

# Ermittlung betrieblicher Anforderungen an die Weichenstromversorgung

Fahrstraßenbildezeiten hängen u. a. von der Dimensionierung der Weichenstromversorgung ab. Mit Hilfe der vorgestellten Methodik kann die Anzahl parallel umlaufender Weichen innerhalb eines definierten Bereichs (z. B. Stellwerksbereich) für Betriebsprogramme bestimmt werden. Gewonnene Erkenntnisse sollen genutzt werden, um Über- und Unterdimensionierungen der Stromversorgung zu verhindern.



## 1. Einleitung

Fahrstraßenbildezeiten gehen unmittelbar in den Kapazitätsbedarf einer Zugfahrt ein. Um sie möglichst kurz zu halten, muss neben zahlreichen Einflussgrößen die Weichenstromversorgung ausreichend dimensioniert werden. Während dies im Falle der Regelversorgung kein Problem darstellt, ist bei der Auslegung der Netzersatzanlage sowohl eine Unter- als auch eine Überdimensionierung zu vermeiden, um die Betriebs- und Leistungsfähigkeit der Anlagen sicherzustellen, jedoch gleichzeitig wirtschaftlich mit vorhandenen finanziellen Mitteln zu agieren. Ist eine ausreichende Stromversorgung nicht gewährleistet, können mitunter nicht alle zu stellenden Weichen derselben oder auch verschiedener parallel verkehrender Zugfahrten zeitgleich umlaufen, was eine erhöhte

Fahrstraßenbildezeit zur Konsequenz hat. Entsprechend ist es von Interesse herauszufinden, wie groß der Maximalwert umlaufender Weichen zu einem Zeitpunkt sowohl im Regelbetrieb als auch unter der Annahme betrieblicher Störungen aus verkehrlicher Sicht sein kann. Auf dieser Grundlage kann schließlich abgeschätzt werden, wie die Weichenstromversorgung dimensioniert werden muss, um in verschiedenen betrieblichen Situationen die Überlastung der Stromversorgung und somit Auswirkungen auf das Betriebsgeschehen zu begrenzen.

Dazu wird zunächst die Datenbasis und die Methodik beschrieben, auf deren Grundlage die Anzahl umlaufender Weichen je Fahrstraßenbildung berechnet wird. Anschließend werden exemplarische Ergebnisse vorgestellt, die im Hinblick auf die Infrastrukturnutzung und



**Philipp Scherer M. Sc.**

Ingenieur bei quattron management consulting GmbH, VIA Consulting & Development GmbH  
p.scherer@via-con.de



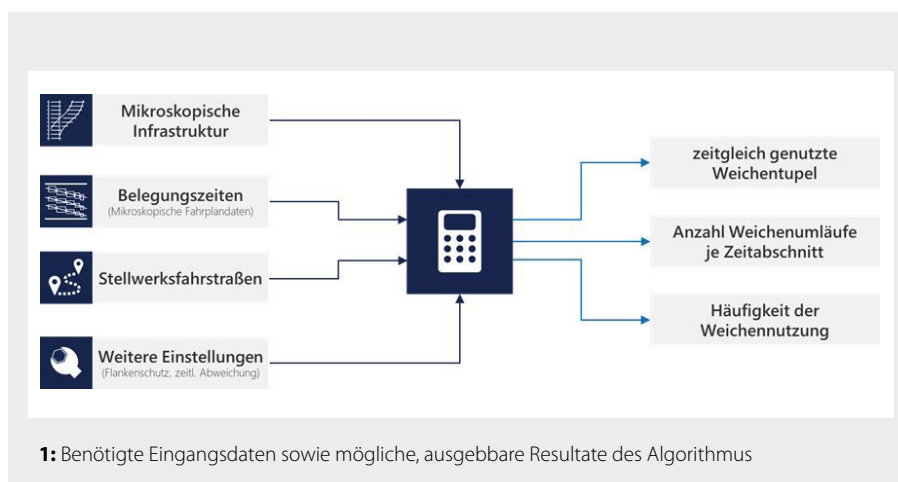
**Dr.-Ing. Thorsten Bükler**

Geschäftsführer bei quattron management consulting GmbH, VIA Consulting & Development GmbH  
th.bueker@via-con.de



**Simon Schotten**

Ingenieur bei quattron management consulting GmbH, VIA Consulting & Development GmbH  
s.schotten@via-con.de



Gestaltung der Stromversorgung interpretiert werden. Darauf aufbauend wird für einen Bahnhof der Einfluss von betrieblichen und infrastrukturellen Maßnahmen sowie der Einfluss einer großen Fahrplanstörung betrachtet, woraus eine Größenordnung des Risikopuffers abgeschätzt werden kann, den die Stromversorgung mindestens aufweisen sollte. Dieser Artikel ist eine gekürzte Version des in [1] veröffentlichten Beitrags, inklusive anschließender Fortschreibung.

