

Digitale Technologien für die Bahnelek- trifizierung



SIEMENS



Die Welt dreht sich immer schneller und die Mobilität von morgen muss heute schon damit Schritt halten. ”

Martin Bach
Head of System Engineering & Integration

Inhaltsverzeichnis

1

Modernisierung von
Bahnversorgungsanlagen

5

2

Erhöhung der Leistungsfähigkeit
von Bahnstrecken

10

3

Maximale Energieeffizienz für
Bahnbetreiber

15

4

Unterstützung bei der optimalen Instand-
haltung von elektrischen Bahnanlagen

18

Denn im Nah- und Fernverkehr bewegen sich immer mehr Menschen mit immer mehr Tempo. Deshalb steigen auch die Anforderungen an Bahnnetzbetreiber. Bestehende Infrastrukturen haben ihre Belastungsgrenze erreicht und müssen erweitert werden. Gleichzeitig muss der Betrieb aktueller Netze bei steigender Auslastung oder unter geänderten Betriebsszenarien gewährleistet sein. Die Digitalisierung der Mobilität eröffnet hier neue Möglichkeiten.

Wir im Team des System Engineering der Electrification beschäftigen uns seit Jahrzehnten mit der Mobilität der Zukunft und ganz konkret mit der Auslegung und Planung von Bahnenergieversorgungsanlagen. Durch unsere Expertise im Bereich der Bahnelektrifizierung ist es uns möglich, ganzheitliche Lösungsansätze für bahnspezifische Fragestellungen zu entwickeln. Ausgestattet mit diesem Systemdenken begleiten wir unsere Kunden weltweit während des gesamten Lebenszyklus ihrer Anlagen. Wir haben verschiedene kritische Themenfelder identifiziert, die sich in einer größeren Reihe von Anlagen ähnlich verhalten. Für diese Herausforderungen haben wir innovative Lösungsansätze als Digital Solutions entwickelt.

Im vorliegenden Whitepaper haben Sie die Möglichkeit, ein breites Spektrum dieser neuartigen Digital Solutions kennen-zulernen. Und Sie erfahren neue Lösungsansätze für ihre ganz konkreten Herausforderungen im operativen Betrieb. Treten Sie mit uns in den Dialog über Anwendungsfälle, denn die Lösungen und Produkte sind formbar und bieten die Chance, sich an Ihre Anforderungen zu adaptieren.



Martin Bach
Head of System Engineering & Integration

**Martin Altmann,
Junneng Huang,
Tomas Greif**

KAPITEL 1

Modernisierung von Bahnenergieversorgungsanlagen

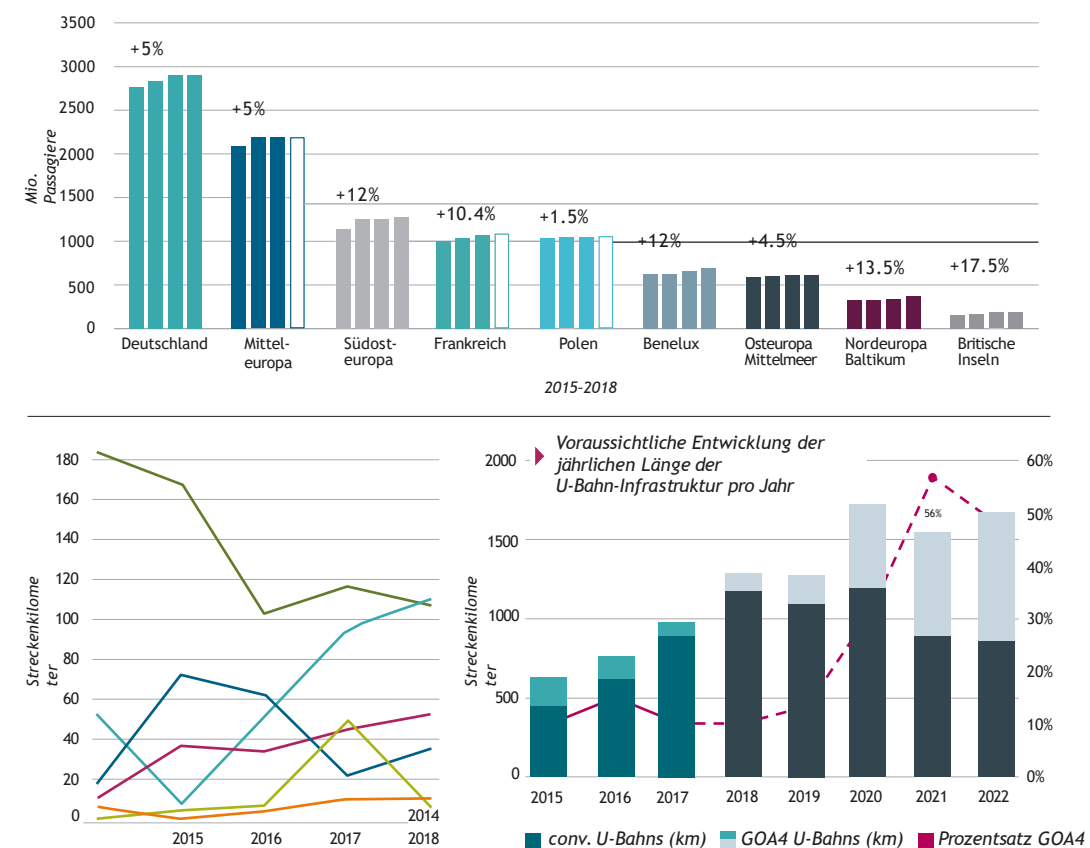
Mobilitätsanforderungen sind stark getrieben vom Megatrend der Urbanisierung und werden durch die E-Mobilitätswende im Sektor des elektrischen Personennahverkehrs noch verstärkt.

Dadurch sind diese Anforderungen gerade in der jüngeren Vergangenheit stetig gewachsen. Aktuelle Zahlen der UITP zur Entwicklung von Stadtbahnen (Light Rail) und Tram zeigen dies eindrücklich mit seit Jahren steigenden Fahrgastzahlen in Europa, siehe Abbildung 1.

Demnach wurden 2018 in Europa allein durch Stadtbahnen und Tram über 10 Milliarden Passagiere transportiert. Die darin gezeigte Entwicklung der jährlich neu hinzugekommenen Streckenkilometer zeigt zwar regionale Wachstumsunterschiede, bestätigt aber auch den allgemeinen Wachstumstrend in diesem Sektor. Für Europa und Eurasien mit vielen Bestandssystemen wird jedoch nach wie vor der Fokus auf der Modernisierung und dem Ersatz von Anlagen sein, um alternde Systeme attraktiv und einsatzfähig zu halten.

Der Ausbruch der Covid-19-Pandemie hat dieses Wachstum zwar global gebremst, mittel- und langfristig bleibt die Anforderung an den Ausbau eines leistungsfähigen Nahverkehrs in den Ballungsräumen jedoch bestehen. Der elektrische Ausbau von schienengebundenem Bahnverkehr und ÖPNV stellt in allen Mobilitätskonzepten das Rückgrat dar, wenn Umweltziele erreicht werden sollen und die Steigerung der Lebensqualität in den Ballungsräumen wichtig ist.

Abbildung 1:
Regionale
Entwicklung der
Fahrgastzahlen in
Europa (Millionen
Passagiere von 2015
bis 2018) für Light
Rail und
Tram sowie die
Entwicklung der
jährlich in Betrieb
genommenen
Streckenkilometer [2]

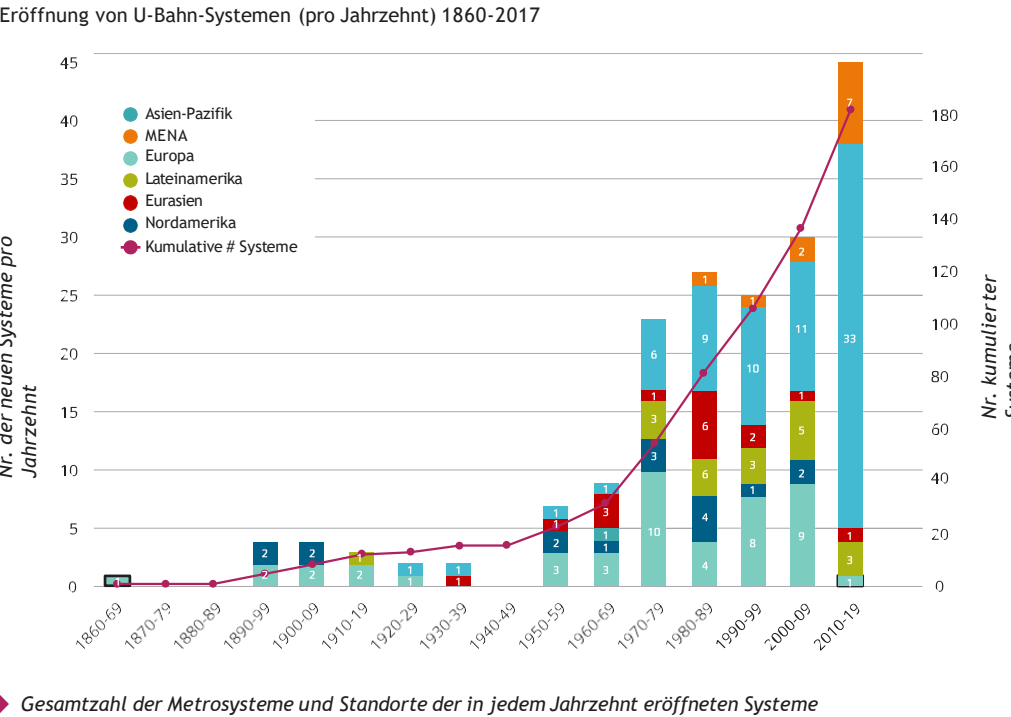


Herausforderungen für die Bahnelektrifizierung

Der aktuelle Einbruch im Nah- und Fernverkehr durch die Covid-19-Pandemie verschafft Betreibern dabei eine Ver-schnaufpause und damit Raum für die holistische Planung der Investitionen und den Ausbau. Im Rahmen der weltweit hohen Anzahl von Konjunkturpro-grammen zur wirtschaftlichen Erholung stehen oft größere Mittel für den Mobilitätssektor zur Verfügung.

