

Mindestzugfolgezeiten bei ETCS Level 2 und Level 3 auf der Wiener S-Bahn-Stammstrecke

Headways in ETCS Levels 2 and 3 on the main urban railway line in Vienna

Maximilian Wirth | Andreas Schöbel

Im vorliegenden Beitrag, der auf einer Diplomarbeit an der FH St. Pölten basiert, werden die möglichen Mindestzugfolgezeiten bei einer Ausrüstung der Wiener S-Bahn-Stammstrecke mit ETCS Level 2 und Level 3 (L2, L3) mittels Simulation aufgezeigt. Während bei L2 noch die konventionelle Blockteilung mit traditioneller Gleisfreimeldung zum Einsatz kommt, ist bei L3 der sog. „Moving Block“ mit fahrzeugseitiger Zugvollständigkeitsprüfung vorgesehen. Da sich ETCS L3 noch in einem frühen Stadium der Entwicklung befindet, stellt sich die Frage, inwieweit man sich mit einer feineren Blockteilung im L2 der Mindestzugfolgezeit des L3 annähern kann.

1 Einleitung

Im Laufe der letzten Jahrzehnte sind die Einwohnerzahlen in vielen europäischen Großstädten und speziell in deren Ballungsgebieten angestiegen. Auch in Wien ist dies zu bemerken, wo die Einwohnerzahl im Ballungsgebiet von 1 830 000 Einwohnern im Jahr 2001 auf 2 220 000 im Jahr 2019 angestiegen ist [1]. Neben den öffentlichen Verkehrsmitteln, die hier meist nur Verbindungen innerhalb der Stadtgrenzen herstellen, ist das Wiener S-Bahn-System eine wichtige Vernetzung, welche das Umland an die Stadt anbindet. Ein solcher Bevölkerungszuwachs geht an den öffentlichen Verkehrsmitteln nicht spurlos vorbei. Aufgrund der steigenden Einwohnerzahl des gesamten Ballungsgebietes sowie eines verbesserten Angebotes an öffentlichen Verkehrsmitteln hat sich die Anzahl der täglich auf der Wiener S-Bahn-Stammstrecke Reisenden in den letzten acht Jahren auf bis zu 200 000 verdoppelt. Mit 711 Zugfahrten am Tag ist der Abschnitt zwischen Wien Mitte und Rennweg der am stärksten befahrene der Wiener S-Bahn-Stammstrecke. Die Anzahl der Züge ist hier sogar höher als die auf der Wiener U-Bahn-Linie U1. Durch diese hohe Anzahl an Zugfahrten pro Tag sind in der Hauptverkehrszeit von 20 Trassen, die pro Richtung und Stunde zur Verfügung stehen, bereits 19 belegt [2]. In welchem Ausmaß kann diese Trassenanzahl durch eine Umrüstung der S-Bahn-Stammstrecke von PZB (Punktförmige Zugbeeinflussung) auf European Train Control System (ETCS) vergrößert werden?

2 Darstellung der vorhandenen Infrastruktur in OpenTrack

Im Simulationsprogramm OpenTrack wurden als Startpunkt die im Bahnhof Wien Meidling den Bahnsteig nach Westen begrenzenden Zwischensignale definiert. Da es in Wien Meidling ausschließlich von den Gleisen 2, 4, 6, 8 und 10 aus möglich ist, auf die beiden Gleise der Stammstrecke sowie auf das nördlich vom (Technischen

The following article, which is based on a thesis written at the University of Applied Sciences in St. Pölten, presents the possible headways on the main urban railway line in Vienna under two different scenarios. In Scenario 1, the line is equipped with ETCS Level 2 (L2), which uses conventional block divisions with traditional signalling. Scenario 2 assumes that the line is equipped with ETCS Level 3 (L3). This level of ETCS uses a so called “Moving Block” with on-board checks of the train’s completeness. Due to the relatively early development stage of ETCS L3, the question arises as to whether a rework of the block division in ETCS L2 can approximate the ETCS L3 headways.

1 Introduction

The populations of large European cities and their conurbations have significantly increased in recent history. For example, the conurbation of Vienna rose from 1.83 million inhabitants in 2001 to 2.22 million in 2019 [1]. In contrast to other means of public transport, which mostly establish transport connections inside the city’s boundaries, the Viennese city railway links Vienna with its conurbations. Due to the recent increase in population, the number of daily commuters using the urban railway’s main line has doubled to 200,000 since 2011. The rail section between Wien Mitte and Rennweg is the most heavily frequented part of the Viennese main line with 711 train runs per day. This number even surpasses the number of train runs on the U1 metro line. The high frequency of trains on this section during peak times means that 19 out of the 20 available paths are occupied in each direction. This article shows how far this number could be increased by equipping the line with an European Train Control System (ETCS).