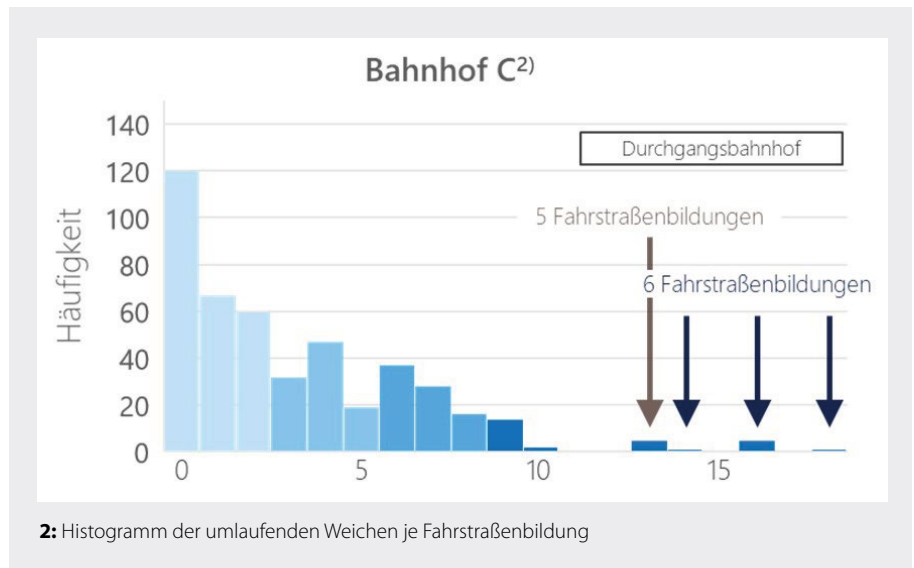
**2. Datengrundlage und Methodik**

Als Datengrundlage werden mindestens

- Angaben zum Stellenstoß je Weiche
- eine Abgrenzung der parallel zu untersuchenden Weichen
- Informationen zur Topologie der mikroskopischen Infrastruktur

benötigt, die in verschiedenen Datenformaten zur Verfügung gestellt werden können. Bei der Nutzung von Daten der DB Netz AG dienen beispielsweise mikroskopische Infrastruktur- (DaViT-Spurplan) und Fahrplandaten (RUT-K) als Ausgangsbasis. Das Datenformat ist offengehalten, es können zum Beispiel ISS-/KSS- oder railML-Daten verwendet werden. Mit Hilfe der Software LUKS®<sup>1)</sup> werden diese in das gewünschte Datenformat transformiert. Insbesondere die einzelnen Belegungszeitpunkte der Weichen sind hier von Interesse, sodass ein entsprechendes Zusammenführen von Fahrplan- und Infrastrukturdaten notwendig ist. Im Nachgang werden die transformierten Daten in ein (prototypisch) in Python geschriebenes Programm eingelesen und unter den folgenden Prämissen ausgewertet:

- Basierend auf der Belegungszeitrechnung sowie der Topologie kann sowohl die Soll- als auch die Ist-Position jeder Weiche zu dem Zeitpunkt festgestellt werden, zu dem eine Fahrstraße gestellt werden muss. Entsprechend kann festgestellt werden, ob eine Weiche für eine Fahrstraßenbildung umlaufen muss oder sich bereits in korrekter Position befindet.
- Um auch Weichen in den Fahrstraßenbildungsprozess einzubeziehen, die aus Flankenschutzgründen umlaufen müssen, werden bei jeder Fahrstraßenbildung auch umliegende Weichen auf ihre Lage überprüft. Näherungsweise wird angenommen, dass nur solche Weichen aus Flankenschutzgründen umlaufen müssen, die direkt benachbart zu Weichen der Fahrstraße sind und weniger



als 150 Meter von dieser entfernt liegen. Zur Vereinfachung wird ferner angenommen, dass Zwieschutzweichen ebenfalls als umlaufend deklariert werden.

