

Auswirkungen des Vertrauensintervalls auf Kapazität und Pünktlichkeit des Bahnsystems

Bei der Einführung von ETCS liegt der Fokus auf der Herstellung der Interoperabilität auf den TEN-Korridoren, dem Ersatz abgekündigter und/oder abgängiger Zugsicherungstechnik und der Realisierung von Kapazitätssteigerungen. Bei Letzterem spielt insbesondere das sog. Vertrauensintervall eine große Rolle, da dieses als Teil der ETCS-Fahrzeug-Referenzarchitektur das Betriebsverhalten beeinflussen kann. Im Rahmen der Sektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland“ untersuchten die DB Netz AG und die VIA Consulting & Development GmbH die Auswirkungen des Vertrauensintervalls auf die Leistungsfähigkeit und die Betriebsqualität. In diesem Artikel werden die Untersuchungsergebnisse sowie die auftretenden Wirkmechanismen erläutert.



1. Einleitung

Mit neuen digitalen Technologien kann die Leistungsfähigkeit des Systems Bahn oftmals auch ohne den Bau eines einzigen neuen Gleises verbessert werden. Die „Digitale Schiene Deutschland“ (DSD) nutzt diese Chance und untersuchte mit der VIA Consulting & Development GmbH den Einfluss der Zugortungsgenauigkeit auf den Eisenbahnbetrieb. Die Information über den genauen Standort eines Zuges (Zugspitze und -ende) ist von entscheidender Bedeutung, sowohl bei fester Blockteilung als auch bei wanderndem Raumabstand (engl. Moving Block). Neben der Feststellung der Zugposition über die Gleisfreimeldung kann eine, ebenfalls signaltechnisch sichere, Ermittlung der Zugposition unter Mitwirkung des Zuges erfolgen. Während dieses Verfahren heute im Zusammenspiel zwischen Fahrzeug (Odometriesensoren) und Infrastruktur (Ortungsbalisen) erfolgt, sind in künftigen Architekturen neue Lokalisierungsverfahren (z.B. geschwindigkeitsabhängige Verfahren) denkbar. Dabei sind die Anforderungen an die Genauigkeit dieser Verfahren zu spezifizieren, um sowohl einen sicheren und leistungsfähigen als auch

einen pünktlichen und effizienten Eisenbahnbetrieb zu ermöglichen.

Da die Begriffe „Vertrauensintervall“, „Odometriefehler“ und „Wegmessfehler“ häufig verwechselt werden, gilt es zunächst diese zu definieren und zu differenzieren. Bild 1 veranschaulicht die Ermittlung des Vertrauensintervalls in Abhängigkeit des Odometriefehlers (Über-/Unterschätzung) und der Balisenverlegetoleranz gemäß Subset-026-03.

Der Wegmessfehler ist definiert als der tatsächliche Lokalisierungsfehler der Position der Zugspitze (d.h. die Distanz zwischen tatsächlicher und geschätzter Position der Zugspitze) bzw. des Zuges. Dieser darf nicht größer sein als der zulässige Odometriefehler, welcher gemäß Subset-041 5 m +/- 5 % der zurückgelegten Distanz seit Überfahren der maßgebenden Balisengruppe entspricht. Das Vertrauensintervall ist im Gegensatz zum tatsächlichen Wegmessfehler ein in ETCS geschätzter Bereich, in dem die Zugspitze unter Berücksichtigung des Odometriefehlers liegen könnte. Aus Sicherheitsgründen wird eine Zwangsbremung bereits ausgelöst, sobald der vorderste Punkt des Vertrauensintervalls, die sog. vordere sichere Zugspitze (engl. max safe front