2 The presentation of the current infrastructure in OpenTrack

The westernmost intermediate signals on the platforms of the Wien Meidling station were chosen as the starting point of the Viennese urban railway line in the OpenTrack simulation software. Instead of modelling all eight platforms at Wien Meidling, only platforms 2, 4, 6, 8 and 10 were included. These are the platforms which have access to both tracks of the railway line, as well as the track of route 105, which goes north of the technical maintenance facility in Matzleinsdorf. This technical maintenance facility was not included in the OpenTrack simulation due to the fact that the trains which use the railway line do not pass through the Matzleinsdorf facility, but the entries and exits going to and from Wien Meidling and

| Vor 1 st | Nach 2 nd | 1144 + „Wiesel“ [s] | 4020 [s] | 4024 [s] | 4746 [s] | „KISS“ [s] |
|------------------------|-------------------------|------------------------|----------|----------|----------|------------|
| 1144 + „Wiesel“ | | 162 | 145 | 144 | 177 | 163 |
| 4020 | | 181 | 164 | 163 | 206 | 167 |
| 4024 | | 183 | 166 | 165 | 217 | 172 |
| 4746 | | 141 | 132 | 131 | 156 | 158 |
| „KISS“ | | 150 | 148 | 147 | 149 | 150 |

Bild 1: Mindestzugfolgezeiten PZB, Wien Floridsdorf–Wien Meidling, Haltezeit 60 Sekunden

Fig. 1: The PZB headway, Wien Floridsdorf–Wien Meidling, dwell time: 60 seconds

Quelle/ Source: M. Wirth

Service) TS-Werk Matzleinsdorf verlaufende Gleis der Strecke 105 zu gelangen, wurden nur diese fünf Bahnsteiggleise, statt der tatsächlich vorhandenen acht, abgebildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sowie der Tatsache, dass die auf der Stammstrecke verkehrenden Züge nicht durch das TS-Werk Matzleinsdorf verkehren, wurde in OpenTrack dieses nicht nachgebildet, sondern wurden ausschließlich die Ein- und Ausfahrten aus den Betriebsstellen Wien Meidling und Wien Matzleinsdorfer Platz nur angedeutet. Als Endpunkt für die Simulation wurden im vollständig mit fünf Gleisen nachgebauten Wien Floridsdorf die Bahnsteige in Richtung Osten begrenzenden Zwischensignale herangezogen. Alle dazwischenliegenden Betriebsstellen der Wiener S-Bahn-Stammstrecke wurden vollständig abgebildet.

3 Verwendete Triebfahrzeuge und Durchführungsweise der Simulation

Für die Simulation wurden die nachfolgenden Fahrzeuge herangezogen, die auch im Fahrplanjahr 2019 auf der Stammstrecke verkehrten:

- ÖBB BR 4020
- ÖBB BR 4024
- ÖBB BR 4746
- ÖBB Doppelstock-Wendezuggarnitur, fünfteilig, angetrieben mit einer ÖBB BR 1144
- Doppelstockgarnitur „Kiss“ von Stadler, betrieben durch die Westbahn.

Mithilfe des sogenannten „Headway Calculator“ von OpenTrack konnten im nächsten Schritt die Mindestzugfolgezeiten berechnet werden. Nachdem der vorausfahrende Zug, der nachfahrende Zug und die zu vermeidenden Konflikte definiert wurden, berechnet das Programm automatisch die konfliktfreie Mindestzugfolgezeit. Im Zuge dieser Untersuchung wurde die Mindestzugfolgezeit zwischen zwei Zügen als jene Zeit definiert, nach welcher der zweite Zug dem ersten frühestens folgen kann, ohne Fahrzeitenverluste aufgrund von Beeinflussungen durch den vorausfahrenden Zug davonzutragen [3]. Die Betrachtung erfolgte in Abhängigkeit der bereits erwähnten Garnituren, der Fahrtrichtung und der Haltezeit in den Betriebsstellen, die vereinfacht in allen Betriebsstellen mit 30 bzw. 60 Sekunden angenommen wurde.

4 Mindestzugfolgezeiten unter PZB

Um einen Vergleich herstellen zu können, inwieweit sich die Mindestzugfolgezeiten durch die Verwendung modernerer Zugsicherungssysteme verändern lassen, wird im ersten Schritt der aktuelle Stand der Infrastruktur analysiert. Im derzeitigen Zustand ist die Wiener S-Bahn-Stammstrecke mit dem Zugsicherungssystem PZB ausgestattet. Hier ergeben sich in Richtung Wien Floridsdorf–

Wien Matzleinsdorfer Platz wie angegeben. The endpoint of the Viennese urban railway line was set at the easternmost intermediate signals on the platforms of Wien Floridsdorf. Every station between the starting point and the endpoint was included in the simulation.

