, "live_section" =>
            ↳ $currentSection, "live_is_speed_change" => true, "live_target_reached" =>
            ↳ false, "id" => $id, "wendet" => false, "betriebsstelle" => 'Notbremsung', "
            ↳ live_all_targets_reached" => null));
1670         $time = $time + getBrakeTime($i, $i - 1, $notverzögerung);
1671     }
1672 } else {
1673     $targetSpeedNotbremsung = getTargetBrakeSpeedWithDistanceAndStartSpeed(
        ↳ $distanceToNextStop, $notverzögerung, $currentSpeed);
1674     $speedBeforeStop = intval($targetSpeedNotbremsung / 2) * 2;
1675     if ($speedBeforeStop >= 10) {
1676         for ($i = $currentSpeed; $i >= 10; $i = $i - 2) {
1677             array_push($returnArray, array("live_position" => 0, "live_speed" => $i, "
                ↳ live_time" => $time, "live_relative_position" => 0, "live_section" =>
                ↳ $currentSection, "live_is_speed_change" => true, "live_target_reached" =>
                ↳ false, "id" => $id, "wendet" => false, "betriebsstelle" => 'Notbremsung'
                ↳ , "live_all_targets_reached" => null));
1678             $time = $time + getBrakeTime($i, $i - 1, $notverzögerung);
1679         }
1680         array_push($returnArray, array("live_position" => 0, "live_speed" => 0, "live_time
            ↳ " => $time, "live_relative_position" => 0, "live_section" =>
            ↳ $currentSection, "live_is_speed_change" => true, "live_target_reached" =>
            ↳ false, "id" => $id, "wendet" => false, "betriebsstelle" => 'Notbremsung', "
            ↳ live_all_targets_reached" => null));
1681     } else {
1682         array_push($returnArray, array("live_position" => 0, "live_speed" => $currentSpeed
            ↳ , "live_time" => $time, "live_relative_position" => 0, "live_section" =>
            ↳ $currentSection, "live_is_speed_change" => true, "live_target_reached" =>
            ↳ false, "id" => $id, "wendet" => false, "betriebsstelle" => 'Notbremsung', "
            ↳ live_all_targets_reached" => null));
1683         $time = $time + getBrakeTime($currentSpeed, $currentSpeed - 1, $notverzögerung);
1684         array_push($returnArray, array("live_position" => 0, "live_speed" => 0, "live_time
            ↳ " => $time, "live_relative_position" => 0, "live_section" =>
            ↳ $currentSection, "live_is_speed_change" => true, "live_target_reached" =>
            ↳ false, "id" => $id, "wendet" => false, "betriebsstelle" => 'Notbremsung', "
            ↳ live_all_targets_reached" => null));

```

```

1685     }
1686 }
1687
1688 $allTimes[$allUsedTrains[$id]["adresse"]] = $returnArray;
1689 array_push($allUsedTrains[$id]["error"], 3);
1690 return 0;
1691 }
1692
1693 function getTargetBrakeSpeedWithDistanceAndStartSpeed (float $distance, float
    ↳ $verzögerung, int $speed) {
1694     return sqrt((-2 * $verzögerung * $distance) + (pow(($speed / 3.6), 2)))*3.6;
1695 }

```

#### A.4 cache\_functions\_own.php

