

## Entwicklung von Verfahrenshilfen für ein netzorientiertes Baustellenmanagement von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen

FA 9.135

Forschungsstelle: RS-Consult, Berlin

Bearbeiter: Hellmann, L. / Rübensam, / J. Schwiethal, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: April 2007

### 1. Aufgabenstellung

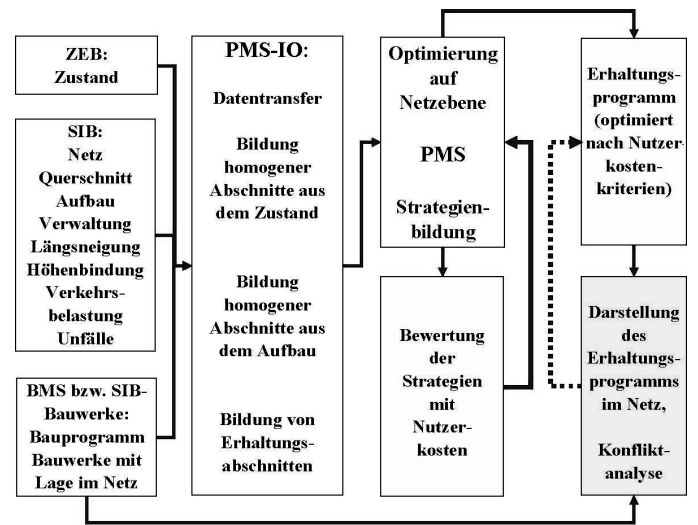
Das Pavement-Management-System (PMS) als Planungsinstrument der systematischen Straßenerhaltung stellt optimierte Vorschläge für Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen in einem vom Anwender definierten Analysenetz bereit. Innerhalb eines festgelegten Planungszeitraums – in der Regel 4 bis 5 Jahre – werden die Erhaltungsbereiche, die Art der Maßnahmen und das jeweilige Durchführungsjahr ausgewiesen.

In Deutschland wurde in den letzten 10 Jahren für die Bundesfernstraßen eine PMS-Softwarelösung, das VIAPMS, eingeführt. In diesem PMS wurden bisher keine Straßennutzerkosten betrachtet, da die methodischen Voraussetzungen für die konkreten deutschen Verhältnisse fehlten. Das betrifft sowohl die vom Straßenzustand beeinflussten Nutzerkosten außerhalb der Zeit, in der Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden als auch die während der Bauzeit durch Verkehrsbehinderungen beeinflussten Nutzerkosten.

Die Lage der Erhaltungsabschnitte zueinander im Analysenetz spielt bei der Erhaltungsplanung bisher ebenfalls keine Rolle, obwohl Erhaltungsmaßnahmen in der Bauphase verkehrliche Auswirkungen auf nachfolgende Streckenabschnitte und weitere Netzteile haben. Die Einrichtung von Baustellen an Straßen führt in der Regel zu Behinderungen für den Straßennutzer. Dazu zählen die Anordnung bzw. Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, Überholverbote für Lkw oder für alle Fahrzeugklassen, die Verschwenkung der Fahrbahn, die Überleitung des Verkehrs auf die Gegenfahrbahn, die Einschränkung des Verkehrsraums infolge der Einengung oder des Wegfalls von Fahrstreifen oder des Standstreifens. Verstärkt durch die Diskontinuität der Verkehrsnachfrage im Tagesverlauf besteht an Baustellen eine erhöhte Staugefahr. Aus volkswirtschaftlicher Sicht bewirken diese Behinderungen höhere Straßennutzerkosten und Umweltbelastungen.

Neben den bautechnischen Erfordernissen sollten bei der Erhaltungsplanung deshalb auch diese verkehrlichen Aspekte berücksichtigt werden. Ziel ist es, Erhaltungsstrategien mit geringen Eingriffen in den Verkehrsablauf im Rahmen gesamtwirtschaftlicher Betrachtungen zu bevorzugen. Dazu wurden in einem Vorgängerprojekt (FA 9.133) Verfahrensgrundlagen erarbeitet, um die baustellenbedingten Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen auf die Straßennutzer in das PMS integrieren zu können.

Mit dem vorliegenden FA 9.135 sollen diese objektkonkret ermittelten baustellenbedingten Auswirkungen von Erhaltungsmaßnahmen algorithmisch so in die PMS-Umgebung eingebunden werden, dass eine Optimierung innerhalb des PMS unter Berücksichtigung dieser Kosten möglich wird. Bild 1 zeigt das Prinzip, wie die Nutzerkostenberechnung in das PMS eingebunden werden soll.