3 The used locomotives and the execution of the simulation

Five locomotives, which operated on the railway line in 2019, were used in the OpenTrack simulation:

- an ÖBB electrical multiple unit (EMU) 4020
- an ÖBB EMU 4024
- an ÖBB EMU 4746
- an ÖBB five-part double decker push-pull train, driven by an ÖBB 1144 locomotive
- a double decker EMU “Kiss” by Stadler, operated by the “Westbahn”.

Their respective headways were calculated using the “Headway Calculator”, a feature of OpenTrack. The “Headway Calculator” calculates the conflict-free headway once the preceding train, the following train and the conflicts to be avoided have been defined. The headway is defined as the time after which a train can follow another train without losing any travel time due to the preceding train [3]. These calculations were executed twice with all of the locomotives that are mentioned above and with simplified dwell times. The headways during rush hour were calculated with a dwell time of 60 seconds, whereas the headways during off-peak hours, were calculated with a dwell time of 30 seconds.

4 The headways under the conventional “PZB” train protection system

The current infrastructure on the Viennese urban railway line, the PZB system, had to be analysed in order to show how headways can be improved by using a modern train protection system. The headways, calculated with a dwell time of 60 seconds, can be seen in fig. 1.

As can be seen in fig. 1, the headways vary significantly by a number of seconds. These variations are caused by the used train sets. A more powerful train requires less time than a less powerful train to make the trip between Wien Meidling and Wien Floridsdorf. Therefore, if a stronger train set follows a weaker one, it is eventually faced with braking actions. In order to avoid such conflicts, the more powerful train must maintain a greater distance from the less powerful preceding train. Conversely, the exact opposite effect happens. If a less powerful train follows a more powerful one, then the less powerful train can leave a station earlier because the distance between the trains

Bild 2: Mindestzugfolgezeiten ETCS L2, Wien Floridsdorf – Wien Meidling, Haltezeit 60 Sekunden

Fig. 2: The ETCS L2 headway, Wien Floridsdorf – Wien Meidling, dwell time: 60 seconds

Quelle / Source: M. Wirth

| Vor 1 st \ Nach 2 nd | 1144 + „Wiesel“ [s] | 4020 [s] | 4024 [s] | 4746 [s] | „KISS“ [s] |
|--|---------------------|----------|----------|----------|------------|
| 1144 + „Wiesel“ | 170 | 152 | 151 | 185 | 169 |
| 4020 | 189 | 171 | 170 | 216 | 173 |
| 4024 | 191 | 173 | 172 | 228 | 180 |
| 4746 | 148 | 140 | 139 | 163 | 164 |
| „KISS“ | 158 | 155 | 154 | 156 | 157 |

Wien Meidling bei einer Haltezeit von 60 Sekunden folgende Mindestzugfolgezeiten, die in Bild 1 ersichtlich sind.

Wie zu sehen ist, können die Mindestzugfolgezeiten durchaus im Sekundenbereich stark variieren. Grund dafür ist die eingesetzte Garnitur. Eine traktionsstärkere Garnitur, die höhere Beschleunigungs- und Verzögerungswerte besitzt, benötigt für die Fahrt zwischen Wien Meidling und Wien Floridsdorf weniger Fahrzeit als eine traktionschwächere Garnitur. Fährt nun eine stärkere einer schwächeren nach, so läuft diese mit der Zeit dem vorhergehenden Zug auf. Die Folge ist, dass der nachfahrende Zug mehr Abstand halten muss, um bis zum Zielbahnhof dem vorherfahrenden Zug nicht „aufzulaufen“. Im umgekehrten Fall zeigt sich genau der gegenteilige Effekt. Ist die vorausfahrende Garnitur stärker als die nachfahrende, kann der zweite Zug früher abfahren, da sich dessen Abstand zum ersten mit der Zeit vergrößert. Im Hinblick auf die Mindestzugfolgezeiten bedeutet dies, dass große Werte darauf schließen lassen, dass die nachfahrende Garnitur stärker ist als die vorausfahrende. Kleinere Werte lassen hingegen auf das Gegenteil schließen. Unabhängig von der Garnitur gibt es zusätzlich noch den Effekt des maßgeblichen Blockes, der die Mindestzugfolgezeit bestimmt. Je nach dessen Lage sind die vorhin beschriebenen Effekte deutlicher oder schwächer sichtbar.

5 Mindestzugfolgezeiten unter ETCS Level 2

Im nächsten Schritt wird die Infrastruktur im Simulationsprogramm mit einem der aktuell modernsten Zugsicherungssysteme

increases over time. Therefore, one can conclude that the bigger headways in fig. 1 indicate that a more powerful train set is following a less powerful one, while the opposite is true for the shorter headways.