```

1 <?php
2
3 function createcacheInfraLaenge() {
4     $DB = new DB_MySQL();
5     $returnArray = array();
6     $infraLaenge = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_INFRAZUSTAND.'".'id', '".
    ↳ DB_TABLE_INFRAZUSTAND.'".'laenge' FROM '".DB_TABLE_INFRAZUSTAND.'" WHERE '".
    ↳ DB_TABLE_INFRAZUSTAND.'".'type' = '".gleis"."'");
7     unset($DB);
8     foreach ($infraLaenge as $data) {
9         if ($data->laenge != null) {
10             $returnArray[$data->id] = intval($data->laenge);
11         }
12     }
13     return $returnArray;
14 }
15
16 function createCacheHaltepunkte() : array{
17
18     $DB = new DB_MySQL();
19     $returnArray = array();
20
21     $betriebsstellen = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_BETRIEBSSTELLEN_DATEN.'".'
    ↳ parent_kuerzel' FROM '".DB_TABLE_BETRIEBSSTELLEN_DATEN.'" WHERE '".
    ↳ DB_TABLE_BETRIEBSSTELLEN_DATEN.'".'parent_kuerzel' IS NOT NULL");
22     unset($DB);
23
24     foreach ($betriebsstellen as $betriebsstelle) {
25         $returnArray[$betriebsstelle->parent_kuerzel][0] = array();
26         $returnArray[$betriebsstelle->parent_kuerzel][1] = array();
27     }
28
29     foreach ($returnArray as $betriebsstelleKey => $betriebsstelleValue) {
30         $DB = new DB_MySQL();
31         $name = $betriebsstelleKey;
32         $name .= "%";
33         $asig = "ASig";

```

```

34 $bksig = "BkSig";
35 $vsig = "VSig";
36 $ja = "ja";
37 if ($betriebsstelleKey == 'XAB' || $betriebsstelleKey == "XBL") {
38     $haltepunkte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.freimelde_id
        ↳ ', '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.wirkrichtung' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ betriebsstelle' LIKE '$name' AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id' IS NOT NULL AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ fahrplanhalt' = '$ja'");
39     unset($DB);
40 } else if ($betriebsstelleKey == 'XTS') {
41     $haltepunkte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.freimelde_id
        ↳ ', '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.wirkrichtung' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ betriebsstelle' LIKE '$name' AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id' IS NOT NULL AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ signaltyp' = '$bksig'");
42     unset($DB);
43 } else if ($betriebsstelleKey == 'XLG') {
44     $haltepunkte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.freimelde_id
        ↳ ', '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.wirkrichtung' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ betriebsstelle' LIKE '$name' AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id' IS NOT NULL AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ signaltyp' != '$vsig'");
45     unset($DB);
46 } else {
47     $haltepunkte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id', '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.wirkrichtung' FROM '".
        ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ betriebsstelle' LIKE '$name' AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ freimelde_id' IS NOT NULL AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
        ↳ signaltyp' = '$asig'");
48     unset($DB);
49 }
50
51 foreach ($haltepunkte as $haltepunkt) {
52     if ($haltepunkt->wirkrichtung == 0) {
53         array_push($returnArray[$betriebsstelleKey][0], intval($haltepunkt->freimelde_id)
        ↳ );
54     } elseif ($haltepunkt->wirkrichtung == 1) {
55         array_push($returnArray[$betriebsstelleKey][1], intval($haltepunkt->freimelde_id)
        ↳ );
56     }
57 }
58 }
59 $returnArray["XSC"][1] = array(734, 732, 735, 733, 692); // In der Datenbank ist für
    ↳ Richtung 1 für diese Abschnitte fahrplanhalt auf nein eingestellt
60 return $returnArray;
61 }
62
63 function createCacheZwischenhaltepunkte() {

```



```

64 $DB = new DB_MySQL();
65 $allZwischenhalte = array();
66 $returnArray = array();
67 $zwischenhalte = $DB->select("SELECT DISTINCT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
    ↳ betriebsstelle' FROM '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".
    ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.betriebsstelle' IS NOT NULL");
68 unset($DB);
69 foreach ($zwischenhalte as $halt) {
70     array_push($allZwischenhalte, $halt->betriebsstelle);
71 }
72 foreach ($allZwischenhalte as $halt) {
73     $DB = new DB_MySQL();
74     $zwischenhalte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.freimelde_id'
    ↳ FROM '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'" WHERE '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'"
    ↳ '.betriebsstelle' = '$halt' AND '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'.
    ↳ freimelde_id' IS NOT NULL");
75     unset($DB);
76     if (sizeof($zwischenhalte) == 1) {
77         if (sizeof(explode("_", $halt)) == 2) {
78             $returnArray[$halt] = intval($zwischenhalte[0]->freimelde_id);
79         }
80     }
81 }
82 return $returnArray;
83 }
84
85 function createCacheInfraToGbt () {
86     $DB = new DB_MySQL();
87     $infraArray = array();
88     $returnArray = array();
89     $allInfra = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'.infra_id' FROM '".
    ↳ DB_TABLE_FMA_GBT.'" WHERE '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'.infra_id' IS NOT NULL");
90     unset($DB);
91     foreach ($allInfra as $infra) {
92         array_push($infraArray, intval($infra->infra_id));
93     }
94     foreach ($infraArray as $infra) {
95         $DB = new DB_MySQL();
96         $gbt = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'.gbt_id' FROM '".DB_TABLE_FMA_GBT.
    ↳ "' WHERE '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'.infra_id' = '$infra') [0]->gbt_id;
97         unset($DB);
98         $returnArray[$infra] = intval($gbt);
99     }
100     return $returnArray;
101 }
102
103 function createCacheGbtToInfra () {
104
105     $DB = new DB_MySQL();
106
107     $returnArray = array();
108

```