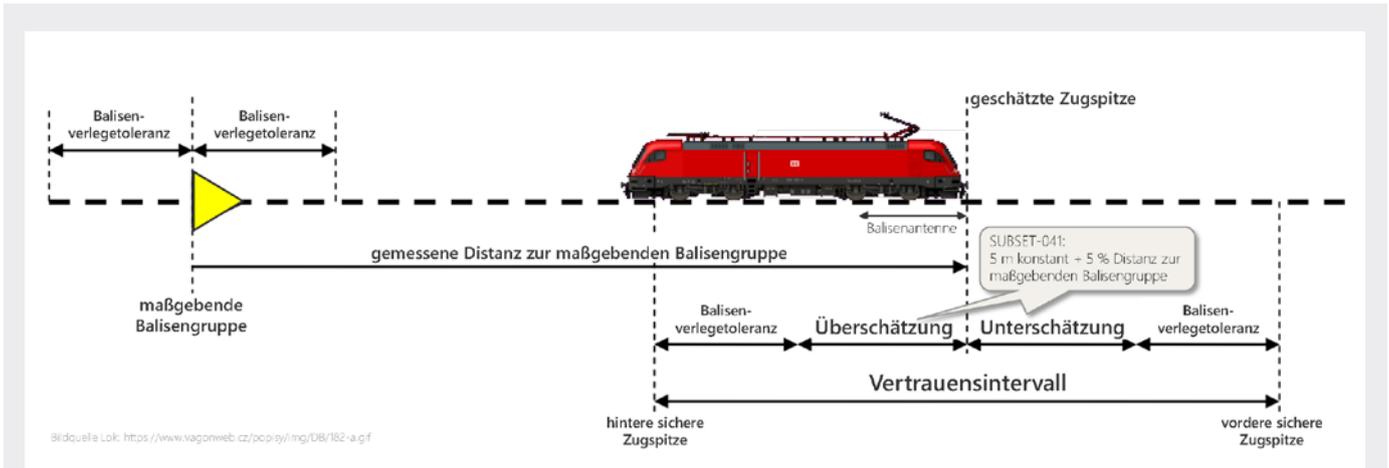
Madeleine van Hövell M. Sc.
Ingenieurin bei quattron management consulting GmbH / VIA Consulting & Development GmbH
m.vanhoevell@via-con.de



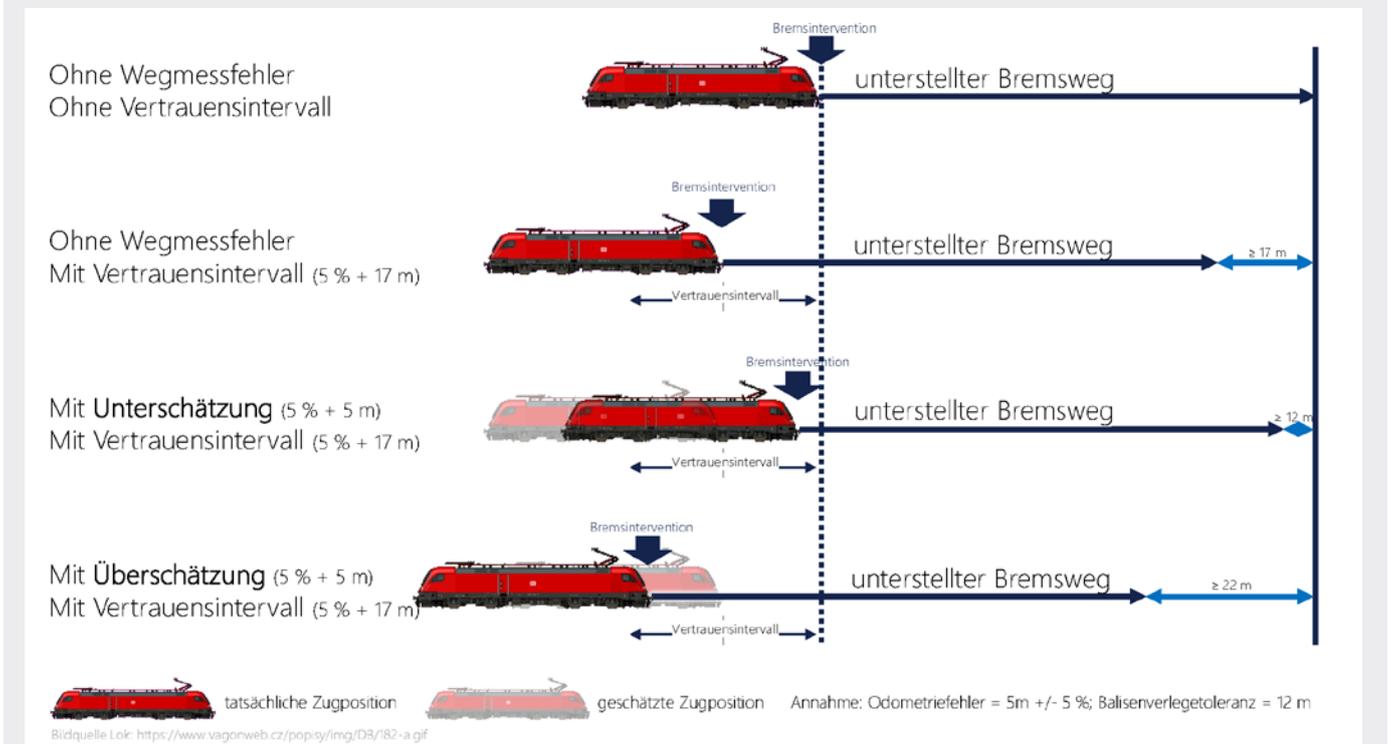
Muthu-Kumar Kumar M.Sc.
Systemarchitekt bei Digitale Schiene Deutschland / DB Netz AG
muthu-kumar.kumar@deutschebahn.com



