

Willem Ebersöhn / Conrad J. Ruppert

Erstellung einer Gleisdatenbank und eines Instandhaltungssystems unter Verwendung von GPS-, LiDAR- und Video-Technologien

In den vergangenen acht Jahren haben Amtrak, das Institut für Eisenbahntechnik der Universität Pretoria und Spoornet zusammengearbeitet, um die Grundsätze eines Instandhaltungsmanagements für Bahnanlagen zu erstellen. Der vorliegende Artikel enthält eine kurze Zusammenfassung dieser Philosophien sowie die Beschreibung des Managementsystems für die Instandhaltung der Anlagen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Eisenbahntechnik hat Amtrak ein Managementsystem für die Instandhaltung (AMMTRACK®) entwickelt, das auf einer Hochgeschwindigkeits-Hauptstrecke, dem Northeast Corridor (NEC), zum Einsatz kommt. Das vorliegende System besteht aus einer Anlagendatenbank, die mit Instandhaltungsdaten verknüpft ist und die entsprechenden Informationen graphisch und in integrierter Form aufbereitet. Diese Anlagendatenbank wurde mit Hilfe von GPS-, LiDAR- und Video-Technologien mit Informationen

versorgt. Aufgrund der Forderung nach höheren Geschwindigkeiten, besserem Service sowie der ständig kleiner werdenden Budgets sieht sich Amtrak neuen technischen Herausforderungen gegenüber. Diese Herausforderungen bedingen die Entwicklung eines zuverlässigeren, sichereren und kostengünstigeren Schienentransportangebotes.

Im Hinblick auf die Infrastruktur ist allgemein bekannt, dass die aktuellen Instandhaltungsansätze nicht optimal sind und das volle Potential der vorhandenen Streckenkapazität nicht ausgeschöpft wird. Die beste Möglichkeit zur Verbesse-

rung der Transportzuverlässigkeit und zur Verringerung der Kosten ist ein besseres Management der bestehenden Infrastruktur. Dies ist nur durch ein umfassendes Infrastruktur-Informationssystem möglich, welches Manager ebenso wie Techniker bei ihren Entscheidungsfindungsprozessen unterstützt.

Amtraks aktuelles AMM Informationssystem bietet Managern und Technikern im Eisenbahnbereich einen vollständigen Überblick über die Gleiskonfiguration, über die Gleiszustände, sowie Berichte über durchgeführte Instandhaltungsarbeiten. Das System bietet dem Anwender die Möglichkeit, den Zustand des Schienennetzes visuell zu überprüfen und den Erfolg essentieller Maßnahmen zu messen. Mit Hilfe der von AMM zur Verfügung gestellten Informationen können die Streckenmanager die zur Verfügung stehenden Ressourcen zur richtigen Zeit an der richtigen Stelle einsetzen.

Das AMM Informationssystem wird ständig weiterentwickelt. In seiner nächsten Phase wird das Projekt jenen Amtrak-Entscheidungsträgern, die für die Infrastruktur verantwortlich sind, eine umfassende, einheitliche Datengruppe mit Informationen über die Zustände der Infrastruktur sowie die zur Bearbeitung dieser Datengruppe nötigen Werkzeuge zur Verfügung stellen. Das System wird einen einfachen, positionsorientierten Zugang (geographisch und linear) zu sämtlichen Informationen bieten. Das System dient im Besonderen dazu, wichtige Informationen über den Zustand der Anlagen für Entscheidungen in den Bereichen Technik, Betrieb und Finanzen zur Verfügung zu stellen.

Für den technischen Bereich bietet das System sämtliche Informationen, die zur Beurteilung und Planung der Infrastruktur sowie für Verbesserungen und Erweiterungen der Einrichtungen erforderlich sind. Dies führt zu direkten Einsparungen sowohl bei Instandhaltungs- als auch bei Investitionsausgaben. Darüber hinaus führt die Möglichkeit der Koordinierung von Instandhaltungsaktivitäten in verschiedenen Bereichen zu einer Verringerung der Gleissperrungen, was wiederum weniger Betriebsunterbrechungen zur Folge hat. Das System bietet sämtliche In-

formationen an, die zur Beurteilung der Infrastrukturleistung sowie zur Trendanalyse für die Planung und Budgetierung von Instandhaltungsaufgaben erforderlich sind. Wenngleich es ursprünglich nur im aktuellen Amtrak-Betrieb implementiert wird, kann dieses System doch auch bei anderen Hochgeschwindigkeitsstrecken angewendet werden.

Die im System vorhandenen Informationen können als eine Art „Archiv“ für Informationen über das Streckennetz betrachtet werden, die auch von den Betriebs- und Finanzabteilungen von Amtrak verwendet werden können. Vom betrieblichen Standpunkt her stellt das System eine umfassende Quelle für präzise und stets aktuelle Layout-Informationen über das Streckennetz inklusive umfassender Betriebsattribute dar, die für die Serviceplanung und das Betriebsmanagement nutzbar sind. Vom Standpunkt der Finanzgebarung bietet das System Informationen über Vermögenserträge, Ausgabenverwaltung und Abschreibung.

Die strategische Absicht des Systems besteht darin, einheitliche Informationen aus einer einzigen Quelle anzubieten, welche Amtrak dabei unterstützen, Abläufe und Vorgänge zu optimieren und somit die Wartungs- und Betriebskosten zu verringern. Die Implementierung eines derart umfassenden Infrastrukturinformationssystems führt zu direkten Einsparungen aufgrund eines effektiveren Managements und erhöhter Transportkapazität bei verbesserter Zuverlässigkeit der angebotenen Dienste.

Der erste Schritt bei der Einrichtung einer Infrastrukturdatenbank besteht in der Erstellung eines vollständigen Verzeichnisses aller Elemente der Infrastruktur des Eisenbahnunternehmens sowie in der Aufzeichnung ihrer geographischen Positionen. Im allgemeinen verfügen Eisenbahnunternehmen über eine Reihe von Zustandsplänen sowie über Pläne des Schienennetzes, der Sicherungseinrichtungen und elektrische Schaltdiagramme. Das Aktualisieren dieser Diagramme erfolgt im allgemeinen auf einer „Ad-hoc“-Basis. Die Erfahrungen der Autoren, welche eng mit Amtrak, Spoornet und anderen Eisenbahnunternehmen zusammenarbeiten, haben gezeigt, dass das Aktualisieren von Plänen

Die Autoren

Dr. Willem Ebersöhn, bis zum Jahr 2000 Professor an der Universität Pretoria, ist Program Director – Engineering Systems, Philadelphia/USA und Ing. Conrad J. Ruppert, Jr. Division-Engineer – New England, Boston/USA, beide AMTRAK

Der Beitrag basiert auf Vorträgen, die von Ing. C.J. Ruppert bei der ÖVG-Tagung in Salzburg und von Dr. W. Ebersöhn bei der Oberbaufachtagung des VDEI in Frankfurt/M in Englisch gehalten und im Auftrag von Plasser & Theurer, Wien, ins Deutsche übersetzt wurden.

und Diagrammen aufgrund des allgemeinen Downsizing-Trends häufig vernachlässigt wird. In der Folge sind Diskrepanzen, fehlende Infrastrukturdaten und falsche Lageinformationen eher die Regel als die Ausnahme. Die meisten Eisenbahnunternehmen besitzen auch Infrastrukturbewertungspläne und topographische Pläne. Diese Pläne, welche die Infrastruktur zum Zeitpunkt der Konstruktion zeigen, werden nicht immer regelmäßig aktualisiert und sind daher nicht immer vollständig.

Aufgrund der Ungenauigkeit der früheren Einträge wurde die Entscheidung getroffen, Amtraks Nordost-Korridor sowie die 3646 km des Spornet-Hauptnetzes zu vermessen. Zur Erstellung der Infrastruktur-Datenbank wurde die Vermessung mittels eines integrierten Global Positioning Systems (GPS) mit hochdichtem, lichtlaserbetriebenem Radar (LiDAR, Light Detecting and Ranging) und einem Videosystem durchgeführt. Das integrierte Vermessungssystem wird als GPS & LiDAR-System bezeichnet. Dieser Beitrag beschreibt hauptsächlich die allgemeinen Anforderungen des Gleisanlagenverwaltungssystems, weist auf die Datengewinnung mit Hilfe der GPS- und LiDAR-Vermessung hin, und er bietet praktische Beispiele, wie die Informationen von Verwaltungsmanagern und Eisenbahntechnikern nutzbringend verwendet werden können.

Ablauf des Instandhaltungsmanagements

Im „Leben“ einer Eisenbahnstrecke gibt es vier Hauptphasen, die wir als generelle Planung, Detailplanung, Erstellung und betriebliche Nutzung mit Instandhaltung bezeichnen. Jede dieser Phasen hat wichtige, aber wechselnde Einflüsse auf die Nutzungsdauer der festen Infrastruktur und derer Komponenten. Bis zu 70 Prozent der gesamten, lebenslangen Kosten der Einrichtungen fallen für Instandhaltungsaufgaben an. Somit dient das System in erster Linie dazu, die Instandhaltungsarbeiten zu optimieren. Ein typischer Instandhaltungszyklus besteht im allgemeinen aus den folgenden Schritten:

1. Instandhaltungsbedarf bestimmen:

- Aktuelle Betriebsanforderungen definieren,
- Zustand durch Inspektionen und Tests beurteilen,
- Problembereiche erkennen,
- die „grundlegenden Ursachen“ für Verschlechterungen und Störfälle erforschen,
- leistungsmodellierende Techniken verwenden, um zukünftige Bedingungen vorherzusagen und

- Instandhaltungsbedarf des Systems analysieren, um die Betriebsziele zu erreichen.

2. Bestimmen, welche Aufgaben (Projekte) wirtschaftlich zu rechtfertigen sind.
3. Arbeit planen, um sicherzustellen, dass die erforderlichen Ressourcen verfügbar sind.
4. Aktivitäten planen, um die Produktivität zu maximieren und Serviceunterbrechungen zu minimieren.
5. Aufgaben zuteilen.
6. Arbeitsplan ausführen.
7. Rückmeldungen (Feedback) einfordern, um:

- die Qualität der durchgeführten Arbeiten zu beurteilen,
- den Erfolg zu messen und
- die Arbeitshistorie zu aktualisieren.