```

109 $allGbt = $DB->select("SELECT DISTINCT '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'gbt_id' FROM '".
    ↳ DB_TABLE_FMA_GBT.'" WHERE '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'gbt_id' IS NOT NULL");
110 unset($DB);
111
112 foreach ($allGbt as $gbt) {
113     $DB = new DB_MySQL();
114     $gbt = $gbt->gbt_id;
115     $infras = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'infra_id' FROM '".
    ↳ DB_TABLE_FMA_GBT.'" WHERE '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'gbt_id' = '$gbt'");
116     unset($DB);
117     $returnArray[$gbt] = array();
118     foreach ($infras as $infra) {
119         array_push($returnArray[$gbt], intval($infra->infra_id));
120     }
121 }
122 return $returnArray;
123 }
124
125 function createCacheFmaToInfra () {
126     $DB = new DB_MySQL();
127     $returnArray = array();
128     $fmaToInfra = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FMA_GBT.'".'infra_id', '".
    ↳ DB_TABLE_FMA_GBT.'".'fma_id' FROM '".DB_TABLE_FMA_GBT.'" WHERE '".
    ↳ DB_TABLE_FMA_GBT.'".'fma_id' IS NOT NULL");
129     unset($DB);
130     foreach ($fmaToInfra as $value) {
131         $returnArray[intval($value->fma_id)] = intval($value->infra_id);
132     }
133     return $returnArray;
134 }
135
136 function createCacheToBetriebsstelle() {
137     $DB = new DB_MySQL();
138     $returnArray = array();
139     $fmaToInfra = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'id', '".
    ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'".'betriebsstelle' FROM '".
    ↳ DB_TABLE_SIGNALE_STANDORTE.'"");
140     unset($DB);
141     foreach ($fmaToInfra as $value) {
142         $returnArray[intval($value->id)] = $value->betriebsstelle;
143     }
144     return $returnArray;
145 }
146
147 function createCacheFahrzeugeAbschnitte () {
148     $DB = new DB_MySQL();
149     $returnArray = array();
150     $fahrzeugeAbschnitte = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'
    ↳ fahrzeug_id', '".DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'infra_id', '".
    ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'".'unixtimestamp' FROM '".
    ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE_ABSCHNITTE.'"");
151     unset($DB);
152     foreach ($fahrzeugeAbschnitte as $fahrzeug) {

```

```

153     $returnArray[intval($fahrzeug->fahrzeug_id)]["infra_id"] = intval($fahrzeug->
        ↳ infra_id);
154     $returnArray[intval($fahrzeug->fahrzeug_id)]["unixtimestamp"] = intval($fahrzeug->
        ↳ unixtimestamp);
155 }
156 return $returnArray;
157 }
158
159 function createCacheDecoderToAdresse () {
160     $DB = new DB_MySQL();
161     $returnArray = array();
162     $decoderToAdresse = $DB->select("SELECT '".DB_TABLE_FAHRZEUGE.'".'.id', '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRZEUGE.'".'.adresse' FROM '".DB_TABLE_FAHRZEUGE.'"");
163     unset($DB);
164     foreach ($decoderToAdresse as $fahrzeug) {
165         $returnArray[intval($fahrzeug->id)] = intval($fahrzeug->adresse);
166     }
167     return $returnArray;
168 }
169
170 function createCacheFahrplanSession() {
171     $DB = new DB_MySQL();
172     $fahrplanData = $DB->select("SELECT * FROM '".DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSION.'" WHERE '".
        ↳ DB_TABLE_FAHRPLAN_SESSION.'".'.status' = '".1"."'");
173     unset($DB);
174
175     return $fahrplanData[0];
176 }

```

## A.5 globalVariables.php

