

IT-Systeme für Verkehrsunternehmen

Informationstechnik im öffentlichen Personenverkehr

von
Gero Scholz

1. Auflage

IT-Systeme für Verkehrsunternehmen – Scholz

schnell und portofrei erhältlich bei beck-shop.de DIE FACHBUCHHANDLUNG

Thematische Gliederung:

Wirtschaftsinformatik

dpunkt.verlag 2011

Verlag C.H. Beck im Internet:

www.beck.de

ISBN 978 3 89864 770 0

8 Betriebslenkung

In diesem Kapitel geht es um die Überwachung und Beeinflussung des Beförderungsprozesses, also um Fahrgastfahrten, aber auch gleichermaßen um den Einsatz von Fahrern und Fahrzeugen. Damit dieser ganzheitliche Ansatz deutlich wird, haben wir uns für die Bezeichnung *Betriebslenkung* (*Transport Control*) entschieden. Das englische »control« darf man im Deutschen nicht mit »Kontrolle« übersetzen, denn es geht nicht um prüfendes Nachvollziehen, sondern um die laufende Verfolgung und um *steuernde* Eingriffe.

Ein anderer gebräuchlicher Begriff – der die Fahrzeuge mehr nach vorn rückt – ist *Flottensteuerung* (*Fleet Control*). Ewas weniger passend scheint uns der Begriff *Flotten-Management*, da er zeitlich nicht so scharf auf den Augenblick des Geschehens abgegrenzt ist. Unter *Fleet Management* könnte man auch Überlegungen zur Umstrukturierung der Flotte durch die Beschaffung neuer Fahrzeuge verstehen. Andere Begriffe wiederum engen zu sehr ein, wie z. B. *Vehicle Tracking*, *Automatic Vehicle Location* (AVL), denn sie beschränken sich inhaltlich auf einen einzigen Teilaspekt: die Fahrzeugortung.

Traditionell nennt man Systeme, die die Betriebslenkung unterstützen, *Betriebsleitsysteme*¹. In der Anfangszeit der Computerentwicklung war es etwas Besonderes, dass man in einem Betriebsleitsystem zusätzlich zum Sprechfunk auch *Datenfunk* und *Rechner* einsetzte: So entstand der Begriff »Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL)«, der heute etwas angestaubt wirkt, von der Sache her aber nach wie vor sehr treffend ist. Er bringt zum Ausdruck, dass der Rechner eine Unterstützung für handelnde Menschen darstellt, ohne ihnen die Verantwortung abzunehmen.

Wir befinden uns heute an einem Punkt, wo dieses Selbstverständnis des »dienenden« IT-Systems noch mehrheitlich akzeptiert, punktuell aber schon in Frage gestellt wird. Es gibt fahrerlose U-Bahnen², es gibt vollautomatische »Collision-Avoidance-Systeme«³, und in modernen ÖPV-Betriebsleitsystemen finden sich Algorithmen, die auf eine Störsituation automatisch reagieren. Meist sind sie so konfiguriert, dass bei größeren Eingriffen ein Mensch als letztes Glied in der

Andere Begriffe

Rechnergestütztes Betriebsleitsystem
RBL

Automatik!?

1. In jüngerer Zeit wurde vom VDV die Bezeichnung *itcs* (intermodal transport control system) vorgeschlagen.
2. Dabei wirken Automatismen im Fahrzeug und in der Leitstelle zusammen.
3. Ein System wie TCAS in der Luftfahrt ist noch relativ jung; bei der Bahn sind solche Systeme schon ein »alter Hut«.

Leistungsprofil von
Betriebsleitsystemen

Kette sein O.K. geben muss. Bei der Intervallregulierung im Taktverkehr und bei der Anschlusssicherung gestehen jedoch bereits viele Verkehrsbetriebe ihrem Leitsystem einen gewissen Ermessensspielraum zur eigenständigen Nutzung zu.

Generell ist zu beobachten, dass der Automatisierungsgrad im Cockpit von Flugzeugen und Schienenfahrzeugen einen Stand erreicht hat, der einen führerlosen Betrieb im Prinzip möglich macht. Die bedienerlose Leitstelle hingegen gibt es nicht. IT-Systeme in zentralen Leitstellen konzentrieren sich in der Luft wie am Boden fast immer ...

- ... auf eine möglichst gute Aufbereitung von Daten, typischerweise durch Tabellen und schematische Grafiken; zu jedem Fahrzeug können Kontextinformationen wie Linie, Fahrplanlage (Verspätung, Pünktlich, Verfrühung) eingeblendet werden,
- ... auf die Überwachung von Grenzwerten und die Unterstützung bei der Definition durchzuführender Dispositionsmaßnahmen,
- ... auf das Überprüfen der Konsequenzen von Maßnahmen, die der Benutzer beabsichtigt (Simulation, Vereinbarkeit mit verbindlichen Regelwerken),
- ... auf die Unterstützung bei Maßnahmen, die der Benutzer ausgeführt hat (Weiterleiten von Anweisungen und Informationen, Wiedervorlage, Anfordern von Reaktionen Dritter),
- ... auf möglichst perfekte Sprachkommunikation, sowohl bilateral als auch in Gruppen (Einzelgespräch, Rückrufwunsch, Rundspruch, Konferenzschaltung),
- ... auf die Übertragung standardisierter Botschaften als codierte Datennachrichten.

Bedeutung der Leitstelle in hoch
automatisierten Systemen

Der Automatisierungsgrad eines Leitsystems im Vergleich zu einem Steuerungssystem für ein Einzelfahrzeug hängt nicht nur von der Komplexität ab, sondern ist auch eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Im einen Fall geht es darum, potenziell Hunderte von Fahrern (Piloten, Flugingenieure) zu ersetzen, im anderen Fall geht es um ein Dutzend Disponenten. Mit dem wachsenden Bewusstsein für Sicherheit wird der Mensch in der Leitstelle tendenziell sogar immer noch wichtiger: Wenn der Fahrgast sich schon in eine fahrerlose U-Bahn setzt, dann möchte er wenigstens einen Notruftaste haben, über den er sofort jemanden »aus Fleisch und Blut« erreichen kann. Es ist unvorstellbar, dass dann am anderen Ende der Leitung ein Telefonmenü antwortet: »Wenn Sie eine Beschwerde haben, drücken Sie bitte die 1, handelt es sich um einen akuten Notfall, so wählen Sie bitte die 2 ...« Die Erwartung wird vielmehr in Richtung einer Sichtverbindung (Kamera) gehen, um den virtuellen Beistand durch die Leitstelle so intensiv wie möglich zu gestalten.

Auftragsverfolgung anstatt
Fahrzeugverfolgung

Vom Wesen her ist ein Betriebsleitsystem nicht ein *Fahrzeug*-Verfolgungssystem, sondern ein *Auftragsverfolgungssystem*. Der Auftrag besteht darin, Beförderungskapazität auf bestimmten Linien zu vereinbarten Zeiten bereitzustellen. Jede **FahrtX** im Modell ist ein Beförderungsauftrag. Anders als bei einem Fertigungsbetrieb geht es aber nicht um die Herstellung eines Produkts, sondern um eine vergängliche Leistung, deren Wert vom richtigen Zeitpunkt abhängt. Wenn auf einer Linie Fahrzeuge im 20-Minuten-Takt verkehren, dann kann man nicht einfach jeden Fahrauftrag isoliert betrachten. Hat beispielsweise ein bestimmtes Fahrzeug 19 Minuten Verspätung und liegt das nachfolgende Fahrzeug genau im

Plan, so kann es sein, dass die – an sich perfekte – Auftragserfüllung des zweiten Fahrzeugs für den Fahrgast fast wertlos ist. Es sei denn, es warten bereits so viele Fahrgäste, dass nicht alle im ersten Fahrzeug Platz haben. Um solche Zusammenhänge geht es in diesem Kapitel. Wie erkennt eine Leitstelle *Störungen* möglichst rasch und wie reagiert sie darauf?

Schnelle, sichere und effektive Kommunikation ist von entscheidender Bedeutung für ein Betriebsleitsystem. Wir widmen diesem Thema später ein eigenes Unterkapitel (Abschnitt 8.7).

Bedeutung der Kommunikation

Zunächst betrachten wir jedoch die Einbettung in das *ITVU*-Modell und die Ortung. Danach gehen wir auf das Zusammenwirken zwischen Leitsystem und Fahrzeugen ein und befassen uns eingehend mit dem Störungsmanagement.

8.1 Basisdaten des Leitsystems

Ein Betriebsleitsystem beruht auf dem Fahr- und Dienstplan des jeweiligen Tages, also auf *FahrtX*, *UmlaufX* und *DienstX* in der Sprache des Modells. Außerdem benötigt das Leitsystem detailliertes Wissen über den *Fahrweg* und die einzelnen *Strecken*. Wir haben diese Klassen bereits in anderem Zusammenhang erläutert.

Ein Betriebsleitsystem importiert die Basisdaten im Normalfall aus einem Planungssystem. Sie werden dann durch Bearbeitungsvorgänge angereichert und an dezentrale Geräte (Fahrzeugrechner, Verkaufsgeräte, DFI-Anlagen) verteilt. Für den gesamten Prozess hat sich die Bezeichnung *Datenmanagement* eingebürgert.

Datenmanagement

Am Datenmanagement wird der Unterschied zwischen einem konzeptionellen Modell und konkreten IT-Systemen besonders deutlich. Aus Modellsicht können Klassen in den unterschiedlichsten Geschäftsprozessen benutzt werden – dennoch existiert jedes Objekt (also jede Instanz einer Klasse) nur ein einziges Mal. In der Realität ist dies aber gerade beim Datenmanagement anders: Das Planungssystem übergibt – meist im Tagesrhythmus – die »tagesgenauen« Fahrten, Umläufe und Dienste an das Betriebsleitsystem. Durch diese Entkopplung ist es relativ leicht möglich, Systeme unterschiedlicher Anbieter im Planungsbe- reich und in der Leitstelle einzusetzen, denn die entsprechende Schnittstelle ist weitgehend normiert. Diese gewollte Redundanz führt tendenziell zu höherer Verfügbarkeit der Systeme und mehr Robustheit – jedoch hat sie auch ihre Schattenseiten: Nachdem der Export erfolgt ist, bekommt das Leitsystem nichts mehr von Änderungen an der Planung mit. Da es sich im Wesentlichen um eine Einbahnstraße handelt, finden Änderungen im Datenmanagement des Leitsystems keinen Weg zurück in die Planung.