**Bild 1: Prinzipdarstellung der Einbindung der Nutzerkostenberechnung und -bewertung in das PMS**

Die beiden gelben Flächen beschreiben den Inhalt des Kernpunkts der Aufgabenstellung. Der zweite inhaltliche Schwerpunkt des vorliegenden Projekts betrifft Fragestellungen, die sich mit der Lage des vom PMS erstellten Bauprogramms im Netz beschäftigen. Dabei ist sowohl die zeitliche als auch die räumliche Platzierung der Erhaltungsmaßnahmen gemeint.

In Bild 1 ist in der grünen Fläche dargestellt, wie diese Konfliktanalyse erfolgen soll. Neben der Netzbetrachtung der Erhaltungsmaßnahmen an der Fahrbahn sollen auch die Instandsetzungen bzw. Erneuerungen der Ingenieurbauwerke eines Testnetzes einfließen. Ziel ist dabei, Konflikte bei zeitgleichen Baustellen auf parallelen Netzmaschen, deren Verkehrsströme sich gegenseitig beeinflussen, aufzuzeigen. Auch die Beziehungen in Längsrichtung der Fahrbahn sollten betrachtet werden, wobei die synergetischen Auswirkungen der hintereinander gekoppelten Maßnahmen bezüglich ihrer gesamtwirtschaftlichen Konsequenzen (nur die erste Baustelle wird zum "Flaschenhals") untersucht werden sollten.

### 2. Untersuchungsmethodik

Zunächst wurden die aus dem FA 9.133 vorliegenden Methoden analysiert und weiterentwickelt. Danach wurden die 4 Verfahrensschritte für ein netzorientiertes Maßnahmenmanagement beschrieben. Diese 4 Verfahrensschritte sind:

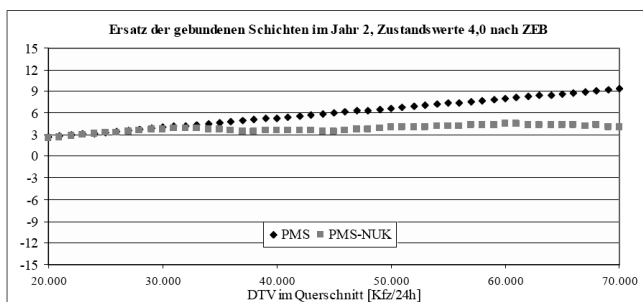
- die Strategiebildung im PMS und Rangordnung nach dem Wirksamkeits-Kosten-Verhältnis,
- die Nutzerkostenberechnung für die erzeugten Strategien und Rangordnung nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis,
- die Optimierung der Strategien im PMS nach der Wirksamkeit und
- die Strategieoptimierung nach dem Nutzen für Straßennutzer.

Die genannten Verfahrensschritte wurden, sofern nicht ohnehin im PMS angesiedelt, in datenverarbeitungstechnische Algorithmen umgesetzt, programmiert und an einem Testnetz erprobt. Bezüglich der Konfliktanalyse im Netz wurde in einer Unterauftragnehmerleistung durch die Heller Ingenieurgesellschaft ein Visualisierungstool entwickelt, programmiert und am gleichen Testnetz getestet. Die Synergieeffekte bei der Kopplung von Baustellen in Längsrichtung einer Trasse konnten mit den im Rahmen des Projekts entwickelten Testprogrammen untersucht werden.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Nutzerkostenbewertung im PMS

Es wurde ein Konzept für die modulare Einbindung der Nutzerkostenbewertung in das PMS (VIAPMS) entwickelt. Dieses Konzept sieht vor, den PMS-Lauf in zwei Schritten laufen zu lassen. Zunächst erfolgt die Bildung und Bewertung der Erhaltungsstrategien. Das Ergebnis sind alle technisch sinnvollen Strategien, die nach dem "Fläche unter der Kurve-Prinzip" (dies ist eine Wirksamkeits-Kosten-Untersuchung) gereiht sind und in der PMS-Datenbank DT0FACC.MDB in der Tabelle DT0A001 abgelegt werden. Bevor der zweite Teil des PMS, die Netzoptimierung mit Budgetrestriktion, im PMS gestartet wird, erfolgt die alternative Bewertung dieser Strategien nach dem Prinzip "Nutzen-Kosten-Bewertung", wobei der Nutzen aus den Nutzerkostendifferenzen der Strategien abgeleitet wird. Danach kann die Netzoptimierung des PMS entweder mit dem bisherigen Kosten-Wirksamkeits-Prinzip oder mit dem Nutzen-Kosten-Prinzip durchgeführt werden. Die Abweichungen der Ergebnisse beider Prinzipien entstehen insbesondere bei Variation der Verkehrsnachfrage, vgl. das Beispiel in Bild 2.