5 The headways under ETCS Level 2

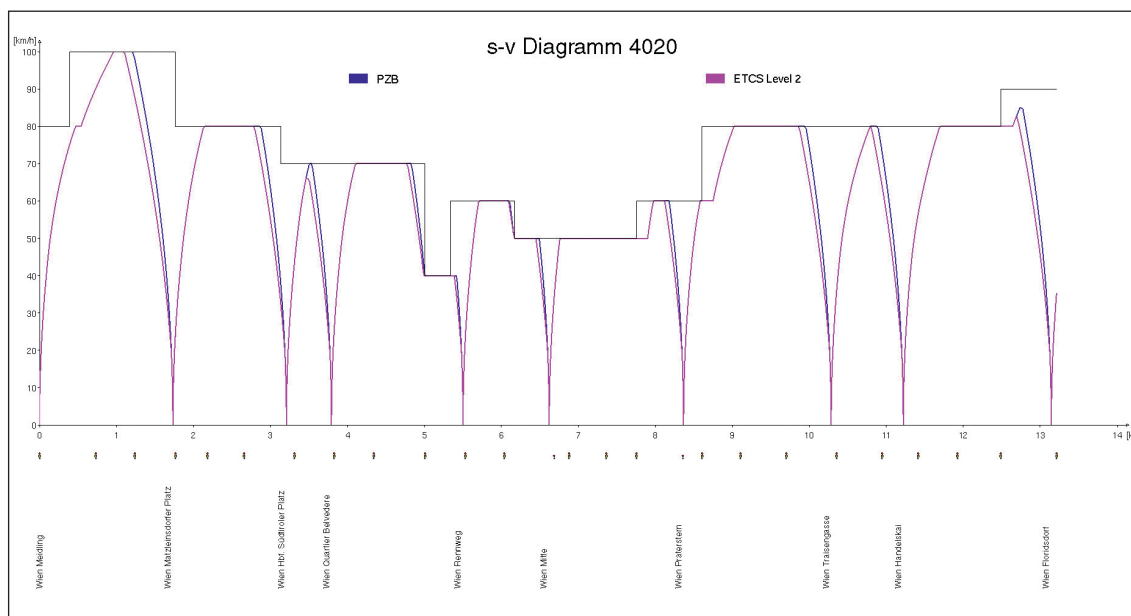
After the analysis of the current train protection system, the infrastructure of the Viennese urban railway line was equipped with ETCS L2 in OpenTrack. The headways of ETCS L2 with dwell times of 60 seconds were calculated using the “Headway Calculator” and can be seen in fig. 2. These headways can be compared with the headways of the current PZB train protection system.

In comparison with fig. 1, it can easily be seen that the ETCS L2 headways increase depending on the used train set. Equipping the railway line with L2 would therefore lead to a loss of capacity. This is due to the more restrictive ETCS braking curves, which are flatter in comparison with the PZB. The subsequent block sections are therefore released later due to the resulting slower approach to a stopping point, which can either be a stop signal or a stopping point at a platform in this case. Consequentially, the following train has to maintain a greater distance from the preceding one in order to follow it without any restrictions. Fig. 3 shows the speed-distance (s-v) diagram for the series 4020 trains using the PZB and ETCS L2. Here one can clearly see that ETCS slows down trains much earlier than PZB due to its flatter braking curve.

Bild 3: Vergleich PZB-ETCS L2 im s-v Diagramm der BR 4020

Fig. 3: A comparison of PZB/ETCS L2 in the speed-distance diagram of the EMU 4020

Quelle / Source: M. Wirth



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für FH St. Pölten / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

| Vor 1 st | Nach 2 nd | 1144 + „Wiesel“ [s] | 4020 [s] | 4024 [s] | 4746 [s] | „KISS“ [s] |
|------------------------|-------------------------|------------------------|----------|----------|----------|------------|
| 1144 + „Wiesel“ | | 114 | 110 | 109 | 148 | 125 |
| 4020 | | 143 | 117 | 116 | 178 | 133 |
| 4024 | | 156 | 129 | 116 | 194 | 138 |
| 4746 | | 106 | 102 | 101 | 108 | 106 |
| „KISS“ | | 101 | 96 | 96 | 102 | 96 |

Bild 4: Mindestzugfolgezeiten ETCS L3, Wien Floridsdorf – Wien Meidling, Haltezeit 60 Sekunden
 Fig. 4: The ETCS L3 headway, Wien Floridsdorf – Wien Meidling, dwell time: 60 seconds
 Quelle / Source: M. Wirth

me, dem ETCS L2, ausgerüstet. Die daraus berechneten Mindestzugfolgezeiten können in weiterer Folge mit denen von der Ausgangssituation mit PZB verglichen werden, um Unterschiede festzustellen. In Richtung Wien Floridsdorf – Wien Meidling bei einer Haltezeit von 60 Sekunden ergeben sich daraus folgende Mindestzugfolgezeiten, die in Bild 2 ersichtlich sind.

