

Standardisierung der Messdatenaufbereitung in Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen

FA 3.295

Forschungsstelle: Heusch Boesefeldt GmbH, Niederlassung Hamburg

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: November 2002

1. Aufgabenstellung

Das Forschungsprojekt hatte Empfehlungen zur Standardisierung der Messdatenaufbereitung in Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen zu erarbeiten. Betrachtet wurden die Bereiche Plausibilitätsprüfung, Ersatzwertbildung und Verkehrssituationsklassifizierung.

Die Wirksamkeit und Akzeptanz von Verkehrsbeeinflussungsanlagen hängt wesentlich von der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messwerterfassung und somit auch von deren Plausibilitätskontrollen und Messwertersetzungen ab. Fehlfunktionen in diesem Bereich der Steuerungen können zu Störungen im Verkehrsablauf, zu unplausiblen Schaltungen oder sogar zum Abschalten einer Anlage führen. Aus diesen Gründen kommen Plausibilitätskontrollen und Verfahren zur Messwertersetzung ein hoher Stellenwert zu.

2. Untersuchungsmethodik

Die Arbeit wurde im Wesentlichen in vier aufeinander folgenden Schritten durchgeführt, die im Folgenden dargestellt sind.

2.1 Analyse der Verfahren zur Messdatenaufbereitung

Um einen repräsentativen Überblick über die aktuell eingesetzten Verfahren zur Messdatenaufbereitung zu bekommen, wurden sechs verschiedene Verkehrsbeeinflussungsanlagen, die sich durch die Art der Beeinflussung unterscheiden, ausgewählt. In die Untersuchung einbezogen wurden Linien-, Netz- und Knotenbeeinflussungsanlagen. Die Betreiber der Anlagen haben Unterlagen zur Verfügung gestellt, aus denen die jeweils eingesetzten Verfahren für Plausibilitätskontrollen, Messwertersetzung und Verkehrssituationsklassifizierung für die Daten (-gruppen) Verkehrsdaten, Umfelddaten und Betriebsdaten herausgearbeitet wurden. Die Ergebnisse wurden (in Verbindung mit Kurzbeschreibungen der untersuchten Anlagen) strukturiert für den Forschungsbericht aufbereitet.

2.2 Analyse der Messdatenausfälle

Ein entscheidendes Beurteilungskriterium für die Einsetzbarkeit der verschiedenen Ersatzwertverfahren ist die Länge des Zeitintervalls, in der Ersatzwerte noch sinnvoll gebildet werden können. Daher war es erforderlich zu untersuchen, in welchem Zeitrahmen Ausfälle von verschiedenen verkehrstechnischen Einrichtungen auftreten. Hierzu wurden Fehlerprotokolle verschiedener Verkehrsbeeinflussungsanlagen ausgewertet. Der Untersuchungszeitraum betrug pro Anlage jeweils einen Monat. Die Auswertung der Fehlerprotokolle erfolgte getrennt nach Verkehrsdaten und Umfelddaten. Für die Auswertung wurden folgende verkehrstechnische Einrichtungen unterschieden: Kommunikationsfehler (meldet Ausfälle des Steuermoduls und/oder des kompletten Inselbusses), Steuermodulfehler (meldet EAK-Ausfälle, also eines gesamten Messquerschnittes) und EAK-Fehler (melden DE-Ausfälle). Für jede Fehlerart wurden Ausfallhäufigkeit und Ausfalldauer statistisch untersucht.

2.3 Vergleich der Ersatzwertverfahren

Zur Untersuchung der verschiedenen Ersatzwertverfahren wurden Messreihen aus einer Verkehrsbeeinflussungsanlage, die eine lückenlose Darstellung von Messwerten (keine Fehlermeldungen) bieten, den gleichen Messreihen gegenübergestellt, in denen Ausfälle simuliert und die entsprechenden Daten mit den untersuchten Verfahren ersetzt werden. Da keine der untersuchten Anlagen Ersatzwertverfahren für Umfelddaten einsetzt, wurden nur Verfahren zur Ersatzwertbildung für Verkehrsdaten betrachtet.

