

Machbarkeitsstudie zu Digitalisierungsoptionen im Knoten Köln

Kapazitätsbetrachtung auf der ausgebauten S-Bahn-Stammstrecke in Köln nach erfolgter Digitalisierung

VOLKER SURMINSKI | AMYNA EL GOUY |
YANNICK WOLFF | CAN WAGNER

Die Machbarkeitsstudie zu Digitalisierungsoptionen im Knoten Köln wurde im Januar 2023 abgeschlossen. Der betriebliche Schwerpunkt lag auf der Fragestellung: Wie viele S-Bahnen können bei maximalem Digitalisierungsgrad über die voll ausgebaute S-Bahn-Stammstrecke in Köln verkehren? Als Ergebnis der Machbarkeitsstudie wird festgehalten, dass durch die Ausrüstung mit dem European Train Control System Level 2 ohne Signale (ETCS L2oS) in Verbindung mit einer Teilblockoptimierung sowie einer Fahrzeugautomatisierung im Automatisierungsgrad 2 (ATO GoA 2) bis zu elf S-Bahn-Linien in einem 20-Minuten-Takt auf der S-Bahn-Stammstrecke verkehren können. Eine mit den heutigen Verhältnissen vergleichbare Pufferzeit wird dabei berücksichtigt. Im Ergebnis entspricht dies 33 S-Bahnen je Stunde und Richtung.

Rahmenbedingungen der Machbarkeitsstudie

Der Knoten Köln ist aus kapazitiver Sicht bereits heute an seiner Belastungsgrenze angelangt. Er hat sich zu einem „Nadelöhr“ im deutschen und europäischen Eisenbahnnetz entwickelt. Da sich Nah-, Fern- und Güterverkehr teilweise Gleise im Knoten teilen, schlagen Störungen in einem einzelnen System oft auf den gesamten Schienenverkehr durch. Zudem liegen im Bereich des Knotens drei Überlastungserklärungen der

DB Netz AG (DB Netz) vor, welche aus einer über die Kapazitätsgrenzen hinaus genutzten Schieneninfrastruktur resultieren. Dies führt dazu, dass keine zusätzlichen Trassen mehr fahrbar sind. Durch die Planung verschiedener Ausbaumaßnahmen wurde bereits unabhängig von einer Digitalisierung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) damit begonnen, den Knoten zukunftsfähig zu gestalten.

Auch die S-Bahn-Stammstrecke wird von diesen Veränderungen betroffen sein. Zukünftig werden neue Gleise und Bahnsteige entlang der Strecke für Entlastung sorgen, ohne jedoch die über den Rhein verlaufende Hohenzollernbrücke zu erweitern. Eine jeweils alternierende Anfahrt der S-Bahnen an die Bahnsteigkanten wird vorgesehen. Betrieblich bedeutet dies, dass während des Fahrgastwechsels, der Abfertigung und der anschließenden Ausfahrt aus einem Bahnsteiggleis bereits das jeweils andere Bahnsteiggleis für die Einfahrt der nächsten S-Bahn und den Fahrgastwechsel genutzt werden kann. So wird erreicht, dass der für die Zugfolge maßgebliche Abschnitt von der Haltezeit am Bahnsteig entkoppelt wird. Im Weiteren werden in der Machbarkeitsstudie die derzeitige Gleislage sowie die Gleislage nach erfolgtem Ausbau der S-Bahn-Stammstrecke gegenübergestellt. Zudem werden die Fahrten verglichen, die mit konventioneller Signaltechnik jeweils verkehren können.