Schritt 1 ist typischerweise eher technischer Natur und erfordert technische Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Eisenbahnbetrieb, während die verbleibenden Schritte eher als Managementaufgaben gesehen werden können, wozu die Planung und Steuerung aller Aktivitäten gehört.

Instandhaltungsmanagement-System

Das Ausführen der Schritte des oben beschriebenen Instandhaltungsmanagement-Zyklus erfordert umfangreiche Kenntnisse komplexer Wechselwirkungen. Dazu gehören die Beziehung zwischen den Bedingungen der Infrastruktur und ihrer dynamischen Leistung; die Auswirkungen der Sanierung, Erneuerung und Aktualisierung von Systemeingaben und der Komponentenleistung; sowie die dynamischen Effekte der Geschwindigkeit, des Gewichts und des Vortriebs der Fahrzeuge auf die Infrastruktur. Der Zyklus der Ausführung von Zustandsmessungen, Leistungsbeurteilungen und Analysen sowie das Erstellen konsistenter Arbeitspläne für zahlreiche Abschnitte des Schienennetzes mehrmals pro Jahr verlangt die Verarbeitung großer Datenmengen aus Zustandsmessungen, Verkehrsaufzeichnungen, Kosteninformationen, Anlageninventardaten und der Instandhaltungshistorie. Das einfache Handhaben und Speichern dieser Datenmengen wird zu einer beängstigend umfangreichen Aufgabe. Der nächste Schritt der eigentlichen Verwendung dieser Informationen zur wirkungsvollen Verwaltung der Instandhaltungsaufgaben für die Schieneninfrastruktur erfordert demnach die Gestaltung eines Systems zur Verwaltung der Instandhaltungsinformationen.

In seiner grundlegendsten Form dient ein Instandhaltungsmanagement-System dazu, Instandhaltungsdaten zu sammeln, zueinander in Beziehung zu bringen und

darzustellen. Auf diese Weise stellt es ein Analysewerkzeug für den Streckenmanager dar. Ein gut geplantes Instandhaltungsmanagementsystem führt die folgenden Aufgaben aus:

- es verknüpft die Verwaltung der Instandhaltungsarbeiten, die an verschiedenen Teilen der Schienen-Infrastruktur durchgeführt werden,
- es stellt sicher, dass alle Managementebenen konsistente Instandhaltungsentscheidungen auf der Grundlage gemeinsamer Informationen treffen können,
- es erleichtert die Planung und Koordination von Instandhaltungsaktivitäten in allen technischen Bereichen,
- es verringert die Instandhaltungskosten durch optimierte Verwendung der Ressourcen,
- es ermöglicht rechtzeitige Rückmeldungen über die Folgen von Instandhaltungsentscheidungen und
- es erweitert den Umfang des Instandhaltungsmanagements auf andere Geschäftsprozesse des Unternehmens.

Während die Notwendigkeit der oben genannten Punkte sehr offensichtlich zu sein scheint, liegt die eigentliche Herausforderung in der Implementierung des Systems innerhalb eines operierenden Eisenbahnbetriebs und in der „Zulieferung“ und Unterstützung von allen Gruppen, welche Abschnitte des Systems verwenden und warten werden.

Komponenten der Bahnanlageninformationen und ihre Beziehungen zueinander

Schlussendlich wird das AMM Informationssystem sämtliche Komponenten der Bahnanlageninformationen, die zur Verwaltung der Anlagegüter-Infrastruktur benötigt werden, in einem einheitlichen Datenbankverwaltungssystem (DBMS) ablegen. Die wichtigsten Elemente des Systems sind:

- LAYOUT (Linienführung, Kapazitäten) des Schienennetzes mit präzisen Definitionen des Wertes und der geographischen Lage der Komponenten, beschreibenden Attributen sowie Beziehungen innerhalb des Netzes zueinander.
- ZUSTAND der festen Infrastruktur-Anlagen; diese Informationen werden aus verschiedenen Messungen, Tests, Inspektionen und Störungsprotokollen gewonnen.
- Genaue Beschreibung der ARBEITEN, die zur Wartung der Bahnanlagen erforderlich sind, im Hinblick auf die Historie und die Qualität der durchgeführten Arbeiten bis zum aktuellen Datum sowie für zukünftig erforderliche Arbeiten.

- **VERWENDUNG** der Eisenbahnen hinsichtlich des Zugbetriebs zur Bestimmung der kumulativen Höchstlast über das Streckennetz. Der Verkehr wird auch im Vergleich zur zulässigen Belastung und Geschwindigkeit gemessen, um Kapazität, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Netzes zu bestimmen.
- **FINANZEN**, die zur Sicherstellung eines profitablen Betriebs benötigt werden, gemessen im Hinblick auf Erträge und Ausgaben. Diese Datengruppe wird auch verwendet, um den Buchwert bzw. die Abschreibung der Bahnanlagen, den Grad der Kapitalisierung und den baulichen Zustand zu bestimmen.

Die Beziehungen zwischen den einzelnen Informationen, die zur Verwaltung der Bahnanlagen benötigt werden, sind in Abb. 1 dargestellt. Diese Beziehungen untereinander bilden die Basis des AMM-Systems, und alle Bahnanlagen-Informationskomponenten werden basierend auf den geographischen Positionen der einzelnen Bahnanlagen aufgezeichnet. Daher stehen alle Informationen über die Anlagenpositionen zueinander in Beziehung. Einige der wesentlichen Beziehungen sind z.B.:

Da die Züge, die in einem Gleisnetz eingesetzt werden, den größten Anteil am Ertrag einer Eisenbahn erwirtschaften, bildet die **Linienführung** die Grundlage für die Durchführung der geschäftlichen Abläufe. Der **Zustand** der Infrastruktur hinsichtlich der Leistungsfähigkeit wird primär von der Intensität der Nutzung durch Züge beeinflusst; er beschränkt und regelt somit die Nutzung der Anlagen. Die Bestimmung des Zustands und der Leistung der Anlagen ist eine außerordentlich herausfordernde technische Aufgabe, für deren Bewältigung aufgrund der kontinuierlichen Zustandsmessungen die größte Datenmenge benötigt wird.

Aufgrund der Verschlechterung des Zustandes der Anlagen als Ergebnis ihrer Verwendung und der Einwirkung von Umwelteinflüssen wird **Arbeit** benötigt,

um die Zuverlässigkeit des Betriebs auf einem akzeptablen Standard zu halten. Daher sind **Arbeit** und **Zustand** voneinander abhängig. Die Ausführung der Arbeiten erfordert die Aufwendung finanzieller Ressourcen und wird von der Verfügbarkeit dieser oft knappen Ressourcen gesteuert.

Die **Verwendung** des Gleisnetzes durch den Transport von Personen und Gütern bestimmt den finanziellen Status des Eisenbahnunternehmens. Der Zugverkehr stellt die primäre Einnahmequelle für das Unternehmen dar. Sie bestimmt auch die Geschwindigkeit, mit der sich der Zustand der Anlagen verschlechtert, was wiederum die Häufigkeit der Instandhaltungsaktivitäten erhöht.

Der aktuelle bauliche **Zustand** beeinflusst die **Finanzen** eines Unternehmens, da er ein Faktor ist, der entweder eine Steigerung der Generierung von Einkünften durch den Zugverkehr ermöglicht, oder diese beschränkt. Im Falle von Amtrak ist die Verfügbarkeit von Kapital für Investitionen in die Infrastruktur und den Fahrzeugpark ebenfalls ein wichtiger Bestimmungsfaktor für den Betrieb und die Verfügbarkeit des Systems zur Erreichung von Betriebszielen.

Ebenso wie bei der Feststellung des physischen Zustands können auch Finanzinformationen auf täglicher bis jährlicher Basis gesammelt werden. Für eine optimale Verwendung des Systems sollten diese Informationen mit der geographischen Anordnung oder Position des Gleisnetzes in Zusammenhang gebracht werden. Die Präzision und zeitliche Exaktheit der finanziellen Informationen stellen wesentliche Elemente für den gesamten Entscheidungsfindungsprozess im Bereich der Instandhaltung dar.

Werkzeuge für das Instandhaltungsmanagement

Die Erstellung und Verwendung des AMM

Informationssystem für die Entscheidungsfindung erfordert das Vorhandensein der in Abb. 2 dargestellten Geschäftsprozesse.

Vermessung und Sammlung von Daten ist eine fortwährende Aufgabe, die notwendig ist, um Aufzeichnungen stets aktuell zu halten und sicherzustellen, dass der Zustand der Anlagen den festgesetzten Standards entspricht. Primär dient dies dazu, die Linienführung auf dem aktuellsten Stand zu halten, indem Änderungen an den Infrastrukturanlagen und den einzelnen Komponenten überwacht und fortlaufende Zustandsmessungen und Inspektionen durchgeführt werden.

Aufzeichnungen bezüglich der vorgenommenen Arbeiten liegen im allgemeinen in den Finanz- und Technikabteilungen vor. Darin sind meistens auch die Materialien und Geräte angeführt, mit denen die Wartungsarbeiten durchgeführt wurden, sowie die Kosten für die erbrachten Arbeiten. In den Betriebs- und Finanzabteilungen werden Aufzeichnungen über den Schienenverkehr sowie über die erzielten Einkünfte geführt, welche die Verwendung der Anlagen definieren.

Kernstück des Systems bildet die Anlagen-Datenbank, die einen hohen Grad an Integrität besitzen muss, weswegen sämtliche Informationen validiert werden müssen. Alle Änderungen an den Informationen müssen mit Merkmalen kontrolliert werden, die eine Überprüfung der Änderungen ermöglichen.

Aufgrund der Vielzahl der involvierten Datengruppen und der verschiedenen Datenquellen ist es unbedingt erforderlich, die Daten grafisch zu visualisieren, um zusammenhängende Informationen für die Entscheidungsfindung zu betrachten und den Inhalt der Datenbank verifizieren zu können.