**Bild 2:** Vergleich der Entwicklung des Wirksamkeits-Kosten-Verhältnisses (PMS) und des Nutzen-Kosten-Verhältnisses (PMS-NUK) am Beispiel einer vierstreifigen BAB mit Ausgangszustand 4,0, Maßnahme im Jahr 2 und steigender Verkehrsbelastung, RQ 29,5, Verkehrsführung 4s+0

Da bei der bisherigen PMS-Bewertung die "Fläche unter der Kurve" multipliziert wird mit der Verkehrsnachfrage und dieses Produkt als Wirksamkeitsindex verwendet wird, entsteht hier eine linear mit der Verkehrsnachfrage wachsende Wirksamkeit.

Die Nutzen-Kosten-Analyse auf Basis der Nutzerkostenbewertung weicht mit zunehmender Verkehrsnachfrage, insbesondere oberhalb der Kapazitätsgrenze der Baustellenführung, immer stärker von der bisherigen Bewertung ab. Für die Berechnungen wurde das Testprogramm PMS-NUK entwickelt.

#### 3.2 Konfliktanalyse des Bauprogramms im Netz

Die im PMS integrierte interaktive Erzeugung eines Bauprogramms hat das Ziel, mit den beschriebenen Optimierungskriterien und unter Budgetrestriktionen optimale Erhaltungsstrategien für das analysierte Netz vorzuschlagen. Das Ergebnis

des PMS ist also ein Erhaltungsprogramm(-Vorschlag), der sich auf die importierten homogenen Abschnitte bezieht (bei Nutzung der 5 möglichen Szenarien entstehen 5 Erhaltungsprogramme). Es wird kein Zusammenhang der ausgewiesenen Maßnahmen im Netz hergestellt. Die Maßnahmen werden in Listenform (ViaEXCEL) und auch grafisch (ViaMAP) dargestellt. Sie bedürfen der interaktiven Weiterentwicklung durch den Erhaltungsplanungsingenieur zu einem Bauprogramm.

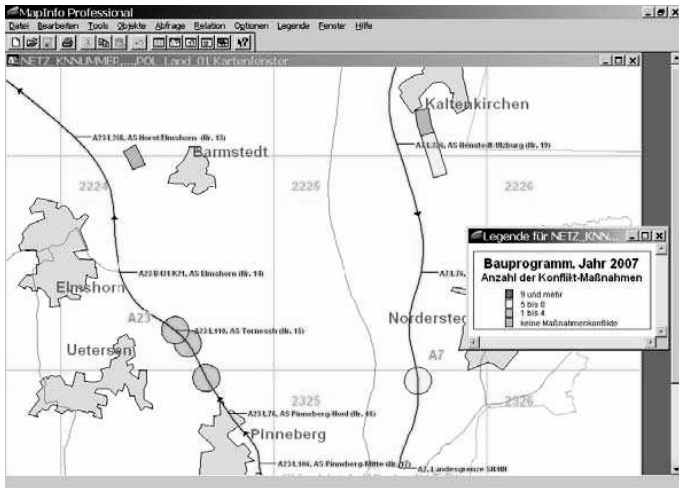
Mit der 2. Teilaufgabe des Projektes sollte ein erster Versuch unternommen werden, für das PMS bzw. ein nachgeschaltetes Modul eine Netzbeziehung des Erhaltungsprogramms für die Fahrbahnen unter Berücksichtigung der Ingenieurbauwerke herzustellen. Dabei sollten die Erhaltungsprogramme der Fahrbahnen und Bauwerke

- als Netzplot grafisch dargestellt und
- die dabei erkennbaren Netzkonflikte aufgefunden, dargestellt, typisiert und Vorschläge für deren Behandlung gemacht werden.