Rouzbeh Boloukian-Roudsari M.Sc.
Systemarchitekt bei Digitale Schiene Deutschland / DB Netz AG
rouzbeh.boloukian-roudsari@deutschebahn.com



1: Berechnung des Vertrauensintervalls gemäß SUBSET-026-3



2: Zusammenspiel von Wegmessfehler und Vertrauensintervall

end) die ETCS-Interventionskurve überschreitet. Der Wegmessfehler (und damit auch das Vertrauensintervall) werden durch Überfahren der nächsten Balisengruppe zurückgesetzt.

In Bild 2 wird das Zusammenspiel zwischen Wegmessfehler und Vertrauensintervall grafisch erläutert. Es ist zu sehen, dass der Mechanismus Auswirkungen auf den Ort der Zwangsbremsintervention hat. Das Vertrauensintervall sorgt dafür, dass die Intervention erfolgt, bevor der unterstellte Bremsweg erreicht wird.

Auf freier Strecke kann bei gleichbleibender Geschwindigkeit ein größeres

Vertrauensintervall zu einer längeren Belegungszeit führen. Der Unterschied liegt allerdings aufgrund hoher Geschwindigkeiten im Sekundenbereich und ist in der Regel nicht maßgebend für die Leistungsfähigkeit. Bei einer Halteinfahrt hingegen wird das Vertrauensintervall in der Geschwindigkeitsüberwachung berücksichtigt. Ein größeres Vertrauensintervall führt zu einem früheren Bremsenzeitpunkt, wodurch gegebenenfalls frühzeitig mit der Entlassungsgeschwindigkeit (engl. Release Speed) gefahren werden muss. Sehr geringe Geschwindigkeiten erhöhen außerdem bei Annäherung eines Halts die

Belegungszeit der letzten Weiche. Dies gilt insbesondere für Kombinationen aus sehr langen Fahrzeugen und kurzen Abständen zwischen Weiche und Haltepunkt des Zuges. Da die Belegungszeiten im Halt oft maßgebend sind, führt eine Verlängerung schnell zu erhöhten Mindestzugfolgezeiten, welche direkten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit haben. Aus diesem Grund liegt die Einfahrt in den Halt im Fokus dieser Kapazitätsanalyse.

Im Rahmen dieses Artikels werden die betrieblichen Auswirkungen des Vertrauensintervalls ermittelt. Hierbei wird sowohl die Kapazität (mittlere Mindest-

Tabelle 1: Übersicht der analysierten Varianten

Vertrauensintervall	Variante					
Wegabhängig (4 x 2 Varianten)	10 m +/- 5%	5 m +/- 5%	5 m +/- 2%	1 m +/- 2%		
	mit und ohne zusätzliche Ortungsbalisen					
Geschwindigkeitsabhängig (3 x 2 Varianten)	MAX (10 m; 1 s* v _{Zug})	MAX (5 m; 1 s* v _{Zug})	MAX (10 m; 1 s* v _{Strecke})			
	mit und ohne streckenseitiger Gleisfreimeldung					
Konstant (6 Varianten)	40 m	35 m	20 m	10 m	5 m	1 m

zugfolgezeit) als auch die Betriebsqualität (Pünktlichkeit/Verspätung) betrachtet.

2. Kapazitative Effekte des Vertrauensintervalls

Im Folgenden werden die verschiedenen Hebel aufgezeigt, durch welche das Vertrauensintervall auf den Kapazitätsverbrauch der Zugfahrt wirken:

- Ein größeres Vertrauensintervall führt zu einer früheren Vorbelegung, was direkte Auswirkungen auf die Sperrzeit hat und somit einen höheren Kapazitätsverbrauch auslöst.
- Werden Teile des Fahrwegs unter Mitwirkung des Fahrzeugs freigemeldet, so beeinflusst das sichere Zugende die Belegungsdauer und damit den Kapazitätsbedarf.
- Bei der Interaktion mit der Geschwindigkeitsüberwachung besteht ein direkter Einfluss auf die Fahrzeit, da die Fahrzeitrechnung auf der Sollkurve (engl. Permitted Braking Curve) basiert. Eine größere Ungenauigkeit des Vertrauensintervalls erhöht bei zu reduzierender Geschwindigkeit also indirekt den Kapazitätsbedarf einer Zugfahrt (siehe früherer Ort der Intervention durch das Vertrauensintervall an Zugspitze in Bild 2).
- Das sichere Zugende wird ebenso genutzt, um bei Geschwindigkeitserhöhungen festzustellen, ab welchem Ort wieder beschleunigt werden darf. Dies wirkt zunächst auf die Fahrzeit und indirekt auf den Kapazitätsverbrauch der Zugfahrt.
- Ebenso indirekt wirkt das Vertrauensintervall, indem es beim vollautomatisierten Fahren die Haltegenauigkeit bestimmt. Indirekt bedeutet in diesem Kontext, dass Kapazität und Betriebsqualität durch erhöhtes Störungsniveau bei ungenauem Halten beeinflusst werden, jedoch keine direkte Kapazitätswirkung besteht.