Modell vs. Implementierung

Manchmal ist dies auch gar nicht erwünscht: Wenn wegen einer Tagesbaustelle eine Linie anders geführt wird als sonst, dann soll sie schließlich am nächsten Tag wieder im Normalzustand verkehren. Andererseits: Wenn ein Fahrer spontan während des Dienstes erkrankt, dann sollte der Personaldisponent dies erfahren; wenn damit zu rechnen ist, dass der Fahrer am nächsten Tag nicht zum Dienst erscheint, muss er die Diensterteilung ändern. In der Praxis ist es nicht selten so, dass das vorzeitige Dienstende im Leitsystem erfasst wird und die Krankmeldung in einem anderen System erfolgt.

Rückwirkungen

Analyse von Abweichungen

Es gibt Fälle, in denen der Planer aus wiederholt auftretenden Abweichungen Konsequenzen ziehen muss: Wenn Fahrzeuge auf einer bestimmten Linie im Feierabendverkehr regelmäßig verspätet sind, dann wird er das **FahrZeitProfil** anpassen. Diese Art von Rückwirkung leidet kaum unter der erwähnten Schnittstelle zwischen Planungssystem und Leitsystem, denn eine solche Änderung erfordert eingehende Analysen und Vorlaufzeiten (vgl. Kap. 11); der Rückfluss in die Planung erfolgt manuell.

Unterschiedliche Detaillierungsgrade

Ein anderer Unterschied zwischen dem Modell und realen Systemen liegt in der Gruppierung von Merkmalen. Das Klassenmodell führt alle Merkmale einer Klasse nebeneinander auf, egal zu welchem Zeitpunkt im Prozessgeschehen diese Merkmale definiert oder verwendet werden. Da manche Merkmale nur für bestimmte Prozesse benötigt werden, genügt es im Prinzip, wenn sie nur in demjenigen System bekannt sind, das diesen Prozess unterstützt. Dazu ein Beispiel:

Der Fahrplaner interessiert sich nur in sehr begrenztem Umfang für Lichtsignalanlagen. Er will wissen, wo sie stehen, um einen Anhaltspunkt für die Ermittlung von Streckenfahrzeiten zu haben. Handelt es sich um Anlagen, die von Fahrzeugen beeinflusst werden können, so müssen in den Fahrzeugen jedoch zahlreiche technische Details zur Ansteuerung bekannt sein (Funkfrequenzen, Lage der Meldepunkte, Telegrammarten). Ähnlich ist es mit gesprochenen Ansagetexten: Sie gehören von der fachlichen Logik her zum **Fahrt-Ziel**. Im Rahmen der Planung genügt es jedoch, wenn man Ziele textuell beschreibt und das Management der zugehörigen Sprachkonserven späteren Prozessschritten überlässt.

Man kann ein Betriebsleitsystem daher so entwerfen, dass derartige Merkmalsgruppen nicht vom Planungssystem importiert, sondern erst im Datenmanagement des Betriebsleitsystems erfasst werden⁴. Außerdem müssen alle Daten, egal wo sie erfasst werden, auf die vielen Rechner, im Rechenzentrum der Leitstelle, in Fahrzeugen, Verkaufsautomaten und Haltestellen verteilt werden.

Datenverteilung

Das Beispiel führt uns zu einer weiteren wichtigen Aufgabe des Datenmanagements, zur *Datenverteilung*. In einem konzeptionellen Modell sind per Definition die Objekte aller Klassen überall vorhanden, wo sie benötigt werden. Wenn eine Änderung an einem Merkmal erfolgt, dann ist diese Änderung sofort überall bekannt. In der Realität ist es aber nicht durchführbar, dass jedes Fahrzeug jede benötigte Information immer direkt aus der Zentrale anfordert. Fahrpläne, Umläufe, Dienste, Audiofiles mit Haltestellennamen und andere Basisinformationen werden daher vorab auf die Fahrzeuge verteilt⁵. Ändert sich danach etwas, so muss man im Datenmanagement die »Masterversion« bearbeiten und dann

4. Hersteller von integrierten ÖPV-Systemen werden diesen Weg wohl nicht einschlagen, sondern ein geschäftsprozessübergreifendes Basisdatensystem zur Verfügung stellen, das von allen Benutzergruppen (hier: Planer und Fleetmanager) gleichermaßen genutzt wird.
5. Wenn absehbar ist, dass ein Fahrzeug nicht alle Informationen benötigt – etwa weil es nur bestimmte Umläufe fährt –, beschränkt man sich auf den relevanten Ausschnitt.

mehrere Hundert Kopien aktualisieren. Da dies einige Zeit dauert, gibt es einen längeren Zeitraum, in dem inkonsistente Zustände bestehen. Dem begegnet man durch die Versionierung der entsprechenden Objekte, d. h., die Daten werden sukzessive – mit ausreichender Vorlaufzeit – verteilt und dann zu einem einzigen Zeitpunkt gültig, der zusammen mit der Änderung festgelegt und mitgeteilt wird. Voraussetzung dafür ist, dass alle IT-Systeme bei jedem Zugriff auf solche verteilten Datenobjekte anhand des aktuellen Zeitstempels die richtige Version ermitteln und nur diese verwenden. Auch ein Mechanismus zum Vergessen (Löschen) veralteter Objektversionen gehört zu einem solchen Verfahren. All dies drückt sich nicht im Modell aus, spielt jedoch beim praktischen Umgang mit einem Datenmanagementsystem eine erhebliche Rolle.

Systeme zum Datenmanagement verwalten und verteilen neben dem Fahrplan oft auch Daten aus dem Ticketing, wie z. B. die Tarifstruktur oder das Layout von Fahrscheinen, die dann in den Fahrzeugen gedruckt werden. Diese Daten hängen zwar mit dem Verkehrsnetz zusammen, haben aber keinen unmittelbaren Bezug zu den Funktionen eines Betriebsleitsystems; da sie jedoch ebenfalls an dezentrale Systeme verteilt werden müssen, nutzt man das Datenmanagement für diesen Zweck. Im Extremfall ist das Datenmanagement einfach nur »Briefträger« für beliebige Inhalte, wie etwa bei Medieninhalten für die Fahrgastunterhaltung im Fahrzeug.

Ticketing

8.2 Ortung

Ein Betriebsleitsystem lässt sich nur betreiben, wenn die zentrale Leitstelle jederzeit den Standort aller Fahrzeuge kennt.

Ältere Ortungsverfahren sind null- oder eindimensional, d. h., sie identifizieren entweder genau einen Punkt⁶ oder sie beruhen auf der Zählung von Radimpulsen, gemessen von der letzten Haltestelle aus. Ein Fahrzeug-individueller *Kalibrierfaktor* sorgt für die Umrechnung zwischen Radumdrehung und Entfernung. Da an der Haltestelle in der Regel die Tür geöffnet wird, kann man den Impulszähler immer wieder auf Null zurücksetzen – auf diese Weise wird vermieden, dass sich Fehler über die Zeit hinweg summieren. Die Software besitzt einen Toleranzbereich; nur wenn die Anzahl der Radumdrehungen ungefähr zum Fahrplan passt, wird der Zähler zurückgesetzt; andernfalls wird weitergerechnet. Es macht daher nichts aus, wenn zwei oder drei Haltestellen ohne Türöffnung durchfahren werden. Der Toleranzbereich ist zudem nützlich, wenn sich ein Fahrzeug ein kurzes Stück innerhalb des Haltestellenbereichs bewegt (Vorrücken). Eine solche Aktion darf nicht als Abfahrt gewertet werden, da sonst die entsprechende Abfahrt von der DFI-Anzeige gelöscht und eine falsche, verfrühte Abfahrtszeit protokolliert werden würde.

Eindimensionale Ortung

Eindimensionale Ortung beruht darauf, dass der Bordrechner den Fahrtverlauf mitverfolgt. Zu Beginn eines Tages teilt der Fahrer über einen Eingabedialog mit, welcher *Umlauf* gefahren werden soll. Da Fahr- und Umlaufplan auf dem

Fahrtabwicklung

6. Beispielsweise gibt es kleine Infrarot-Transponder (»Ortsbaken«), die von einem vorbeifahrenden Fahrzeug aktiviert werden und daraufhin eine Kennung abstrahlen.

Bordrechner bekannt sind, kann die Folge der vorgesehenen *FahrtenX* ermittelt werden. Über die Verbindung zur *Fahrt* gelang man zum *Fahrweg* und von dort über die *StreckeAmFahrweg* zu jeder einzelnen *Strecke* und deren *Länge*. Nebenbei ermittelt der Bordrechner auch für jeden Haltevorgang (*HaltBei-FahrtX*) die *Sollzeit* für Ankunft und Abfahrt. Doch damit nicht genug: Auch die *WegStücke* jeder Strecke werden analysiert. So findet man die Lage von *Hilfspunkten* entlang der Strecke heraus, beispielsweise um Lichtsignalanlagen im richtigen Moment anzusteuern (*LSAMeldePunkt*). Den gesamten Vorgang, der aus den Fahrplandaten und Streckenangaben ein minutiöses Abbild des Sollverlaufs einer *FahrtX* (bzw. eines ganzen *UmlaufX*) ermittelt, bezeichnet man als *Fahrtabwicklung*.