Es muss an dieser Stelle darauf verwiesen werden, dass es bei dieser Zielstellung um Algorithmen geht, die über das eigentliche PMS deutlich hinausgehen. Sie kann als Schritt zu einem umfassenden Management gesehen werden und könnte künftig an der Schnittstelle zwischen mittel- und langfristiger Prognose durch das PMS und kurzfristiger Maßnahmenplanung angesiedelt sein. Als Testnetz wurde (wie auch beim Test der Nutzerkostenbewertung) das Bundesautobahnnetz in Schleswig-Holstein herangezogen. Das PMS als Prognoseinstrument betrachtet einen Zeitraum von 5 bis 6 Jahren (manchmal auch 10 Jahre, "Maßnahmezeitraum") und liefert eine weitergehende Konsequenzabschätzung bis zum 20. Jahr. Diese längerfristige Planung schließt aus, die zeitliche Einordnung der Maßnahmen in der jeweiligen Jahresscheibe auf Kalenderwochen genau anzugeben. Es ist also ohne Weiteres möglich, Maßnahmen in parallelen Netzmaschen im gleichen Jahr auszuführen, ohne dass es gegenseitige Beeinflussungen jeglicher Art gibt. Deshalb wurde das Ziel der Netzkonfliktanalyse darin gesehen, potenzielle Konflikte aufzuzeigen und zu quantifizieren. Auf diese Weise soll der Ingenieur, der später das PMS-Ergebnis unter Beachtung der Ingenieurbauwerke zu einem Bauprogramm weiterverarbeitet, unterstützt werden. Die Entwicklung der Algorithmen und die programmtechnische Umsetzung erfolgte durch die Heller Ingenieurgesellschaft. Bei der Ermittlung (Schätzung) der verkehrlichen gegenseitigen Auswirkungen der Maßnahmen werden folgende zwei Kenngrößen berücksichtigt:

- Dauer der Maßnahmen (in Kalendertagen),
- geografische Entfernung zwischen den Maßnahmen.

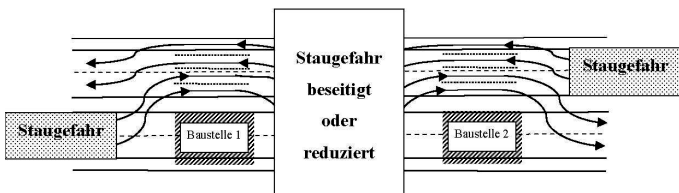
In dem Verfahren zur Ermittlung der gegenseitigen Beeinflussung der Auswirkungen von Maßnahmen werden entsprechende Kenngrößen für alle Maßnahmenpaare der jeweiligen Jahresscheibe berechnet. Ihre gegenseitige Wirkung wird durch eine Indexsumme beschrieben, die sich aus einer additiven und multiplikativen Verknüpfung bestimmter Bauzeiten- und Entfernungsklassen errechnet. Die Parameter dieser Klassen sind innerhalb sinnvoller Grenzen frei wählbar. Im Ergebnis entstehen für alle Jahresscheiben des Bauprogramms MAPINFO-Karten, die farbliche Darstellungen der Ergebnisse der Konfliktanalyse enthalten, vgl. Bild 3.



**Bild 3:** Beispiel für das Ergebnis der Konfliktanalyse eines Jahrs am Testnetz der Bundesautobahnen in Schleswig-Holstein (Kartenauszug)

### 3.3 Synergie-Effekte der zeitlichen Kopplung von Erhaltungsabschnitten

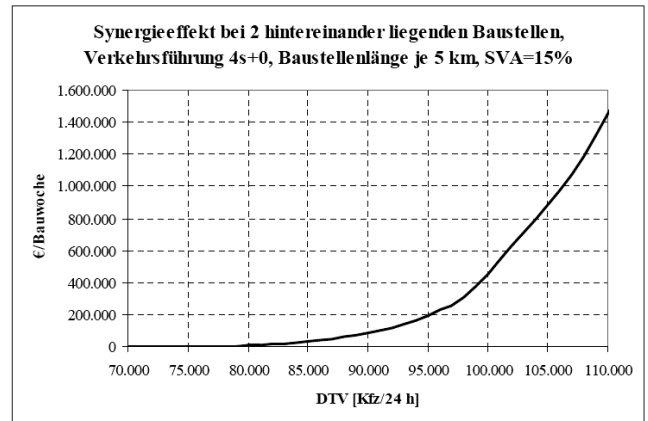
Mit der zeitlichen Abstimmung von Erhaltungsmaßnahmen in Längsrichtung einer Trasse sind Synergieeffekte in Form eingesparter zusätzlicher Straßennutzerkosten möglich. Der Stau vor Folge-Baustellen lässt sich reduzieren, wenn sie hinter einer gleichartigen anderen Baustelle liegen (einmaliger "Flaschenhalseffekt" für mehrere Baustellen). Werden die Baustellen zeitgleich betrieben, dann entsteht die in Bild 4 dargestellte Situation.