Die Quantifizierung des letztgenannten Hebels kann aktuell nur annahmenbasiert erfolgen, da das Zusammenwirken von Haltegenauigkeit und Fahrgastwechsel zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht bestimmt ist. Im Fokus dieser Untersuchung stehen daher die ersten vier Mechanismen.

Es wird nachfolgend angenommen, dass das geschätzte Zugende in Abhängigkeit der geschätzten Zugspitze berechnet wird. Das bedeutet, dass sich das geschätzte Zugende zur geschätzten Zugspitze parallel verschiebt und das Vertrauensintervall an der Zugspitze gleich ist wie das am Zugende.

2.1. Methodik

Drei verschiedene Lokalisierungsverfahren, welche sich in Bezug auf das Verhalten des Vertrauensintervalls unterscheiden, werden im Folgenden miteinander verglichen:

- Wegabhängiges Vertrauensintervall
- Geschwindigkeitsabhängiges Vertrauensintervall
- Konstantes Vertrauensintervall

Das wegabhängige Vertrauensintervall bezieht sich auf einen Odometriefehler, welcher sich aus einem konstanten Wert und einer wegabhängigen Komponente zusammensetzt. Ein typisches Beispiel hierfür ist der maximal zulässige Odometriefehler gemäß Subset-041: 5 m +/- 5%. Das geschwindigkeitsabhängige Vertrauensintervall berücksichtigt neben einem konstanten Wert eine geschwindigkeitsabhängige Komponente (z. B. MAX (10 m; 1 s* v_{Zug})). Dieses Lokalisierungsverfahren wurde unter anderem von der ERTMS Users Group in Bezug auf die Anforderungen der Lokalisierungsperformance vorgeschlagen [1]. Das konstante Vertrauensintervall bezieht sich im Gegensatz zu den vorherigen beiden Lokalisierungsverfahren auf einen ausschließlich konstanten Odometriefehler. Dieser ermöglicht eine vereinfachte

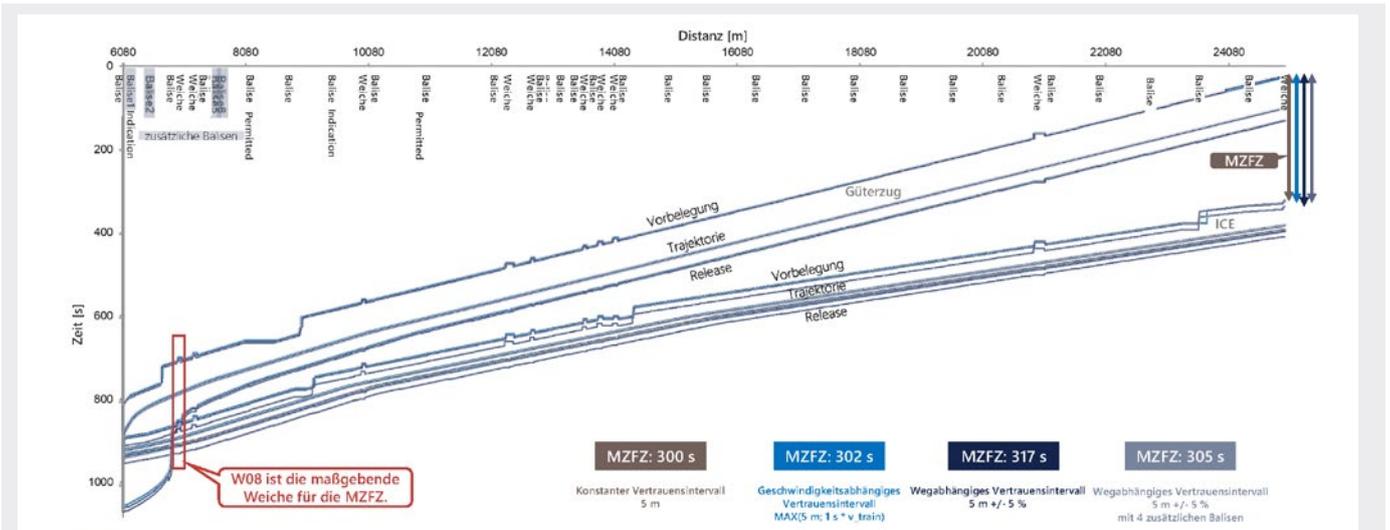
Modellierung und wird gegen die beiden ersteren Lokalisierungsverfahren validiert, um den Mehrwert einer detaillierten Modellierung zu prüfen.