Im Vergleich zu Bild 1 lässt sich erkennen, dass eine Umrüstung der Wiener S-Bahn-Stammstrecke auf ETCS L2 einen Kapazitätsverlust zur Folge hätte, da sich die Mindestzugfolgezeiten, jeweils in Abhängigkeit von den Garnituren, unterschiedlich im Sekundenbereich erhöhen würden. Grund dafür sind die restriktiveren Bremskurven des ETCS, die im Vergleich zu jenen der PZB flacher gestaltet sind. Durch eine daraus resultierende langsamere Annäherung an einen Haltepunkt, der in diesem Fall ein Halt zeigendes Signal oder ein Haltepunkt am Bahnsteig sein kann, werden die nachfolgenden Blockabschnitte später freigegeben. Daraus folgt, dass der nachfolgende Zug einen größeren Abstand zum vorausfahrenden Zug halten muss, um ohne Einschränkungen folgen zu können. In Bild 3 sind die Geschwindigkeits-Weg (s-v)-Diagramme der Baureihe 4020 unter Verwendung der Zugsicherungssysteme PZB und ETCS L2 dargestellt. Es lässt sich deutlich erkennen, dass das ETCS beim Abbremsen auf eine Geschwindigkeitsreduktion oder einem Halt in einer Betriebsstelle den Zug aufgrund der flacheren Bremskurve deutlich früher zu bremsen beginnen lässt als die PZB.

6 Mindestzugfolgezeiten unter ETCS Level 3

Da das ETCS L2 im Vergleich zum derzeitigen Stand mit PZB hinsichtlich der Mindestzugfolgezeiten eine Verschlechterung darstellt, wird im nächsten Schritt die Simulation in OpenTrack unter ETCS L3 mit „Moving Block“ durchgeführt. In Richtung Wien Floridsdorf – Wien Meidling bei einer Haltezeit von 60 Sekunden ergeben sich daraus folgende Mindestzugfolgezeiten, die in Bild 4 ersichtlich sind.

Hier ist festzustellen, dass sich durch die Ausrüstung der Stammstrecke mit dem Zugsicherungssystem ETCS L3 die Mindestzugfolgezeiten gegenüber der PZB deutlich verringern. Diese sind, abhängig von den eingesetzten Garnituren, bis knapp eine Minute (!) geringer, als es mit dem aktuell verwendeten Zugsicherungssystem der Fall ist. Der Grund dafür liegt in der Verwendung des „Moving Blocks“. Da die Züge nicht auf ortsfeste Signale fahren, können diese sich nach dem vorausfahrenden Fahrzeug richten und mit einem fixen Zeitabstand folgen. Für den Fall, dass der zeitliche Abstand zweier Züge eine Konstante ist, wird der räumliche Abstand zwischen ihnen kleiner, je geringer die Geschwindigkeit ist. Mithilfe des „Moving Blocks“ von L3 können die Fahrzeuge sich bei kleineren Geschwindigkeiten annähern, um den zeitlichen Abstand gleich zu halten. Einzig der definierte Sicherheitsabstand („Safety Margin“), der zwischen zwei Zügen zumindest eingehalten

6 The headways under ETCS Level 3

As has been shown, ETCS L2 constitutes a downgrade regarding headways when compared with the PZB system. The next OpenTrack simulation was executed with ETCS L3 using the so called “Moving Block” with a dwell time of 60 seconds. The results of this simulation can be seen in fig. 4.

In contrast to the PZB, one can see that equipping the railway line with ETCS L3 leads to significantly shorter headways. The headways decrease by almost a full minute in comparison with the current system depending on the used train set. The reason for this significant decrease can be found in the utilisation of the “Moving Block”. Given that the trains running with ETCS L3 do not follow trackside signals, they can instead adjust themselves to the train in front of them and thus follow the preceding train at a fixed time interval. If the interval between two trains is constant, then their intermediate distance gets shorter when driving slower. The “Moving Block” allows trains to come closer at slower speeds in order to maintain the same time interval. The only thing which keeps one train from approaching another train too closely is the safety margin. The safety margin in this investigation was set at 50 m, which represents the Austrian overlap according to signalling rule S60.

7 The headways under ETCS Level 2 with shortened block sections

One possible way of improving the headways while employing ETCS L2 is to use ETCS L2 with shortened block sections.

The advantage of on-board signalling makes trackside signals unnecessary. The train protection system can set the End of Authority (EoA) at any point on a track. The pre-calculated braking curves then stop the train there or at the Supervised Location (SvL) in the worst-case scenario. Therefore, a train driver does not need to consider either the indications provided by a distant or a main signal or the braking distance within a block, because he can see the distance to the EoA on his Driver Machine Interface (DMI) in the driving position and start the braking process in time based on that. Therefore, the block length can be shortened to a few metres [4].