Da die elektrische Versorgungsinfrastruktur typischerweise für große Betriebszeiträume ausgelegt wird, konnten viele Systeme über viele Jahre hinweg die wachsende Auslastung mit punktueller Modernisierung von Anlagenteilen oder Verstärkung von Teilstrecken gut bewerk-stelligen. Einerseits stellt die Robustheit und Langlebigkeit der Bahnenergieversorgung für die Betriebe einen großen Vorteil dar. Andererseits führt sie auch dazu, dass der Fokus für Investi-tionen häufig auf andere Gewerke gelegt wurde und die Reservekapazitäten, mit denen man bisher immer rechnen konnte, allmählich aufgezehrt wurden. Dieser Investitionsstau stellt den Betrieb und die Instandhaltung zunehmend vor große Herausforderungen.

Abbildung 2:
neu eröffnete
U-Bahnen
pro Jahrzehnt
pro Region [3]



Simulationen helfen bei der Bedarfsanalyse

Bei der Bedarfsanalyse sowie der Konzeption notwendiger Modernisierungs-maßnahmen ist es sinnvoll, als Ausgangs-punkt eine Systemanalyse durchzuführen. So können die derzeitige Auslastung der Belastbarkeit bewertet und die zukünftigen Belastungs-anforderungen für höhere Transportleistung eruiert werden.

Damit ergeben sich bereits Meilensteine für die Priorisierung der Anlagenteile, die hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit modernisiert werden müssen. Dieses kann im Rahmen einer klassischen Systemstudie geschehen. Mithilfe einer Netzplanungssoftware und Zugfahrtsimu-lation, wie z. B. Sitras® Sidytrac Designer von Siemens Mobility, werden das elektrische Netz modelliert, der aktuelle und erwartete zukünftige Betrieb simuliert und Kurzschlussströme sowie Schutzkonzepte überprüft. Zu Beginn einer solchen Studie sollte im Vergleich auch immer die aktuelle Belastungssituation gegenüber der Simulation stehen.

Wenn Anlagen nahe der Auslastungsgrenze betrieben werden, ist es wichtig, diese Auslas-tungsgrenzen zu kennen und im Betrieb zu über-wachen - idealerweise passiert das in einem kontinuierlichen Prozess. Allerdings kann schon die noch verfügbare Kapazitäts-grenze von bewährten jahrzehntelang betriebenen Anlagen eine unbekannte Größe sein. Die Überlastfähigkeit von Transformatoren, Gleichrichtern und anderer Leistungselektronik ist stark von früheren Belas-tungsszenarien abhängig.

Systemüberwachung konsequent ausbauen

Teile der Fahrleitungsanlage und die Rückleitung sowie deren Isolation können abhängig vom Betriebsgeschehen punktuell überlastet werden, ohne dass es gleich erkennbar ist. Bei älteren DC-Systemen wurde in manchen Teilen der Erde die Rückleitung nicht komplett isoliert, sondern zur Streustrom-messung teilweise über Dioden geerdet. Modernisierungs-maßnahmen stellen eine gute Möglichkeit dar, dieses Konzept auf den neuesten Stand der Technik zu bringen und die Instandhaltung mit einem geeigneten Streustrom-Monitoring zu unterstützten. Siemens Mobility bietet hier das bewährte, einfach zu integrierende Streustrom-Monitoring-System Sitras® SMS an.

Anlagen älteren Datums verfügen zudem kaum über Sensorik oder Messwerterfassungen, die eine Überwachung von aussagekräftigen Parametern überhaupt zulassen würden. Allgemein gilt jedoch auch, dass die Überwachbarkeit der Anlagen nicht durchgängig und nur für einzelne Komponenten vorhanden ist. Typischerweise werden Warn-meldungen und Livesignale einzelner Betrieb-smittel wie Transformatoren, Gleichrichter oder Schaltanlagen über lokale Schutz- und Steuergeräte erfasst sowie einzelne Sensoren ausgewertet, wie zum Beispiel zur Temperatur-messung von Transformatoren.

Digitaler Zwilling erhöht Prognosequalität

In manchen Anlagen werden auch Stromwerte einzelner Betriebsmittel gemessen, um sie entweder lokal und/oder auch im übergeordneten SCADA-System anzuzeigen. Oft wird nicht weiter ausgewertet. Warnschwellen oder Trendanalysen werden auch nicht hinterlegt. Eine valide Prog-nose ist daher kaum möglich.

Der Aufbau eines sogenannten digitalen Zwillings für die Stromversorgung, der neben der Digitalis-ierung der Anlage-daten auch die Aspekte Über-wachung, Datenanalyse und zusätzlich simula-tionsbasierte Lastvorhersage durch Lösungen wie Sidytrac kombiniert, könnte auch die Anla-genauslastung für die verschiedenen betrieblichen Lastanforderungen maximieren. Wenn diese Möglichkeiten frühzeitig imple-mentiert werden, tragen sie dazu bei, den Modernisierungs-zeitplan zu optimieren und möglicherweise einen längeren Betrieb der Anlagen zu ermöglichen.

Anlagenzuverlässigkeit im Fokus

Die Zuverlässigkeit von Anlagen folgt bei tech-nischen Systemen typischerweise der sogenannten „Badewannen-kurve“. Demnach zeigen ausgereifte Systeme zwar lange Zeit ein stabiles Verhalten, mit zunehmendem Alter und dabei steigender Belastung steigt auch das Ausfall-risiko enorm. Selbst wenn die Primärtechnik noch zuverlässig arbeitet, können sich Probleme durch Ausfälle der Steuerungselektronik häufen und so zu einem erhöhten Wartungsbedarf führen.

Des Weiteren erhöht sich die Komplexität in gewachsenen und stückweise erweiterten Systemen, da hier verschiedene Anlagenteile oder Streckenabschnitte ein unterschiedliches Betriebs-alter haben können. Das Thema Wartung spielt bei der Bedarfsermittlung und der Planung von Modernisierungen eine wichtige Rolle. Durch diese Maßnahmen lassen sich Wartungsaufwände deutlich verringern.

Für die Instandhaltungsstrategie einer geplanten und zeitge-steuerten Wartung ist durch die regelmäßigen Intervalle ein hoher Personalauf-wand erforderlich, der auch das Alter und die erfahrungsbasierte Zuverlässigkeit der unter-schiedlichen Anlagentypen berücksichtigen muss. Mit der digitalen Transformation, der konse-quenten Nutzung aller zur Ver-fügung stehenden Daten und den Weiterentwicklungen im Feld der Sensorik ergeben sich dabei neue Möglichkeiten der datenbasierten prädiktiven Wartung.

Somit ist es möglich, die Instandhaltung nach den Erfordernissen auszurichten und die Lebenszyklus-kosten zu optimieren. Der erste Schritt dafür ist,

Daten, die auf Feldebene bereits vorliegen, für eine weiterführende Auswertung zugänglich zu machen. Dies gilt insbesondere für Anlagenteile, die noch länger in Betrieb verbleiben und zu einem späteren Zeitpunkt modernisiert werden sollen.

Modernisierung effektiv planen

All diese technischen Aspekte der Modernisierungsbedarfsanalyse müssen einer Kosten-Nutzen-Betrachtung unterzogen werden.

Ein wesentlicher Teil dieser Planung sollte berücksichtigen, wie die verschiedenen Aspekte und Vorteile der digitalen Transformation nutzbringend eingesetzt werden können. Insbesondere die Konnektivität und Überwachung von Anlagen, die Datenanalyse für die vorausschauende Wartung und die Lastvorhersage durch Simulation sind elementar für diese Prozessphase. Sind Systeme und Anwendungen dieser Art bereits in einem frühen Stadium vorhanden, können sie in der aktiven Phase der Modernisierung viele Vorteile bringen und den gesamten Prozess beschleunigen.

Um den Umbau eines bestehenden Netzes möglichst reibungslos umzusetzen, hat eine durchdachte Planung der Abläufe oberste Priorität.