Aktuelle Gleislage und Betriebsprogramm

Abb. 1 zeigt schematisch die derzeitige Gleislage der S-Bahn-Stammstrecke im Jahr 2023. Die Zustimmung zur Zugfahrt erfolgt mittels

Kombinationssignalen. Während der Hauptverkehrszeit verkehren auf dieser Infrastruktur effektiv vier S-Bahn-Linien im 20-Minuten-Takt. Es handelt sich dabei um die Linien S 6, S 11, S 12 sowie S 13/S 19. Zusätzlich verkehrt eine Linie der Regionalbahn (RB 25) im 30-Minuten-Takt. Insgesamt entspricht dies 14 Fahrten je Stunde und Richtung und bedeutet durchschnittlich eine Fahrt alle 4,3 Minuten. Die Kapazität der Stammstrecke ist damit ausgeschöpft.

Künftige Gleislage und Betriebsprogramm mit konventionellen Signalen

Abb. 2 zeigt schematisch den Spurplan nach vollständigem Ausbau der S-Bahn-Stammstrecke. Im Bereich der Verkehrsstation Köln Hansaring mit der Ausfädelung in Richtung der Verdichterbereiche Köln-Nippes, Köln-Ehrenfeld und in Richtung der Westspange war das Treffen von Annahmen zur Gleislage notwendig, da durch das zugrundeliegende Infrastrukturprojekt der DB Netz noch kein Variantenentscheid erfolgt ist.

Durch den Ausbau entsteht eine höhere Leistungsfähigkeit, d.h. es können mehr Fahrten durchgeführt werden. Auf dieser optimierten Infrastruktur wird ein Betriebsprogramm mit acht S-Bahn-Linien in einer 20-Minuten-Taktung ermöglicht. Das entspricht 24 S-Bahnen je Stunde und Richtung und bedeutet durchschnittlich eine Fahrt alle 2,5 Minuten.

Die Kapazität der Stammstrecke mit konventioneller Signalisierung (Kombinationssignale) ist damit ausgeschöpft, und es sind keine zusätzlichen Fahrten möglich. Der zukünftige Verkehrsbedarf übersteigt diese Kapazität jedoch.