Mit Hilfe der beschriebenen Methodik kann nun für jede Fahrstraßenbildung zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden, wie viele Weichen umlaufen müssen.

Im Hinblick auf die Stromversorgung ist einerseits zu erwähnen, dass Fahrstraßenbildungen einige Sekunden Zeit in Anspruch nehmen, sodass nicht bloß ein Zeitpunkt, sondern ein bestimmter Zeitraum betrachtet werden sollte, um auf die Anzahl parallel umlaufender Weichen zu schließen. Der zeitliche Versatz des Stellenstoßes für die Weichen innerhalb einer Fahrstraße zur Vermeidung von Stromspitzen fällt dabei nicht ins Gewicht, da sich dieser auf der Zeitskala von Millisekunden bewegt. Andererseits ist anzumerken, dass die Berechnungen sekundenscharf auf dem Regelfahrplan beruhen und selbst kleinere zeitliche Abweichungen um die Planlage zu deutlichen Verschiebungen der Ergebnisse führen können. Entsprechend wird die Berechnung dahingehend erweitert, dass alle Fahrstraßenbildungen im Untersuchungsbereich als gleichzeitig angesehen werden, die innerhalb eines Intervalls von ± 30 Sekunden um die Planlage angestoßen werden. Damit wird

insbesondere dem Fahrverhalten der Triebfahrzeugführer Rechnung getragen. Der Wert von 30 Sekunden wird gewählt, da die Mindestpufferzeit zwischen zwei geplanten Trassen in Deutschland 60 Sekunden beträgt, sodass selbst eine Abweichung beider Trassen um 30 Sekunden bei richtlinienkonformer Fahrplankonstruktion zu keinem Fahrtenausschluss führt.

In Bild 1 ist der gesamte Datenverarbeitungsprozess graphisch dargestellt.

**3. Ergebnisse auf Grundlage des Regelfahrplans**

Um eine erste Einschätzung über die aufzubringende Leistung der Energiequelle zu erhalten, von der die Weichenmotoren gespeist werden, wird für verschieden große Bahnhöfe die Anzahl gemäß Regelfahrplan parallel umlaufender Weichen je Zeitschritt berechnet.

In Bild 2 ist für den Bahnhof C exemplarisch dargestellt, wie viele Weichen je Fahrstraßenbildung umlaufen. Ausgewertet wurde dabei ein Zeitraum von etwa sechs Stunden. Um die Berechnungsergebnisse der verschiedenen Bahnhöfe miteinander vergleichen zu können, werden je Bahnhof zudem folgende statistische Kenngrößen ausgegeben:

- Durchschnittliche Anzahl umlaufender Weichen je Zeitschritt ( $n_{avg}$ )
- Maximale Anzahl umlaufender Weichen je Zeitschritt ( $n_{max}$ )
- 95% Quantil der umlaufenden Weichen je Zeitschritt ( $n95$ )

1) LUKS® ist ein von der VIA Consulting & Development GmbH entwickeltes Programm, mit dessen Hilfe unter anderem Fahrzeit- und Belegungszeitrechnungen für einzelne Züge auf Grundlage mikroskopischer Infrastruktur, Fahrzeug- und Fahrplandaten durchgeführt werden können. Weiterführend kann es bei diversen Fragestellungen in EBWU eisenbahnbetriebswissenschaftlichen Untersuchungen zur Anwendung kommen.

2) Die relativen Veränderungen werden basierend auf den Absolutwerten der Spalte „Infrastrukturausbau“ berechnet, da hier Störungen des Regelfahrplans betrachtet wurden, der für die ausgebaute Infrastruktur geplant wurde.

**Tabelle 1:** Ausgewertete Kenngrößen für verschiedene Bahnhöfe, anonymisiert

Bahnhof	Bahnhofsart	Fahrplaneigenschaft	n <sub>avg</sub>	n <sub>max</sub>	n95	FS <sub>max</sub>	FS/h
A	Durchgangsbahnhof	-	2,1	8	6	3	60
B	Durchgangsbahnhof	-	2,9	9	7	3	63
C	Durchgangsbahnhof	-	3,2	18	9	6	136
D	Kopfbahnhof	-	4,2	13	10	4	73
E	Durchgangsbahnhof	integraler Takt-Fpl.	5,3	21	12	4	39

- Gesamtzahl der Fahrstraßenbildungen innerhalb einer Stunde (FS/h)
- Anzahl paralleler Fahrstraßenstellungen je Zeitschritt (FS)