Verfügbarkeit aufrechterhalten

Während des Umbaus soll der Betrieb bei hoher Verfügbarkeit aufrechterhalten werden können. Deshalb werden alle wesentlichen Arbeiten während der Betriebspausen in der Nacht oder an Wochenenden durchgeführt. Betriebspausen sind jedoch kurz; die Nachtarbeit und die vielen kleinen Intervalle verursachen einerseits eine schwierige Logistik, zusätzliche Rüstzeiten und Rüstkosten, längere Bauzeiten und hohe Personalkosten, welche mit dem Anspruch des kostenoptimierten Umbaus kollidieren.

Typischerweise ist freier Raum in Bahnunterwerken begrenzt, und es ist kaum möglich, größere neue Anlagenteile zu den bereits vorhandenen zu stellen - bei Gleichstromanlagen sind das vor allem Transformator, Gleichstromschaltanlage und Mittelspannungsschaltanlage. Um die alten Anlagen auszutauschen, müssen sie zunächst außer Betrieb genommen und abgebaut

werden. Erst danach können die neuen Anlagenteile aufgebaut werden. Dieser Austausch benötigt eine längere Umbauzeit.

Um nicht nur die Nachtpausen, sondern auch tagsüber möglichst lange und durchgehende Zeiträume nutzen zu können, müsste ein größerer Teil oder ein ganzes Unterwerk freigeschaltet werden. Dabei ist es hilfreich zu wissen, welcher Fahrbetrieb für diese Netzkonfiguration noch möglich ist.

Netzauslegung und Reserven erfassen

Die Auslegung der Systeme wurde unter Berücksichtigung von Worst-Case-Szenarien durchgeführt, sodass Reserven vorhanden sind. Bei gewachsenen Anlagen kann es schwierig sein, die tatsächlichen Reserven des Netzes zu ermitteln und diese Möglichkeit für die Erweiterung von Umbauphasen zu nutzen. Beispielsweise sind außerhalb der Spitzenzeiten die Zugfolge und die durchschnittliche Zuladung geringer. Generell ändern sich in Tages-, Wochen- und Jahreszyklen die Auslastung und die Hilfsbetriebe und damit auch die Belastung aller Komponenten.

Eine Netzberechnungssoftware wie Sitras® Sidytrac Designer von Siemens Mobility kann eben diese vielfältigen Szenarien berücksichtigen und den Betreiber bei Untersuchungen unterstützen und leiten.

Wichtige einzuhaltende Kriterien sind Spannungshaltung, Belastbarkeitsgrenzen und die Gewährleistung des Schutzes. Im Falle eines Unterwerksausfalls, speziell des nächsten Nachbarn, sind geeignete Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes zu definieren. Mögliche Betriebsszenarien können Geschwindigkeitsbegrenzungen, Strombegrenzungen oder geringere Beschleunigungen sein. Sie sollten schon in der Planungsphase definiert werden, um im Eintrittsfall nur noch aktiviert werden zu müssen.

Planung optimieren und Flexibilität gewinnen

Bei komplexen Netzwerken und Einspeiseszenarien ist es oft schwer vorherzusagen, ob der Schutz in der Lage ist, alle Fehlerfälle zu erkennen. Sidytrac ermöglicht die Berechnung von Fehler-situationen für alle Szenarien und die Beurteilung der Schutzstabilität, bevor man sich für die Konfiguration alternativer Schaltszenarien entscheidet.

Damit kann die Auswirkung auf die Schutzeinstellung für die verschiedenen geplanten Netzkonfigurationen während des Umbaus überprüft werden. Gegebenenfalls müssen für spezifische Speisekonfigurationen während der Umbauphase temporär unterschiedliche Schutzparametersätze definiert werden. Dies kann durch moderne Schutztechnik flexibel gelöst werden.

Durch die Analyse der obigen Aspekte stehen dem Betreiber umfangreiche Informationen zur Verfügung. Diese helfen dabei, die Zeitfenster des Umbaus während des Betriebs zu maximieren und damit den Ausbau effizient und kosten-optimiert durchzuführen.

Sitras® Sidytrac Designer hilft hier bei der langfristigen Planung, wohingegen Sitras® Sidytrac Live die kurzfristige Gestaltung, spontane Umplanung und operative Umsetzung unterstützt. Beide Modelle arbeiten mit denselben Daten, jedoch schafft Sitras® Sidytrac Live zusätzliche Flexibilität, da der Betreiber die Möglichkeiten selbst in der Hand hat, die kurzfristig gewünschten/vorkommenden Schaltzustände und die für die nächsten Tage geplanten Fahrbetriebe zu analysieren.



Martin Altmann
Senior Key Expert for System Engineering of Traction Power Supply - System Engineering & Integration



Junneng Huang
System Engineer for Traction Power Supply - System Engineering & Integration



Tomas Greif
Principal Key Expert for Traction Power Supply - Lead Engineering



KAPITEL 2

Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Bahnstrecken

Klaus Müller,
Alexej Halank,
Carolin Seidenberg

Über viele Jahre wurde der Ausbau der Netze vernachlässigt und dem motorisierten Individualverkehr der Vorrang gegeben. Zudem erfolgte die letzte Modernisierung der Infrastruktur (Strecken und Stromversorgung) oft in den 80er- oder 90er-Jahren des 20. Jahrhunderts oder wurde aufgrund knapper Finanzmittel nur in Teilbereichen ausgeführt.

Die Probleme des überbordenden Individualverkehrs sind kaum noch lösbar und die Forderung nach umweltgerechtem und energieeffizientem Verkehr tritt zunehmend in den Vordergrund. Damit besteht der dringende Bedarf, Bahnnetze zu modernisieren und auszubauen.

Zum einen werden neue Linien gebaut oder bestehende Linien verlängert, zum anderen werden jedoch auch größere und leistungsfähigere Fahrzeuge beschafft und/oder der Takt verdichtet.

Wachsende Anforderungen an Bahnnetze

Die modernen Fahrzeuge sind heutzutage alle rückspeisefähig, d. h. sie nutzen weitgehend die elektrische Bremsung und stellen die Bremsenergie im Oberleitungsnetz zur Verfügung.

Diese Maßnahmen führen zu einer Erhöhung der thermischen Belastung der Fahrleitung und Unterwerke, da sowohl die Lastspitzen ansteigen als auch die „Erholungsphasen“ dazwischen kürzer werden oder gar wegfallen, da ebenfalls im Bremsbetrieb Strom in der Oberleitung fließt.

Bahnsysteme werden immer komplexer, die Anlagen werden älter und umfangreicher und damit die Systeme weniger berechenbar. Daher steigt der Bedarf an Transparenz und Konnektivität. Dies kann durch Digitalisierung und innovative Technologien erreicht werden. Die neue Technologie soll auch zu Kostenoptimierung, verbesserter Systemqualität und Verfügbarkeit in Betrieb und Service führen.

Auslastung verbessern bei zuverlässigem Betrieb

Die digitalen Lösungen von Siemens Mobility bieten die Möglichkeit, die Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur zu verbessern und dabei einen verlässlichen Betrieb zu gestalten.

Mit Sitras® Sidytrac Live erfolgt eine Vorausberechnung des operativen Betriebs einerseits aus Zugbetriebsdaten und andererseits aus dem Schaltzustand des Netzes. Dadurch kann die elektrische

Belastung des Netzes und dessen Rückwirkung auf den Fahrbetrieb sowie auf angeschlossene Systeme analysiert werden. Technisch handelt es sich bei Sitras® Sidytrac Live um ein Simulationprogramm, welches Zugbetriebs- und Netzberechnungsalgorithmen in sich vereint. Damit kann der hochvolatile Leistungsbedarf von örtlich und zeitlich veränderlichen Verbrauchern in einem definierten Zeitbereich durch eine Forecast-Simulation exakt und live nachgebildet werden.

Sind Schalthandlungen, z.B. wegen eines Ausfalls nötig, so können vor deren Ausführung die Effekte auf die Belastung der Komponenten und die Funktion des elektrischen Schutzes schnell analysiert werden. Damit können notwendige Gegenmaßnahmen unmittelbar vor einer Überlastsituation ergriffen werden, ohne dass es zu weitreichenden Auswirkungen auf den Betrieb kommt. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Anwendungsfälle von Sitras® Sidytrac Live.”

Bereits in der Minimalausführung stellt Sitras® Sidytrac Live ein ideales Schulungs- und Trainingssystem dar, um dem Operator Zeit für eine Bewertung zu verschaffen und die Auswirkungen getroffener Maßnahmen anzuzeigen.

In betrieblichen Notsituationen kann Sidytrac Live helfen, durch What-if-Simulationen schnell eine sinnvolle Entscheidung herbeizuführen. Auch nachträglich ist durch archivierte TMS- und SCADA-Daten eine Analyse bereits real durchlaufener Szenarien möglich. So sind die Auswirkungen von Maßnahmen und die Darstellung ihrer Auswirkungen in verschiedenen Betriebsszenarien veranschaulicht.