Insgesamt werden 20 Varianten analysiert in Bezug auf betriebliche Auswirkungen des Vertrauensintervalls. Diese unterscheiden sich im zu Grunde liegenden Lokalisierungsverfahren, in der Höhe der konstanten oder wegabhängigen Komponente, in der Anzahl der Ortungsbalisen sowie in der Nutzung von streckenseitiger oder fahrzeugseitiger Gleisfreimeldung. Tabelle 1 listet die 20 analysierten Varianten auf.

Es ist zu bemerken, dass in den meisten analysierten Varianten keine Balisenverlegetoleranz berücksichtigt wird, da der Fokus der Untersuchung auf dem Odometriefehler liegt. Die wegabhängige Variante mit 10 m +/- 5% Vertrauensintervall beinhaltet als einziges eine Balisenverlegetoleranz von 5 m. Es wird kein Wegmessfehler angenommen, d.h. die geschätzte Zugspitze entspricht stets der tatsächlichen Zugspitze.

Die Kapazitätsanalyse basiert auf der Warteschlangentheorie ("Analytik") und bezieht sich auf eine generische Infrastruktur und ein generisches Betriebsprogramm mit einer ETCS Level3 (L3) Konfiguration für Moving Block. Die Anzahl und Position der Balisen entsprechen im Grundzustand dem eines ETCS Level2 (L2) Layouts mit durchschnittlich 500 m Abstand zueinander. Gemäß der Zielsetzung von ETCS L3, Feldelemente zu reduzieren, wird angenommen, dass die Anzahl zusätzlicher Balisen beschränkt ist.

Die Kapazität wird auf Basis der durchschnittlichen Mindestzugfolgezeit ermittelt. Hierbei wird die Infrastruktur in einzelne Teilstraßenknoten geteilt. Der Teilstraßenknoten, welcher den höchsten Belegungsgrad aufweist, ist maßgebend für die Leistungsfähigkeit der Strecke. Es werden dementsprechend alle Zugfolgen, welche durch den maßgebenden



3: MZF im Vergleich für verschiedene Lokalisierungsverfahren mit konstanter Komponente von 5 m für Zugfolge von 750 m langem Güterzug in G mit 65 BrH und 400 m langem ICE in R/P mit 198 BrH

Teilfahrstraßenknoten verlaufen, in der Kapazitätsanalyse berücksichtigt. Die durchschnittliche Mindestzugfolgezeit (MZF) ist das gewichtete Mittel über alle Mindestzugfolgezeiten in Abhängigkeit von der Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Zugfolgen. Je größer die durchschnittliche MZF, desto schlechter ist die Leistungsfähigkeit.