In Tabelle 1 sind diese Daten für einige untersuchte Bahnhöfe aufgeführt, wobei hier mit FS<sub>max</sub> die Anzahl der Fahrstraßenbildungen zu dem Zeitpunkt angegeben wird, zu dem auch die meisten Weichen umlaufen. Die Bahnhöfe A und B repräsentieren mittelgroße Knotenbahnhöfe, während die Bahnhöfe C, D und E große Knotenbahnhöfe darstellen. Für die Interpretation der Ergebnisse ist anzumerken, dass bei den Durchgangsbahnhöfen A, B und C für die Ein- bzw. Ausfahrt durchschnittlich mehr als eine Fahrstraßenbildung pro Zugfahrt benötigt wird, was auf den Zuschnitt der Infrastruktur zurückzuführen ist. Hier werden die Weichen mehrerer Fahrstraßen hintereinander von der gleichen Stromquelle versorgt. In den Bahnhöfen D und E hingegen werden nur die Einfahr- und Ausfahrstraßen betrachtet. Damit lassen sich die verhältnismäßig niedrigen Werte FS/h für die Bahnhöfe D und E im Vergleich zu A, B und C erklären.

Um die Weichenstromversorgung ausreichend zu dimensionieren, ist insbesondere der Maximalwert umlaufender Weichen je Zeitschritt von Interesse. Beim Vergleich der verschiedenen Bahnhöfe zeigt sich, dass dieser Wert insbesondere von der Anzahl der maximal zeitgleich zu bildenden Fahrstraßen abhängig ist. In grober Näherung lässt sich auf Grundlage der Daten die Regel

$$n_{max} = n_{avg} \cdot FS_{max}$$

herleiten. Darauf aufbauend kann bereits abgeschätzt werden, in welcher Größenordnung die Anzahl Weichen liegt, die parallel umlaufen müssen, sofern die Anzahl der maximal zeitgleich gestellten Fahrstraßen bekannt ist. Aus den hier berechneten Werten für n<sub>avg</sub> lassen sich bereits erste

Aussagen im Hinblick auf Bahnhofsart und Betriebsprogramm ableiten:

- Für die untersuchten Durchgangsbahnhöfe wird der Wert n<sub>avg</sub> ≈ 3 angenommen.
- Für Kopfbahnhöfe erhöht sich dieser Wert um etwa eine Weiche je Fahrstraßenbildung, da die meisten Züge über das Regelgleis ein- und wieder ausfahren. Damit verbunden ist bei Kopfbahnhöfen ein zusätzlicher Weichenumlauf, da ansonsten eine Ausfahrt aus dem Bahnhof ins Gegengleis erfolgen würde. Diese Problematik ist bei Durchgangsbahnhöfen nicht gegeben.
- Bei Umsetzung eines integralen Taktfahrplans ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Infrastruktur. Entsprechend erhöht sich der Wert n<sub>avg</sub> um ca. zwei Weichen je Fahrstraßenbildung, was durch die Fahrplancharakteristik erklärbar ist: Innerhalb kurzer Zeit fahren viele Züge im Bahnhof ein bzw. aus. Somit ist für die einzelne Fahrstraße davon auszugehen, dass viele Weichen nicht in korrekter Position liegen und sich viele nacheinander gestellte Fahrstraßen kreuzen, da das Ziel der vorherigen Fahrstraße ein anderes Bahnhofsgleis war.

Neben der Leistung, die die Stromversorgung aufbringen muss, damit im Extremfall von n<sub>max</sub> parallel umlaufenden Weichen kurze Fahrstraßenbildezeiten ermöglicht werden können, ist zusätzlich auch die benötigte Durchschnittsleistung der Anlage von Interesse. Die Durchschnittsleistung P<sub>avg</sub> kann über

$$P_{avg} = n_{avg} \cdot FS/h$$

berechnet werden, wobei dieser Wert die durchschnittliche Anzahl an Weichen angibt, die pro Stunde umlaufen. Sind die Leistungsanforderungen der Weichenmotoren bekannt, so lassen sich aus P<sub>avg</sub> und n<sub>max</sub> konkrete Anforderungen an die Weichenstromversorgungsanlage stellen.

#### 4. Sensitivitätsanalyse

Neben der Betrachtung des Regelfalls ist die Untersuchung von Angebotsausweitungen und Infrastrukturausbauten einerseits und von Störfällen andererseits relevant. Insbesondere in Situationen, in denen Züge bereits verspätet verkehren, sollten keine zusätzlichen Verzögerungen auftreten.