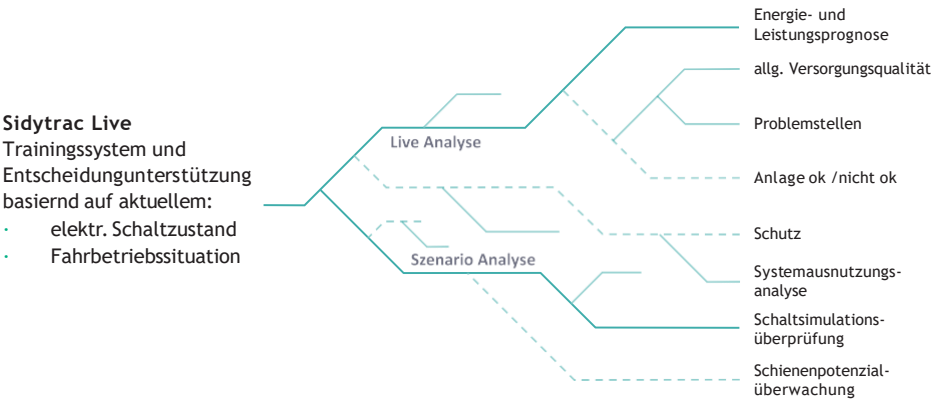


Abbildung 3: gibt einen Überblick über die Anwendungsfälle von Sitras® Sidytrac Live

Auch eine Verschiebung von Lastspitzen in energetisch günstigere Phasen ist durch das Bedienen der Schnittstellen machbar (Abbildung 4). Neben einer Reduktion der maximal benötigten Leistung kann die Beschleunigungsphase startender Fahrzeuge in die Bremsphase ankommender Fahrzeuge geschoben werden. Damit kann die Rekuperationsenergie bestmöglich ausgenutzt werden. Auch eine verbesserte Planbarkeit des Energiebedarfs aus dem öffentlichen Energieversorgungsnetz ist durchführbar.

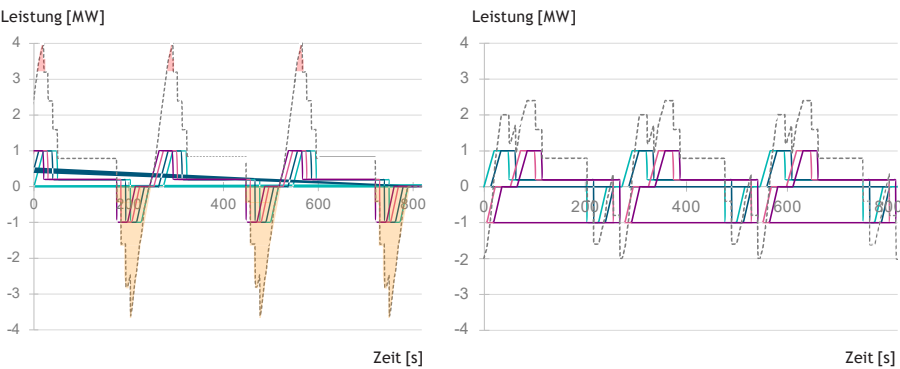


Abbildung 4: Lastspitzenreduktion, links Normalbetrieb (alle Fahrzeuge fahren gleichzeitig an), rechts optimierter Betrieb

Insgesamt unterstützt Sidytrac Live den Operator in der Entscheidungshilfe, wodurch langfristig eine zusätzliche Sicherheit erreicht und die Anlagenausnutzung und Zuverlässigkeit erhöht werden. In Summe ergeben sich deutliche Kosteneinsparungen für den Betreiber. Und auch hier ist die Entwicklung noch längst nicht zu Ende: In der Zukunft sollen durch Sidytrac Live automatisch kritische Situationen erkannt und dem Anwender sofort die richtigen Maßnahmen zur Abwehr vorgeschlagen werden.

Eine weitere Applikation zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Innenstadtbahnstrecken stellt der Substation Analyzer dar, welcher kritische Komponenten im Unterwerk überwacht. Das laufende Monitoring der Unterwerkskomponenten mit dem Substation Analyzer ermöglicht eine bessere Planung der vorbeugenden Wartung der Unterwerke. Die zeitliche Dauer der Wartungsarbeiten kann verkürzt und die Wartung besser an die Schwachlastphasen im Verkehr angepasst werden.

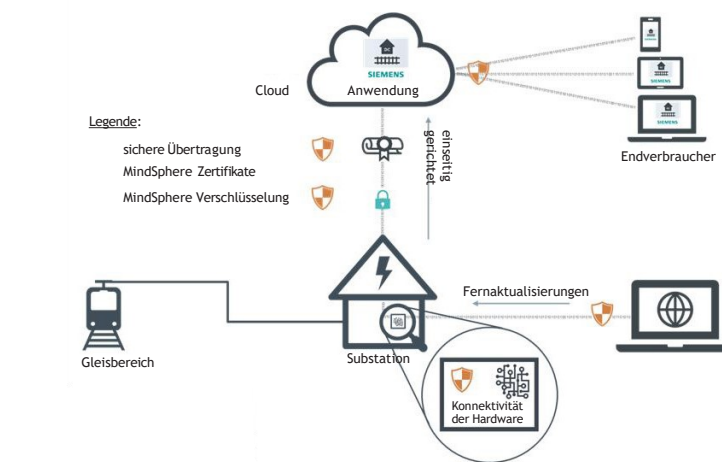


Abbildung 5: Schematischer Aufbau Substation Analyzer

Dies ermöglicht es, Unterwerke nur während der Schwachlastzeit zu warten, die weiterhin ausreichende Reserven für die Versorgung durch die Nachbarunterwerke bietet. Somit steht die Stromversorgung während der Verkehrsspitzen vollständig und mit sehr geringer Ausfallwahrscheinlichkeit zur Verfügung.

Der „Substation Analyzer“ ist eine cloudbasierte Applikation, die es ermöglicht, den Zustand der verbundenen Unter-werkskomponenten zu jeder Zeit auf entsprechenden Endgeräten mit Internetverbindung zu verfolgen. Die App unterstützt bei Maintenance-Aufgaben, indem sie Echt-zeitdaten und historische Daten bereitstellt, um mehr über das Verhalten von Komponenten herauszufinden. Die Reaktionszeit auf bestimmte Ereignisse durch personalisierte Regeln, welche definiert und angelegt werden können, ist verkürzt. Störschriebe können direkt in die Cloud geschickt werden. Ein enthaltenes Asset-Management vereinfacht eine Dokumenten- und Informationsübersicht für jedes Asset, wie z. B. Seriennummern, Installationsdaten und weitere Attribute.

Die passgenaue Anbindungslösung für jedes Unterwerk kann entweder in vorhandene Schaltschränke eingebaut oder als kompakte Box aufgebaut werden. Zudem erfüllt sie neueste Sicherheitsstandards, sodass die Daten zu jeder Zeit sicher sind - ob bei der Überführung in die Cloud oder in der Cloud selbst.



Klaus Müller
System Engineer for Traction Power Supply
- System Engineering & Integration



Alexej Halank
Product Lifecycle Manager Sidytrac Live
- System Engineering & Integration



Carolin Seidenberg
Product Owner Substation Analyzer
- MindSphere Application Center

KAPITEL 3

Maximale Energieeffizienz für Bahnbetreiber

Friedemann Koop,
Martin Altmann

Elektrische Verkehrssysteme bieten grundsätzlich die Möglichkeit eines lokal emissionsfreien Betriebs. Die Energieerzeugung kann dabei aus regenerativen Energiequellen und damit klimaneutral erfolgen. Wird die Energie der Fahrzeuge des Verkehrssystems zudem durch eine kontinuierliche Energieversorgung bereitgestellt, kann ein unschlagbar hoher Wirkungsgrad erreicht werden. Diese Voraussetzungen machen den elektrischen Verkehr zum System der Zukunft, welches bei elektrischen Bahnen lange erprobt ist und auch mit dem E-Highway im Straßengüterverkehr Einzug hält.

Die Energieeffizienz eines Verkehrssystems wird im Wesentlichen durch dessen Aufbau, Komponenten und Betrieb bestimmt. Da eine hohe Vielfalt an Anwendungen und technischen Komponenten existiert, ist das Thema Energieeffizienz stets netzspezifisch. Die Energieeffizienz kann dabei auf verschiedene Zielgrößen abzielen, die sowohl bei der Auslegung eines Systems als auch im Betrieb optimiert werden sollen. Als Ergebnis zeigt sich oft, dass viele verschiedene Aktionen in Kombination notwendig sind, um ein Maximum an Energieeffizienz zu erreichen, wie etwa in [4] und [5] genannt wird. Dort ist etwa die Rede von 250 Maßnahmen, die bei den Schweizerischen Bundesbahnen die Energieeffizienz fördern.