Die AMM® Datenbank

Das AMM®-System setzt auf einer Datenbank auf, welche die Echtwelt-Darstellung

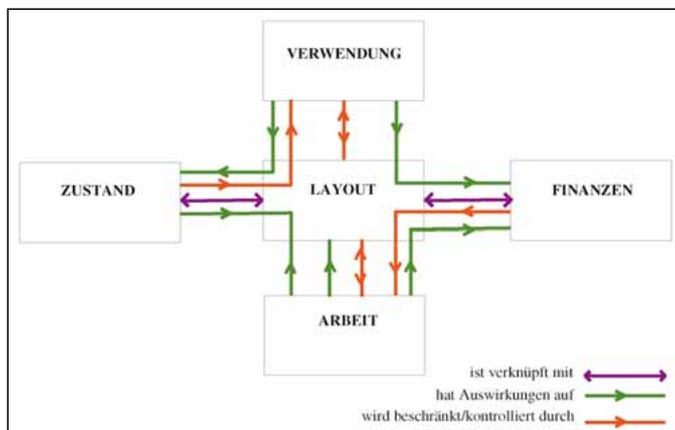


Abb. 1: Beziehungen zwischen den einzelnen Informationen, die zur Verwaltung der Bahnanlagen benötigt werden

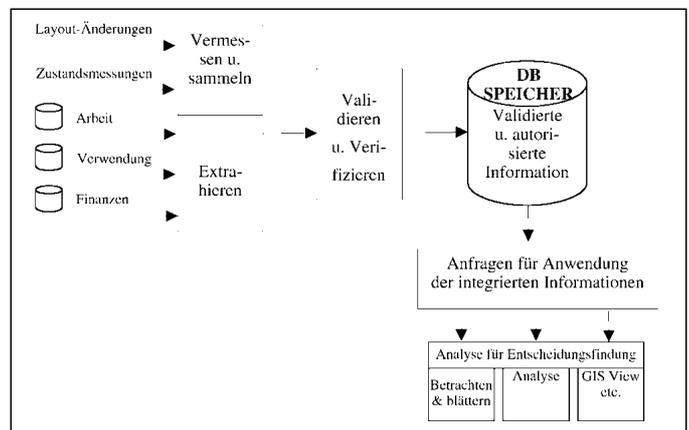


Abb. 2: Geschäftsprozesse für die Erstellung und Verwendung des AMM-Informationssystems

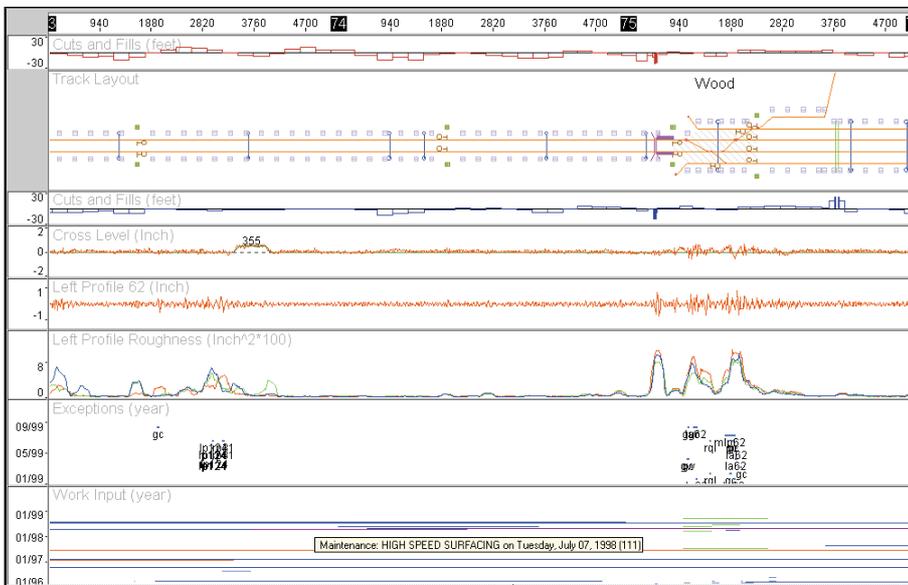


Abb. 3: Beispiel der visuellen Darstellung der Instandhaltungsmanagementdaten

der Eisenbahnlinien und die Anlagenelemente im Bahngelände modelliert. Viele Datenquellen sind entweder zur Zeit miteinander verknüpft oder werden in der Zukunft bei einer Weiterentwicklung des Systems miteinander verknüpft werden. Die Datenbank verwaltet die Stationierungen (Meilensäule + Distanz / km + m) und Koordinaten (x, y, z oder geographische Breite, Länge, Höhe) aller gespeicherten Informationen mit Zentimeterauflösung. Die Gleise, Signalschaltungen und elektrischen Schaltkreise werden als logisches

Netzwerk dargestellt. Anlagen am Streckenrand entlang des Bahngeländes werden als Merkmale dargestellt, die eine Position in der Form eines einzelnen Punktes, einer Reihe von Punkten (Polylinie) oder eines Bereiches (Polygon) besitzen können. Anlagen besitzen eine logische Beziehung zueinander und zu den Netzen. Da das Datenbank-Design auf der Echtweltdarstellung basiert, ist es vom System, welches es nutzt, entkoppelt und daher:

- weniger anfällig für Änderungen in der Geschäftslogik,

- leicht erweiterbar, um zusätzliche Datentypen zu unterstützen, während der Einfluss auf bestehende Anwender beschränkt bleibt,
- erweiterbar, um zusätzliche Informationssysteme (z.B. Fahrzeugverfolgung, positive Zugsteuerung, Immobilienverwaltung) zu unterstützen.

Arbeitsapplikationen der AMM®-Datenbank

Das Betrachtungssystem (Browser) erzeugt einen hypergrafischen Link, um die verschiedenen Datengruppen aus der Datenbank in einzelnen Fenstern darzustellen. Die Fenster werden vertikal angeordnet, um Trends besser studieren zu können. Diese Ansichten sind lineare Darstellungen der Gleisführung, des Gleiszustands und der geleisteten Arbeit. Ein typisches Beispiel einer Darstellung des Amtrak AMM Betrachtungssystems der Linienführung mit Zustandsmessung und Arbeitsmessung ist in Abb. 3 dargestellt. Die einfache visuelle Darstellung der Instandhaltungsmanagementdaten zeigt klar erkennbar einen Problembereich an der Überleitstelle „Wood“ auf. Die Zustandsmaße zeigen wiederholte Geometrieabweichungen, Nichteinhaltung von Standards sowie einen Bereich mit hohen Wartungsarbeiten.

Während der Schwerpunkt im vorhergehenden Beispiel auf dem Gleiszustand lag, können auch Anlagen aus dem Bereich der Elektrifizierung und der Signalgebung zusammen mit relevanten Elektrifizierungs- und Signalatengruppen in der selben linearen Art und Weise dargestellt werden. Abb. 4 zeigt eine geographische Ansicht von Anlagenelementen über etwa eine Meile der Northeast Corridor-Strecke nördlich von Philadelphia. Aus diesen Informationen werden der Gleisplan sowie die Diagramme für die elektrischen Schaltungen und Oberleitungsanspeisung automatisch erzeugt. Derzeit gibt es noch keine Zustandsmaße, Testergebnisse, Störprotokolle und Arbeitseingaben für diese Systeme.

Erstellen der Anlagendatenbank mit Hilfe der GPS & LiDAR-Abbildungstechnologie

Der erste Schritt bei der Erstellung einer Infrastrukturdatenbank besteht in der Erstellung eines vollständigen Verzeichnisses aller Infrastruktureinrichtungen des Eisenbahnunternehmens, sowie in der Aufzeichnung ihrer geographischen Positionen. Im allgemeinen verfügen Eisenbahnbetriebe über eine Reihe von Zustandsplänen sowie über Schienennetzdiagramme, Diagramme der Gleisstrom-

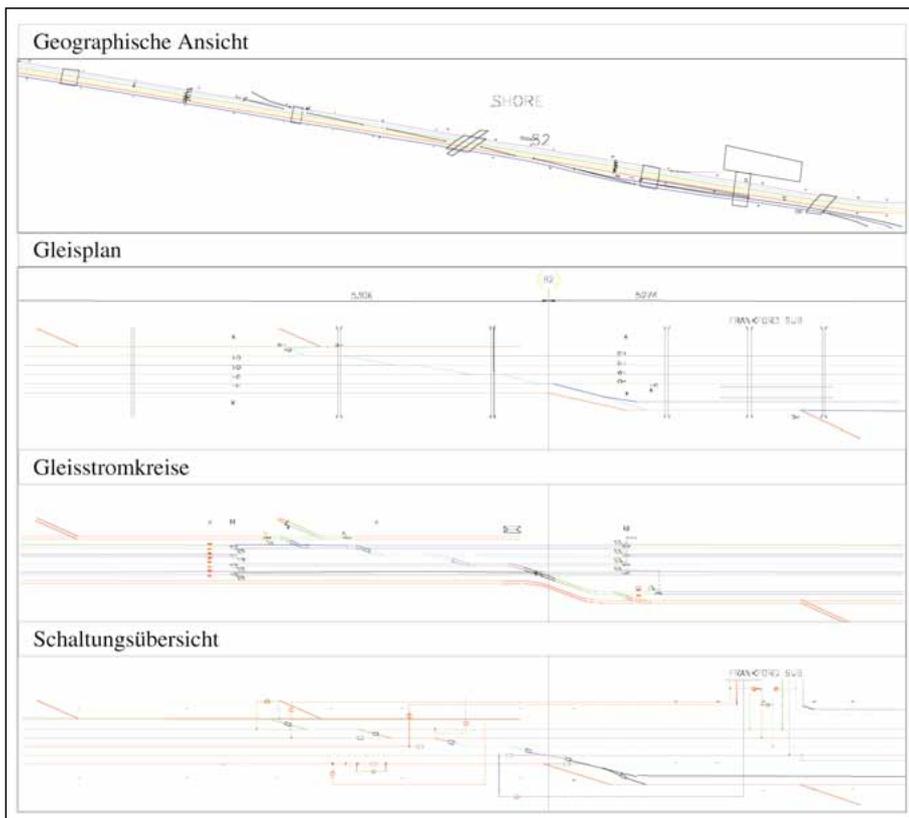


Abb. 4: Geographische Ansicht von Anlagenelementen über ca. eine Meile der Northeast Corridor-Strecke nördlich von Philadelphia

kreise und elektrische Schaltdiagramme für die Oberleitungen. Wie im vorhergehenden Abschnitt angemerkt, handelt es sich bei diesen Diagrammen um eine Darstellung der unbeweglichen Infrastruktur entlang des Bahngeländes basierend auf einer Stationierung (Meilen + Fuß /km + m). Das Zeichnen der Karten erfolgt typischerweise dadurch, dass die Strecke mit einem Entfernungsmessgerät abgegangen wird, wobei die Entfernung entlang einer Basisschiene von der nächsten Kilometer säule gemessen wird, und der vertikale Abstand zu jeder Komponente im Bahngelände von der Basisschiene aufgezeichnet wird. Das Aktualisieren dieser Diagramme erfolgt im allgemeinen auf einer Ad-hoc-Basis.