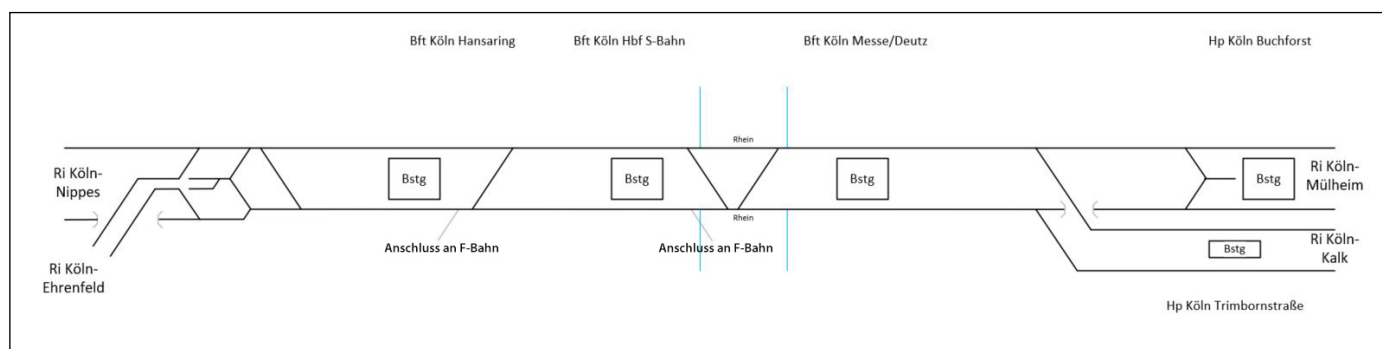


Abb. 1: Spurplan der S-Bahn-Stammstrecke von Köln

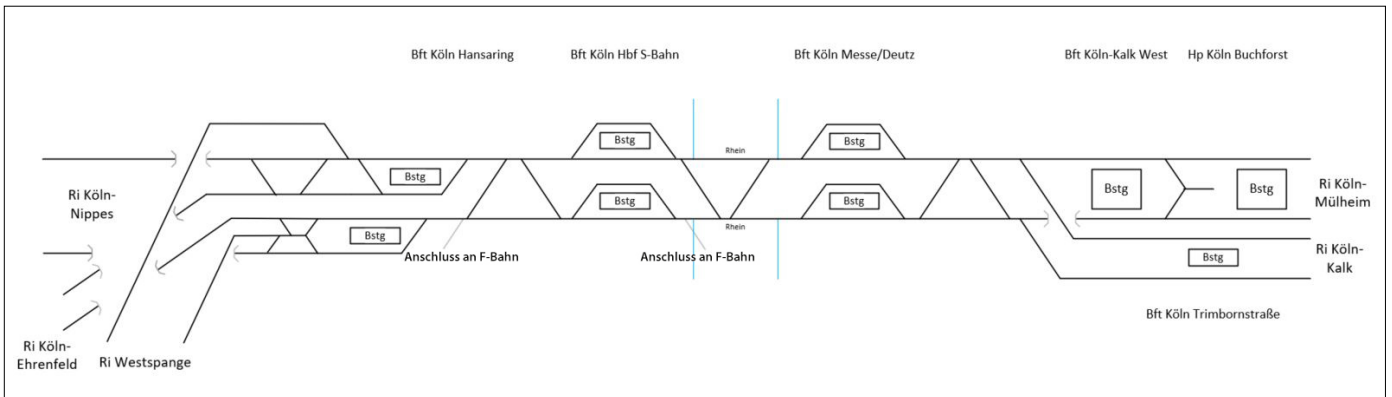


Abb. 2: Spurplan der S-Bahn-Stammstrecke von Köln nach vollständigem Ausbau (Annahmen im Bereich Köln Hansaring)

Kernfrage der Studie

Die Kernfrage der Studie – bei der die Gleislage der voll ausgebauten S-Bahn-Stammstrecke unterstellt ist – lautet: Wie viele Fahrten können pro Stunde und Richtung über die S-Bahn-Stammstrecke verkehren, wenn die konventionelle Signalisierung durch das moderne Zugbeeinflussungssystem ETCS L2oS ersetzt wird und zusätzlich eine Fahrzeugautomatisierung im Automatisierungsgrad 2 (ATO GoA 2) zum Einsatz kommt? ATO GoA 2 beinhaltet einen halbautomatischen Zugbetrieb mit Fahrer, d.h. bis auf den Start des Fahrzeugs sowie die Türsteuerung verläuft alles automatisch.

Digitalisierung der Infrastruktur

Die Digitalisierung der Infrastruktur meint die Umsetzung der Sektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland“ (DSD) und hier insbesondere die Einführung der digitalen LST. Die untersuchten Digitalisierungsoptionen basieren auf dem betrieblich-technischen Zielbild (BTZ) der DSD. Die aktuelle Version des BTZ umfasst

die Digitalisierung der Infrastruktur, u.a. durch ETCS L2 und ATO GoA 2. Weitere Digitalisierungsstufen werden in den zukünftigen Versionen des BTZ erarbeitet.

Betriebssimulation

Zur Beantwortung der Kernfrage der Studie war die Durchführung einer Betriebssimulation erforderlich. Angewendet wurde das Verfahren der Fahrplanrobustheitsprüfung mithilfe der Simulationssoftware RailSyS.

Vorgehen und Methodik

Der Fokus lag auf einer optimalen Dimensionierung der LST-Ausrüstung. Dies bedeutet, dass für jeden der simulierten Vergleichsfälle eine signaltechnische Konzeption unter Anwendung eingängiger Regeln erstellt wurde. Die relevanten Merkmale, wie z.B. zulässige Geschwindigkeiten oder die Kilometrierung der Blockteilung, wurden im Simulationsprogramm verarbeitet. Das zugrundeliegende Fahrplanmodell war ein Acht-Linien-Fahrplan-

konzept mit einer 20-Minuten-Taktung. Der Simulationsraum ist in Abb. 3 grafisch dargestellt.