Mithilfe neuer digitaler Lösungen bietet Siemens Mobility eine umfangreiche, kundenspezifische Analyse des Gesamtsystems basierend auf Messungen, Modellierungen und Simulationen an. Daraus können konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einem höheren Maß an Umweltverträglichkeit sowie zu geringeren Energie- und Betriebskosten führen. Dabei gehen Klimaschutz und Wirtschaftlichkeit Hand in Hand. Wie in [4] beschrieben wird, ist mit einem Anstieg des Strompreises von etwa 10 Prozent im Zeitraum

von 2012 bis 2030 zu rechnen, was in Summe für den deutschen ÖPNV Mehrkosten in Höhe von etwa 350 Mio. Euro alleine für Fahrstrom bedeutet. Maßnahmen zur Energieeffizienz sind dabei ein geeignetes Mittel, um Kosten zu reduzieren.

Simulationen schaffen Transparenz
Im Fokus vieler Bahnbetreiber steht die Minimierung der Energiekosten für das Gesamtsystem, die aus der Überlagerung aller im Netz befindlichen Verbraucher resultieren. Energiekosten können sich dabei je nach Tarif aus verschiedenen Bestandteilen wie etwa Leistungs- und Energiepreis zusammensetzen. Weltweit sind unterschiedliche Tarifmodelle bekannt, die stets zu anderen Lösungsstrategien führen.

Siemens Mobility ermöglicht Transparenz durch Messungen und vor allem mit Simulationen. Die Zugfahrtsimulationssoftware mit gekoppelter Netzberechnung Sitras® Sidytrac Designer [6] bildet einen digitalen Zwilling der Energieversorgung inklusive aller Verbraucher ab. Das Zusammenspiel der sowohl stationären Verbraucher als auch der ortsveränderlichen Fahrzeuge resultiert im Gesamtleistungsbedarf und Energieverbrauch, der dem Betreiber in Rechnung gestellt wird. Anhand von Simulationen können sowohl für die Auslegung als auch für den täglichen Betrieb verschiedene Alternativen berechnet und die jeweils geeignetste ausgewählt werden.

Die Echtzeitanwendung von Sitras® Sidytrac Live ist mit benachbarten Systemen verbunden und kann daher präzise Vorhersagen zu Gesamtsystemstatus, Energieverbrauch und Leistungsbedarf und damit auch zu Energiekosten in kundenspezifischen Tarifen treffen.

Auslastung verbessern bei zuverlässigem Betrieb

Echtzeitanwendungen bieten vor allem in Sonder-betriebsszenarien, bei Störungen oder jedweden Betriebsfällen außerhalb der Ausle-gungsbedingungen ein hohes Maß an Trans-parenz. Damit kann die Systemverfügbarkeit gesteigert und gleichzeitig die bestmögliche Energieeffizienz erreicht werden.

Bereits im Auslegungsprozess kann die beste aus vielen Alternativen für Komponenten wie beispielsweise Kabel und Fahrleitungsanlagen gewählt werden. Zudem können auch aktive Energiesparkomponenten wie beispielsweise Wechselrichter in Gleichstromsystemen und stationäre Energiespeicher beurteilt und deren geeignetste Standorte und Konfiguration bestimmt werden. Neben der Wahl der geeignet-sten Komponenten hat vor allem die Parame-terisierung der verschiedenen Elemente maßgebli-chen Einfluss auf die Energieeffizienz.

Wesentliche Aspekte sind dabei:

- die Wahl der geeigneten Nennspannung und des Spannungssystems
- die Schaltkonfigurationen und die daraus resultierenden Schutzparameter des Netzes
- die Leerlaufspannung der Unterwerke
- die Kennlinien aktiver Komponenten

Die geeignete Auswahl von Maßnahmen ist dabei kundenspezifisch. Siemens Mobility bietet ausführliche Analysen und anschließende Beratungsleistungen zu geeigneten Maßnahmen sowohl für neue als auch bestehende Anlagen an.

Maßgeschneiderte Fahrpläne

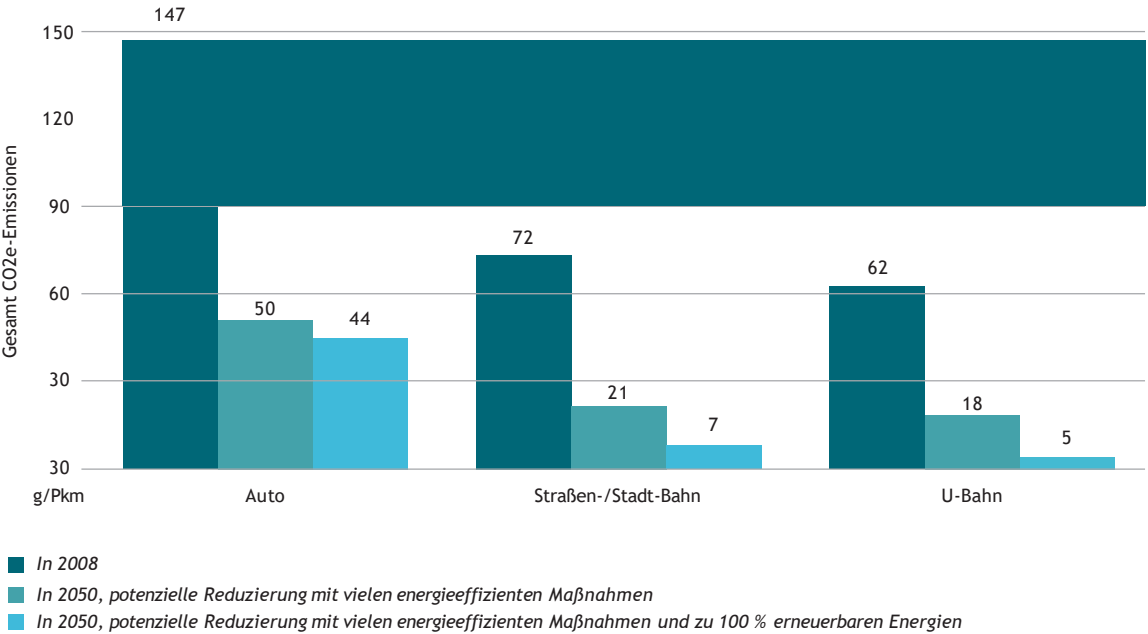
Wesentlichen Einfluss auf die Überlagerung des Leistungs- und Energiebedarfs und damit auf die Energiekosten haben auch der Fahrplan und die Fahrweise der einzelnen Fahrzeuge.

In [4] werden neun generelle Maßnahmen für mehr Energieeffizienz bei Bahnen beschrieben, wobei betriebliche Maßnahmen wie energiespar-ende Fahrweise und Netz-optimierung die größten Einsparungen von bis zu 15 Prozent für Traktions-strom bringen.

Im automatisierten Zusammenspiel der digitalen Lösungen Sitras® Sidytrac und Control-Guide Falko [7] bietet Siemens Mobility die Möglichkeit, Fahr-pläne energetisch optimal zu planen. Dabei werden die verschiedenen Ziele wie Leistungs-spitzen, Gesamtenergieverbrauch und Verlustmi-nimierung kundenspezifisch gewichtet und ein maßgeschneiderter Fahrplan ermittelt.

Mit der Echtzeitanwendung erfolgen Anpassungen des Fahrplans mit dem Ziel einer höheren Energie-effizienz im laufenden Betrieb. So kann das Gesamtsystem auch in Sondersituationen effizient betrieben werden.

Abbildung 6: Spezifische THG-Emissionen von elektrischen Verkehrsmitteln für das Jahr 2050 unter der Annahme der Umsetzung vieler Maßnahmen zur Energieeffizienz, auch mit ökonomischem Risiko aus [4]



Klimaschutz und Klimafreundlichkeit

Neben den vielseitigen ökonomischen Aspekten der Energieeffizienz sind auch die Einflüsse eines Verkehrs-systems auf die Umwelt von hoher Bedeutung. Immer präsenter werden die Effekte von Abwärme und Erdboden-temperaturerhöhung in den Metropolen der Welt. Besonders relevant sind dabei die Fragestellungen zu Langzeiteffekten sowie Aspekten des globalen Klimawandels.

Mit modernen digitalen Produkten schafft Siemens Mobility Transparenz, indem Erwärmungen model-liert und Effekte sichtbar gemacht werden. Darauf aufbauend werden kundenspezifische Lösungen mit verschiedenen geeigneten Komponenten oder Anpassungen der Energieversorgungs-anlage oder der effizienten, zielgerichteten Optimierung des Fahrplans konkret, schnell und zuverlässig vorgeschlagen.

Die individuelle Lösung kann sich an unterschiedli-chen Zielen orientieren. Optimierungsziele könnten zum Beispiel sein: Begrenzung des lokalen Wärmeeintrags in einem klimatisierten Bauwerk, Reduzierung des Gesamtenergiebedarfs oder maximale Nutzung der rückgespeisten Energie.

Auch im Bereich der Emission von Treibhausgasen sind Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen angehalten, Maßnahmen zu ergreifen, um die Luftverunreinigungen zu verringern. Siemens Mobility kann auch dabei beraten. Generell eignen sich elektrische Verkehrssysteme ausgezeichnet für diese Ziele, denn sie haben im Vergleich zu kraftstoffbetriebenen schon heute einen entschei-denden Vorteil, der langfristig sogar noch ausgebaut werden kann, wie Abbildung 6 zeigt.