```

1 <?php
2
3 $globalNotverzoeigerung = 2; // Bremsverzögerung bei einer Notbremsung
4 $globalMinSpeed = 10; // 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 $globalTimeOnOneSpeed = 20;
10 $globalDistanceUpdateInterval = 1;
11
12 $useSpeedFineTuning = true;
13 $useMinTimeOnSpeed = true;
14 $errorMinTimeOnSpeed = false;
15 $slowDownIfTooEarly = true;
16 $useRecalibration = true;

```

## A.6 speedOverPosition.m

```

1 %% Load cumulative sections
2
3 fname = '../json/VMaxOverCumulativeSections.json';
4 fid = fopen(fname);
5 raw = fread(fid,inf);
6 str = char(raw');
7 fclose(fid);
8 vmaxOverPosition = jsondecode(str);
9 vmaxOverPosition_Position = vmaxOverPosition(:,1);
10 vmaxOverPosition_v_max = vmaxOverPosition(:,2);
11
12 %% Load modified cumulative sections
13
14 fname = '../json/VMaxOverCumulativeSectionsMod.json';
15 fid = fopen(fname);
16 raw = fread(fid,inf);
17 str = char(raw');
18 fclose(fid);
19 vmaxOverPosition_mod = jsondecode(str);
20 vmaxOverPosition_Position_mod = vmaxOverPosition_mod(:,1);
21 vmaxOverPosition_v_max_mod = vmaxOverPosition_mod(:,2);
22
23 %% Load speed over position
24
25 fname = '../json/speedOverPosition.json';
26 fid = fopen(fname);
27 raw = fread(fid,inf);
28 str = char(raw');
29 fclose(fid);
30 val = jsondecode(str);
31
32 speedOverPosition_x_v1 = val(:,1);
33 speedOverPosition_y_v1 = val(:,2);
34
35 %% Load speed over position (all iterationsteps)
36
37 fname_it = '../json/speedOverPosition_prevIterations.json';
38 fid_it = fopen(fname_it);
39 raw_it = fread(fid_it,inf);
40 str_it = char(raw_it');
41 fclose(fid_it);
42 val_it = jsondecode(str_it);
43
44 %% Plot
45
46 hold on
47 figure(1)
48
49 % Plot infrastructuresections
50
51 p = line([0 0], [0 vmaxOverPosition_v_max(1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', '
↳ black', 'DisplayName', ['Infra-Abschnitte']);

```