Annahmen für die Simulation

Neben der oben beschriebenen Annahme zum Spurplan im Bereich der Verkehrsstation Köln Hansaring wurden weitere Annahmen für die Simulation getroffen:

- zur Mindesthaltezeit in Verkehrsstationen
- zum Referenztriebfahrzeug
- zur Fahrstraßenbildzeit

Mindesthaltezeit in Verkehrsstationen
Im Simulationsprogramm wurde für jede Verkehrsstation eine separate Mindesthaltezeit (Ansatz: Hauptverkehrszeit) hinterlegt:

- Köln-Buchforst: 0,7 Minuten
- Köln-Kalk West: 0,7 Minuten
- Köln Trimbornstraße: 0,7 Minuten
- Köln Messe/Deutz: 1,0 Minuten
- Köln Hbf: 1,0 Minuten
- Köln Hansaring: 0,8 Minuten

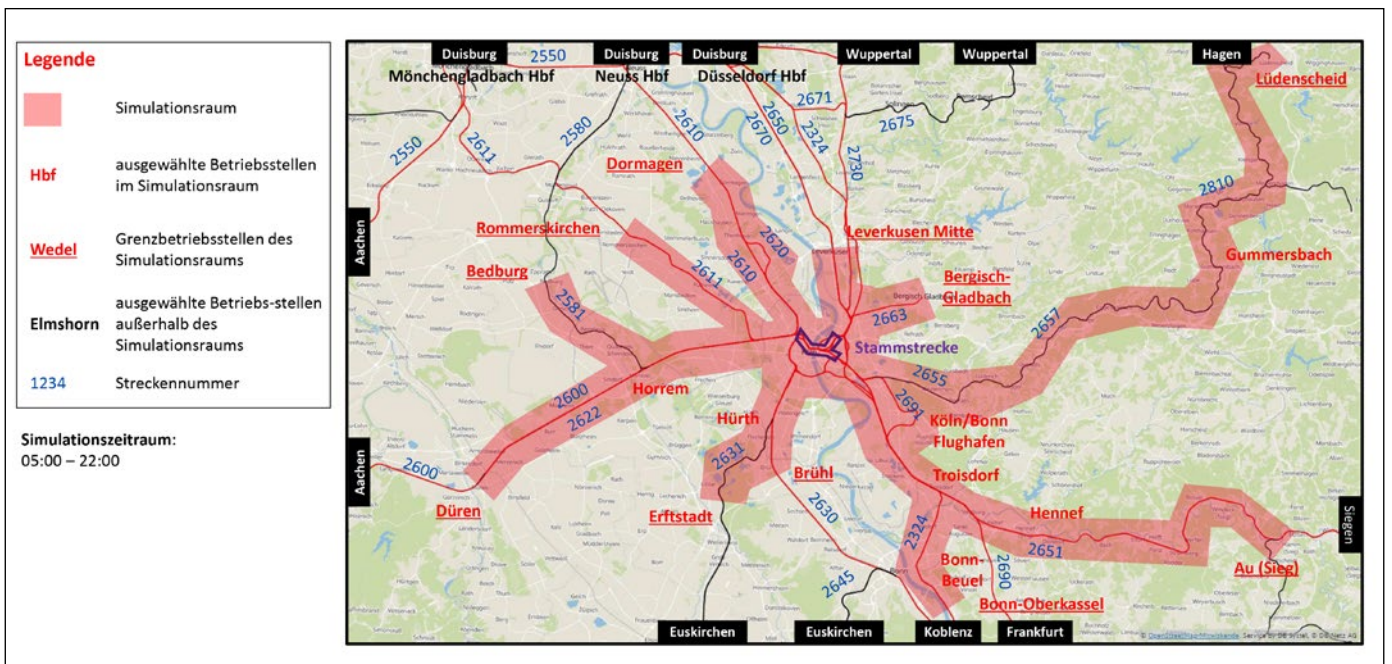


Abb. 3: Grafische Darstellung des Simulationsraumes

Simulationsfall	Spurplan	Zugbeeinflussung	"Ausprägung Signalsystem"	"Teilblock-optimierung"	Automatisierungsgrad
Vergleichsbasis	S-Bahn Vollausbau	PZB	konventionell	–	–
Planfall 1	S-Bahn Vollausbau	ETCS L2	mit Signalen	–	–
Planfall 2	S-Bahn Vollausbau	ETCS L2	mit Signalen	ja	–
Planfall 3	S-Bahn Vollausbau	ETCS L2	ohne Signale	–	–
Planfall 4	S-Bahn Vollausbau	ETCS L2	ohne Signale	ja	–
Planfall 5	S-Bahn Vollausbau	ETCS L2	ohne Signale	ja	ja

Tab. 1: Simulationsfälle

Eine Verkürzung der Mindesthaltezeit im Abschnitt zwischen Köln Hbf und Köln Messe/Deutz, welcher für die Zugfolge maßgebend ist, bringt aufgrund der Möglichkeit zur alternierenden Anfahrt an die Bahnsteigkanten keine zusätzlichen Effekte.

Referenztriebfahrzeug

Da der örtliche Zweckverband go.Rheinland GmbH beabsichtigt, das S-Bahn-Fahrzeugkonzept zu ändern, konnte das zukünftig tatsächlich verkehrende Fahrzeug nicht als Referenztriebfahrzeug der Simulation verwendet werden. Bei den künftig zum Einsatz kommenden S-Bahn-Fahrzeugen handelt es sich um eine gänzlich neue Baureihe (BR), die