Folgende Verfahren wurden untersucht:

Verfahren 1: direkte Übernahme von Werten der entsprechenden Ersatzquerschnitte,

Verfahren 2: direkte Übernahme und Berechnung auf der Grundlage von Werten entsprechender Ersatz- bzw. Nachbarquerschnitte,

Verfahren 3: direkte Übernahme und Berechnung auf der Grundlage von Vorwochenwerten.

Zusätzlich wurde für bestimmte Fälle das Kalmanfilterverfahren betrachtet.

Die Simulation der Messdatenausfälle erfolgte anhand verschiedener Szenarien, in denen die nach TLS gemessenen Verkehrsdaten ersetzt werden mussten. Bei der Auswahl der Ausfallszenarien wurde darauf geachtet, Szenarien auszuwählen, bei denen die Ersatzwertverfahren an ihre Grenzen stoßen.

Nach folgenden Gesichtspunkten wurden Daten in den ungestörten Messreihen gelöscht:

räumlich: ein Detektor, ein Messquerschnitt, mehrere Detektoren hintereinander, mehrere Messquerschnitte hintereinander,

zeitlich: konstanter Zeitraum für eine Ausfalldauer, zeitlich alternierend, d. h. vorhandene/nicht vorhandene Messwerte für verschiedene Intervalldauern,

verkehrssituationsbedingt: während gestörtem Verkehrsfluss, während ungestörtem Verkehrsfluss.

Die Ergebnisse der Simulationen wurden statistisch aufbereitet. Einerseits wurde die Korrelation zwischen den ersetzten Verkehrsdaten (Geschwindigkeit Kfz, Pkw, Lkw sowie Anzahl Kfz und Lkw) und den tatsächlich gemessenen Werten betrachtet. Andererseits wurde ein statistischer Test durchgeführt. Hierbei wurde die aus den ersetzten bzw. gemessenen Werten berechnete Verkehrslage als die zu vergleichende Zielgröße betrachtet.

2.4 Ableitung von Empfehlungen zur Messdatenaufbereitung

Auf Grundlage der aus den Simulationen gewonnenen Ergebnisse wurden Empfehlungen zur Standardisierung der Messdatenaufbereitung abgeleitet.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Analyse der Verfahren zur Messdatenaufbereitung

a. Plausibilitätskontrollen

Bei den untersuchten Anlagen werden nur im Rahmen der Verkehrsdatenerfassung Plausibilitätskontrollen durchgeführt. Die Plausibilitätskontrollen bestehen hier aus einem Vergleich mit

Grenzwerten, die voreingestellt sind und im laufenden Betrieb parametrisiert werden.

b. Ersatzwertbildung

Generell kann bei den untersuchten Verfahren zwischen zwei Ersatzwertbildungen unterschieden werden. Zum einen wird ein ungültiger Messwert durch eine gewichtete Übernahme des Messwerts der Vorwoche ersetzt. Zum anderen wird ein ungültiger Messwert durch Berechnung oder durch direkte Übernahme der Werte des Nachbar- oder Ersatzsensors ersetzt.

c. Verkehrssituationsklassifizierung

Die Verkehrslage wird bei allen Anlagen fahrstreifen- bzw. querschnittsbezogen über Grenzwerte für Verkehrsstärke und Geschwindigkeit ermittelt und dann vordefinierten Stufen zugeordnet.

3.2 Analyse der Messdatenausfälle

Die weitaus häufigsten Ausfälle in der Verkehrsdatenerfassung dauern nicht länger als 10 Minuten. Es ist also von entscheidender Bedeutung, dass Ersatzwertverfahren in diesem Bereich besonders zuverlässig arbeiten. In der absoluten Anzahl der Fehler treten Fehler von einzelnen DE (d. h. Fahrstreifen) sehr häufig auf, allerdings sind die Fehler des EAK, die den Ausfall eines Richtungsquerschnittes nach sich ziehen, ebenfalls in einem beachtenswerten Ausmaß vorhanden. Aus diesem Grunde waren Ersatzwertverfahren für einzelne Fahrstreifenwerte sowie Richtungsquerschnitte zu untersuchen.