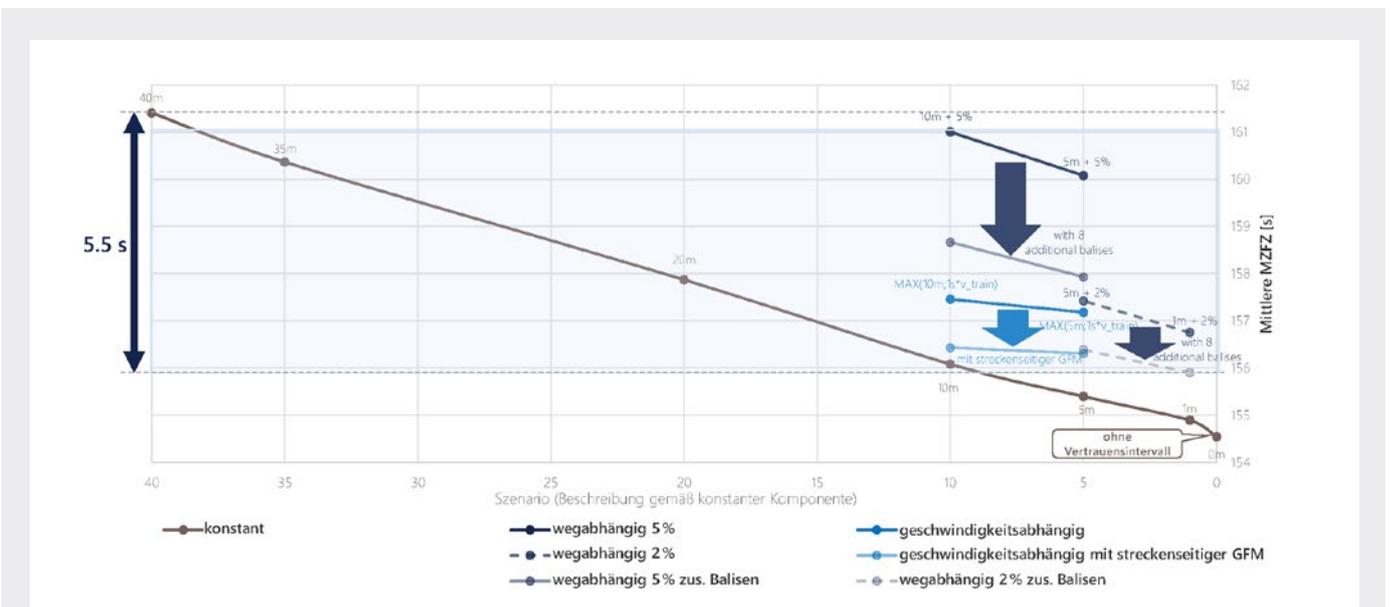
2.2. Ergebnisse

Bild 3 visualisiert beispielhaft eine Zugfolge eines langen, schlecht bremsenden Güter-

zugs und eines ICEs. Hierbei ist die MZF für die drei Lokalisierungsverfahren mit konstanter Komponente von 5 m dargestellt. Die MZF mit geschwindigkeitsabhängigem Vertrauensintervall steigt aufgrund einer geringfügig früheren Vorbelegung und späteren Freigabe der maßgebenden Weiche um lediglich zwei Sekunden im Vergleich zum konstanten Vertrauensintervall an. Mit wegabhängigem Vertrauensintervall hingegen erhöht sich die MZF um 17 s bzw. über 5%. Vier zusätzliche Ortungsbalisen können die MZF mit wegabhängigem Vertrauensintervall bereits drastisch

reduzieren, wenn diese an relevanten Positionen hinsichtlich der Vorbelegung und Freigabe der maßgebenden Weiche angeordnet sind.

Ein Vergleich aller Varianten zeigt, dass das konstante Vertrauensintervall von 40 m die schlechteste mittlere MZF hervorruft, dicht gefolgt von der Variante mit 10 m +/- 5% des wegabhängigen Vertrauensintervalls (siehe Bild 4). Acht zusätzliche Ortungsbalisen können eine signifikante Verbesserung hervorrufen. Die mittlere MZF verändert sich mit geschwindigkeitsabhängigem Vertrauensintervall durch Änderung



4: Mittlere MZF im Vergleich für diverse Varianten

der konstanten Komponente nur geringfügig. Eine streckenseitige Gleisfreimeldung hat hingegen stärkere positive Auswirkungen auf die mittlere MZFZ. Die maximale Auswirkung des Vertrauensintervalls auf die mittlere MZFZ beträgt 5,5s bzw. 3% unter Berücksichtigung aller Varianten mit weg- und geschwindigkeitsabhängigem Vertrauensintervall.

Das geschwindigkeitsabhängige Vertrauensintervall führt zu nur leicht erhöhten MZFZ im Vergleich zum konstanten Vertrauensintervall. Zusätzliche Ortungsbalisen können bei wegabhängigem Vertrauensintervall die Auswirkung des Vertrauensintervalls deutlich reduzieren, wenn diese an geeigneten Positionen angebracht werden. Alle weg- und geschwindigkeitsabhängigen Varianten können in Bezug auf die Leistungsfähigkeit mittels einem konstanten Vertrauensintervall von 10 bis 40 Meter repräsentiert werden.

3. Einfluss des Vertrauensintervalls auf Betriebsqualität

Wie bereits erläutert, kann ein größeres Vertrauensintervall eine erhöhte Fahrzeit hervorrufen, da z. B. bei Halteinfahrt frühzeitig abgebremst werden muss. Eine verlängerte Fahrzeit führt entweder zu reduzierten Fahrzeitreserven oder zu Verspätungen, falls nicht ausreichend Reservezeiten vorhanden sind. Um den Einfluss des Vertrauensintervalls auf die Betriebsqualität zu quantifizieren, werden mittels einer

Betriebssimulation drei repräsentative Szenarien mit unterschiedlichen Vertrauensintervallen miteinander verglichen.