erst noch konstruiert wird. Folglich sind die genauen Parameter zum Studienzeitpunkt unbekannt, sodass Annahmen zu Fahrzeiten, Fahrdynamik und Bremsmodell getroffen werden mussten. Als Referenzfahrzeug wurde die BR 430 ausgewählt, welche ein aktuelles, auf dem deutschen Markt zugelassenes S-Bahn-Fahrzeug darstellt. Die relevanten Daten dieser BR wurden im Simulationsmodell hinterlegt:

- Bremsmodell: Gamma
- Beschleunigung: 1,0 m/s²
- Bremsverzögerung: 0,97 m/s²

Fahrstraßenbildezeit

Weiterhin wurden Annahmen zur Fahrstraßenbildezeit getroffen. Die Prozessschritte

und die zu erwartenden Zeitwerte wurden auf Basis eines Stellwerks der Bauart Lorenz 90 mit Netzwerkfähigkeit sowie modifiziertem elektronischem Elemente-Ansteuermodul (EAM) getroffen. Diese werden in der nachfolgenden Tab. 1 dargestellt. Zudem wurden folgende konservative Annahmen unterstellt:

- Es werden sechs Weichen pro Fahrstraße umgestellt.
- Das System der Funkübertragung ist das Global System for Mobile Communications – Railway, Packet Switched Data (GSM-R PSD).
- Es werden je Fahrstraße zwei EAM angesprochen.
- Bei ETCS L2oS wird unterstellt, dass keine konventionelle Signalisierung mehr im Bereich der S-Bahn-Stammstrecke vorhanden ist, d.h. weder einzelne konventionelle Hauptsignale noch Sperrsignale.

Für ETCS L2oS sowie ATO GoA 2 ergibt sich – aufgerundet auf ganze Sekunden – eine Fahrstraßenbildezeit von 18 Sekunden.

Simulationsfälle

Es wurden eine Vergleichsbasis sowie verschiedene Planfälle simuliert. Alle Simulationsfälle können der Tab. 1 entnommen werden.

Ergebnisse der Simulation und die abgeleitete Ausrüstungsempfehlung

Im Folgenden werden die spezifischen Simulationsergebnisse dargelegt, und anschließend

wird eine allgemeine Ausrüstungsempfehlung abgeleitet.