3.3 Vergleich der Ersatzwertverfahren

Die untersuchte Situation bei dreistreifigen Autobahnen lässt den Schluss zu, dass bei Ausfall von zwei bzw. drei Fahrstreifen eines Querschnitts die untersuchten Ersatzwertbildungen nicht ausreichend sind. Allerdings zeigt sich bei einem Ausfall von 2 Fahrstreifen der Trend, dass die Ersatzwerte für Geschwindigkeit-Kfz und -Pkw eine hohe Korrelation zu den tatsächlich gemessenen Werten aufweisen. Die Weiterverarbeitung dieser Daten, wie z. B. die Berechnung der Verkehrslage, können zu guten Ergebnissen führen. Dies wurde deutlich durch eine hohe Korrelation zwischen der Verkehrslage (berechnet aus gemessenen Werten) und der Verkehrslage, die mit Ersatzwerten berechnet wurde.

Bei fast allen Verfahren führt die Ersatzwertbildung für die Anzahl und Geschwindigkeit Lkw zu sehr schlechten Werten. Für die Verkehrslageermittlung ergibt sich in den meisten Fällen keine Verschlechterung durch diesen Wert. Weiterhin ist, wie oben erwähnt, die Korrelation Geschwindigkeit-Kfz bzw. -Pkw auch bei ansonsten schlechten Ergebnissen noch relativ gut.

Bei der Untersuchung von ausgefallenen Detektoren, die hintereinander liegen, ergeben sich folgende Hinweise: Das Verfahren 1 kann in diesen Situationen keine verwertbaren Ersatzwerte ermitteln. Bei Ausfall eines Fahrstreifens an zwei bis drei aufeinander folgenden Querschnitten zeigt jedoch das Verfahren 2, aber insbesondere das Verfahren 3, weiterhin gute Ergebnisse und kann eingesetzt werden. Hier muss unterstrichen werden, dass der Ausfall eines Gesamtquerschnittes bei allen untersuchten Verfahren keine gute Ersatzwertbildung zeigt. Die Situation eines "flatternden DE-Fehlers" an einem Fahrstreifen, d. h. ein Intervall "erfasst", das nächste Intervall "ausgefallen" usw., zeigt keine wesentlichen Unterschiede zur Situation "vollständiger Ausfall". Es lässt sich eine gewisse verbesserte Ersatzwertbildung im Verfahren 1 für diese Situation erkennen, die allerdings statistisch nicht nachweisbar ist. In diesem Zusammenhang ist sicherlich auch sehr interessant, dass sich die Ersatzwertbildung bei Gesamtquerschnittausfall

nicht verbessert, wenn abwechselnd ein Intervall vollständig erfasst wird und im nächsten Intervall wieder ausgefallen ist.

Eine Verbesserung für die Ersatzwertbildung, insbesondere bei Verfahren 1, ergibt sich dann, wenn das Aussetzen des DE-Fehlers über mehrere Intervalle anhält und anschließend über die gleiche Distanz wieder Messwerte vorliegen. Bei fünf Minuten "Ausfall" und fünf Minuten "Erfassung" zeigt das Verfahren 1 auch bei Ausfall von zwei Fahrstreifen noch gute Ergebnisse in der Ersatzwertbildung. Ebenso liefert das Verfahren 2 gute Ergebnisse. Allerdings nicht in der Güte, wie Verfahren 1 und es ist damit statistisch nicht nachweisbar. Selbst bei einem Ausfall von 3 Fahrstreifen ist das Verfahren 1 in dem Ausfallszenario "5 Intervalle erfasst, 5 Intervalle Ausfall" bezüglich der Trefferwahrscheinlichkeit für die Berechnung der Verkehrslage mit einem P-Wert von 8 % relativ gut. Dennoch liegt dieser Wert oberhalb des vorgegebenen Signifikanzniveaus von 5 %. Dieses gute Ergebnis fällt insbesondere dadurch auf, weil die Verkehrswerte nicht gut korrelieren.