This method of shortening the block sections can bring the ETCS L2 headways close to the “Moving Block” scenario. The performance of ETCS L2 depends on the block lengths. The shorter they are, the more closely the “Moving Block” is approximated. Technically speaking, discrete blocks are still being used. They are, however, virtual blocks. This shortening of the block lengths can theoretically be undertaken until they

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für FH St. Pölten /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

Bild 5: Mindestzugfolgezeiten ETCS L2 mit Blockverdichtung, Wien Floridsdorf–Wien Meidling, Haltezeit 60 Sekunden

Fig. 5: The headway under ETCS L2 with shortened block sections, Wien Floridsdorf–Wien Meidling, dwell time: 60 seconds

Quelle/ Source: M. Wirth

| | Nach 2 nd | 1144 + „Wiesel“ [s] | 4020 [s] | 4024 [s] | 4746 [s] | „KISS“ [s] |
|------------------------|-------------------------|------------------------|----------|----------|----------|------------|
| Vor 1 st | | | | | | |
| 1144 + „Wiesel“ | | 128 | 123 | 122 | 165 | 133 |
| 4020 | | 165 | 130 | 129 | 205 | 141 |
| 4024 | | 182 | 145 | 128 | 222 | 151 |
| 4746 | | 120 | 115 | 114 | 120 | 116 |
| „KISS“ | | 113 | 108 | 105 | 115 | 111 |

ten werden muss, verhindert, dass sich diese bei sehr geringen Geschwindigkeiten zu stark annähern. Im Zuge der hier durchgeführten Untersuchungen wurde dieser Sicherheitsabstand auf 50 m festgelegt, was in Österreich der Länge des Schutzweges gemäß Signalvorschrift S60 entspricht.

7 Mindestzugfolgezeiten unter ETCS Level 2 mit Blockverdichtung

Eine Möglichkeit, um die Mindestzugfolgezeiten von ETCS gegenüber der PZB zu verbessern, ist der Einsatz von L2 mit Blockverdichtung.

Durch die Führerstandssignalisierung sind keine ortsfesten Signale mehr notwendig. Das „End of Authority“ (EoA) kann durch das Zugsicherungssystem an jeden definierten Punkt der Strecke gesetzt werden und die hinterlegten Bremskurven bringen den Zug dort oder im schlimmsten Fall an der „Supervised Location“ (SvL) zum Stehen. Es sind somit weder Vorgaben der Vor- und Hauptsignalsetzung noch die Bremsweglängen bei den Blockabständen zu berücksichtigen, da der Triebfahrzeugführer den Abstand bis zum EoA auf seinem „Driver Machine Interface“ (DMI) im Führerstand ablesen und dementsprechend rechtzeitig den Bremsvorgang einleiten kann. Die Blockabstände können daher auf einige wenige Meter verkürzt werden [4].

Mit dieser Methode der Blockverdichtung kann mit den derzeit vorhandenen technischen Möglichkeiten das Zugsicherungssystem ETCS L2 dem „Moving Block“ angenähert werden. Die Annä-

herung sind nur wenige Meter lang. Sobald die Blocklängen diesen Stadium erreichen, ist „Moving Block“ in ETCS L2 erreicht. Im Gegensatz zu ETCS L3, L2 benötigt weiterhin Track Clearance Systemen [4], verzichtet jedoch auf die Kommunikationsperiode von L3.

Die Infrastruktur der urbanen Eisenbahnlinie musste entsprechend angepasst werden, um die ETCS L2 Headways mit verkürzten Blockabschnitten zu berechnen. Die Grundlage für diese Anpassung war die Eisenbahnlinie, die mit ETCS L2 ausgestattet ist. Weitere Blöcke wurden in den umliegenden Bereichen der Plattformen hinzugefügt. Dies wurde durch das Hinzufügen virtueller Signale in einem Abstand von 50 Metern erreicht. Die Ergebnisse dieser Simulation sind in Fig. 5 dargestellt.

Die Verkürzung der Blockabschnitte verbesserte die Headways im Vergleich zu PZB. Im Vergleich mit dem normalen ETCS L2, das die Kapazität der Strecke aufgrund seiner restriktiveren Bremskurven verschlechterte, verkürzte ETCS L2 mit verkürzten Blockabschnitten um die Plattformen die Headways für alle Lokomotiven, die auf dieser Strecke fahren.