Eindimensionale Ortungsverfahren funktionieren erstaunlich genau, solange ein Fahrzeug seine Route nicht verlässt. Da sie vergleichsweise preiswert sind und weil die Ausstattung in ÖPV-Fahrzeugen recht langlebig ist, trifft man sie nach wie vor in sehr vielen Fahrzeugen des ÖPV an.

Geografische Ortung

Seit einiger Zeit existiert das satellitenbasierte GPS-System. Als sich die NASA im Jahr 2000 entschloss, die ursprünglich eingebaute künstliche Verschlechterung abzuschalten, wurde das System auch für Verkehrsbetriebe interessant. GPS-Empfänger sind mittlerweile preiswert und lassen sich leicht installieren, da sie keine Verbindung zur Fahrzeugtechnik benötigen.

Ortung mit Netzbezug

Der Standort eines Fahrzeugs interessiert jedoch kaum als absolute Angabe einer Geoposition, sondern vor allem *in Bezug auf das Verkehrsnetz und den Fahrplan*. Seine wahre Stärke spielt das GPS-System daher eigentlich nur aus, wenn Störungen dazu führen, dass der normale Fahrweg verlassen wird. Ein eindimensionales Ortungssystem zählt nämlich auch in solchen Fällen weiterhin brav Radimpulse und »wundert« sich höchstens, dass die Tür immer wieder zum falschen Zeitpunkt aufgeht.

Ort = Zeit?!

Anders als bei Taxis oder im Speditionsgewerbe ist zeitliche Regelmäßigkeit im ÖPV der prägende Faktor. Denkt man diesen Gedanken zu Ende, so wird klar, dass Ort und Zeit in gewissem Sinne austauschbar sind. Wenn man weiß, dass ein Fahrzeug sich genau im Fahrplan befindet, dann weiß man auch, wo es ist. Wenn ein Fahrzeug seinen eigenen Fahrplan und seinen (ein- oder zweidimensional ermittelten) Standort kennt, kann es selbst errechnen, ob es sich im Plan befindet. Dazu vergleicht das Fahrzeug an einem definierten Ort die aktuelle Uhrzeit mit dem Zeitpunkt, zu dem es an diesem Ort sein sollte, und erhält als Ergebnis die *zeitliche Abweichung vom Fahrplan*, die sogenannte *Fahrplanlage*. Sie kann auch in eine Ortsinformation umgerechnet werden: Wenn das Fahrzeug jetzt 40 Sekunden »hinter Plan« ist, dann befindet es sich jetzt dort, wo es vor 40 Sekunden hätte sein sollen. Interessanterweise wird dabei die zweidimensionale Ortsinformation des GPS wieder in eine eindimensionale Angabe umgerechnet, denn der fragliche Ort muss ja auf dem Fahrweg liegen.

Fahrplanlage

Meist wird die Fahrplanlage als eine Anzahl von Sekunden definiert, wobei positive Werte Verspätung ausdrücken. Wer den Fahrplan kennt, kann aus der Fahrplanlage die Standortinformation ableiten – insbesondere natürlich die Leitstelle.

Die Information über den aktuellen Standort bzw. die aktuelle Fahrplanlage kann der Bordrechner nutzen, um sie dem Fahrer anzuzeigen, um Haltestellenamen für die Fahrgäste anzusagen, um Zwischenziele in der Außenbeschilderung des Fahrzeugs abzuändern oder um touristische Hinweise im Fahrgastraum ortsabhängig zu beeinflussen. Aus Sicht der Betriebslenkung ist aber vor allem die *Übertragung der Fahrplanlage an die Zentrale* von Bedeutung.

Standortinformation im Fahrzeug

Hier kommt die Ökonomie der Kommunikation ins Spiel: Je kürzer eine einzelne Standortmeldung ist, desto häufiger kann man diese Information bei konstanter Gesamtübertragungskapazität übermitteln. Kann man es sich leisten, ständig geografische Koordinaten zu übertragen, so ist dies fein. Will man der Leitstelle Last abnehmen, so kann man zusätzlich die Fahrplanlage und die relative Entfernung zum letzten Haltepunkt⁷ übertragen. Bei geringer Bandbreite genügt jedoch allein die Fahrplanlage!

Kommunikationsökonomie

Anstatt zwei sechsstellige Angaben für Längen- und Breitengrad zu übertragen, reicht eine einfache Zahl aus, z. B. zwischen -100 und +1000 (Sekunden zu früh oder zu spät). Dies würde nur noch 11 Bit erfordern. Allerdings ist die Einschränkung auf die beiden Wertegrenzen doch ziemlich willkürlich. Man kann den Wertebereich vergrößern und trotzdem die Anzahl benötigter Bits noch weiter reduzieren. Man macht sich dabei zunutze, dass bei größeren Werten eigentlich nicht mehr die genaue Zahl interessiert, sondern nur noch die Größenordnung. Man gelangt zu einem Schema wie dem folgenden:

Übertragung der Fahrplanlage

- < -100 Sekunden
- -100 ... -30 Sekunden
- -30 ... +30 Sekunden
- 30 ... 40 Sekunden
- 40 ... 60 Sekunden
- 60 ... 90 Sekunden
- 90 ... 180 Sekunden usw.

Legt man 20 oder 30 solcher Stufen fest, so hat man eine für die Praxis mehr als ausreichende Genauigkeit. Anstelle einer Tabelle könnte man natürlich auch eine mathematische Funktion verwenden, die große Werte »staucht« und kleine Werte genauer abbildet, wie z. B. eine modifizierte Logarithmusfunktion.

Wertebereich stauchen

Fünf Bit⁸ genügen also für eine Standortinformation! Kommt Ihnen diese »Bit-Fuchserie« antikiert vor? Sicher ist richtig, dass solche Optimierungen bei alten Analogfunksystemen wichtiger waren als bei moderner Digitalfunktechnik, aber die praktische Erfahrung zeigt, dass auch moderne Systeme viel effizienter genutzt werden können, wenn man das Kommunikationsvolumen optimiert. Beispielsweise verfügen digitale Systeme oft über einen »Organisationskanal«, der ein einzelnes Nutzdatenpaket in der Länge von ein oder zwei Byte besonders schnell transportieren kann.

Bytes und Bits sparen

Also treiben wir es auf die Spitze: Haben Sie schon einmal vom Büro aus abends zu Hause angerufen, um anzukündigen, dass Sie jetzt losfahren? Als es

Standortmeldung
mit 0 Byte

7. Also z. B. die Nummer des Haltepunktes und eine Entfernungsangabe in Metern.

8. $2^5 = 32$

noch keine Flatrates gab, haben manche Anrufer gleich wieder aufgelegt, nachdem es ein- oder zweimal geklingelt hatte. Für den Partner zu Hause war so auch ohne Gespräch klar: In 20 Minuten geht die Haustür auf. Solange das Telefon still blieb, war klar, dass der Anrufer noch am Arbeitsplatz ist.

Für den ÖPV formulieren wir dieses Prinzip etwa so: »No news is good news.« Wir *verzichten ganz* auf eine Standortmeldung, solange wir im Plan liegen. Wenn unsere Fahrplanlage innerhalb des Toleranzbereichs liegt, reduziert dieser einfache Trick das Übertragungsvolumen erheblich.

Differenzen melden

Doch es geht noch besser! Nehmen wir einmal an, ein Fahrzeug fährt 2 Minuten hinter Plan. Wenn es sich normal bewegt, dann wird es eine ganze Weile lang »dem Plan hinterherfahren«. Vielleicht holt es innerhalb von 10 Minuten 30 Sekunden auf, aber bis dahin hat es vermutlich 20-mal oder noch öfter gemeldet: »Meine Fahrplanlage liegt zwischen 90 und 120 Sekunden.« Das Schöne an der Fahrplanlage – im Vergleich zum absoluten Standort – ist, dass sie sich nur langsam ändert. Wir können daher generell dazu übergehen, die Fahrplanlage nur noch dann zu übertragen, wenn sie sich geändert hat. »No news« heißt dann allerdings nicht mehr »good news«, sondern »as told before«, d. h., die Zentrale hat die Erwartung, dass die Fahrplanlage stabil bleiben wird, und eine echte Neuigkeit gibt es nur mitzuteilen, wenn diese Erwartung nicht mehr stimmt.

Staumeldung

Und wenn das Fahrzeug im Stau steht? Dann ändert sich die Fahrplanlage natürlich ständig, denn das Fahrzeug fällt ja mit jeder Sekunde Stillstandzeit um eine weitere Sekunde hinter seinen Plan zurück. Wenn es uns jedoch gelingt, auch für diesen Fall die richtige Erwartung in der Zentrale aufzubauen, dann funktioniert das Differenzverfahren auch hier. Steht ein Fahrzeug länger als eine konfigurierbare Zeitspanne ungeplant still, sendet es daher eine besondere Standortmeldung, das »Stillstandsignal«. Ab diesem Moment erwartet die Zentrale, dass dieser traurige Zustand noch eine Weile andauern wird. Es genügt daher, wenn das Fahrzeug sich wieder meldet, sobald es sich in Bewegung setzt.

Zuverlässigkeit der Übertragung

Wenn mobile Kommunikation immer perfekt funktionieren würde, wäre das Thema Standortübermittlung an dieser Stelle erledigt. In der Praxis kann es aber ab und zu vorkommen, dass Meldungen nicht beim Empfänger ankommen. Wenn ein Fahrzeug ohnehin alle 20 Sekunden seinen Standort mitteilt, ist das egal. Da wir aber durch unsere Optimierung jegliche Redundanz beseitigt haben, kann das Verlorengehen einer Meldung zu deutlichen Missverständnissen führen. Wir tun daher gut daran, wichtige Meldungen (z. B. Stillstandmeldungen) sicher zu übertragen oder gezielt etwas Redundanz hinzuzufügen. »Sicher« übertragen kann bedeuten, dass man eine technische Bestätigung erhält, nachdem die Nachricht die Zentrale erreicht, ähnlich wie bei der Lesebestätigung einer E-Mail. Gezielte Redundanz könnte darin bestehen, dass man in regelmäßigen zeitlichen Abständen eine Standortmeldung (= die aktuelle Fahrplanlage) überträgt, auch wenn sich nichts geändert hat.