Verspätungsabbau

Mit dem höchstmöglich untersuchten Digitalisierungsgrad (Planfall 5) – d.h. ETCS L2oS in Verbindung mit einer Teilblockoptimierung und ATO GoA 2 – lässt sich

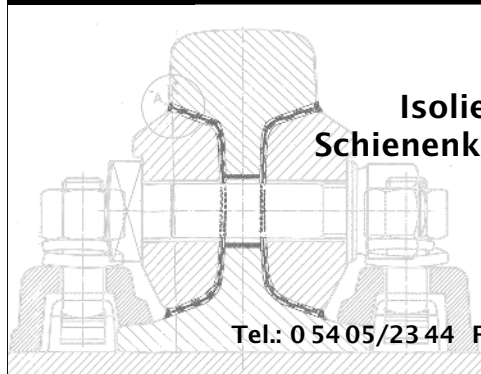
- in Ost-West-Richtung (Strecke VzG 2670 Richtung b Regelgleis von Köln Messe/Deutz Richtung Köln Hansaring) ein reduziertes Verspätungsniveau von 17 Sekunden gegenüber der Vergleichsbasis mit konventioneller Signalisierung erzielen sowie
- in West-Ost-Richtung (Strecke VzG 2670 Richtung a Regelgleis von Köln Hansaring Richtung Köln Messe/Deutz) ein reduziertes Verspätungsniveau von 20 Sekunden gegenüber der Vergleichsbasis mit konventioneller Signalisierung erreichen.

Bestimmung des für die Zugfolge maßgeblichen Abschnitts

Zur Bestimmung des für die Zugfolge maßgeblichen Abschnitts wurden die Mindestzugfolgezeiten der jeweiligen Abschnitte mithilfe einer Berechnung der Belegungszeiten ermittelt. Die Mindestzugfolgezeiten folgender Abschnitte wurden für jeweils beide Richtungen miteinander verglichen:

- Hansaring – Köln Hbf
- Köln Hbf – Köln Messe/Deutz

Technische Formteile aus Kunststoffen



Isolierausrüstung für die Schienenklebstoßverbindung

Bauart «S»

kkv
kassebaum
Kunststoffverarbeitung

KKV Kassebaum GmbH Chemnitzer Straße 1 A 49078 Osnabrück

Tel.: 0 54 05/23 44 Fax: 0 54 05/33 39 www.kkv-kassebaum.de info@kkv-kassebaum.de

Qualitätssicherung nach DIN EN ISO 9001 : 2015 HPQ + Q 1-Lieferant der Deutschen Bahn AG

▪ Köln Messe / Deutz – Posthof

Als Prüfergebnis ließ sich festhalten, dass der für die Zugfolge maßgebende Abschnitt in beiden Richtungen derjenige zwischen Köln Hbf und Köln Messe / Deutz ist. In diesem Abschnitt kann die Mindestzugfolgezeit durch die Digitalisierung pro Fahrt

- in West-Ost-Richtung um 38 Sekunden verkürzt werden,
- in Ost-West-Richtung um 28 Sekunden verkürzt werden.

Ermittlung maximal konstruierbarer Trassen
Die Anzahl der konstruierbaren Trassen wird durch eine Hochrechnung auf Basis der Mindestzugfolgezeit und einer Pufferzeit, die zwischen den Sperrzeiten eingerechnet wird, ermittelt. Das Ergebnis stellt somit eine rechnerische Größe dar. Die Anzahl möglicher Trassen wurde mit einer Pufferzeit von 30 Sekunden zwischen den Trassen ermittelt.

Bei Anwendung dieser Pufferzeit ergeben sich in der Betrachtungsrichtung West-Ost (Köln Hbf Richtung Köln Messe / Deutz) 36 mögliche Trassen. In der Betrachtungsrichtung Ost-West (Köln Messe / Deutz Richtung Köln Hbf) ergeben sich 34 mögliche Trassen.