Die Erfahrung der Autoren, welche eng mit Amtrak, Spoornet und anderen Eisenbahnbetrieben zusammenarbeiten, hat gezeigt, dass das Aktualisieren von Plänen und Diagrammen aufgrund des allgemeinen Downsizing-Trends häufig vernachlässigt wird. In der Folge sind Diskrepanzen, fehlende Infrastrukturkomponenten und falsche Positionsinformationen eher die Regel als die Ausnahme. Die meisten Eisenbahnbetriebe besitzen auch Bahnanlagenbewertungspläne und topographische Pläne. Diese Pläne, welche Anlagen zum Zeitpunkt der Konstruktion zeigen, werden nicht immer regelmäßig aktualisiert und sind daher nicht immer vollständig. Aufgrund der Ungenauigkeiten der historischen Aufzeichnungen wurde die Entscheidung getroffen, das Schienennetz mit Hilfe eines integrierten Kartographierungssystems neu zu vermessen. Dieses Kartographierungssystem besteht aus globalen Posi-

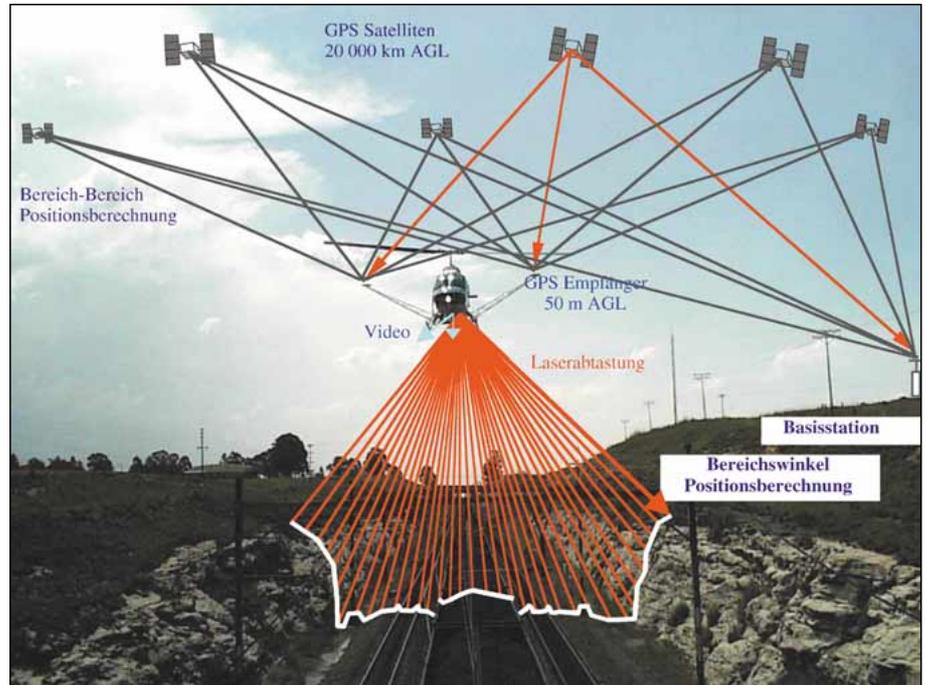


Abb. 5: Grafische Darstellung des FLI-MAP® Systems

nierungsempfängern, einem Trägheitslenkungs-gyroskop, einem hochdichten Lichterkennungs- und Entfernungsmessgerät (LiDAR = Lichtlaserbetriebenes Radar) und hochauflösenden Videokameras. Die Vermessungsergebnisse wurden danach mit einer Nachbehandlungssoftware für die Erstellung der Infrastrukturdatenbank verwendet.

Prozessübersicht

Ein Helikopter überfliegt den zu vermessenden Korridor und sammelt dabei präzise GPS-Messdaten, Lagedaten, Laser-

Entfernungsdaten und Bildmaterial. Der LiDAR-Sensor tastet das Terrain und die Objekte direkt unter dem Helikopter mit einer Rate von 10.000 Punkten pro Sekunde ab. Die Abtastbreite beträgt das 1,15-fache der Helikopterhöhe über dem Boden. Das Terrain direkt unterhalb des Helikopters sowie vor dem Helikopter wird mit hochauflösenden Videokameras aufgenommen und mit einem digitalen Zeitstempel gespeichert.

John E. Chance & Associates, Mitglied der Fugro Firmengruppe, wurde von Amtrak beauftragt, eine GPS & LiDAR-Vermessung durchzuführen. Das System

trägt die Bezeichnung FLI-MAP® 1. Spooner schrieb die GPS & LiDAR-Vermessung international aus. Aufgrund dieser Ausschreibung wurde Fugro Inpark BV, ebenfalls ein Mitglied der Fugro Firmen-gruppe, mit der Durchführung beauftragt, welches ein mobiles FLI-MAP® System für internationale Aufträge außerhalb der USA verwendet. Das mobile FLI-MAP® System wurde von John E. Chance & Associates geplant und gemeinsam mit Fugro Inpark BV konstruiert.

Das endgültige, nachbearbeitete Ergebnis einschließlich dem Video aus dem FLI-MAP System enthält die XYZ-Positionen der Lasermessungen. Die Datendichte, die zur Unterscheidung von Eisenbahninfrastrukturkomponenten, wie z.B. Schienen, Meilen- (Kilometer-) säulen, Signalen, Weichen, Elektrifizierungskabeln, Masten usw. erforderlich ist, beträgt mindestens 10 Punkte pro m². Diese Komponenten werden durch Punktmuster mit räumlicher Beziehung gekennzeichnet.

Vermessungsvorgang

Durch die Erfahrungen, die bei Amtrak durch die Verwendung des FLI-MAP® Systems gewonnen wurden, ist es nun möglich, Eisenbahnstrecken in relativ kurzer Zeit zu vermessen, wobei ein vollständiges Inventar aller Anlagenelemente entlang der Strecke erstellt wird. Da das System luftgestützt ist, führt es zu keinen Störungen des Bahnbetriebs. Die Vermessung ermöglicht auch eine präzise visualisierte, elektronische Ist-Aufzeichnung des Bahngeländes sowohl auf Video als auch in digitalem Format. Die hohe Dichte der vermessenen Punkte ermöglicht eine detaillierte Identifizierung der Anlagenelemente für die Datenbankerstellung und andere technische Anwendungen.

Informationsextraktion

Ein computergestütztes System erstellt auf integrale Weise eine Darstellung von Messpunkten und Videobildern, worin der Anwender dann Anlagenteile finden und diesen Attributen zuordnen kann. Um die

sätzliche Möglichkeiten zur Extraktion wertvoller Informationen aus der FLI-MAP®-Vermessung erhält.

Gemeinsam mit einem anderen Programm, das die Bezeichnung VcrController trägt, steuert FLIP7 die speziellen zeitcodefähigen Videorekorder, wodurch der Anwender die Videobilder mit den verarbeiteten Laserpunktkartendaten koordinieren kann, um eine voll multimediafähige Präsentation des vermessenen Bereichs zu erhalten. FLIP7 bietet auch die Möglichkeit, die Videobilder zu betrachten und orthogonal gleichzurichten, um zusätzliche Informationen aus den hochauflösenden Bildern zu erhalten. FLIP7 präsentiert die Laserdaten auf verschiedene Arten, wobei der Anwender 3D-Positionsinformationen für jedes Objekt oder jedes Merkmal, das in den Daten visualisierbar ist, „extrahieren“ kann. Der Anwender führt diese Extraktion durch, wenn er „über“ dem Laserhintergrund zeichnet.

FLIP7 unterstützt einfache Punkte und Multisegment-Polylinien, die als „Zeichnungsobjekte“ definiert werden können und für eine unbegrenzte Anzahl an Zeichnungsobjekten geeignet sind. Desweiteren ist es möglich, eine unbegrenzte Anzahl an Ebenen zu definieren. Alle extrahierten Merkmale behalten die ursprüngliche Intelligenz aus dem Laser-Hintergrund, wie zum Beispiel Position, Erhöhung, Bodenerhebung und Zeit.

FLIP7 umfasst auch ein ausgeklügeltes Datenattributsschema, das zur Identifizierung, Benennung und Klassifizierung von Anlagenteilen in den Laserpunktkartendaten verwendet wird. Für jede Kategorie von Elementen kann eine Ebene definiert werden (d.h. Brücke), in der die Zeichnungsobjekte enthalten sind. Jede Objektkategorie kann ihre eigene, benutzerdefinierte Gruppe unbegrenzter Attribute besitzen, die wiederum eine unbegrenzte Anzahl an vordefinierten Werten besitzen können. Wenn der Anwender einen Punkt oder eine Polylinie auf einer bestimmten Ebene erstellt, öffnet sich ein Attributdialogfeld mit einer benutzerdefinierten Auswahlliste für jedes Attribut. Der Anwender verleiht dem Zeichnungsobjekt danach Intelligenz, indem er das Dialogfeld ausfüllt, welches die Attribute in einer Datenbank-eintragstabelle für das Zeichnungsobjekt einträgt. Abb. 6 ist ein Beispiel des Zeichnungsobjekts, das über den digitalen Kartendaten dargestellt wird.