Friedemann Koop
System Engineer for Traction Power Supply
- System Engineering & Integration



Martin Altmann
Senior Key Expert for System Engineering in
Traction Power Supply - System Engineering
& Integration



KAPITEL 4

Unterstützung bei der optimalen Instandhaltung von elektrischen Bahnanlagen

Wolfgang Braun,
Christoph Hinze

Die Instandhaltung von elektrischen Bahn-anlagen ist die Grundlage für eine hohe Verfügbarkeit sowie einen fehler- und unterbrechungsfreien Betrieb.

Diesbezüglich ist dem stark wachsenden Bedarf nach Mobilität auf der Schiene ohne eine innova-tive Instandhaltung nicht nachzukommen.

Das Erreichen einer hohen Verfügbarkeit des Gesamtsystems hat sich als essenzieller Grundpfeiler moderner Schienenverkehrssysteme herauskristallisiert. Dabei sind die Verfügbarkei-sanforderungen nicht nur in Kundenzufriedenheit und Kostenreduktion begründet, sondern bspw. bei Metrosystemen auch sicherheitsrelevant.

Bei komplexen Systemen kann eine hohe Verfügbarkeit mit konventionellen starren Wartungsintervallen ökonomisch nicht mehr gewährleistet werden. Erschwerend ist im Bereich der elektrischen Bahnenergiever-sorgung die oft fehlende Wartungsmöglichkeit an aktiven Systemkomponenten. Infolgedessen

müssen Wartungsarbeiten zumeist nachts außerhalb des aktiven Betriebs durch-geführt werden.

Selbst dieser Zeitbereich wird aber zunehmend eingeengt durch die stetige Ausweitung des Betriebs.

Zustandsorientierte und vorausschauende Instandhaltung

Die Entwicklung neuer digitaler Technologien ist auf zielgerichtete, vorausschauende Instandhal-tungskonzepte ausgerichtet.

Potenzielle Ausfälle sollen noch vor Eintritt erkannt und behoben werden, indem eine Analyse von Zustandsdaten kritische Stellen im System vorausschauend identifiziert. Im Fehlerfall soll eine zeitige Erkennung und Loka-lisierung des Fehlers die Ausfallzeit maßgeblich reduzieren. Auch eine Senkung der LCC durch die Reduktion der notwendigen Wartungsintervalle sowie des jeweiligen Wartungsaufwands wird durch den Einsatz digitaler Lösungen ermöglicht. Die Grundlage hierfür bilden umfangreiche Anla-genkenntnisse zur Einordnung gewonnener Mess-werte und die Ableitung von Wartungsstrategien.

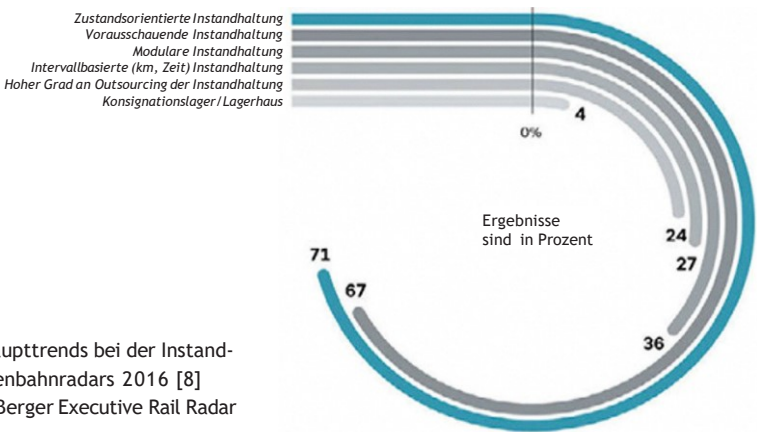


Abbildung 7: Haupttrends bei der Instandhaltung des Eisenbahnradars 2016 [8]
Source: Roland Berger Executive Rail Radar

Im Rahmen der Digitalisierung haben sich in den letzten Jahren zwei Maß-nahmenrichtungen als besonders viel-versprechend zur Optimierung der Wartungstätigkeiten herausgestellt und sind in den Fokus von Bahnbetreibern gerückt, wie bspw. folgende Umfrage unter Managern europäischer Bahnsysteme aufzeigt [8].

1 Eine zustandsorientierte Instandhaltung ermöglicht eine Abkehr von festen Wartungsintervallen hin zu einer zielgerichteten Wartung. Basierend auf der Überwachung von Echtzeitdaten der Systemkomponenten werden Wartungen abhängig vom aktue-llen Zustand einer Komponente durchgeführt. Dies ermöglicht den Austausch des Bauteils zum wirtschaftlichsten Zeitpunkt und damit weitere Kosteneinsparungen.

2 Eine vorausschauende Instandhaltung identifiziert potenzielles Komponentenversagen noch vor Eintritt des Fehlerfalls und ermöglicht den Austausch der zukünftig schadhafte Kompo-nente. Die Wartungsarbeit kann präventiv und ohne Einschränkung des Betriebs durchgeführt werden.

Eine weitere Maßnahme ist die Verbesserung der Lokalisierung von fehlerhaften Systemkomponenten zur Reduzierung der notwendigen Wartungsaufwände. Durch die Eingrenzung des Fehlers kann die Behebung zielgerichtet und schnell erfolgen.

Im Folgenden werden mehrere digitale Technologien vorgestellt, die basierend auf den neuen Instandhaltungskonzepten verschie-dene Subsysteme der Bahnenergieversorgung unterstützen.

Überwachung der Oberleitung

Wichtiger Bestandteil der Stromübertragung zu den Fahrzeugen sind die Oberleitungen bei Stadt- und Vollbahnen. Deren kontinuierlicher Kontakt mit dem Stromabnehmer der Züge ermöglicht eine unterbrechungsfreie Stromversorgung.

Um die Kontaktgüte zwischen Stromabnehmer und Oberleitung sicherzustellen, werden die Längsleiter beweglich - im Idealfall über gewichtsbasierte Nachspannvorrichtungen auf Basis von Radspannern - abgespannt. Das an den Radspannern ausrüstbare Sicat Catenary Monitoring System (Sicat CMS) bietet dafür eine kontinuierliche Überwachung der Radspanner und der an den Radspannern befestigten Oberleitung. Das System überwacht die Position der Radspannerwippe und leitet aus dieser Zustandsinformationen der Oberleitung ab. Dies ist beispielhaft in folgender Abbildung dargestellt.

Neben der Standardausführung gibt es eine sicherheitsqualifizierte Ausführung, die bei Erkennen von gefährlichen Anlagenzuständen binnen Bruchteilen einer Sekunde die Einspeisung abschaltet und die Oberleitung mit der

Rückleitung verbindet. Dieses System ist SIL-2-zertifiziert und dient für Anwendungen in Tunneln, Bahnhöfen, Bahnübergängen usw. Es kann jedoch nicht nur die elektrische Gefährdung bei Fehler-eintritt in der Oberleitung reduziert werden; die Erkennung von Fahrdrahrissen kann hierbei sogar die Schutztechnik unterstützen, da hochohmige Fehlerfälle von den Schutzgeräten nicht immer erkannt werden. Sicat CMS Safe kann daher als neues Schutzsystem für Oberleitungsanlagen angesehen werden.

Die zugehörigen Messwerte werden in Echtzeit an eine zentrale Auswerteeinheit übertragen und dort bewertet. Somit werden frühzeitig unzulässige Abweichungen der lateralen Fahrdrach-Nachspannkraft sichtbar und erlauben eine gezielte zustandsbasierte Wartung. Außerdem lässt sich der Fehlerort präzise eingrenzen.

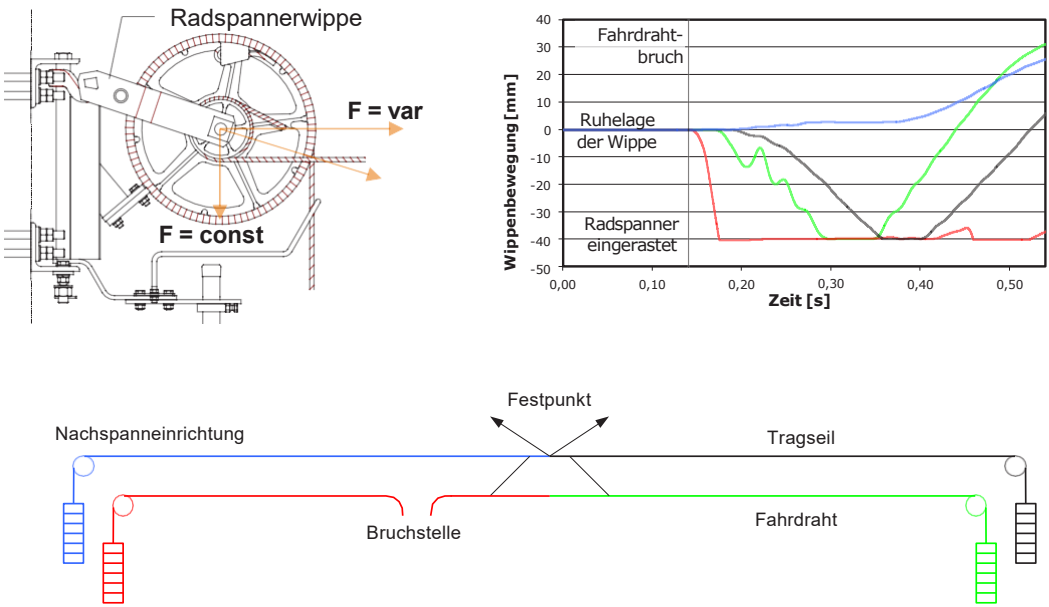


Abbildung 8:
Sicat CMS mit Fahrdrachsriss [9]

Überwachung der Gleisisolierung

Eine gute Längsleitfähigkeit der Schienen ist die Voraussetzung für niedrige Schienenpotenziale und damit die Einhaltung der zulässigen Berührungsspannungen am Gleis. Darüber hinaus sorgt eine gute Gleisisolierung bei Gleichstrombahnen dafür, dass keine Streuströme austreten und die umliegenden Anlagen durch Korrosion gefährden.