3.1. Methodik

Um einen Betrieb mit Störungen zu simulieren, werden zufällig generierte Verspätungswerte zum regulären Fahrplan hinzugefügt. Für den Fall, dass genügend Reservezeiten vorliegen, können Verspätungen abgebaut werden. Durch vorausschauende Konflikterkennung und Konfliktlösung können mittels Dispositionsmöglichkeiten wie veränderte Fahrwege, Geschwindigkeiten und Haltezeiten Konflikte zwischen Zügen vermieden werden. Meist entstehen dadurch allerdings Sekundärverspätungen, sprich Folgeverspätungen, welche aufgrund von Verspätungen vorausfahrender Züge resultieren.

Das in der Fahrplankonstruktion angenommene Vertrauensintervall sollte das tatsächliche Vertrauensintervall nicht unterschreiten.



Als Untersuchungsraum dient die Strecke Herzogenrath – Aachen – Köln, da diese aufgrund ihrer Streckeneigenschaften (z. B. mittlere Streckenauslastung) und einem ausgewogenen Verhältnis unterschiedlicher Zugarten eine geeignete Referenzstrecke darstellt. Die Betriebssimulation unterliegt dem aktuellen Fahrplan und erstreckt sich über einen Zeitraum

Tabelle 2: Gewählte Szenarien

Szenario	Repräsentierte Variante	Kapazitätseffekt
10 m Vertrauensintervall	- Geschwindigkeitsabhängiges Vertrauensintervall mit streckenseitiger Gleisfreimeldung - 1 m +/- 2 % wegabhängiges Vertrauensintervall mit zusätzlichen Balisen	Referenzszenario
20 m Vertrauensintervall	- 1 m +/- 2 % wegabhängiges Vertrauensintervall ohne zusätzliche Balisen - 5 m +/- 2 % wegabhängiges Vertrauensintervall mit zusätzlichen Balisen	1 % längere mittlere MZFZ
40 m Vertrauensintervall	- 10 m +/- 5 % wegabhängiges Vertrauensintervall ohne zusätzliche Balisen	3 % längere mittlere MZFZ



5: Verteilung von Verspätung und Verspätungsabbau für die Strecke von Köln nach Herzogenrath

Tabelle 3: Veränderung der Betriebsqualität gegenüber Referenzszenario (unter extremen Annahmen)

Betriebsqualität	20 m Vertrauensintervall	40 m Vertrauensintervall
5-min-Pünktlichkeit	- 0,6%-Punkte	- 1,4%-Punkte
Durchschn. Ankunftsverspätung	+ 2%	+7%

In Bezug auf ein wegabhängiges Vertrauensintervall sind direkte Zusammenhänge zwischen Infrastrukturdesign (Balisenposition) und Fahrzeugeigenschaften gegeben.

von vier Stunden. Es wird ein ETCS L2 Layout mit sehr kurzen Blöcken unterstellt.

In Tabelle 2 sind die drei Szenarien dargestellt, welche alle Varianten der verschiedenen Lokalisierungsverfahren in Bezug auf ihren Kapazitätseffekt repräsentieren. Das Szenario mit Vertrauensintervall 10 m dient im weiteren Verlauf stets als Referenzszenario.

3.2. Ergebnisse

Die Betriebsqualität kann durch Verspätungskennwerte ausgedrückt werden. Interessant ist die Verteilung von Verspätungsauf- und abbau. Bild 5 stellt im Vergleich für die drei Szenarien dar, wie viel Verspätung auf- und abgebaut wird (differenziert nach Bahnhof und Strecke). Es ist zu erkennen, dass für größere Vertrauensintervalle der Verspätungsaufbau stark zunimmt. Allerdings wird für die Szenarien mit höheren Vertrauensintervallen auch mehr Verspätung abgebaut. Der Grund dafür ist, dass mehr Verspätungen vorliegen und teils an anderen Stellen als im Referenzszenario. Insgesamt ergibt sich aber ein deutlicher Verspätungszuwachs durch das höhere Vertrauensintervall.