Verlust der Funkverbindung

Unabhängig davon gibt es natürlich auch noch den Fall, dass ein Fahrzeug vorübergehend keine Funkverbindung hat. Das Kommunikationssystem erkennt dies und kann in so einem Fall ausgehende Nachrichten im »Ausgangspostkorb« speichern, um sie später zu senden. Auch hier ist die Fahrplanlage wieder eindeu-

tig im Vorteil gegenüber einer absoluten Standortangabe, denn sie ändert sich weniger rasch als letztere.

8.3 Flottensteuerung durch Regelkreise

Die zentrale Aufgabe der Betriebslenkung besteht darin, den Fahrbetrieb so nahe am Plan zu halten wie irgend möglich. Abstrakt gesprochen geht es dabei um eine Aufgabe der *Regelungstechnik*: Plan und Istwert müssen verglichen werden, um aus der Abweichung eine geeignete Aktion abzuleiten; über ein »Stellglied« entsteht eine Wirkung, durch die sich Ist und Soll annähern. Wir wollen hier nicht die mathematische Theoriewelt der Regelungstechnik bemühen, sondern nur drei einfache Tatsachen erwähnen:

- Ein Regelungsvorgang funktioniert umso besser, je häufiger Soll und Ist verglichen werden.
- Das Ergebnis ist besser, wenn feinfühlig reagiert wird; grobe Reaktionen können zum »Überschwingen« führen; im Extremfall – bei starken Verzögerungen zwischen der Aktion und dem Eintreten der Wirkung – schaukelt sich das System sogar bis zur Oszillation auf.
- Erfreulicherweise braucht man nicht unbedingt komplexe Modelle für ein System aufzustellen, um eine befriedigende Regelung zu erreichen. Die Fuzzy-Set-Theorie belegt, dass Heuristiken erstaunlich gut funktionieren können, die auf einer einfachen Klassifikation von Situationen und auf einem standardisierten Satz von Maßnahmen für jede Situation beruhen.

Aus diesen Erkenntnissen lässt sich zunächst ableiten, dass eine *lange* Regelstrecke im Nachteil ist gegenüber einer *kurzen* Regelstrecke. Konkret heißt dies Folgendes:

Länge der Regelstrecke

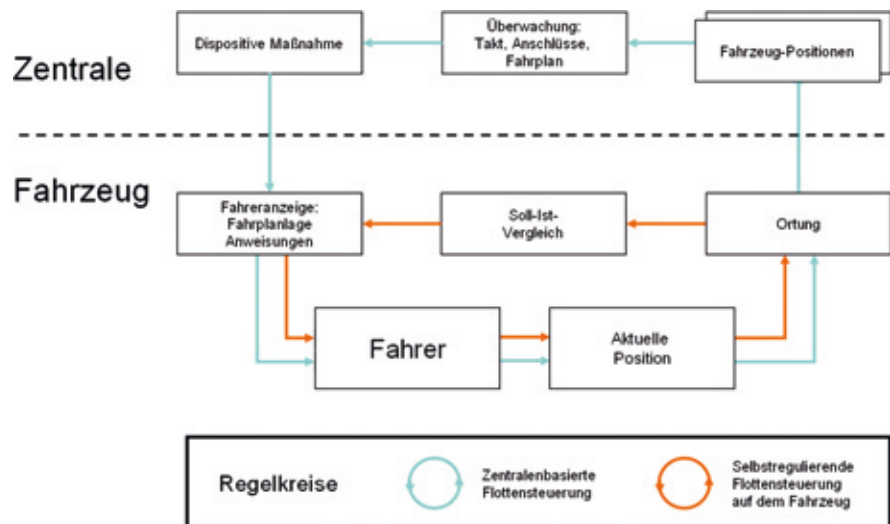
- Wenn der Disponent in der Leitstelle immer wieder auf die Fahrzeuge schaut, um Planabweichungen zu erkennen, wird ihm nicht jede Abweichung sofort auffallen. Er hat möglicherweise 100 und mehr Fahrzeuge in seinem Blickfeld. Spricht er die betroffenen Fahrer über Funk an, um sie zu zügigerem oder langsamerem Fahren aufzufordern, dauert es eine Weile, bis er jeden Fahrer erreicht hat. Bis die Fahrer die entsprechende Maßnahme umgesetzt haben und der Disponent dies auf dem Bildschirm erkennen kann, vergeht nochmals einige Zeit. Verzögerungen entstehen sowohl durch den Übertragungsweg als auch durch den Prüfvorgang.
- Zeigt man jedoch jedem Fahrer permanent seine eigene Fahrplanlage an, so fallen die Verzögerungen weg: Der Bordrechner ist leistungsstark genug, um die Fahrplanlage jede Sekunde neu zu ermitteln. Wenn er das Ergebnis passend visualisiert (Zeiger, farbige Balken), so kann der Fahrer unmittelbar reagieren. Selbst kleine Abweichungen, die einen Disponenten nie interessieren würden, können so noch »ausgeregelt« werden, etwa, indem der Fahrer noch ein paar Sekunden an der Haltestelle stehen bleibt, bevor er losfährt. Die Psychologie hilft mit: Wenn der Fahrer eine direkte Rückmeldung bekommt, ent-

wickelt er unwillkürlich den Ehrgeiz, ständig im grünen Bereich (dem Optimum) zu bleiben.

Zwei Regelkreise

Nicht für jeden Regelungszweck genügt allerdings die Information, die das einzelne Fahrzeug besitzt. Sobald übergeordnete Aspekte ins Spiel kommen, muss die Leitstelle entscheiden. Sie kümmert sich um Anschlüsse, um die Einhaltung eines gleichmäßigen Takts über mehrere Fahrzeuge hinweg und greift in Störfällen ein (vgl. Abb. 8-1).

Abb. 8-1
Regelkreise der Flottensteuerung



Subsidiaritätsprinzip

Wir haben es also mit zwei verschiedenen Regelkreisen zu tun, die nach dem *Subsidiaritätsprinzip* arbeiten: Was auf der unteren Ebene erledigt werden kann, dringt gar nicht erst nach oben durch oder wird dort ausgefiltert. Bei Abweichungen im Bereich weniger Minuten kann sich der Fleetmanager darauf verlassen, dass die betroffenen Fahrer automatisch daran arbeiten, wieder in den Planzustand zurückzufinden. So behält er den Kopf frei für die Bewältigung größerer Abweichungen⁹.

Sekundengenaue Planung

Voraussetzung für den inneren, »feinfühlig« Regelkreis ist ein sekundengenaue Fahrplan; dies ist aber in der Regel kein Problem, denn der Planer arbeitet ohnehin mit Sekunden – auch wenn im öffentlichen Fahrplan immer auf Minuten gerundet wird. Dazu noch eine kurze Betrachtung:

9. Interessanterweise ist hier der ÖPV der Luftfahrt voraus. Dort ist der Ermessensspielraum des Piloten bei Null; die gesamte Steuerung wird von den Lotsen nach wie vor per Sprechfunk abgewickelt; Datentelegramme kommen als Ergänzung im oberen Luftraum hinzu, gelten jedoch in dem bewegten unteren Luftraum als unzuverlässig, da ihr Eintreffen in Ausnahmefällen bis zu 2 Minuten dauern könnte.

Die genaue Abfahrtszeit an einer Haltestelle möge 14:06:35 betragen. Weist der Verkehrsbetrieb 14:06 als Abfahrtszeit aus, so ist ein korrekt fahrendes Fahrzeug aus Fahrgastsicht minimal zu spät dran – das wird jeder Fahrgast akzeptieren, ohne nachzudenken. Würde man 14:07 nennen, so könnte ein Fahrgast um 14:06:40 auf die Uhr deuten und monieren, dass das Fahrzeug schon weg ist, obwohl er rechtzeitig an der Haltestelle war. Um diese Argumentation zu vermeiden, gibt es eine Tendenz zum Abrunden der Zeiten. Der Fahrer darf sich davon nicht beirren lassen. Hätte er die Fahrplanminute der Abfahrt im Kopf und würde auf dieser Basis entscheiden, dann würde er sich unnötig beeilen und ein paar Haltestellen später vermutlich feststellen, dass er jetzt plötzlich zu früh dran ist (Oszillation des Regelkreises). Dem Bordrechner macht es nichts aus, sekundengenau zu rechnen.

Interessanter als der innere Regelkreis ist der äußere. Betrachten wir zunächst den Taktverkehr. Wenn Fahrzeuge in sehr dichter Folge¹⁰ verkehren, dann ist für den Fahrgast der absolute Zeitpunkt des Eintreffens verhältnismäßig unwichtig. Das Angebot des Verkehrsbetriebs wird in solchen Fällen in Intervallform formuliert: *»zwischen 6:00 und 9:00 alle 2–3 Minuten, danach alle 5 Minuten«.*

Wie misst man in solch einem Fall die Pünktlichkeit? Auch wenn es keinen absoluten Fahrplan gibt, muss man irgendeine Regelung treffen, denn beim Nachweis der erbrachten Leistung gegenüber dem Aufgabenträger¹¹ will man eine quantitative Bewertung vornehmen. Es sind unterschiedliche Verfahren denkbar. Sind 5 Minuten Taktfolge versprochen, so kann man z. B. die Häufigkeit von Ereignissen zählen, bei denen es mehr als 10 Minuten bis zum Eintreffen des nächsten Fahrzeugs gedauert hat. Anstelle eines einfachen Schwellwertes kann man aber auch mathematische Modelle verwenden, die große Abweichungen überproportional gewichten; dabei kann man sich wiederum auf absolute Werte beziehen oder auf Verhältnisangaben. Wie auch immer diese »Kalkulation des Fahrgastunmuts« aussehen mag: Der Fleetmanager sollte sie kennen und bei seinen Entscheidungen heranziehen.