Diese intelligenten Zeichnungsobjekte werden danach direkt in die AMM-Datenbank eingegeben, woraus der hypergrafische Link automatisch die schematischen Grafiksichten der Eisenbahninfrastruktureinrichtungen zusammen mit den zugehörigen Managementinformationen erzeugt.

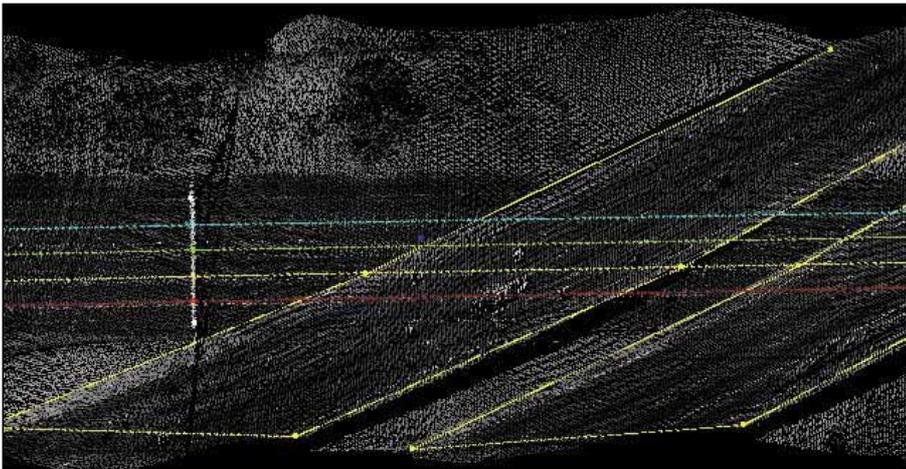


Abb. 6: Beispiel des Zeichnungsobjekts, das über den digitalen Kartendaten dargestellt wird

Systembeschreibung

Kinematisches „On-The-Fly“ (OTF) GPS wird zur Positionierung eines speziell ausgestatteten Helikopters verwendet, der über einer Vermessungsstelle fliegt. In diesem Helikopter werden präzise Daten über die Positionierung, Lagedaten und Laserdistanzmessungen gesammelt. Diese Technologie wird auch als kinematische Mehrdeutigkeitsauflösung (KAR – Kinematic Ambiguity Resolution) oder Echtzeit-Kinematik (RTK – Real Time Kinematic) bezeichnet.

Somit integriert das FLI-MAP® System mehrere Hauptsysteme zu einem einzigen Hightech-Vermessungstool. Abb. 5 ist eine grafische Darstellung des FLI-MAP® Systems*.

Koordinaten der zurückgeworfenen Laserstrahlen aus GPS, Plattformlage und Laserdaten zu berechnen sowie nützliche Informationen über die Anlagenelemente aus diesen Positionen extrahieren zu können, wurde das FLI-MAP® Datenverarbeitungssystem FLIP7 (für Microsoft Windows 95 oder NT 4.0) entwickelt. Dieses dedizierte Softwarepaket verschmilzt die Informationen über Position und Lage des Helikopters mit den Laserpunktkartendaten und den Videobildern. FLIP7 ermöglicht volles computerunterstütztes Zeichnen (CAD) „über“ den Laserpunktkartendaten, wodurch der Operateur zu-

* Das FLI-MAP® System, das inzwischen international eingesetzt wird, wird bei der Vermessungstechnischen Fachtagung des VDEI und der anschließenden Berichterstattung im EI noch ausführlich vorgestellt werden.

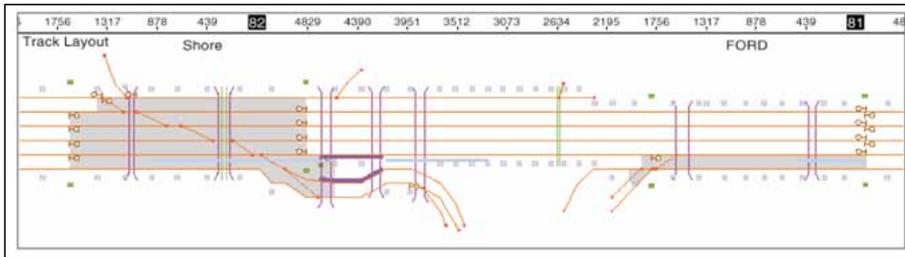


Abb. 7: Typisches Streckendiagramm, das 1,5 Meilen (2,4 km) der Northeast Corridor Hauptlinie von Amtrak zeigt

Art der Anlage	Attribut	Anzahl der Datenpunkte
Gleis-Mittellinie	Linie	216
Gleisknoten (Weichenspitzen)	Punkt	29
Fahrleitungsmast	Punkt	79
Ober- und unterführende Brücken	Polygon	54
Bahnsteig	Polygon	10
Entwässerungseinrichtungen	Linie	18
Signale	Punkt	20
Grenzen der Überleitstellen	Polygon	20
Gesamtzahl der ausgewählten Datenpunkte:		446
Kosten für Vermessung der ausgewählten Ansicht:		\$ 450.00
Kosten für Verarbeitung der rohen Vermessungsdaten:		\$ 187.50
Gesamtkosten für Vermessung und Verarbeitung der Messdaten:		\$ 637.50
Durchschnittskosten pro gesammeltem Datenpunkt:		\$ 1.43

Tab. 1: Inventar der in Abb. 7 identifizierten Anlagenwerte

Kosten für Vermessung und Nachbearbeitung

Die Durchführbarkeit eines Unternehmens, wie z.B. des AMM Informationssystems, wird oft von den Entwicklungskosten bestimmt. Während der anfänglichen Planungsphasen werden mehrere Methoden zur Sammlung und Speicherung der Anlagenelemente in Datenbanken ausgewertet. Dazu gehörten Bodenvermessungen mit handgehaltenen GPS-Empfängern und Datenkollektoren, sowie schienengebundene Vermessungsfahrzeuge mit GPS-Vermessungssystemen und Videorekordern. Schlussendlich basierte die Entscheidung für ein luftgestütztes System auf den Kosten, der Zeit für die Durchführung der Vermessung und dem Ausmaß der dafür notwendigen Unterbrechungen des Bahnbetriebs. Die Fähigkeit, Vermessungsdaten grafisch visualisieren und im Büro nachbearbeiten zu können, war ebenfalls ein entscheidender Faktor bei der Entscheidungsfindung.

Ein wesentliches Ziel des AMM-Systems war die Integration der Gleisnetzinformationen mit Zustandsmessungen und erforderlichem Arbeitsaufwand. Da ein Großteil der Zustandsmessdaten und der Arbeitsaufwandsdaten bereits in digitalem elektronischem Format vorliegen, war die

Sammlung der Gleisnetzinformationen das wesentlichste Kostenelement. Abb. 7 zeigt ein typisches Streckendiagramm, das 1,5 Meilen (2,4 km) der Northeast Corridor Hauptlinie von Amtrak zeigt.

Tabelle 1 enthält ein Inventar der in dieser Ansicht identifizierten Anlagenwerte, die Anzahl der Datenpunkte, die zu ihrer Beschreibung verwendet werden, und die Kosten zur Sammlung der Informationen und Eingabe derselben in die Datenbank. Wie aus diesen Informationen ersichtlich ist, sind die Kosten zur Erfassung und Verarbeitung der Daten wesentlich niedriger als bei herkömmlichen Vermessungsverfahren. Nicht dargestellt in der Tabelle ist die Tatsache, dass in den dargestellten 1,5 Meilen (2,4 km) insgesamt 1,5 Millionen erfasste Datenpunkte enthalten sind. Diese Erfassungsdichte dient nicht nur als Ausgangsdatengruppe für weitere Einträge in die Anlagendatenbank (z.B. Stromversorgungsleitungsnetze, Signal- und Steuersysteme usw.), sondern auch für andere technische Anwendungen, wie zum Beispiel digitale Geländemodelle, Entwässerungsanalysen und die Entwicklung von Zugsteuerungssystemen. Da sämtliche Daten auf der GPS-Vermessung basieren, ist schließlich ein Export in andere, in Entwicklung befindliche geographische Informationssysteme besonders einfach.

Empfehlungen für die Implementierung

Der wesentliche Faktor für den Erfolg des AMMTRACK Informationssystems liegt in der kontinuierlichen Anwendung durch die Instandhaltungsverantwortlichen, und zwar sowohl vor Ort als auch zentral im Büro. Derzeit umfasst die Benutzerdatenbank des Systems mehr als 200 Personen, die vom Gleisauflieger bis zum Vizepräsidenten bzw. Chefingenieur sämtliche Positionen innehaben. Die Systemschnittstelle wurde so gestaltet, dass selbst Personen mit minimaler Computererfahrung das System problemlos bedienen können. In der derzeitigen Entwicklungsstufe besteht eine der wesentlichsten Aufgaben des Systems darin, gespeicherte Informationen zu visualisieren und sie dem Manager in einem Format zu präsentieren, welches das intuitive Verständnis über den Schienenzustand und dessen Beziehung zur geographischen Anordnung des Eisenbahnnetzes fördert. Ausgehend davon wird erwartet, dass die Verantwortlichen in der Lage sein werden, richtige Entscheidungen darüber zu treffen, wo die begrenzten Wartungsressourcen am besten eingesetzt werden sollen, und Rückmeldungen über die Wirksamkeit der durchgeführten Arbeiten zu erhalten.

AMM zum gezielten Einsatz bei der Gleisdurcharbeitung

Die Erhaltung der Gleisgeometrie in der Höhe und die für einen Schienenkorridor, der mehrfach genutzt und mit Hochgeschwindigkeitszügen befahren wird, erforderliche Ausrichtung der Toleranzen stellt eine einzigartige Herausforderung für das Amtrak-Instandhaltungsmanagement dar. Diese Arbeiten werden in erster Linie von einer Anzahl an kontinuierlich arbeitenden, mit AGGS® ausgestatteten und MDZ-fähigen Stopfmaschinen und Unimat-Weichenstopfmaschinen der Firma Plasser ausgeführt. Diese Technologie stellt den Wartungsteams folgende wichtige Funktionen zur Verfügung:

- Die MDZ-Technologie (mechanisierter Durcharbeitungszug) ermöglicht den Arbeitsteams (bestehend aus einer Stopfmaschine, einem Schotterpflug und einem dynamischen Gleisstabilisator) die Fahrt zu den Einsatzorten unter Signalautorität mit Geschwindigkeiten von bis zu 50 Meilen pro Stunde (80 km/h).
- Das AGGS-System (Automated Geometry Guidance System) bietet die Möglichkeit die Gleisausrichtung zu ändern und leitet danach die Stopfmaschine bei der Ausführung ihrer Arbeit.