Unter Berücksichtigung des 20-Minuten-Taktrasters der S-Bahn-Linie konnte ein Elf-Linien-Konzept pro Stunde und Richtung abgeleitet werden. Ein Zwölf-Linien-Konzept mit 36 Fahrten pro Stunde und Richtung ließ sich in Ost-West-Richtung und den zugrundeliegenden Rahmenbedingungen nicht realisieren.

Von besonderer Bedeutung ist, dass es sich bei der Anzahl von 33 S-Bahnen pro Stunde

um ein rechnerisches Ergebnis als Kombination aus Mindestzugfolgezeiten und Pufferzeiten handelt, welches ausschließlich für den Auswerteraum der voll ausgebauten Stammstrecke (Köln Hansaring – Abzweigung Posthof) gilt. Berücksichtigt wurden dabei vier Bahnsteigkanten je Verkehrsstation; eine Betrachtung der Zulaufstrecken fand nicht statt.

Zur Einordnung des Ergebnisses muss einbezogen werden, dass aktuell noch kein Fahrplankonzept mit neun, zehn oder elf S-Bahn-Linien im 20-Minuten-Takt existiert. Die tatsächliche Anzahl möglicher Trassen ist immer abhängig vom konkreten Fahrplangefüge. In Abhängigkeit von zukünftigen Fahrplankonzepten kann es auf den auf die Stammstrecke zulaufenden Verdichterbereichen und Außenästen zu Engpässen und Fahrplankonflikten kommen. In der Folge ist es möglich, dass dort zusätzlicher Infrastrukturbedarf entstehen könnte. Diese weiterführenden Überlegungen waren jedoch nicht Teil der Machbarkeitsstudie.

ETCS L2oS in Verbindung mit einer Teilblockoptimierung und ATO GoA 2 stellt aus kapazitiver Sicht die Vorzugsvariante dar, sodass dies gleichzeitig die Ausrüstungsempfehlung für ein zukünftiges Digitalisierungsprojekt beschreibt.

Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass durch Digitalisierungseffekte die Betriebsqualität verbessert sowie die Mindestzugfolgezeit signifikant verkürzt werden kann. Infolgedessen können gegenüber konven-

tioneller Signalisierung mehr Trassen auf der S-Bahn-Stammstrecke realisiert werden.

Zusammengefasst ließe sich ohne Digitalisierung ein Acht-Linien-Konzept mit einem 20-Minuten-Grundtakt auf der voll ausgebauten S-Bahn-Stammstrecke realisieren, was 24 S-Bahnen je Stunde und Richtung entspräche. Bei maximalem Digitalisierungsgrad hingegen ließe sich auf der S-Bahn-Stammstrecke ein Elf-Linien-Konzept in 20-Minuten-Taktung realisieren. Das entspräche 33 S-Bahnen je Stunde und Richtung.

Dementsprechend lässt sich das Betriebsprogramm der S-Bahn-Stammstrecke einerseits aufgrund der Optimierung der Gleislage und andererseits infolge der Digitalisierung der LST gegenüber heutigen Verhältnissen von 14 Fahrten je Stunde und Richtung auf bis zu 33 Fahrten je Stunde und Richtung steigern – und damit mehr als verdoppeln. Ein starkes Ergebnis für eine starke Schiene. ■



Yannick Wolff, M. Eng.

Projektingenieur
DB Netz AG, Köln
yannick.wolff@deutschebahn.com



Amyna El Gouy

Projektsteuerin
DB Netz AG, Frankfurt a. M.
amyana.el-gouy@deutschebahn.com



Can Wagner, B. Eng.

Werkstudent
DB Netz AG, Köln
can.wagner@deutschebahn.com



Volker Surminski

Projektleiter
DB Netz AG, Köln
volker.surminski@deutschebahn.com

Rail Business
Nutzerlizenzen:
**Teilen Sie
Ihr Wissen!**

www.eurailpress.de/lizenz



Jetzt
anfordern
und attraktive
Rabatte
sichern!

Rail
BUSINESS