Diese Gleisisolierung unterliegt im Laufe ihres betrieblichen Lebens einem kontinuierlichen, jedoch auch punktuellen Verschlechterungsprozess. Wartungsarbeiten am Gleis werden bisher oft nur dann ausgeführt, wenn es offensichtliche, den Fahrbetrieb störende Schäden gibt. Eine Verminderung der Isolationsqualität der Fahrschienen ist nicht von außen erkennbar und nur durch umfangreiche Messungen möglich. Sie erfordern eine Unterbrechung des Betriebes und werden daher nur in zyklischen Abständen von mehreren Jahren durchgeführt.

Mit dem Siemens Streustrom-Monitoring-System (Sitras® SMS) kann eine kontinuierliche Überwachung der Gleisisolierungsqualität durchgeführt

werden, ohne dafür die für andere Wartungsarbeiten wertvollen Betriebspausen zu nutzen oder eine Unterbrechung des Betriebes herbeizuführen. Dabei werden mithilfe von regelmäßig angeordneten Spannungsmesspunkten bei Beginn des Betriebes Referenzwerte gemessen.

Abweichende Spannungspegel am Gleis während des Betriebs deuten auf eine Änderung der Gleis-isolation hin. Das Sitras® SMS gibt dann einen Alarm aus und zeigt dazu an, wo es vermutlich zu einem Schaden oder einer Veränderung der Isolation gekommen ist. Sitras® SMS besteht neben einem üblichen Industrie-PC nur noch aus dem meist ohnehin vorhandenen Kommunikationsnetzwerk der Bahn und einzelnen Spannungsmesspunkten. Diese können bereits als Komponenten von Spannungsbegrenzungseinrichtungen gegeben sein.

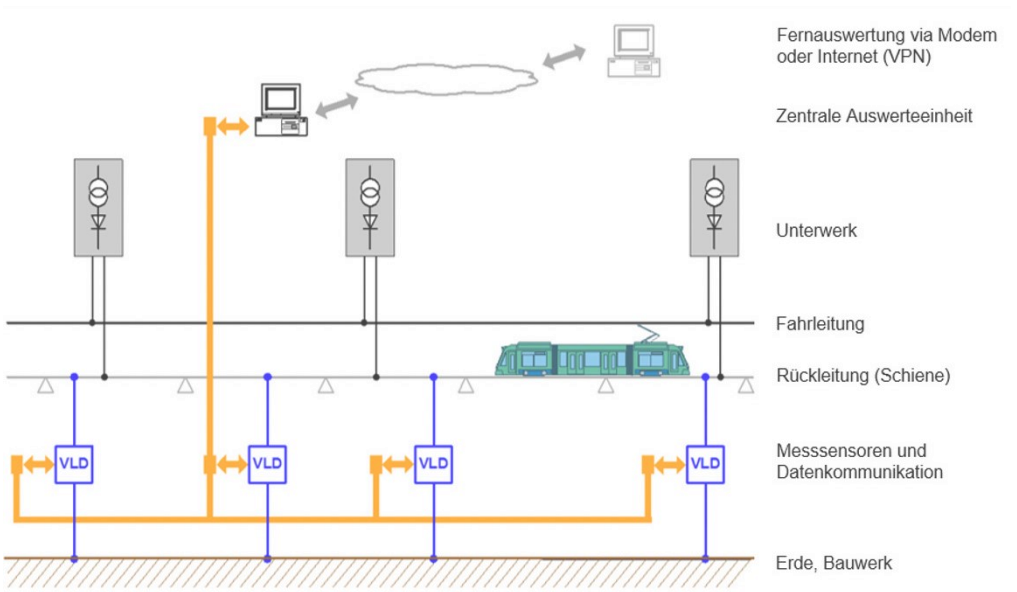


Abbildung 9:
Beispielstrecke mit Sitras® SMS [10]



Während des Betriebes einer Metro kam es zu einem Wassereinbruch in einen Kabel-trog mit Speisekabeln. Die Isolierung der nicht geschirmten Speisekabel war fehler-haft. Es kam zu einem nicht metallischen, aber auch nicht wirklich hochohmigen Fehler. Der Fehlerstrom hat nicht zur Schutzabschaltung ausgereicht. Es gab ein hohes Schienenpotenzial. Die Über-lagerung des Schienenpotenzials durch den Fehler und des betrieblichen Schienenpotenzials führte zu einer Abschaltung des Systems. Die Fehlersuche war schwierig. Das höchste Potenzial tritt nicht notwendigerweise an der Fehlerstelle auf. Der zusätzliche Speisestrom führt nicht notwendigerweise zu einer Schutzauslösung, da sehr viel Auslegungsreserve für Unterwerksausfälle vorhanden ist. Bei langen Linien ist der Rückleiter-Erde-Widerstand recht gering, sodass einige 100 A Fehlerstrom nicht zu extremen Schienenpotenzialen führen. An der Fehlerstelle wird trotzdem erheblich Leistung umgesetzt.“ [11]

Hochohmige Erdfehler erkennen

Wie das vorangegangene Beispiel aufzeigt, können in Bahnenergie-Versorgungssystemen immer wieder Fehler auftreten, welche von der Schutz-technik nicht sicher erkannt und nur mit einem erheblichen Wartungsaufwand behoben werden können. Eine Erweiterung des Sitras® SMS zur Identifizierung und Loka-lisierung von hochohm-igen Isolationsfehlern in Speisekabeln oder sogar Erdschlüssen in DC-Bahnenergieversorgungs-systemen ist mit dem Automatic Fault Locator (Sitras® AFL) gegeben. Der Sitras® AFL überwacht den Schaltzustand und durchfließenden Strom der installierten Spannungsbegrenzungs-einrich-tungen entlang der Strecke. Wiederholt schließende oder dauerhaft geschlossene Span-

nungsbegrenzungs-einrichtungen deuten auf Isolierungsfehler hin. Ein erhöhter Strom zeigt einen Erdschluss auf. Mit einem automatischen Lokalisierungsalgorithmus werden die einzelnen Spannungsbegrenzungs-einrichtungen gezielt angesteuert und der Erdschluss auf den Bereich einer Spannungsbegrenzungseinrichtung einge-grenzt.

Der Sitras® AFL reduziert somit die notwendige Zeit zur Fehlerlokalisierung und -beseitigung erheblich. Er kann bereits im Vorfeld den schlei-chenden Beginn eines solchen Fehlers aufzeigen, sodass dessen Auftreten durch vorzeitige Abschaltung und planbaren Austausch vermieden wird.

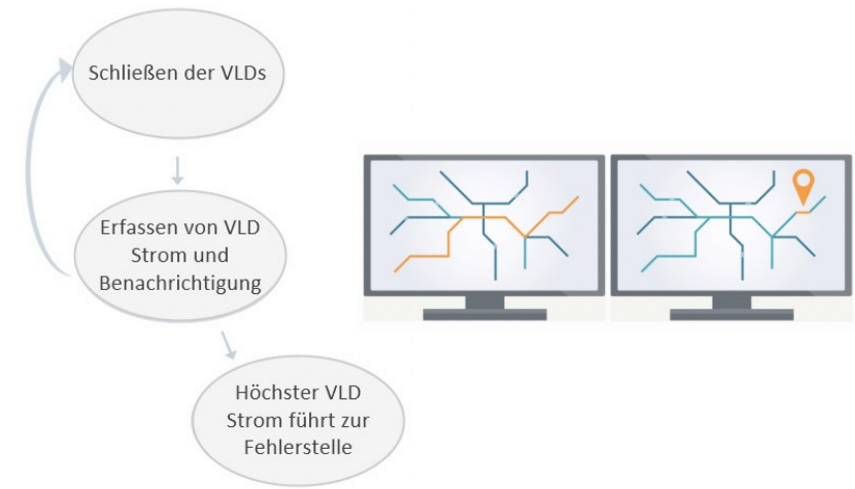


Abbildung 10: schematische Darstellung des Algorithmus von Sitras® AFL [10]