Die Art der Berechnung der Verkehrslage scheint hier zu einer geglätteten und damit verbesserten Ersatzwertbildung zu führen. Die Grenze der Intervallanzahl bei zeitlich alternierenden Ausfällen, um bei einer größeren Anzahl ausgefallener Fahrstreifen noch gute Werte zu erzielen, liegt zwischen 3 und 4 Intervallen. Bei der Situation 3 Intervalle "Ausfall", 3 Intervalle "vollständige Erfassung" ist bei einem Ausfall von 2 Fahrstreifen eines Querschnittes keine gute Übereinstimmung der Trefferwahrscheinlichkeiten nachzuweisen. Bei "Ausfall" von 4-Minuten und 4-Minuten "Erfassung" ist eine signifikante Trefferwahrscheinlichkeit nachzuweisen.

3.4 Empfehlungen zur Standardisierung der Messdatenaufbereitung

Die bisher gebräuchlichen Ersatzwertverfahren nach versorgbaren Intervallen, aber in der Regel nach zehn Intervallen, nicht weiter zuzulassen, kann so nicht aufrecht erhalten werden. Es wurden in der Simulation gute Ergebnisse bei einem Ausfall von bis zu 60 Intervallen ermittelt.

Bei der Weiterverarbeitung der Messwerte, wie z. B. der Berechnung der Verkehrslage, wären Verfahren zu untersuchen, die bei einem Ausfall nur auf die Pkw- und ggf. Kfz-Werte zurückgreifen, da generell die Ersatzwertbildung für Lkw, sowohl deren Anzahl als auch Geschwindigkeit, sehr schlecht ist, andererseits jedoch insbesondere die Geschwindigkeit Pkw sehr gut nachgebildet wird.

4. Folgerungen für die Praxis

Zwischen Verfahren 1 und Verfahren 2 wurden keine großen Unterschiede festgestellt. Verfahren 1 zeigt bei alternierenden Ausfällen etwas bessere Ergebnisse als Verfahren 2. In den anderen untersuchten Fällen ist Verfahren 2 überlegen und sollte generell angewendet werden.

Obwohl die Werte bei Ausfall des Gesamtquerschnittes nicht gut nachgebildet werden, kann im Rahmen von Streckenbeeinflussungsanlagen darauf vertraut werden, dass zusätzlich im Längsabgleich der Anzeigequerschnitte eine plausible, da geglättete Anzeige erscheint.

Für Netzbeeinflussungsanlagen ist das Verfahren 3 als sinnvolles Verfahren beim Ausfall von Gesamtquerschnitten zu betrachten. Hier ist die Detektion des genauen Zeitpunkts der Änderung der Verkehrssituation (1–5 Minutenbereich) nicht so entscheidend für die Schaltentscheidung. Der Einsatz des Verfahrens bedingt allerdings hohe Anforderungen an die Systemtechnik durch die gleichzeitige Anwendung historischer Daten und aktueller Prozessdaten. Bei Knotenbeeinflussungsanlagen

gilt Ähnliches, da die Detektorlage keine sinnvollen Ersatzquerschnitte für Verfahren 1 und 2 zulässt.

Das Kalmanfilterverfahren hat im Rahmen des Forschungsprojekts keine befriedigenden Ersatzwerte erzeugt. Es muss jedoch beachtet werden, dass das Kalmanfilterverfahren stark parameterabhängig ist. Auf Grund der besonderen Testsituation konnte kein längerer Einsatz in der Praxis zu Grunde gelegt werden, der für eine gute Einstellung der Parameter gesorgt hätte. Der Einsatz des Kalmanfilterverfahrens bedarf also einer Untersuchung in einer Anlage, wo es für andere Zwecke bereits (parametriert) eingesetzt wird.

Die Untersuchung und Bewertung der Streckenstationen und damit der Auswertungen der Schleifen war nicht Gegenstand des Forschungsberichts. Das Ergebnis, dass sich die Ausfälle unter einer Minute häufen (insbesondere in einer der untersuchten Anlagen), wirft jedoch einige Fragen auf. Warum konnte dies nur an einer Anlage nachgewiesen werden? Was passiert, wenn Ausfälle innerhalb eines Intervalls auftreten? Werden Zählwerte geliefert und sind diese korrekt? Weiterhin kamen Fragen nach den in den EAK durchgeführten Pausibilitätsprüfungen auf. Zurzeit scheint die Programmierung der SSt eine black-box zu sein. Dies sollte auf Grund der obigen Fragestellungen überdacht werden. □