Die Weichenstromversorgung muss daher auch für Abweichungen der Züge von ihrer Planlage ausreichend groß dimensioniert sein, um verlängerte Fahrstraßenbildezeiten und daraus resultierende Verschärfungen von Störfällen zu vermeiden. Im Folgenden werden Regelfahrplan und/oder Topologie für den untersuchten Bahnhof A dahingehend abgeändert, dass

- eine Bereitstellungsfahrt je Stunde zusätzlich berücksichtigt wird, da diese im Regelfahrplan nicht enthalten sind
- der Einfluss von Infrastrukturaus- und Umbauten mit dem zugehörigen Regelfahrplan quantifiziert wird, um die Stromversorgung vor solchen Maßnahmen bereits ausreichend groß zu dimensionieren,
- eine Großstörung sowohl für den Bestandsfahrplan als auch für den Regelfahrplan auf Grundlage des Ausbauvorhabens abgebildet wird, indem einerseits Zugreihenfolgen willkürlich getauscht und Gleisbelegungen willkürlich geändert werden. Zusätzlich wird noch ein „Stau“ abgebildet, indem Zugfahrten aus einer Richtung kommend so verspätet werden, dass sie möglichst dicht gepackt (in technischer Zugfolgezeit) in den Bahnhof einfahren. Bei der Ergebnisinterpretation ist darauf zu achten, dass der zur ausgebauten Infrastruktur gehörige Regelfahrplan sechs Zugfahrten pro Stunde mehr aufweist als der Regelfahrplan der Bestandsinfrastruktur.

Die Änderungen der in Tabelle 1 aufgeführten Kenngrößen geben schließlich Aufschluss darüber, wie stark die untersuchten Einflüsse bei der Dimensionierung der Stromversorgung berücksichtigt werden müssen. Zugehörige Absolutwerte und relative Veränderungen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Vor diesem Hintergrund lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Durch die Berücksichtigung von einer Bereitstellungsfahrt je Stunde nimmt die Anzahl zu bildender Fahrstraßen sowie

**Tabelle 2:** Kenngrößen für Bahnhof A unter Einfluss der verschiedenen Änderungen

Einflussgröße		$n_{avg}$	$n_{max}$	n95	$FS_{max}$	FS/h
Bereitstellungsfahrt	absolut	2,2	8	6	3	63
	relativ	+ 4%	± 0%	± 0%	± 0%	+ 5 %
Infrastrukturausbau	absolut	3,7	12	11	4	95
	relativ	+ 75%	+ 50%	+ 83%	+ 33%	+ 58%
Großstörung (kein Ausbau)	absolut	2,5	10	6	4	92
	relativ	+ 17%	+ 25%	± 0%	+ 33%	+ 53%
Großstörung (Ausbau <sup>2</sup> )	absolut	3,4	10	8	4	107
	relativ	- 9%	- 17%	- 27%	± 0%	+ 13%

die durchschnittliche Anzahl paralleler Weichenumläufe um etwa 4% – 5% zu. Insbesondere bei vielen Bereitstellungsfahrten scheint daher eine konkrete Analyse des Regelfahrplans mit zusätzlich abgebildeten Bereitstellungsfahrten sinnvoll.

- Die Untersuchung von Infrastrukturausbauten mit zugehörigem Regelfahrplan zeigt, dass die Anzahl paralleler Weichenumläufe stark abhängig von der konkreten Topologie und dem konkreten Fahrplan ist. Entsprechend sollten bei einer Neudimensionierung der Weichenstromversorgung mittelfristige Bahnhofsum- und Ausbauvorhaben ohne Neuerrichtung des Stellwerks sowie stark abgeänderte Betriebskonzepte auf ihre Anforderungen hin untersucht werden.
- Der Ergebnisvergleich der abgebildeten Großstörungen auf Bestands- sowie Ausbauinfrastruktur des Bahnhofs A zeigt, dass die Anzahl der zu bildenden Fahrstraßen unterschiedlich stark ansteigt. Begründbar ist dies damit, dass die ausgebaute Infrastruktur bereits einen höheren Belegungsgrad aufweist. Tritt nun eine Großstörung auf, so finden nicht planmäßig verkehrende Zugfahrten seltener eine noch freie Trasse, da die Anzahl der maximal gleichzeitig gebildeten Fahrstraßen im Bahnhofsbereich begrenzt ist. Insbesondere für Zugein- und Ausfahrten gestellte Weichen in den Bahnhofsköpfen wirken hier restriktiv. Dadurch lässt sich auch begründen, warum der Anstieg der durchschnittlich und maximal parallel umlaufenden Weichen nur schwach ausgeprägt ist. Während für die Bestandsinfrastruktur die Werte um noch bis zu 25% ansteigen, liegt bei der ausgebauten Infrastruktur sogar eine deutliche Reduktion dieser Werte