Natürlich hilft ihm das Leitsystem dabei: Es überwacht die aktuelle Fahrzeugfolge und versucht, Lücken zu schließen, etwa indem es vorausfahrende Fahrzeuge mehr oder weniger stark bremst. Eine Botschaft an den Bordrechner genügt, und dieser verändert den Sollwert des inneren Regelkreises, so dass der Fahrer entsprechend reagiert. Man spricht hier auch von »dispositiver Verfrühung«, denn dem Fahrer wird eine scheinbare Verfrühung angezeigt, die aus einer dispositiven Maßnahme der Leitstelle resultiert.

Bei größeren Abweichungen kann das Betriebsleitsystem Maßnahmen vorschlagen, die den Fahrweg von Fahrzeugen verändern. Abbildung 8-2 zeigt ein Beispiel.

Taktverkehr

Pünktlichkeit messen
im Taktverkehr

Taktfolge aufrechterhalten

Größere Eingriffe:
z. B. Kurzwende

10. Die Schwelle für »dicht« ist subjektiv; sie wird oft zwischen 5 und 10 Minuten angesiedelt.

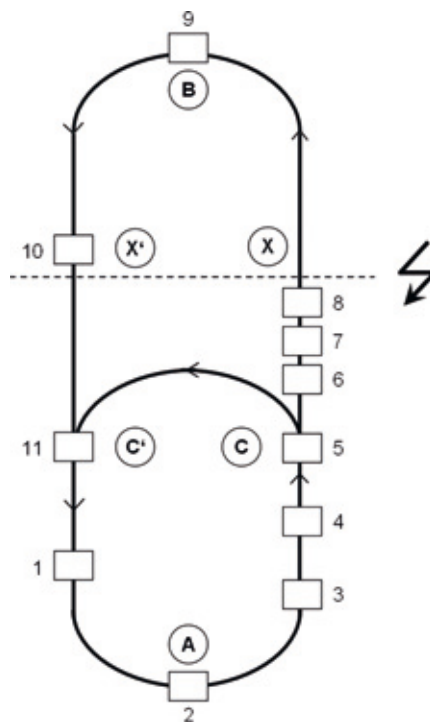
11. Zum Verkehrsvertrag vgl. Abschnitt 11.1.

Durch einen PKW-Unfall ist das Gleis einer Straßenbahnlinie in beiden Richtungen bei Punkt X bzw. X' blockiert. Kurz vor X stehen bereits drei Züge (8, 7, 6) hintereinander. Das Leitsystem hat reagiert und die Fahrzeuge 11 und 1 verlangsamt (größere Abstände). Fahrzeug 10 wartet vor Punkt X', also in der Gegenrichtung. Das Leitsystem hat Fahrzeug 9 daher an der Endhaltestelle B noch nicht abfahren lassen. Hier haben die Fahrgäste nämlich die Chance, in eine andere Tram oder einen Bus umzusteigen¹².

Wenn man jetzt nichts weiter unternimmt, stehen die Fahrzeuge 11–5 bald alle in der Schlange bei Punkt X. Das Leitsystem bietet dem Disponenten deswegen an, eine Weiche zu benutzen, über die Fahrzeuge an Punkt C wenden können. So kann zwischen A und C ein regulärer Betrieb aufrechterhalten werden¹³. Leitet der Disponent die Kurzwende ein, so informiert das Leitsystem die Bordrechner über die geänderte Fahrstrecke und die – leicht angepasste – Taktung.

Wenn nach einiger Zeit das Gleis wieder frei ist, sorgt das Leitsystem dafür, dass Fahrzeug 10 (und danach auch 9–6) organisch eingefädelt werden. Kurz nachdem auch Fahrzeug 6 wieder in Bewegung ist, wird die Maßnahme aufgehoben. Die Fahrzeuge fahren danach zwar in anderer Reihenfolge, aber der normale Takt und die normale Fahrstrecke sind wiederhergestellt.

Abb. 8-2
Stausituation und Kurzwende



12. Mit der Benachrichtigung der Fahrgäste befassen wir uns in Kapitel 9.

13. Gibt es oberhalb von Punkt X noch eine weitere Wendemöglichkeit, so könnte man sogar zwei getrennte Schleifen einrichten; der Fachmann spricht dann von einer *Streckenteilung*.

Das Beispiel zeigt die Möglichkeiten und Grenzen des inneren bzw. äußeren Regelkreises: Die Entscheidung, an Punkt C/C' zu wenden, hätte ein Fahrer auch noch autonom fällen können – insbesondere im nicht schienengebundenen Verkehr ist das zumindest vorstellbar. Die gleichmäßige Verteilung der Fahrzeuge auf einen neuen Takt kann aber nur die Leitstelle mit ihrem Wissen über die Position *aller* Fahrzeuge leisten.

Taktregulierung

Ein zweites Beispiel für den äußeren Regelkreis ist die Überwachung von Anschlüssen. Anschlüsse werden bei der Planung definiert und oft auch im Fahrplan veröffentlicht. Fahrzeuge können bei der Überwachung von Anschlüssen keinen Eigenbeitrag leisten: Der Zubringer weiß zwar, dass er Fahrgäste an Bord haben könnte, die an einem bestimmten Punkt umsteigen wollen; ist er zu spät dran, so bleibt ihm jedoch nichts anderes übrig, als zur Zentrale zu eskalieren. Da diese seine Fahrplanlage aber sowieso kennt und die Anschlüsse ohnehin überwacht, ist dies nicht erforderlich.

Anschlussüberwachung

Anschlussssicherung ist eine essenziell zentrale Aufgabe. Meist wird sie mehrstufig erledigt:

Mehrstufige Regelung

- Das Leitsystem hält innerhalb eines gewissen Toleranzbandes den Abbringer automatisch so lange fest, bis alle seine Zubringer eingetroffen sind. Es kommuniziert hierzu mit dem Bordrechner, der dem Fahrer des Abbringers einen entsprechenden Hinweis gibt. Man kann sogar automatisch Standardansagen an die Passagiere auslösen (*»Da wir noch auf verspätete Anschlussreisende warten, ...«*).
- Der Disponent kann das normale Toleranzband des Leitsystems im Einzelfall ausdehnen, wenn er erkennt, dass dies vertretbar ist.
- Bei starken Verspätungen kann es passieren, dass ein akzeptabler zeitlicher Übergang von einem Zubringer zu demjenigen Fahrzeug entsteht, das als nächstes im Takt hinter dem eigentlichen Abbringer folgt¹⁴. Das Leitsystem erkennt solche Situationen automatisch und lässt den Abbringer normal abfahren.
- Gibt es keinen akzeptablen Übergang zu einem solchen »Taktfolger« und ist das Toleranzband überschritten, so ist eine manuelle, explizite Entscheidung des Fleetmanagers gefordert.

Verletzte Anschlüsse sind für Fahrgäste sehr ärgerlich; zudem sieht der Verkehrsvertrag für solche Fälle meist eine Pönale vor¹⁵. Lässt der Disponent den Abbringer jedoch sehr lang warten, so wird dieser wiederum eigene Verspätungen produzieren und möglicherweise andere Anschlüsse nicht herstellen können: Die Störung pflanzt sich durch das ganze System fort. Um rational entscheiden zu können, muss der Disponent in der Leitstelle sämtliche Auswirkungen einer verlängerten Wartezeit abschätzen können. Ein gutes Betriebsleitsystem bietet ihm dafür einen speziellen Modus, der eine bestimmte Entscheidung simuliert und dann die aktuellen Verkehrsbewegungen in die Zukunft fortschreibt; Möglichkeiten zum Aufholen von Verspätungen müssen dabei ebenso einkalkuliert werden

Anschlüsse halten
oder brechen?

14. Das heißt, dieses Fahrzeug hat dasselbe Fahrziel und denselben Fahrweg wie der ursprüngliche Abbringer.

15. In gravierenden Fällen, die allerdings im Nahverkehr sehr selten sind, können zudem betroffene Fahrgäste Schadensersatzansprüche geltend machen.

wie das Auslösen von Folgeverspätungen. Die Datenstrukturen und ein Teil der Algorithmen, die man für eine solche Simulation braucht, sind im Modell vorhanden, doch muss man natürlich einen separaten »Datenraum« dafür schaffen – die Wirklichkeit bleibt ja nicht stehen, während man simuliert.

Situation bewerten

Ein wichtiger Input für die Bewertung der Situation bzw. des Simulationsergebnisses ist die Anzahl der umsteigewilligen Fahrgäste im Zubringer. Hat man in diesem Fahrzeug eine Zähleinrichtung, so kann man auf Basis statistischer Annahmen oder Erhebungen einen gewissen Anteil der aktuellen Passagieranzahl dafür ansetzen. Besitzen Fahrgäste elektronische Tickets, so lassen sich daraus möglicherweise Indizien darüber ableiten, ob sie umsteigen werden. Oft hat man allerdings nur vage Vorstellungen davon, wie viele Fahrgäste von einer Verletzung des Anschlusses betroffen wären. Im mehr oder weniger dichten Innenstadtverkehr sind die Folgen für den Passagier geringer als im Regionalverkehr oder bei der letzten Abendfahrt stadtauswärts. Einzelne Verkehrsbetriebe fragen daher ihre Fahrgäste im Regionalverkehr bereits beim Einsteigen nach ihrem Fahrtziel, wenn dieses aus dem Ticket nicht hervorgeht. Der Bordrechner zeigt dazu dem Fahrer einen Dialog zur Zielauswahl, während das Fahrzeug steht und die Fahrgäste einsteigen. So kann das Fahrzeug beim Verlassen der Haltestelle die Zahl der Umsteiger für jeden vorausliegenden Anschluss an die Zentrale übermitteln.