**Bild 4:** Beseitigte oder reduzierte Staugefahr an der 2. Baustelle bei zwei zeitgleich betriebenen Baustellen am Beispiel der Verkehrsführung 4s+0

Der Kapazitätsengpass an der Baustelle 1 bewirkt eine zeitliche Nivellierung des Fahrzeugstroms, sodass nach Passieren der Baustrecke der Verkehrsfluss maximal der Kapazität der Baustellenverkehrsführung entspricht. Bei kurzem Abstand zur nachfolgenden Baustelle (mindestens 5 km), fehlendem Abfluss sowie Zufluss von Fahrzeugen zwischen den Baustellen (bzw. wenn sich Zu- und Abfluss im Gleichgewicht befinden) und gleicher Baustellenverkehrsführung kann davon ausgegangen werden, dass die nachgefragte Verkehrsstärke an der Baustelle 2 die Kapazität nicht übersteigt und somit ohne Stau vor der Baustelle abgefertigt werden kann. Die gleiche Aussage gilt für die baustellenabgewandte Fahrtrichtung, nur dass jetzt hier die Baustelle 2 die "Glättungsfunktion" des Verkehrsstroms übernimmt und vor Baustelle 1 die Staugefahr beseitigt ist. Der Wegfall der Staugefahr ist jedoch nicht mit dem gänzlichen Wegfall von zusätzlichen Nutzerkosten gleichzusetzen, denn nach wie vor entstehen durch die Beschränkung der zulässigen

Höchstgeschwindigkeit zusätzliche Nutzerkosten. Der beschriebene Effekt wurde algorithmisch aufgearbeitet und mit dem in Kapitel 3.1 beschriebenen Testprogramm PMS-NUK für ausgewählte Fallbeispiele quantifiziert. Bild 5 zeigt die Ergebnisse am Beispiel der Verkehrsführung 4s+0. Ein Synergieeffekt tritt auf, wenn in den Spitzenstunden Stau entsteht. Er wächst danach progressiv mit weiter zunehmendem DTV und kann bei sehr hoch belasteten Querschnitten (95.000 Kfz/Tag) die zusätzlichen Nutzerkosten an der 2. Baustelle mehr als halbieren (bei dieser Verkehrsnachfrage betragen die zusätzlichen Nutzerkosten an der ersten Baustelle 72.633 €/Bauwoche und an der zweiten Baustelle 34.460 €/Bauwoche).



**Bild 5:** Reduzierung zusätzlicher Nutzerkosten durch zeitgleiche Erhaltungsmaßnahmen entlang einer zweistreifigen BAB

### 4. Folgerungen für die Praxis

In den letzten 10 Jahren wurde das PMS zur Anwendung vorbereitet und flächendeckend zum Einsatz gebracht. Während dieser Zeit wurde das Hauptaugenmerk auf die technische Umsetzung des Systems gelegt. Nachdem nun diverse Erfahrungen gesammelt wurden, sollte auch die methodische Diskussion wieder fortgesetzt werden. Neben diversen Aktualisierungen der Komponenten (Verhaltensfunktionen, Kostenansätze u. a.) und programmtechnischen Vereinfachungen der Vorbereitung und Nutzung des PMS (z. B. PMS I/O), die bereits in Gang gesetzt wurden, sollten grundsätzliche Fragestellungen geklärt oder erneut aufgegriffen werden, wie

- die Auswirkungen des Zustands oberhalb von Grenzbzw. Schwellenwerten,
- die Methodik der Einbindung des Restwerts in die Strategiebewertung oder
- die Diskussion geeigneter Vergleichsstrategien.

Die Einbindung der Nutzerkostenbetrachtung in das PMS zwingt, ähnlich wie z. B. bei den Kostenannahmen, zu Vereinfachungen und Pauschalierungen. So würde beispielsweise die streckenbezogene Zuordnung von Ganglinien des Verkehrs eine deutliche Verbesserung der Nutzerkostenberechnungen liefern. Für einen langfristigen prognostischen Einsatz des PMS reichen pauschalierte Ansätze aus. Jedoch zeigt die Praxis, dass der Wunsch besteht, einen stetigen Übergang aus der langfristigen netzweiten PMS-Analyse zu kurzfristigen und objektkonkreten Maßnahmenplanungen herzustellen. Dies ist prinzipiell möglich, führt jedoch zu einer "Regionalisierung" des PMS und damit zu höherem Aufwand bei der Vorbereitung und dem Einsatz des PMS.