vor. Dieses ambivalente Verhalten kann auch teils dadurch erklärt werden, dass je nach Störfall manche Weichen nicht häufiger, sondern seltener umlaufen müssen, da sie zum Beispiel zur Auflösung eines „Staus“ bereits in richtiger Position liegen. Um jedoch für alle möglichen Fälle die Weichenstromversorgung ausreichend groß zu dimensionieren, sollte immer von einer Zunahme von Weichenumläufen und Fahrstraßenbildungen ausgegangen werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Der in diesem Artikel vorgestellte Algorithmus ermöglicht es, auf Grundlage von Infrastruktur- und Fahrplandaten Kennwerte zu bestimmen, die zur Dimensionierung der Weichenstromversorgung verwendet werden können. Dazu zählen die Anzahl umlaufender Weichen je Zeitabschnitt sowie die maximale Anzahl parallel umlaufender Weichen. Ferner wurde festgestellt, dass jede Topologie und jedes Betriebskonzept höchst individuell ist und verallgemeinerte Regeln zur Stromdimensionierung nur schwer erstellt werden können. Lediglich der zusätzlich zu berücksichtigende Risikopuffer, der auch eine stabile Aufrechterhaltung der Stromversorgung in betrieblichen Störfällen gewährleisten soll, konnte auf Basis von Beispieldaten näher quantifiziert werden.

Im Hinblick auf die geplanten infrastrukturellen Entwicklungen der nächsten Jahre (netzweiter Rollout von digitaler Leit- und Sicherungstechnik – ETCS/DSTW im Rahmen der „Digitalen Schiene Deutschland“) sollte die individuelle Bemessung der Weichenenergieversorgung in Abhängigkeit von Topologie und Fahrplan im Planungsprozess etabliert werden.

Sollte es in den nächsten Jahren gelingen, die Weichenenergieversorgung weitestgehend zu dezentralisieren, bieten sich durch die Trennung von Stellstrom und Energieversorgung beim Ersatz bestehender Stellwerkstechnik durch neue digitale Stellwerke vielfältige neue Möglichkeiten. Dies umfasst die Entkoppelung vielbefahrener, betrieblich kritischer Weichen genauso wie die bewusste Inkaufnahme von Abhängigkeiten an unkritischen Punkten. Durch die fundierte fahrplanbasierte Bemessung können somit auf der einen Seite betriebliche Einschränkungen durch unzureichende Abschätzungen verhindert werden, auf der anderen Seite können bestenfalls wirtschaftliche Anforderungen unter Einhaltung zu definierender Bemessungsparameter bedient werden.

Um mittels der Einführung von ETCS zusätzliche Kapazität zu schaffen sind umfassende Blockverdichtung bis hin zu Hochleistungsblöcken insbesondere im Bahnhofsbereich notwendig. Mehr Züge bedingen mehr Fahrstraßenanforderungen und somit mehr Weichenumläufe. Dabei wird die Fahrstraßenbildezeit durch kürzere Zugfolgen immer relevanter. Wie genau sich dies in den Leistungsanforderungen durchschlägt, wurde bisher nicht untersucht, der vorgestellte Algorithmus bietet die Möglichkeit, ohne großen Mehraufwand individuelle Betriebsstellen- und Betriebskonzepteigenschaften bei der Bestimmung der Anlagenleistungsfähigkeit bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen. ●

## Literatur

- [1] Scherer, P., Büker, Th., Schotten S., „Ermittlung betrieblicher Anforderungen an die Weichenstromversorgung“ in IRSA 2021: Tagungsband: 3rd International Railway Symposium Aachen

## Summary

### Determining operational requirements for the switch power supply

The routing image times depend, among other things, on the dimensioning of the switch power supply. By using the presented methodology, the number of parallel rotating switches within a defined area (e.g., interlocking area) can be determined for operating programs. The knowledge obtained should be used to avoid over and undersizing of the power supply.