- Der Dauerbetrieb verbessert die Produktionsraten bei Arbeiten an offenen Strecken, und die Fähigkeiten von Unimat verbessern die Qualität der Arbeiten bei Überleitstellen und Weichen. Trotz dieser Verbesserungen bestand bis vor kurzem die Tendenz, die Gleise einfach in regelmäßigen Abständen und mehr oder weniger ohne Berücksichtigung der Längshöhe und Richtung oder der tatsächlichen Zustandsverschlechterung zu warten. Mit der Einführung des AMM_{TRACK}-Systems werden jetzt jedoch Daten vom Gleismesswagen sowie Daten aus der Arbeitshistorie mit dem Gleisdiagramm kombiniert, um eine visuelle Darstellung des Gleiszustands sowie des Arbeitsaufwands zu erhalten, der notwendig ist, um den momentanen Zustand beizubehalten.

Es muss außerdem unbedingt erwähnt werden, dass die duale geographische Referenzbasis der Datenbank und die gemessenen Gleisinformationen ineinander greifen, um eine nahtlose Datenintegration zu ermöglichen. Im Falle von Amtrak wurden alle vor 1999 gespeicherten Geometriedaten mit Hilfe der MP+FEET Referenzdatenbank gespeichert, während für neuere Messungen die GPS-Referenzbasis verwendet wurde. Für den Instandhaltungsverantwortlichen ist die Übersetzung der Positionsdaten transparent. Alles, was er sieht (und vielleicht auch alles, woran er wirklich interessiert ist), ist, dass die Daten aufgereiht werden und in

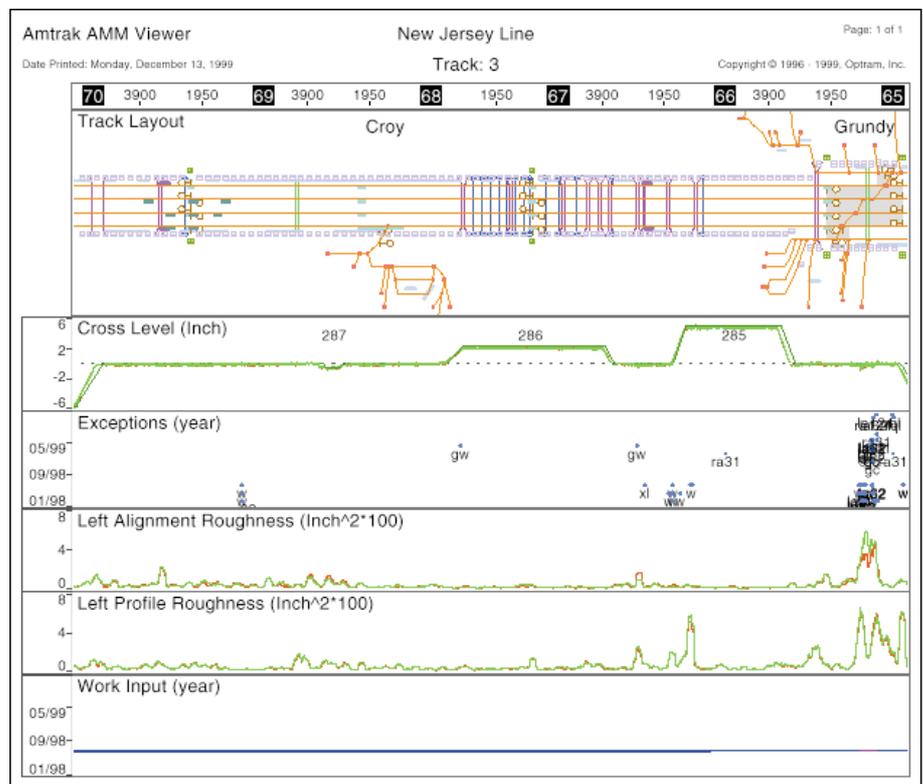


Abb. 8: Darstellung eines Streckenabschnitts zwischen den MP (Meilenpunkte) 70 und 66 (ca. 6,4 km) der New Jersey Linie

einem Bezug zum Streckendiagramm stehen. Die resultierende Ansicht der Strecke, der Zustand sowie die dazugehörige Arbeitshistorie werden dem Instandhaltungsverantwortlichen wie in Abb. 8 dargestellt präsentiert.

Aus der Ansicht in Abb. 9 können einige Dinge sehr leicht erkannt werden:

- Ungefähr 4 Meilen (6,4 km) der Strecke zwischen MP 70 und MP 66 wurden im Jahr 1998 zweimal durchgearbeitet, doch die Richtungs- und Profilmessun-

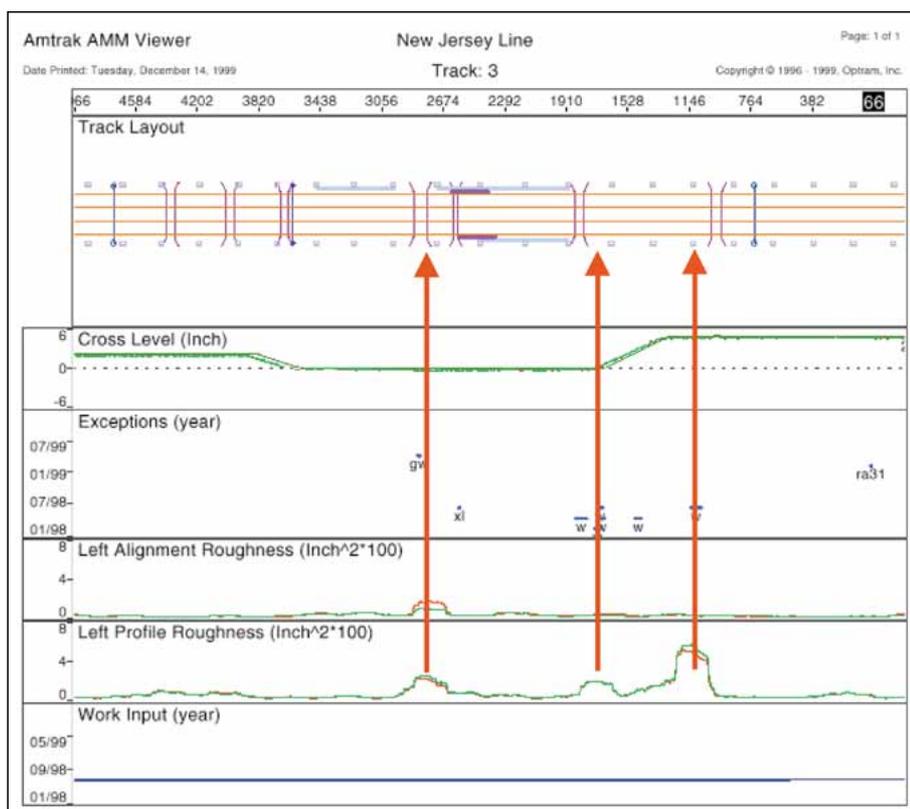


Abb. 9: Vergrößerung eines Teilabschnitts aus Abb. 8 mit drei Brücken

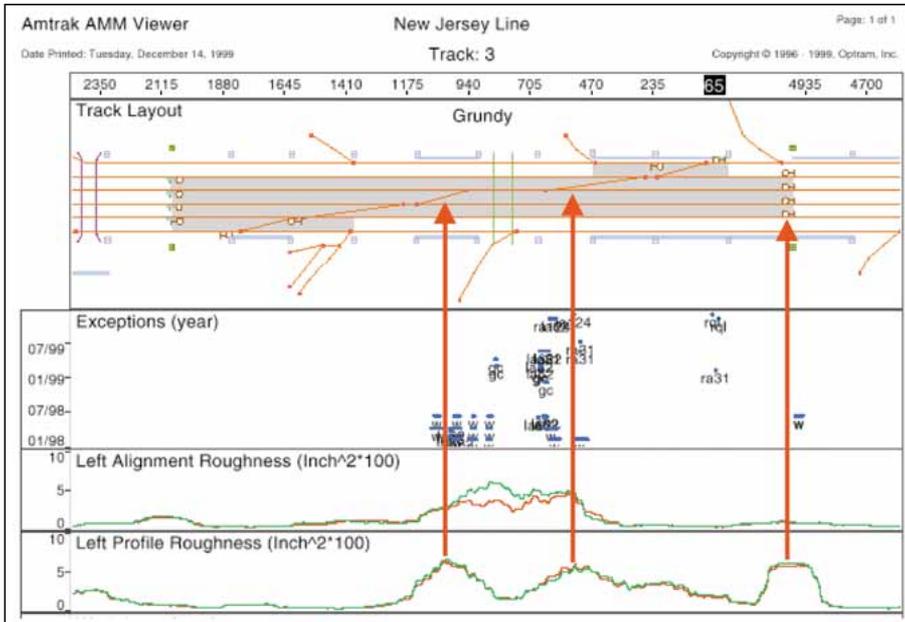


Abb. 10: Vergrößerung eines Teilabschnitts aus Abb. 9 an der Überleitstelle „Grundy“

gen zeigen an, dass an weniger als 1 Meile (1,6 km) zwischen MP 67 und MP 66 tatsächlich Arbeiten erforderlich waren. Durch Berücksichtigung dieser Informationen wäre es möglich gewesen, 75 % der Stopparbeiten für diesen 5 Meilen (8 km) langen Schienenabschnitt einzusparen.

- Die Gleislängshöhenbedingungen können sofort in einen Zusammenhang mit den vorhandenen Gleismerkmalen, wie z.B. Brückenunterführungen und Signalpositionen, gebracht wer-

den (in Bereichen, in denen kein besonderes Gleismerkmal vorhanden ist, wo es jedoch einen schlechten Gleiszustand gibt, kann der Unterbau die Ursache für die Verschlechterung sein).