Dritter Regelkreis

Unfälle und sporadisch verletzte Anschlüsse sind singuläre Störungen; die Regulierung durch die Leitstelle führt über kurz oder lang zum Normalzustand zurück, und danach ist die Störung vergessen. Treten jedoch beispielsweise an einem bestimmten Punkt regelmäßig Anschlussprobleme auf, so könnte eine systematische Ursache dahinterstehen. Gelingt es, diese aufzudecken, so kann man entsprechend reagieren. Im einfachsten Fall baut man beispielsweise an der kritischen Stelle im Fahrplan etwas mehr »Luft« ein. Auch hier wirkt ein *Regelkreis*. Nicht die einzelne Abweichung ist jetzt der Auslöser, sondern die statistische Häufung. Die Regulierung erfolgt auf der Ebene der Planung, also außerhalb der Leitstelle. Das Betriebsleitsystem ist insofern beteiligt, als es einzelne Störungen aufzeichnet und Auswertemöglichkeiten anbietet.

Zusammenwirken der
Regelkreise 1 und 3

Im folgenden Beispiel wirken der erste und der dritte Regelkreis zusammen:

Ein Fahrzeug gelangt in die Nähe einer ansteuerbaren Lichtsignalanlage (LSA). Normalerweise wird das Fahrzeug sofort grünes Licht anfordern; wenn es jedoch leicht verfrüht ist, kann es im Rahmen seiner eigenen Kompetenz (Regelkreis 1) auch darauf verzichten. Die Leitstelle (Regelkreis 2) bekommt nichts davon mit, denn das Fahrzeug bleibt innerhalb seines zeitlichen »Plankorridors«. Das Fahrzeug zeichnet jedoch solche Situationen auf. Einmal im Monat werden diese Aufzeichnungen von einem Qualitätsmanager (Regelkreis 3) überprüft. Häufen sich derartige Situationen an einer bestimmten LSA, so kann man im Fahrzeitprofil der betroffenen Strecke die Solldauer reduzieren.

Entstehen umgekehrt trotz LSA-Ansteuerung auf einer Strecke regelmäßig Verspätungen, so kann ebenfalls ein Blick in das Protokoll lohnen: Dort ist vermerkt, wie lange die Wartedauer an der LSA nach Auslösung der Anforderung jeweils tatsächlich war. Ist der Empfänger an der LSA defekt oder sendet das Fahrzeug den falschen Code, so fällt dies hier auf, und Regelkreis 3 sorgt für die Reparatur.

In unserem abschließenden Beispiel wirken alle Regelkreise mit:

Ein Fahrzeug baut bei dichtem Straßenverkehr Verspätung auf. Der Bordrechner verkürzt eingeplante Standzeiten an vorausliegenden Haltestellen und fordert den Fahrer jeweils zur zügigen Weiterfahrt auf (Regelkreis 1). Die Verspätung lässt sich auf diese Weise jedoch nicht einholen.

Die Zentrale verfolgt Standort und Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs und schätzt, wann das Fahrzeug am Anschlusspunkt ankommen wird. Sie bezieht bei ihrer Hochrechnung mit ein, dass das Fahrzeug versuchen wird, Standzeiten zu reduzieren. Sie erkennt, dass die verbleibende Störung geringfügig sein wird, und lässt den Abbringer automatisch warten (Regelkreis 2). Die Aktion wird protokolliert.

Statistische Analysen des Protokolls zeigen, dass diese Situation regelmäßig Freitagnachmittags zwischen 14:00 und 17:00 auftritt – offenbar ist die geplante Fahrzeit für den Verkehr zu dieser Zeit nicht geeignet; das Fahrzeitprofil wird daher im Planungssystem angepasst (Regelkreis 3).

Zusammenwirken
aller Regelkreise

8.4 Das Modell: Ereignisse und Maßnahmen

Um die Betriebslenkung abzubilden, müssen wir die *Aktionen der Leitstelle* als Klassen in das Modell aufnehmen (vgl. Abb. 8-3). Wir bezeichnen sie im Modell als **Maßnahmen**. Wenn man die Arbeit in einer Leitstelle eine Weile beobachtet, dann stellt man fest, dass in vergleichbaren Fällen ähnlich oder identisch reagiert wird. Die Fleetmanager legen sich einen Satz von Standardreaktionen zurecht und wenden diese – ggf. mit leichten Modifikationen – an¹⁶, wann immer sie einigermaßen passend erscheinen.

Wenn unser Modell realitätsnah sein soll, dann müssen wir zwischen dem abstrakten Handlungsmuster und der konkreten Handlung unterscheiden. In Anlehnung an den Sprachgebrauch an anderer Stelle sprechen wir von der **MaßnahmeX** als konkreter Handlung und der **Maßnahme** als abstraktem Handlungsmuster.

Handlungsmuster

Maßnahmen fallen nicht vom Himmel. Sie werden entwickelt, weil man eine bestimmte Art von Störung im Auge hat. Die Maßnahme stellt die **Reaktion** auf ein **Ereignis** dar, das zu der Störung geführt hat. Da mitunter mehrere Maßnahmen notwendig sind, um adäquat zu reagieren, und umgekehrt eine bestimmte

Ereignis und Reaktion

16. Vergleiche Abschnitt 8.3 (Fuzzy-Regelung).

haben. Wenn wir Glück haben, passt trotzdem eine vorhandene **Maßnahme**, andernfalls müssen wir improvisieren.

Passt das konkrete **EreignisX** auf ein vordefiniertes **Ereignis**, so kann – und sollte – der Disponent die Liste der vorgesehenen Maßnahmen (also die Standard-**Reaktion**) als *Checkliste* verwenden und der Reihe nach entsprechende **MaßnahmenX** ergreifen. Seine **ReaktionX** wird dann ein Spiegelbild der **Reaktion** sein. Aber auch hier sind Sonderfälle und berechnete Abweichungen denkbar, so dass wir im Modell auf eine direkte Beziehung zwischen **Reaktion** und **ReaktionX** verzichten. Ein System, das den Disponenten warnt, wenn er vorgesehene **Maßnahmen** nur unvollständig umsetzt, kann man auch ohne eine solche Beziehung konstruieren.

Natürlicherweise richtet sich der Fokus immer zunächst auf das Einleiten einer **MaßnahmeX**. Genauso wichtig sind jedoch das kontrollierte Abschließen jeder **MaßnahmeX** und die Rückführung in den Normalbetrieb. Dabei darf der Disponent nicht nur an Fahrer und Fahrzeuge, an Takte und an den Fahrplan denken, sondern er muss auch entscheiden, wie, wann und wo er die Fahrgäste informiert; er – oder der DFI-Disponent – muss dazu unterscheiden, ob die Fahrgäste in einem betroffenen Fahrzeug sitzen, an der Haltestelle warten oder sich noch im zeitlichen Vorfeld des Fahrtantritts befinden. Je nachdem gibt es Durchsagen in die Fahrzeuge oder Sondertexte an den Haltestellen, Hinweise im Internet oder sogar SMS-Meldungen an registrierte Pendler, wenn deren Strecke betroffen ist. In allen Fällen ist die Befristung der Information bzw. die gezielte Rücknahme wichtig. Ansonsten kann es leicht passieren, dass der Betrieb schon wieder läuft und die Fahrgäste immer noch verunsichert sind.

Bei großen Verkehrsunternehmen ist ein hoher Automatisierungsgrad erforderlich. Maßnahmen können daher so gestaltet sein, dass sie Informationswege und Rücknahmeverfahren so präzise festlegen, dass eine daraus abgeleitete **MaßnahmeX** fast von alleine abläuft. Man kann aber auch mit bescheidenen Mitteln die Arbeit der Leitstelle verbessern, etwa indem man in jede Maßnahme eine Checkliste integriert, die der Disponent dann manuell abarbeitet. Dokumentation ist besonders wichtig: Was ist schon erledigt, was muss noch getan werden? Vielfach hat man daher Systeme, bei denen die Checkliste nicht nur gelesen und erledigt wird, sondern auch jeder Schritt elektronisch abgehakt wird. Disponenten arbeiten im Schichtbetrieb, und Störungen können lang dauern – man definiert daher einen Workflow, der von jedermann nachvollziehbar ist. Dann fällt bei der Übergabe an einen Kollegen auch nichts unter den Tisch.

Bei der Beziehung zwischen **Maßnahme** und **MaßnahmeX** ist das Modell streng: Diese Beziehung ist nicht optional, d. h., hier gilt das Prinzip, dass eine getroffene **MaßnahmeX** jenseits des konkreten Einzelereignisses wiederverwendbar sein soll. Ob dieser Ansatz durchzuhalten ist, hängt auch davon ab, wie ein bestimmtes IT-System ihn umsetzt. Wenn zur Auslösung einer »neuen« **MaßnahmeX** zunächst umständliche Dialogwechsel erforderlich sind und abstrakte allgemeine Beschreibungen erfasst werden müssen, bevor der Disponent handeln kann, stößt dies sicher auf Widerstand. Wenn das System jedoch nach der erstmaligen Durchführung einer **MaßnahmeX** den Disponenten auffordert, sich Gedanken darüber zu machen, in welchen vergleichbaren Fällen er wieder so handeln würde,

Reaktion und **ReaktionX**

Lebenszyklus von Maßnahmen

Workflow

Maßnahme und **MaßnahmeX**

dann wird Erfahrungswissen systematisiert und die Arbeit in der Leitstelle auf lange Sicht effektiver.

Differenzierung
von Maßnahmen

Ein großer Teil des Modells befasst sich mit den diversen Spielarten von **Maßnahmen** und **MaßnahmenX** (abgekürzt als **MNX-...**). Im abstrakten Bereich ist die Gliederung relativ grob: Wir unterscheiden nur zwischen der **MaßnahmeFahrt-Verstärkung** und fahrwegbezogenen Maßnahmen (**MaßnahmeFahrweg**). Bei der Konkretisierung differenzieren wir stärker¹⁷:

Fahrt löschen

■ Im Plan vorgesehene **FahrtenX** können **gelöscht** werden. Da es häufig vorkommt, dass zusammen mit einer **FahrtX** auch eine oder mehrere Folgefahrten gestrichen werden, bezieht sich die **MNX-FahrtLöschung** generell auf ein **UmlaufStückX**; die Streichung einer einzelnen **FahrtX** ist dann ein Spezialfall, bei dem **UmlaufStückX.ErsteFahrt** und **UmlaufStückX.LetzteFahrt** identisch sind.