8 Results

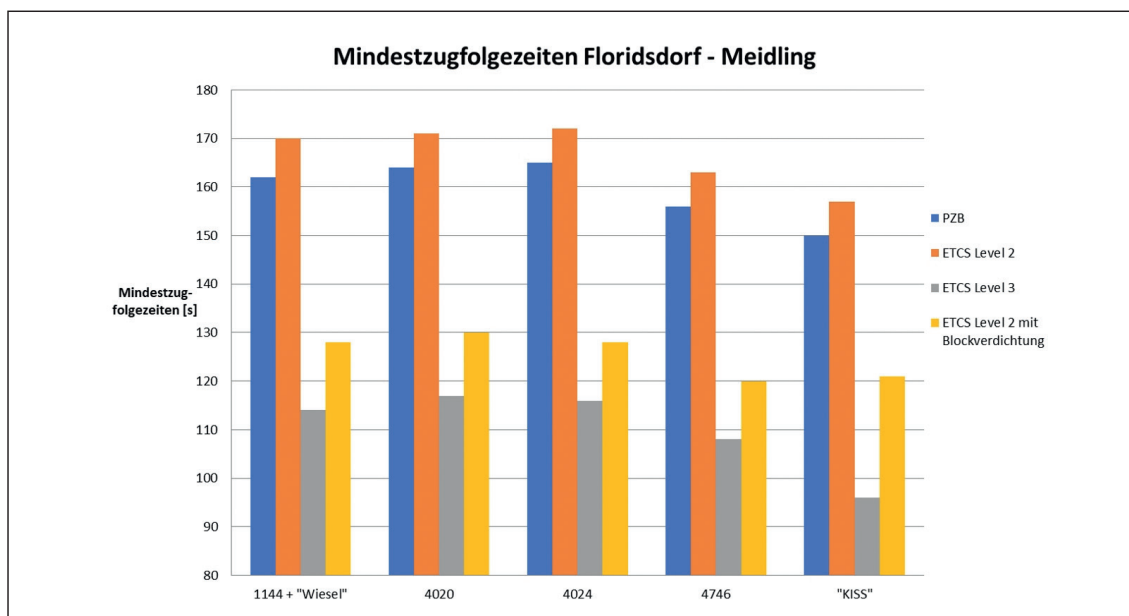
Fig. 6 zeigt die Ergebnisse aller Simulationen für Wien Floridsdorf–Wien Meidling, unterteilt nach Zugsätzen und Zugsicherungssystemen mit einer globalen Haltezeit von 60 Sekunden.

Allgemein bietet die Verwendung alternativer und moderner Zugsicherungssysteme die Option, die Headways auf der ur-

Bild 6: Mindestzugfolgezeiten Wien Floridsdorf–Wien Meidling je Zugsicherungssystem und Garnitur, Haltezeit 60 Sekunden

Fig. 6: The Wien Floridsdorf–Wien Meidling headway for each train protection system and train set, dwell time: 60 seconds

Quelle/ Source: M. Wirth



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für FH St. Pölten /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt von DW Media Group GmbH 2020

herung hängt dabei von der Größe der Blockabstände ab. Je kleiner diese sind, desto mehr nähert es sich dem „Moving Block“ an, obwohl noch immer auf diskrete aber eben virtuelle Blöcke gefahren wird. Die Verkleinerung der Blockabstände kann im Theoretischen so weit geführt werden, dass diese einige Meter kurz werden. Sobald dies der Fall ist, ist der „Moving Block“ praktisch vorhanden. Im Unterschied zu ETCS L3 sind aber immer noch infrastruktureitige Gleisfreimeldeanlagen notwendig [4], dafür entfällt aber die sog. „Communication Period“.

Um mit den Analysen zu den erreichbaren Mindestzugfolgezeiten beginnen zu können, musste in OpenTrack zuerst die Infrastruktur der Wiener S-Bahn-Stammstrecke angepasst werden. Als Grundlage diente die bereits mit ETCS L2 ausgerüstete Strecke. In den Bereichen um die Bahnsteige in den Betriebsstellen wurde diese Infrastruktur um weitere Blöcke ergänzt. Hierfür wurden virtuelle Signale in Abständen von 50 m zueinander eingefügt. In Richtung Wien Floridsdorf–Wien Meidling bei einer Haltezeit von 60 Sekunden ergeben sich daraus folgende Mindestzugfolgezeiten, die in Bild 5 ersichtlich sind.

Es ist zu erkennen, dass aufgrund der Blockverdichtung eine deutliche Verbesserung der Mindestzugfolgezeiten gegenüber dem Ausgangszustand mit PZB möglich ist. Im Vergleich zum ETCS L2, bei welchem sich die Kapazität der Strecke gegenüber der PZB aufgrund der restriktiveren Bremskurven sogar verschlechtert hat, können durch den Einsatz einer Blockverdichtung in den Haltestellenbereichen die Mindestzugfolgezeiten unter ETCS L2 bei allen Garnituren verbessert werden.