- Eine Überprüfung des „Exception“-Datenfenster zeigt rasch auf, dass Überleitstellen die anfälligsten Bereiche des Gleises sind (durch weiteres Einzoomen in den Bereich können einzelne Weichen sowie die spezifische Position in

der Weiche, an der es zu einem Gleisfehler gekommen ist, angezeigt werden).

- Das Übereinanderlegen von aufeinanderfolgenden Fahrten des Gleismesswagens zeigt Positionen auf, an denen sich der Gleiszustand weiter verschlechtert oder wo es zu Verbesserungen gekommen ist. Dies ermöglicht unmittelbare Rückmeldungen für den Instandhaltungsverantwortlichen bezüglich der Wirksamkeit der durchgeführten Reparaturen und den potentiellen Problemstellen, die hinsichtlich der Fehlerursache näher zu untersuchen sind.

In diesem Beispiel wurden nur 5 Meilen (8,0 km) des Gleises überprüft. Das System gibt dem Instandhaltungsverantwortlichen die Möglichkeit, durch das gesamte Territorium zu blättern und verschiedenste Bereiche einzuzoomen, um überall ähnliche Analysen durchzuführen. Des weiteren sind die Daten, die der Verantwortliche vor Ort sieht, die selben wie jene, welche die Mitarbeiter im Büro sehen, wodurch eine unvoreingenommene Beurteilung des Gleiszustands möglich ist.

Wenn zum Beispiel in jene Bereiche eingezoomt wird, von denen man gesehen hat, dass daran Arbeiten mit der CAT-Stopmmaschine (Continuous Action Tamping) erforderlich sind (Abb. 9), so scheint es, dass die Ursache für den schlechten Gleiszustand in einem direkten Zusammenhang mit den in der Nähe befindlichen drei Brücken mit oberliegenden Fahrbahnen stehen.

Eine einfache Durcharbeitung der Gleise kann in diesem Fall nur eine kurzfristige Lösung sein. Aufgrund der Nähe der Zufahrten zu den Brücken mit oberliegender Fahrbahn kann eine detailliertere Analyse der Störursachen zur Erkenntnis führen, dass ein Übergangsbereich an den Brückenzufahrten neu hergestellt werden muss. Daraus sollte leicht ersichtlich sein, dass das visuelle Werkzeug der direkten Bezugserstellung des Gleisverlaufs zur gemessenen Gleisgeometrie zu einer intuitiven Zustandsanalyse führt, welche in weiterer Folge eine detailliertere Analyse mit Vor-Ort-Messungen ermöglicht, falls die Bedingungen dies erfordern.

Ein ähnlicher Prozess kann an der benachbarten „Grundy“ Überleitstelle verwendet werden, wo der Bereich eingezoomt wurde, um die graphische Darstellung des Gleiszustandes zu verbessern. (Abb. 10)

Wiederum kann der Instandhaltungsverantwortliche durch Herstellen einer Beziehung zwischen dem Gleisverlauf und den gemessenen Zustandsdaten klar erkennen, dass die schlechtesten Gleishöhen- und Richtungszustände innerhalb der Weiche liegen (wahrscheinlich am äußeren Ende an der Position im Ausschnitt) sowie an

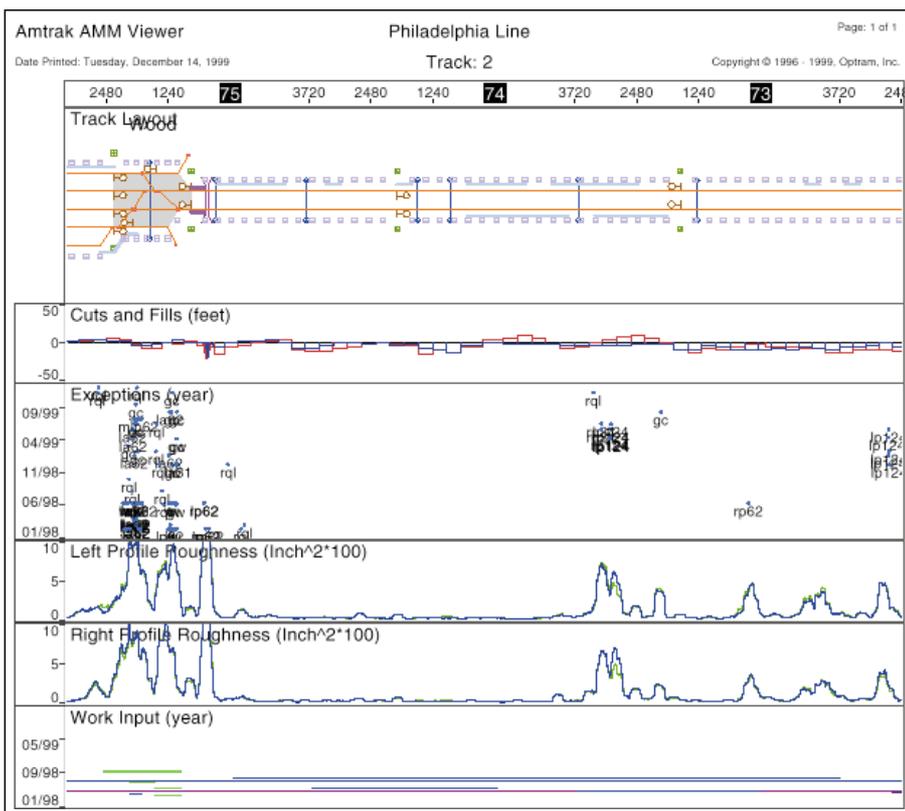


Abb. 11: Gleisabschnitt im Staat Maryland mit schlechten Unterbaubedingungen

der Stelle des Einfahrsignals. Wenn beim Öffnen der „Darstellung der durchgeführten Arbeiten“ erkennbar wird, dass Gleisdurcharbeitungen in der Vergangenheit die Bedingungen, die zu den Ausfällen führten, nicht beseitigen konnten, dann ist eine weitere Analyse der Ausfallsursachen erforderlich, die zu einer Änderung der Taktik für die Korrektur der Fehlerzustände führen könnte.

Als letztes Beispiel kann die Visualisierung des Gleisverlaufs und der Zustandsdaten auch Situationen offenbaren, bei denen es keine offensichtlichen Gleismerkmale gibt, die zu Ausfallsbedingungen führen könnten. Abb. 11 zeigt einen Gleisabschnitt im Staat Maryland innerhalb eines Bereichs, der für seine schlechten Unterbaubedingungen bekannt ist. Abgesehen von den Zuständen an der Überleitstelle „Wood“ im Süden befinden sich die schlechten Gleiszustände an Stellen, die keine bemerkenswerten Gleismerkmale aufwiesen und die sich auf einer leichten Dammaufschüttung befinden.

Diesen Stellen wurden bereits sehr oft durchgearbeitet, doch die Zustände haben sich nicht verbessert. Dies hat zu einer detaillierten Überprüfung des Unterbaus geführt, und es wird gerade an einer technischen Lösung gearbeitet, welche die

Ausfallsursache beseitigen soll. (Es ist auch interessant anzumerken, dass sich das Gleis unmittelbar neben den Störstellen in einem ausgezeichneten Zustand befindet. Weitergehende geotechnische Überprüfungen haben eine unterschiedliche Zusammensetzung des Bodens im Unterbau ergeben.)

In allen diesen Beispielen bietet das grundlegende Konzept einer georeferenzierten Anlagendatenbank, die sowohl Informationen über die Gleisführung als auch über den Zustand enthält, mit Visualisierungstools zur Betrachtung der Daten ein wichtiges System für die Unterstützung von Entscheidungen, die der für die Infrastruktur verantwortliche Instandhaltungsmanager zu treffen hat.

AMM für die Bahnstreckenplanung

Wie oben detailliert ausgeführt, bietet die Vermessung mit GPS/LiDAR ein dichtes Netz an Datenpunkten, welches das Bahngleis darstellt. Im allgemeinen bieten die Laserfiles aus den Kartographierflügen eine Deckungsdichte von einem Datenpunkt pro Quadratfuß des Gleises mit Angabe der geographischen Länge, Breite und Höhenkoordinaten mit einer Genauigkeit von 5 cm. Dies stellt eine

ausgezeichnete Ausgangskarte für eine erste Bahnstreckenplanung dar, für die im wesentlichen keine Feldmessungen vor der Detailplanung durchgeführt werden müssen. (Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei fortschreitender Planung eine begrenzte Anzahl an Feldvermessungen mit Hilfe herkömmlicher Vermessungsmethoden notwendig ist, um die LiDAR-Vermessungsdaten in die Feldbedingungen „einzubinden“. Die Verwendung der LiDAR-Daten für die Planung beschleunigt jedoch den Planungsprozess und verringert gleichzeitig die Planungskosten.)

Die Erfassungsdichte ist grafisch in Abb. 12 dargestellt, welche eine dreidimensionale Darstellung eines Gleisabschnitts der Amtrak im Bundesstaat Maryland zeigt: Dieses Bild wurde, nachdem 90 Prozent der Vermessungsdatenpunkte herausgefiltert wurden, erstellt. Es wurde für eine detaillierte Entwässerungsanalyse an einer Straßenüberführung verwendet.