Fahrt verschieben

■ Bestehende Fahrten können **modifiziert** werden (**MNX-FahrtModifikation**); dabei wird beispielsweise die zeitliche Lage der **FahrtX** verändert, indem die freie Wendedauer verkürzt wird. Oder man lässt das Fahrzeug an einem bestimmten **HalteOrtAmFahrweg** entgegen dem Plan länger warten (Anschluss-sicherung).

Fahrweg ändern

■ Der **Fahrweg** kann für eine oder mehrere Fahrten **geändert** werden (**MNX-Fahrweg**). Es gibt im Modell jedoch keine »freien Fahrten«, d. h., es muss ein **ErsatzFahrweg** definiert werden. Man kann und sollte dem Disponenten natürlich die Arbeit erleichtern, indem er sich den Ersatzfahrweg spontan »zusammenklicken« kann – dies ändert aber aus Modellsicht nichts an dem Prinzip »keine Fahrt ohne Plan«. Typische Änderungen des Fahrwegs sind:

- **vorzeitiges Wenden** (Kurzwende)
- **Linienteilung**, d. h. vorzeitiges Wenden auf beiden Seiten einer Störungsstelle
- **Linienteilung mit Ersatzverkehr**; dies kommt besonders bei Schienenfahrzeugen vor. Die Züge pendeln bis kurz vor die Störungsstelle; der gestörte Streckenabschnitt wird durch Busse im Schienenersatzverkehr (SEV) umfahren.
- **Umleitung**, d. h., es wird eine andere Strecke benutzt; je nach Art der Störung werden dabei u. U. bestimmte Haltestellen nicht mehr bedient
- **Verspätetes Wenden** (Langführung); Fahrzeuge fahren eine längere Strecke als geplant

Fahrt hinzufügen

■ Man kann neue **FahrtenX** **hinzufügen** (**MNX-FahrtEinfügung**).

Fahrt verstärken

■ Ein wichtiger Spezialfall ist die **Verstärkerfahrt**. Hier verhält sich die neu eingefügte **FahrtX** im Prinzip genau wie eine bereits vorhandene **FahrtX**, abgesehen von einem **zeitlichen Versatz**. Auch bei der **MNX-FahrtVerstärkung** gilt wieder die Verallgemeinerung zu **UmlaufStücken**.

Fahrzeug wechseln

■ Fällt ein Fahrzeug aus, so besteht die **MaßnahmeX** darin, ein **Ersatzfahrzeug** zu beschaffen (**MNX-FahrzeugWechsel**). In der Praxis kann es sein, dass das Er-

17. Der unterschiedliche Grad der Differenzierung ist nicht zwingend; er scheint uns jedoch legitim und vereinfacht die Darstellung.

satzfahrzeug genau dorthin beordert wird, wo das ausgefallene Fahrzeug steht. Oft nimmt aber ein Taktnachfolger die Fahrgäste auf, und das Betriebsleitsystem passt die Taktung vorübergehend an die reduzierte Fahrzeuganzahl an. Später wird dann eine Lücke geschaffen, in die das Ersatzfahrzeug sich einfädelt. Man erzeugt diese Lücke zweckmäßigerweise dort, wo das Ersatzfahrzeug am schnellsten hinkommen kann.

- Fällt ein Fahrer aus, so passiert das Analoge auf der Seite der Mitarbeiter (**MNX-MitarbeiterWechsel**). Ort und Zeitpunkt des **Fahrerwechsels** müssen festgelegt und Pausenregeln eingehalten werden.
- Wenn durch Dispositionsmaßnahmen wie z. B. eine Kurzführung die Reihenfolge von Fahrzeugen gegenüber dem Plan verändert ist, kann es passieren, dass die Dienstpläne der Fahrer nicht mehr zu der Reihenfolge passen, in der die Fahrzeuge bei abnehmender Verkehrslast allmählich aus dem Verkehr gezogen werden sollen. In solchen Fällen ist ein **kombinierter Tausch** von Fahrer und Fahrzeug nützlich (**MNX-LiKuTausch**).

Fahrer wechseln

Kurstauch

In Abbildung 8-3 sind die wesentlichen Beziehungen zu Klassen dargestellt, die wir bereits in anderem Zusammenhang behandelt haben. Sie sind aus zwei Gründen essenziell: Zum einen bilden sie die Anker für die Maßnahmen, und zum anderen werden sie benötigt, um summarische Leistungsdaten zu erfassen und fortzuschreiben. Das Leitsystem verfolgt den Einsatz jedes Mitarbeiters und jedes Fahrzeugs ganz exakt. Es liegt daher nahe, dass das Leitsystem diese Informationen für die *Lohnabrechnung der Mitarbeiter* und zur Fortschreibung der *Fahrzeuglaufleistungen* weitergibt.

Beziehung zu Fahrzeugen, Umläufen, Mitarbeitern, Diensten

8.5 Bedienung eines Betriebsleitsystems

Aus der Beschreibung des Klassenmodells und der Regelkreise ging bereits die zentrale Aufgabe der Fleetmanager hervor: das Erkennen von Planabweichungen und die Rückführung in den Sollzustand; Verkehrsbetriebe bezeichnen dies meist als *Störungsmanagement*. Wir zeigen in diesem Kapitel, welche typischen Dialoge ein Leitsystem dazu bietet. Der Einfachheit halber haben wir unserem eigenen Produkt (*IVU.fleet*) einige Screenshots entnommen; das Benutzerinterface anderer Marktprodukte sieht ähnlich aus, so dass die Allgemeingültigkeit dadurch nicht beeinträchtigt wird.

In einer Leitstelle arbeiten mehrere Disponenten gleichzeitig. Ein Leitsystem erlaubt jedem Fleetmanager, seinen Arbeitsbereich zu definieren, typischerweise durch die Aufzählung einer bestimmten Anzahl von Linien oder die Eingrenzung eines räumlichen Zuständigkeitsgebiets. Die Flut der Fahrzeuge, Meldungen und Gespräche wird so gefiltert. Beispielsweise wird der Sprechwunsch eines Fahrers dann (primär) auf dem Bildschirm des jeweils zuständigen Disponenten angezeigt. Die Aufteilung muss nicht disjunkt sein. Bei manchen Ereignissen (Notfallmeldungen) will man z. B. bewusst sofort alle Disponenten gleichzeitig informieren. Einerseits soll sich das System persönliche Filtereinstellungen merken, andererseits sollen sie leicht veränderbar sein: In Randzeiten sitzen weniger Mitarbeiter in einer Leitstelle als zu Zeiten des Hochbetriebs.

Arbeitsteilung

Ergonomie

In einer Leitstelle ist es üblich, dass jeder Mitarbeiter drei oder vier Monitore hat. Es ist zweckmäßig, wenn das Bedienmenü auf jedem Monitor angezeigt wird (kurze Wege mit der Maus), die Fensterinhalte ansonsten jedoch quer über alle Bildschirme geschoben werden können. Diese Anforderung erfordert auch in jüngerer Zeit noch spezielle Hardware (Grafikkarten) und »Klimmzüge« bei der Software. Dies jedoch nur am Rande.

Ereignisliste

Ereignisse werden als sortierbare und filterbare tabellarische Übersicht (vgl. Abb. 8-4) angezeigt. Im Wesentlichen gibt es drei Quellen für Ereignisse:

Quelle = Fahrer oder Fahrzeug

■ Wünsche, Anforderungen und eingehende Meldungen (**DatenNachrichten**) von **Fahrern** bzw. **Fahrzeugen**:

- Unfallruf, Überfallruf
- Technische Störungen (können vom Fahrer oder auch automatisch vom Fahrzeug ausgelöst werden)
- Sprechwunsch (= Datentelegramm, das den Fleetmanager zum Rückruf per Sprechfunk auffordert)
- Auffällige Fahrplanlage (signifikante Fahrplanabweichung)
- Kurzfristige Abwesenheitsmitteilungen (WC-Besuch)
- Storno (z. B. versehentliches Drücken der Nottaste)

Inhalt	LK	Zeit	Standort	Ziel	AP	Abw	Ben	PR	Funkt
Notruf	170/3	00:00	Wacker-Küchli	_PRAT		- 1,5	0- 20	123	
Notruf	431/6	00:00	Wacker			0- 20	211		
Yol-Not	0/0	00:00				20- 40	26		
Yol-Not	413/15	00:00	Alpen-Leiden	_Rufid		+ 1,5	60- 80		
Yol-Not	143/11	00:00	Donner-Donner	_Rufid		- 1,0	20- 40	100	
Yol-Not	469/10	00:00	Wacker	_Rufid		- 1,0	80-100	92	
Abreise fehlt	158/22	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	0- 20	111	
Abreise fehlt	404/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	40- 60	170	
Begebe dich zum WC	105/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	> 100	27	
Begebe dich zum WC	146/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		+ 1,5	0- 20	71	
Störung - Fehlfunk	142/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	56	
Störung - Fehlfunk	428/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,5	20- 40	175	
Expedi-Notruf	149/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 0,5	80-100	70	
Expedi-Notruf	401/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,5	0- 20	202	
Expedi-Notruf	143/16	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,5	40- 60	110	
Expedi-Notruf	424/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,5	20- 40	26	
Expedi-Notruf	414/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	60- 80	149	
Fz aktiv ?	106/35	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		+22,0	80-100	240	
Verstärkung	434/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		+ 1,0	80-100	223	
Verstärkung	436/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		+22,0	60- 80	218	
LTP-Feldan-Störung	423/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
LTP-Störung 404/ 1	404/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
LTP-Störung 423/ 2	423/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
LTP-Störung 448/13	448/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Polkbildung zu 430/ 2	430/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	427/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	428/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	429/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	430/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	431/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	432/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	433/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	434/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	435/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/5	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/6	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/7	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/8	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	436/9	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/0	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/1	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/2	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/3	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/4	00:00	Wacker-Küchli	_Rufid		- 1,0	80-100	149	
Verstärkung	437/5								