8 Gesamtergebnis

In Bild 6 ist das Ergebnis der Analysen für die Richtung Wien Floridsdorf–Wien Meidling, getrennt nach Garnituren und Zugsicherungssystemen bei einer Haltezeit von 60 Sekunden, graphisch dargestellt. Es lässt sich zeigen, dass allein der Einsatz alternativer, moderner Zugsicherungssysteme eine Möglichkeit bietet, die Mindestzugfolgezeiten auf der Wiener S-Bahn-Stammstrecke zu verringern. Der reine Einsatz von ETCS L2 führt jedoch im Vergleich mit der derzeitig verwendeten PZB zu keiner Verbesserung. Aufgrund der restriktiveren Bremskurven ist vielmehr das Gegenteil der Fall, da sich die Mindestzugfolgezeiten sogar vergrößern. Somit ist es in der Planung notwendig, die bestehende Blockteilung zu überdenken und im Haltestellenbereich zu verdichten, um die gewünschte Verkürzung der Mindestzugfolgezeit erreichen zu können. Wie die Analysen mit OpenTrack für die Wiener S-Bahn-Stammstrecke zeigen, lassen sich dadurch deutliche Kapazitätsgewinne erzielen. In den durchgeführten Simulationen wurden die Mindestzugfolgezeiten in beide Richtungen um durchschnittlich mehr als 25 Sekunden verkleinert. In Abhängigkeit davon, wie detailliert die Blockverdichtung auf der Infrastruktur durchgeführt wird, können noch weitere Verringerungen der Zugfolgezeiten erreicht werden.

Das modernste der in diesem Beitrag betrachteten Zugsicherungssysteme, ETCS L3, ermöglicht die mit Abstand geringsten Mindestzugfolgezeiten. Durch die Verwendung des „Moving Blocks“ sind keine ortsfesten Blockabschnitte mehr notwendig, wodurch sich die Kapazität einer damit ausgerüsteten Strecke deutlich erhöhen lässt. Im Hinblick auf die Wiener S-Bahn-Stammstrecke lassen sich somit im Vergleich zur PZB die Mindestzugfolgezeiten um durchschnittlich mehr als 40 Sekunden verringern, was nochmals eine deutliche Verbesserung zu ETCS L2 mit Blockverdichtung darstellt. Um dies jedoch umsetzen zu können, müssen erst alle auf dieser Strecke verkehrenden Züge mit einer funktionsfähigen Zugintegritätsprüfung ausgerüstet sein. Garnituren, die eine solche nicht besitzen, können diesen Streckenabschnitt nicht mehr befahren oder müssten mit konventioneller PZB verkehren. ■

ban railway line. Using ETCS L2 alone, however, does not improve the headways, but actually worsens them in comparison with the current PZB system due to the more restrictive braking curves of ETCS L2. Therefore, redesigning the current block sections and condensing them near the platforms is necessary in order to shorten the headways. This leads to a reduction of headways by more than 25 seconds. More improvements are also theoretically possible depending on how detailed and widespread the shortening of the block sections on the route was.

The most modern train protection system, ETCS L3, enables the shortest headways. The “Moving Block” makes wayside block sections obsolete which in turn greatly increases the capacity of any route equipped with it. On the Viennese urban railway line, ETCS L3 generally shortened the headways by about 40 seconds in comparison with the current PZB system. This is also a significant improvement in comparison with ETCS L2 with shortened block sections. However, in order to implement this, every train operating on the line has to be equipped with an end-of-train device. Train sets which do not have such a system either cannot operate on the line at all or must operate under the current PZB system.

LITERATUR | LITERATURE

- [1] <https://www.citypopulation.de/de/austria/agglo/>, 25.07.2019, 18:00
- [2] Elsner, M.; Garstenauer, K.: Pünktlicher Betrieb auf der Wiener S-Bahn oder: Grenzen der Liberalisierung, in: Eisenbahn-Revue, 06/2019, S. 300-301
- [3] Hürlimann, D.: Handbuch OpenTrack / Betriebssimulation von Eisenbahnnetzen, Version 1.9, Zürich, 2019
- [4] Eichenberger, P.: Kapazitätssteigerung durch ETCS, in: SIGNAL+DRAHT, 03/2007, S. 6-14

AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Ing. Maximilian Wirth, BSc.

Graduate of the Master degree programme
“Rail Technology and Management of Railway Systems”
FH St. Pölten

Anschrift / Address: Matthias Corvinus-Straße 15, A-3100 St. Pölten
E-Mail: bm171821@fhstp.ac.at

PD Dr. techn. Andreas Schöbel

CEO
OpenTrack Railway Technology GmbH
Anschrift / Address: Kaasgrabengasse 19/8, A-1190 Wien
E-Mail: andreas.schoebel@opentrack.at