```

52 line([0 vmaxOverPosition_Position(1)], [vmaxOverPosition_v_max(1) vmaxOverPosition_v_max
    ↳ (1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'black', 'HandleVisibility', 'off');
53
54 for i = 1:size(vmaxOverPosition_Position) - 1
55     line([vmaxOverPosition_Position(i) vmaxOverPosition_Position(i + 1)], [
        ↳ vmaxOverPosition_v_max(i + 1) vmaxOverPosition_v_max(i + 1)], 'LineStyle', '-.',
        ↳ 'LineWidth', 2, 'color', 'black', 'HandleVisibility', 'off');
56     line([vmaxOverPosition_Position(i) vmaxOverPosition_Position(i)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max(i + 1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'black',
        ↳ 'HandleVisibility', 'off');
57     line([vmaxOverPosition_Position(i) vmaxOverPosition_Position(i)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max(i)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'black', '
        ↳ HandleVisibility', 'off');
58     line([vmaxOverPosition_Position(i + 1) vmaxOverPosition_Position(i + 1)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max(i + 1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'black',
        ↳ 'HandleVisibility', 'off');
59 end
60
61 % Plot modified iterationsteps (incl. trainlength)
62 line([0 0], [0 vmaxOverPosition_v_max_mod(1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', '
    ↳ red', 'HandleVisibility', 'off');
63 line([0 vmaxOverPosition_Position_mod(1)], [vmaxOverPosition_v_max_mod(1)
    ↳ vmaxOverPosition_v_max_mod(1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'red', '
    ↳ DisplayName', ['Infra-Abschnitte' newline 'inkl. Zuglänge']);
64
65 for i = 1:size(vmaxOverPosition_Position_mod) - 1
66     line([vmaxOverPosition_Position_mod(i) vmaxOverPosition_Position_mod(i + 1)], [
        ↳ vmaxOverPosition_v_max_mod(i + 1) vmaxOverPosition_v_max_mod(i + 1)], '
        ↳ LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'red', 'HandleVisibility', 'off');
67     line([vmaxOverPosition_Position_mod(i) vmaxOverPosition_Position_mod(i)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max_mod(i + 1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'red
        ↳ ', 'HandleVisibility', 'off');
68     line([vmaxOverPosition_Position_mod(i) vmaxOverPosition_Position_mod(i)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max_mod(i)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'red', '
        ↳ HandleVisibility', 'off');
69     line([vmaxOverPosition_Position_mod(i + 1) vmaxOverPosition_Position_mod(i + 1)], [0
        ↳ vmaxOverPosition_v_max_mod(i + 1)], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2, 'color', 'red
        ↳ ', 'HandleVisibility', 'off');
70 end
71
72 % Plot all iterationsteps
73 for i = 1:length(val_it)
74     plot(val_it{i}(:,1), val_it{i}(:,2), 'o', 'markersize', 8, 'Color', [0.6 0.6 0.6], '
    ↳ DisplayName', legend_name);
75
76 end
77
78 % PLOT speedcurve
79
80 plot(speedOverPosition_x_v1, speedOverPosition_y_v1, 'LineWidth', 4, 'Color', [0.25 0.80
    ↳ 0.54], 'DisplayName', 'Fahrtverlauf');
81
82 %% Fillobjects

```

```

83
84 %fill([0, 0, 1090, 1090, 0], [0, 200, 200, 0, 0], 'b','facealpha',.2,'LineStyle','none')
    ↳ ;
85
86 %% Adding text
87
88 %text(20,17,'1','Interpreter','latex','fontsize', 40);
89
90 %% Format plot
91
92 p.LineWidth = 2;
93 box off
94 fontSize = 18;
95 xlabel("Strecke [m]", 'FontSize', fontSize);
96 ylabel("Geschwindigkeit [km/h]", 'FontSize', fontSize);
97 x0=10;
98 y0=10;
99 width=1100;
100 height=600;
101 axis([-80 max(vmaxOverPosition_Position)+80 0 max(vmaxOverPosition_v_max)+10]);
102 axis([-20 max(vmaxOverPosition_Position)+20 0 max(vmaxOverPosition_v_max)+5]);
103 set(gcf,'position',[x0,y0,width,height]);
104 set(gcf,'PaperPositionMode','auto');
105 set(gca, 'FontSize', 18);
106 set(gca, 'Linewidth', 2);
107
108 t = gca;
109 exportgraphics(t,'SpeedOverPosition.pdf','ContentType','vector');
110 hold off

```

## Literatur

- Ebuef: Eisenbahn-Betriebs- und Experimentierfeld Berlin.* (2021). [www.ebuef.de](http://www.ebuef.de). EBUef e.V.; c/o Technische Universität Berlin; Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur. (Letzter Zugriff am: 11. September 2021)
- Pachl, J. (2021). *Systemtechnik des schienenverkehrs*. Springer-Verlag.
- Railcom - DCC-Rückmeldeprotokoll* (Norm Nr. RCN-217). (2019, Dezember). (RailCommunity – Verband der Hersteller Digitaler Modellbahnprodukte e.V.)
- Richard, H. & Sander, M. (2011). *Technische mechanik. dynamik: Grundlagen - effektiv und anwendungsnahe*. Vieweg+Teubner Verlag.