Wie in Bild 5 zu erkennen, erhöht sich die Sekundärverspätung durch ein höheres Vertrauensintervall insbesondere im Bahnhof. Hierbei ist angenommen worden, dass in allen Bahnhöfen, wo ein Zug hält, auf geschlossenes Signal eingefahren wird. Außerdem liegen die Ausfahrtsignale nur wenige Meter hinter dem Halt. Aufgrund dieser Annahme hat das Vertrauensinter-

vall in jeder Halteinfahrt Auswirkungen auf die Fahrzeit. Bei den beiden Szenarien mit 20 m und 40 m Vertrauensintervall erhöhen sich die Regelfahrzeiten dadurch so stark, dass der Fahrplan nicht gemäß den absoluten Sollzeiten wieder hergestellt werden kann. Diese Abweichungen vom Sollfahrplan werden ebenfalls zu den Sekundärverspätungen hinzugezählt. Diese Annahme wurde getroffen, um aufzuzeigen, welche Auswirkungen das Vertrauensintervall haben kann, wenn das Vertrauensintervall die in der Fahrplankonstruktion angenommene Größe in der Realität teilweise signifikant überschreitet. Ein Zug, der auf offenes Signal einfährt, würde nicht von der ETCS-Überwachungskurve beeinflusst werden und somit hätte auch die vordere sichere Zugspitze keine Auswirkungen auf den Bremsenanzugpunkt.

Tabelle 3 zeigt zwei Betriebsqualitätskennzahlen im relativen Vergleich der unterschiedlichen Vertrauensintervalle zum Referenzszenario mit 10 m Vertrauensintervall. Pünktlichkeit wird meist als betriebliche Messgröße angegeben. Die 5-min-Pünktlichkeit bewertet Zugfahrten als pünktlich, wenn diese nicht mehr als 5:59 Minuten verspätet sind. Die durchschnittliche Ankunftsverspätung bezieht sich auf alle Verkehrshalte aller auf der Strecke verkehrenden Züge. Es ist zu sehen, dass sich alle Kennzahlen deutlich verschlechtern im Vergleich zum Referenzszenario. Allerdings sind diese Zahlen mit Vorsicht zu genießen, da das Vertrauensintervall hier, wie oben erläutert, in jeder Halteinfahrt Auswirkungen auf die Fahrzeit hat. In der Realität ist dies häufig nicht der Fall, da die Einfahrt bei kleineren Bahnhöfen auf offenes Signal erfolgt.

4. Fazit und Ausblick

Das Vertrauensintervall kann einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität einer Strecke haben. Ein größeres Vertrauensintervall führt bei ungenügend Reservezeiten zu erhöhten Fahrzeiten, wodurch deutlich mehr Sekundärverspätungen hervorgerufen werden. Diese negativen Effekte können allerdings abgeschwächt werden, in dem auf offenes

Signal in einen Bahnhof eingefahren wird. An großen Bahnhöfen, wo die Einfahrt auf offenes Signal nicht möglich ist, sollte das Vertrauensintervall minimiert werden. Dies kann mittels zusätzlicher Ortungsbalisen oder einer geschwindigkeitsabhängigen Technologie anstelle eines wegabhängigen Vertrauensintervalls ermöglicht werden. Verspätungen können außerdem mittels ausreichender Reservezeiten vermieden werden. Das in der Fahrplankonstruktion angenommene Vertrauensintervall sollte das tatsächliche Vertrauensintervall daher nicht unterschreiten.

Die Untersuchung zeigt, dass durch verbesserte Fahrzeugeigenschaften wie ein reduziertes Vertrauensintervall ein positiver Beitrag zum Gesamtsystem des Schienenverkehrs geleistet werden kann. In Bezug auf ein wegabhängiges Vertrauensintervall sind hierbei direkte Zusammenhänge zwischen Infrastrukturdesign (Balisenposition) und Fahrzeugeigenschaften gegeben.

Literatur

- [1] E. E. U. Group, „Railways Localisation System Localisation Performance Requirements from use cases,“ 10 12 2019. [Online]. Available: https://ertms.be/sites/default/files/2020-05/19E100_LocalisationPerformanceRequirements_3.pdf.
- [2] ERA * UNISIG * EEIG ERTMS USERS GROUP, „SUBSET-041: Performance Requirements for Interoperability,“ 2012.
- [3] ERA * UNISIG * EEIG ERTMS USERS GROUP, „SUBSET-026 (SRS 3.6.0): System Requirements Specification,“ 2016.

Summary

Impact of the confidence interval on capacity and punctuality in the railway system

The focus of introducing ETCS lays on generating interoperability on the TEN-T Corridors, replacement of obsolete train control technology and realizing capacity increases. Regarding the latter, the so-called confidence interval plays an important role due to its influence on the operations as part of the ETCS vehicle reference architecture. The analysis shows that by means of improved vehicle characteristics such as a reduced confidence interval, a positive contribution can be made to the overall rail traffic system. Regarding a path dependent confidence interval, direct correlations are given between infrastructure design (position of balises) and vehicle characteristics.