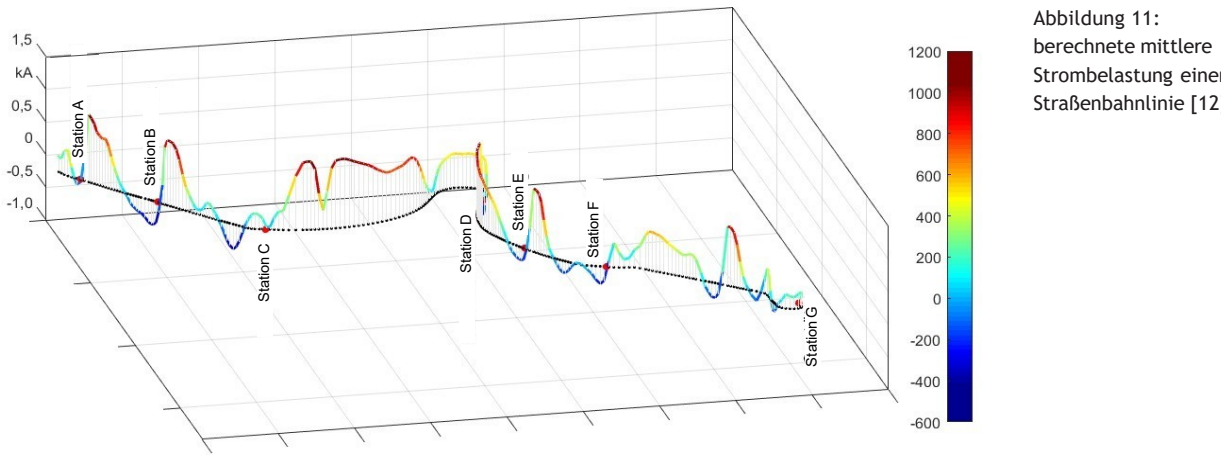


Abbildung 11: berechnete mittlere Strombelastung einer Straßenbahnlinie [12]

Kombinierte Datenauswertung

Sitras® CMS, Sitras® SMS und Sitras® AFL werten die Daten von nur einer System-komponente aus. Die Tendenz geht jedoch zu einem umfassenderen Ansatz mit der Kombination von Echtzeitdaten mehrerer Systemkomponenten.

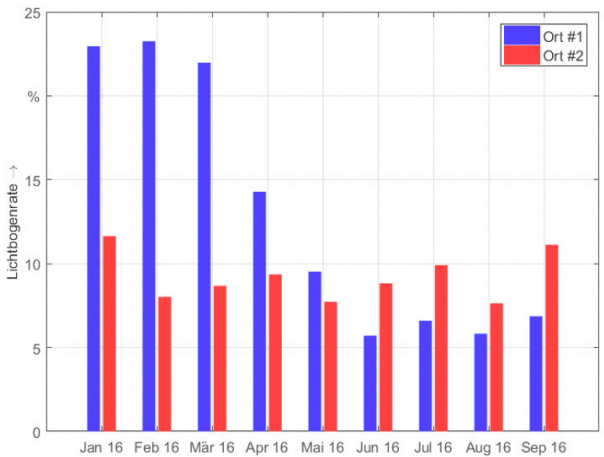
So kombiniert Sicat Georeferenced Catenary Diagnostic (GCD) die Aufzeichnungen von Licht-bögen durch UV-Sensoren auf dem Fahrzeugdach mit einer kontinuierlichen Messung von Strom, Spannung und Geschwindigkeit auf dem Fahrzeug entlang der Fahrstrecke.

Aus den gewonnenen Daten lässt sich nicht nur eine planbare, zustandsorientierte Wartung für Orte mit hoher Lichtbogen-häufigkeit ableiten, sondern auch eine netzweite Analyse der Anlagen-belastung. Die folgende Abbildung zeigt die gemessene mittlere Strombelastung einer Straßen-bahnlinie und verdeutlicht anschaulich Orte mit erhöhter Belastung. Dies ermöglicht dem

Betreiber des Netzes gezielte Instandhaltungs- und Verbesserungsmaßnahmen und unterstützt auch Hersteller mit verschleiß-relevanten Felddaten bei der Produkt-verbesserung [12]. Sind problema-tische Orte im Netz einmal identifiziert und gezielte Instandhaltungsmaßnahmen durchge-führt, ermöglicht die fortlaufende Auswertung der Felddaten auch die Überprüfung der Wirksamkeit von angewandten Maßnahmen. Beispielhaft ist die Lichtbogenrate an Streckentrennern mit Instand-haltungsmaßnahmen (Ort 1, Zeitpunkt der Maßnahme: März) und ohne Instandhaltung-smaßnahmen (Ort 2), aufgezeigt in Abbildung 12.

Eine Überwachung der Spannungshaltung mit abgeleiteten Handlungsempfehlungen komplementiert das System. Somit können prob-lematische Stellen frühzeitig identifiziert und lokalisiert werden. Dies ermöglicht eine gezielte Wartung vor Fehlereintritt und reduziert die notwendige Inspektionsdauer.

Abbildung 12: zeitliche Entwicklung der Licht-bogenrate, mit (Ort 1) und ohne (Ort 2) Instandhal-tung [12]



Kontrollsystem für umfassenden Überblick

Die Integration und Zusammenführung verschiedenster Komponentenüberwachungssysteme erfolgt im Sitras® RailSCADA (RSC). Das innovative Station-Control-System stellt die aufbereiteten Messdaten einzelner Überwachungssysteme anschaulich dar und ermöglicht dem Betreiber sowohl einen Überblick über akuten Handlungsbedarf als auch Langzeitanalysen, um etwa notwendige Wartungsarbeiten zu planen.

Hierbei ist heutzutage eine Vielzahl an Überwachungsmöglichkeiten gegeben. So können die Belastung sowie die Schaltvorgänge von Leistungsschaltern durch Schutzgeräte oder die Temperatur und eine Teilentladungsüberwachung von Transformatoren erfasst werden.

Neben der Überwachung der Primärtechnik findet auch eine automatische Diagnostik der Sekundärtechnik durch integrierte Testroutinen statt. Fehlerhafte Komponenten werden dem Betreiber direkt durch Warnmeldung oder Visualisierung in einer Systemübersicht vermittelt. Damit soll ein schnelles Beheben von Fehlersituationen ebenso gewährleistet werden wie eine zustandsorientierte Wartung. Neben den digitalen Technologien werden auch in anderen Bereichen kontinuierlich Maßnahmen für eine Optimierung der Wartung integriert. Hier ist beispielhaft die hohe Modularisierung von Systemen und Strukturen zu nennen, welche die Austauschbarkeit einzelner Komponenten erhöht und somit den Wartungsaufwand reduziert.



Wolfgang Braun
Senior Key Expert for Traction Power Supply and Earthing
& Bonding - System Engineering & Integration



Christoph Hinze
System Engineer for Traction Power Supply
- System Engineering & Integration

Literaturverzeichnis

- 1 R. U. o. t. U. Secretariat, “Statistic Brief - The global tram and light rail landscape”, UITP, Brussels, 2019.
- 2 R. U. o. t. U. Secretariat, “Statistics Brief: Light rail and tram - the European outlook”, UITP, Brussels, 2019.
- 3 U. O. o. A. Metros, “Statistics Brief: World metro figures”, UITP, Brussels, 2018.
- 4 Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, Unit UI 41 - Energy and Climate Protection, Construction and Transport, Invalidenstraße 44, 10115 Berlin, Germany, “Increasing the share of renewable energy and increasing energy efficiency in public transport”, 2014.
- 5 “Climate-neutral energy for the Swiss railways”, Electric railways - electrical engineering in transport, pp. 110-111, 2-3 2020.
- 6 Siemens Mobility GmbH, “Simulation for Railway Electrification” [Online]. Available: <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/bahnelektrifizierung/beratungplanung.html#Simulation>.
- 7 Siemens Mobility GmbH, “Controlguide Falko - Planning System” [Online]. Available: <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/bahnautomatisierung/betriebsleittechnik/verteilung-planung-disposition.html>.
- 8 Roland Berger GmbH, “Executive Rail Radar 2016”, 2016.
- 9 Siemens Mobility GmbH, Sicat CMS - Catenary Monitoring System for overhead contact lines, Siemens AG, 2016.
- 10 Siemens Mobility GmbH, Sitras AFL - Automatic Fault Locator, 2019.
- 11 T. Greif, “Safe detection of faulty food sections with VLD”, Electric railways - electrical engineering in transport, pp. 66 - 71, 02-03 2020.
- 12 S. Terfloth, “Cating line maintenance through continuous on-board arc detection”, in Punktforum Fahrleitungsanlage 2018, Dresden, 2018.

Siemens Mobility GmbH

Otto-Hahn-Ring 6
81739 München
Deutschland

electrification.mobility@siemens.com

www.siemens.de/bahnelektrifizierung

© Siemens 2021

Sitras® SMS, Sitras® Sidytrac Live, Sitras® Sidytrac Designer, Sitras® AFL sind eingetragene Marke der Siemens AG. Jede nicht autorisierte Verwendung ist unzulässig. Alle anderen Bezeichnungen in diesem Dokument können Marken sein, deren Verwendung durch Dritte für ihre eigenen Zwecke die Rechte des Eigentümers verletzen kann.

Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.