Schließlich zeigt Abb. 13, wie die LiDAR-Vermessungsdaten verwendet wurden, um detaillierte Konturinformationen und Querschnitte an einer Stelle mit einem instabilen Hang zu gewinnen. (Die Schichtprofile des Unterbaus wurden

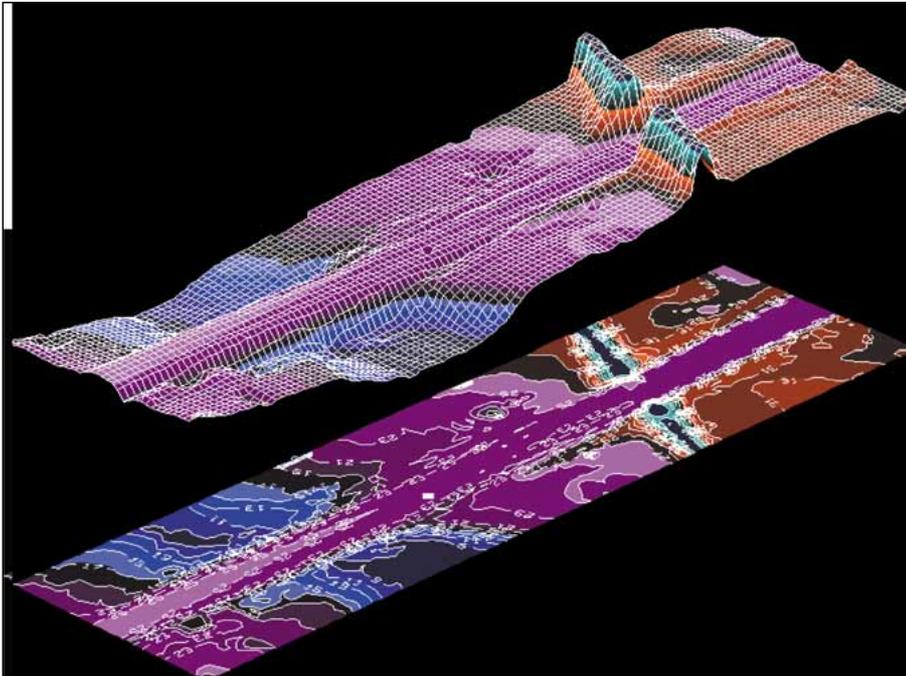


Abb. 12: Dreidimensionale Darstellung eines Gleisabschnitts im Staat Maryland

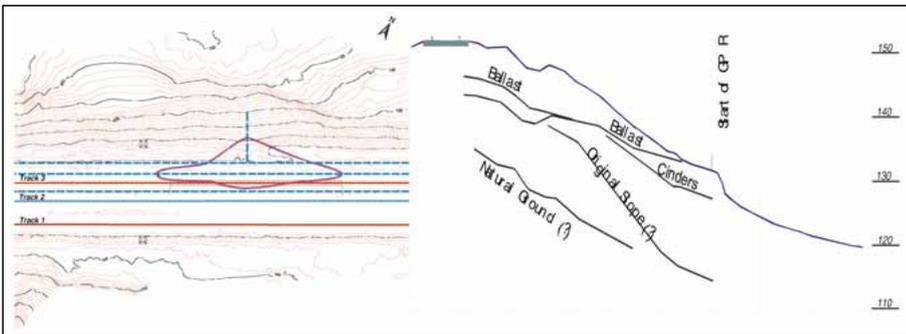


Abb. 13: Detaillierte Konturinformationen und Querschnitte an einer Stelle mit instabilem Hang

durch herkömmliche Bohrtechniken und bodendurchdringendes Radar erhalten.) Auch hier wurden die Konturkarten nach dem Ausfiltern von 90 Prozent der ursprünglichen Laservermessungspunkte erhalten.

Diese Beispiele zeigen die Vorteile, die mit Hilfe der GPS-, LiDAR und Videotechnologien möglich sind. Zusätzlich zur Lieferung von wichtigen Informationen für die Instandhaltungsverantwortlichen, welche diesen bei ihren Entscheidungsfindungen helfen, bieten sie auch Techniken Vermessungsdetails, die bei Pla-

nungslösungen zur Beseitigung von Fehlerquellen und Störungsursachen benötigt werden.

Bereiche für die Entwicklung und Implementierung in der Zukunft

Die Entwicklung des AMMTRACK Informationssystems und dessen Verwendung durch die Instandhaltungsverantwortlichen und Bahnstreckenplaner ist im Gange. Weitere Entwicklungen werden für die folgenden Bereiche erwartet:

- Erweiterung der Anlagendatenbank durch Aufnahme von zusätzlichen Informationen aus anderen technischen Bereichen (z.B. Kommunikationseinrichtungen und Signale, Strukturen und elektrische Zugförderung). Dieser Prozess hat bereits begonnen, und mit zunehmender Anwendung durch die Benutzer wird auch eine steigende Involvement anderer Abteilungen erwartet.
- Einführung digitaler Erfassung, Speicherung und Übertragung von visuellen Gleisinspektionsberichten und Arbeitsaufzeichnungen. Aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung im Bereich der Palm Computer sollten die Hardwareplattformen, die zur Unterstützung geplanter Softwareimplementierungen erforderlich sind, in den nächsten ein bis zwei Jahren verfügbar sein. Die Wichtigkeit dieses nächsten Schrittes besteht darin, dass die Daten direkt am Quellpunkt erfasst werden, wodurch Fehler reduziert werden, während gleichzeitig die Verantwortlichkeit für den Prozess durch das Feldpersonal gefördert wird.
- Aufnahme von Verkehrsdaten in die Anlagendatenbank. Amtrak erfasst momentan die Radlasten an einer einzigen Stelle entlang des Northeast Corridors. Diese Entwicklungsphase wird bestimmen, wo zusätzliche Überwachungsstellen erforderlich sind, und danach die zur Speicherung der Daten benötigte Schnittstelle zur Verfügung stellen. Diese Informationen sind nicht nur für die Analyse der Geschwindigkeit, mit der sich der Gleiszustand verschlechtert, erforderlich, sondern sie sollen auch ein Mittel zur Quantifizierung der Auswirkung des Zugbetriebs durch verschiedene Korridor-Benutzer darstellen.
- Schaffung der Schnittstelle zu anderen Visualisierungswerkzeugen und Analysesoftware-Paketen für den Zugriff auf die gespeicherten Daten. Die bislang durchgeführten Entwicklungsarbeiten haben den Bedarf an einem derartigen Datenzugriff aufgezeigt, weshalb die Daten auch bereits entsprechend strukturiert wurden.
- Definition einer echten dreidimensionalen Netzdarstellung des Northeast Corridors zur Verwendung durch Transportplaner für Zugleistungsrechnungen (TPC) und Betriebssimulationen. Auf ähnliche Weise können die Daten verwendet werden, um das Gleis mit einer Genauigkeit zu definieren, die für sichere Zugsteuerungssysteme (PTC) notwendig ist, deren Entwicklung für die nächste Zukunft geplant ist.

Zusammenfassung

Zusammenfassend bietet die Entwicklung des AMMTRACK Informationssystems mit GPS und LiDAR-Vermessungsmethoden hochpräzise und sofort verfügbare Informationen, die bei der Streckeninstandhaltungsplanung und sowie für technische Planungen verwendet werden können. Als System für die Unterstützung bei der Entscheidungsfindung arbeitet es mit Datenvisualisierung, welche die intuitive Analyse des Zustands der Infrastrukturanlagen erleichtert und diese Zustände in Beziehung zu bekannten Merkmalen setzt, die sich entlang der Gleise befinden. Durch Anwendung dieses Systems kann der Instandhaltungsverantwortliche bessere Entscheidungen über die Zuteilung der knappen Ressourcen treffen und gleichzeitig nahezu sofort Rückmeldungen über die Wirksamkeit der durchgeführten Instandhaltungsarbeiten erhalten. Mit Hilfe der Planungstechniker und anderer Fachbereiche kann der Instandhaltungsverantwortliche seine Bemühungen auf die Bestimmung der Ausfallsursachen konzentrieren, und durch die gezielte Verwendung der entsprechenden Verfolgungstechnologien kann langfristig anhaltende Oberbauinstandhaltung durchgeführt werden, anstatt nur die Symptome von Ausfällen zu behandeln.

Literatur

- Ebersöhn, W., Ruppert, C.J., (1998), „Implementing a Railway Infrastructure Maintenance System“, CORE 1998.
- Ruppert, C.J., (1997), „AMMTRACK Information System – Keeping an Eye on the I in GIS“, AREMA Technical Conference 1997
- Ruppert, C.J., Ebersöhn, W., (1998), „Using GPS and LiDAR Technology for Track Design & Construction“, AREMA Roadbed Symposium 1998
- Ebersöhn, W., (1999), „Using Integrated GPS, LiDAR and Video Imaging in Railway Industry“, UIC Conference Beijing China, Dezember 1999.
- Ruppert, C.J., (1999), „Implementing a Railway Infrastructure Maintenance Management System“, UIC Conference Beijing China, Dezember 1999.
- Anderson, R., Mack, B., Selig, T., (2000), „CSX Track Chart and Engineering Information System“

Summary / Résumé

Establishing an Infrastructure Asset Database and Maintenance Management System using GPS, LiDAR and Video Technologies.

Over the past 8 years Amtrak, the Chair in Railway Engineering at the University of Pretoria, and Spoornet collaborated to develop the philosophies of Railway Infrastructure Maintenance Management. A brief summary of the philosophies and the full context of an Infrastructure Maintenance Management system will be presented in the paper.

Amtrak, with the help of the Chair in Railway Engineering have developed and implemented an infrastructure maintenance management system AMMTRACK® for use on its Northeast Corridor (NEC) high speed mainline. The current system consists of an asset database linked to infrastructure maintenance management data using a viewing application that graphically displays the maintenance management information in an integrated manner. The asset database has been populated using GPS, LiDAR and Video technologies.

The approach used at Amtrak and Spoornet to make the systems operational will be presented and the experience gained using the systems up to the conference date will be reported on in the presentation.

Etablissement d'une banque de données de la voie et d'un système d'entretien utilisant les technologies GPS, LiDAR et vidéo

Au cours des 8 dernières années, Amtrak, l'Institut de technique ferroviaire de Pretoria et Spoornet ont coopéré en vue d'établir les principes d'une gestion de l'entretien des installations ferroviaires. Le présent article comporte une courte récapitulation de ces philosophies ainsi que la description du système de gestion précité.

En liaison avec l'Institut de technologie ferroviaire, Amtrak a développé un système de gestion pour l'entretien (AMMTRACK®) qui est utilisé sur une ligne à grande vitesse, le corridor nord-est. Ce système se compose d'une banque de données des installations reliée à des données d'entretien et qui traite les informations correspondantes de façon graphique et sous forme intégrée. Cette banque de données des installations a été alimentée en données à l'aide des technologies GPS, LiDAR et vidéo.