■ Vom Leitsystem erkannte Soll-Ist-Abweichungen, z. B.:

- Ein Fahrer meldet sich nicht rechtzeitig zum Dienst an.
- Eine Fahrt (ein Umlauf) wird nicht rechtzeitig angetreten.
- Ein Fahrzeug möchte sich zum Antritt einer Fahrt anmelden, die bereits durchgeführt wird.
- Signifikante Abweichungen einzelner Fahrzeuge vom Fahrplan (falls die Fahrzeuge nur Standorte senden und die Ermittlung der Fahrplanlage in der Zentrale stattfindet)
- Zusammenfassende Charakterisierungen der Situation (Pulkbildung auf einer Linie)
- Erkennung von zähflüssigem Verkehr (z. B. wenn drei Fahrzeuge hintereinander auf einer Strecke mehr als 150 % der normalen Fahrzeit benötigen)
- Gefährdung von Anschlüssen
- Gefährdung von Ablösevorgängen zwischen Fahrern
- Gefährdung des Folgedienstbeginns
- Technische Störungen, die zentral erkannt werden (Funkprobleme)

Automatische Erkennung im
Leitsystem

■ Manuell vom Disponenten erfasste Ereignisse

- Spontane Ereignisse (Streckensperrung wegen eines Wasserrohrbruchs, Unfall, Fahrzeugdefekt)
- Ereignisse, die so kurzfristig bekannt werden, dass sie nicht mehr in der Planung berücksichtigt werden konnten (Demonstration, Tagesbaustelle)

Manuelle Erfassung in der Leitstelle

Damit die Ereignisliste nicht zu unübersichtlich wird, kann man bestimmte Arten von Ereignissen ausfiltern. Dies betrifft insbesondere Meldungen zur Fahrplanabweichung, da es für die Visualisierung der Fahrzeugstandorte andere, besser geeignete Darstellungsformen gibt. Im Gegensatz zu Verspätungen belässt man aber oft *Verfrühungen* in der Liste – einerseits sind sie wesentlich seltener als Verspätungen, andererseits sind sie besonders unerwünscht.

Verspätungen ausfiltern

Manche Systeme nutzen Ereignislisten auch, um die Maßnahmen der Disponenten festzuhalten (»Kurzweide Linie 8 am Odenwaldplatz«). Konzeptionell handelt es sich dabei zwar um ein Protokoll, doch kann man darin oft auch ein (selbst verursachtes) Ereignis sehen, das seinerseits wieder nach einer Maßnahme verlangt: Die Kurzführung soll schließlich bei passender Gelegenheit wieder beendet werden. Manche Systeme bieten zusätzlich spezielle Mechanismen zur Steuerung des Workflow der Fleetmanager.

Maßnahmenprotokoll und Workflow

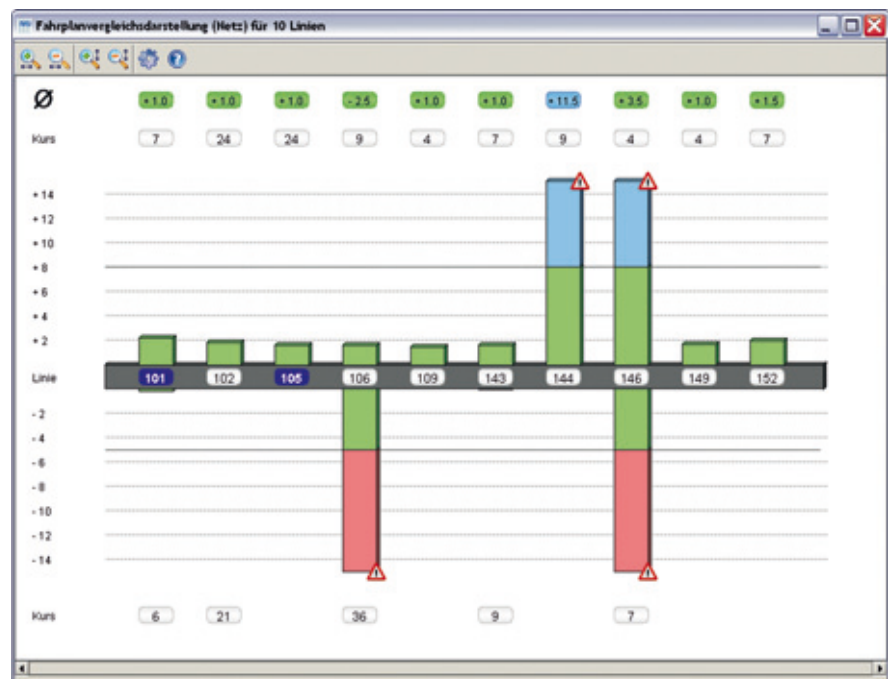
Für einen raschen Überblick über aktuelle Unregelmäßigkeiten eignen sich verdichtete grafische Übersichten. Da der Disponent in der Leitstelle potenziell einer Reizüberflutung ausgesetzt ist, gilt hier oft das Prinzip »weniger ist mehr«. Als besonders nützlich hat sich eine einfache Darstellung der aktuellen Extremwerte der Fahrplanlage je Linie erwiesen (Abb. 8-5). Die Linien sind eingeschränkt auf den aktuellen Arbeitsbereich des Disponenten. Im Beispiel zeigen die Säulen oberhalb der waagrechten Achse die aktuelle Verspätung desjenigen Fahrzeugs an, das am stärksten hinter dem Fahrplan her ist. Die Säulen unterhalb zeigen analog das Fahrzeug mit der stärksten Verfrühung. Natürlich könnte man auch statistische Maße (Varianz, Standardabweichung, Quantile) berechnen, aber was

Abweichungsanalyse

soll der Disponent damit letztlich anfangen? Wenn er auf die längste Säule klickt, dann hat er den größten Störenfried direkt im Zugriff und kann entweder mit dem Fahrer sprechen oder direkt eine Maßnahme einleiten.

Abb. 8-5

Maxima und Minima der aktuellen
Fahrplanlage



Fahrplanabweichungen

Will es der Disponent genauer wissen, so kann er sich einen zeitlichen Ausschnitt des Fahrplans seiner Linien anzeigen lassen. Wenn das System die aktuelle Uhrzeit hervorhebt (Fettdruck in Abb. 8-6), ergibt sich optisch eine schräge Linie, die mit der gewünschten räumlichen Staffelung der Fahrzeuge korrespondiert. Wichtige Punkte hebt man meist farblich heraus. Beispielsweise kann man durch einen Farbcode Punkte darstellen, an denen eine Fahrerablösung stattfindet. Es kann vorkommen, dass im Plan eine Fahrt auftaucht, die aktuell nicht durchgeführt wird (z. B. Kurs 29 in Abb. 8-6).

Wagenlaufplan

Richtet sich der Fokus des Disponenten auf ein einzelnes Fahrzeug, so möchte er nicht nur den Fahrplan für die aktuelle Fahrt sehen, sondern auch alle Folgefahrten. Für solche Fälle bieten Leitsysteme eine tabellarische Darstellung des gesamten Umlaufs an – Disponenten bezeichnen die entsprechende Übersicht oft als *Wagenlaufplan*.

Kartendarstellung

Man könnte vermuten, dass der Fleetmanager am liebsten auf einer Karte die Standorte aller seiner Fahrzeuge verfolgen würde. In der Tat gibt es entsprechende Dialoge in einem Betriebsleitsystem (vgl. Abb. 8-7).

Sie werden gelegentlich im Regionalverkehr oder bei der Einarbeitung neuer Disponenten zurate gezogen. Im Stadtverkehr kennen Fleetmanager jedoch ihr Gebiet in der Regel so gut, dass sie eine geografische Darstellung kaum vermissen. Straßenkarten spielen in der Praxis vor allem dann eine Rolle, wenn der normale Fahrweg geändert wird, etwa bei der Einrichtung von Umleitungen,

Fahrplanauszug für Linie 6, FR 15 WL BIM 2006-03-31, BT: 06.03.2009

	8	36	37	10	43	39	29	3	40	
_burgg	14:41	14:46	14:51	14:56		15:01	15:06	15:11	15:16	1
urlopi	14:43	14:48	14:53	14:58		15:03	15:08	15:13	15:18	1
_VBHF	14:45	14:50	14:55	15:00		15:05	15:10	15:15	15:20	1
maxiag	14:47	14:52	14:57	15:02		15:07	15:12	15:17	15:22	1
gumpi	14:48	14:53	14:58	15:03		15:08	15:13	15:18	15:23	1
maxgpi	14:50	14:55	15:00	15:05		15:10	15:15	15:20	15:25	1
gürtar	14:52	14:57	15:02	15:07		15:12	15:17	15:22	15:27	1
eichen	14:54	14:59	15:04	15:09		15:14	15:19	15:24	15:29	1
matz	14:56	15:01	15:06	15:11		15:16	15:21	15:26	15:31	1
knöllig	14:57	15:02	15:07	15:12		15:17	15:22	15:27	15:32	1
bernht	14:58	15:03	15:08	15:13		15:18	15:23	15:28	15:34	1
neilre	14:59	15:04	15:09	15:14		15:19	15:24	15:29	15:35	1
_quell	15:01	15:06	15:11	15:16		15:21	15:26	15:31	15:37	1
favori	15:03	15:08	15:13	15:18		15:23	15:28	15:33	15:39	1
gellpi	15:04	15:09	15:14	15:19	15:22	15:24	15:29	15:35	15:41	1
absbgg	15:06	15:11	15:16	15:21	15:24	15:26	15:31	15:37	15:43	1
geier	15:09	15:14	15:19	15:24	15:27	15:29	15:34	15:40	15:46	1
leber	15:11	15:16	15:21	15:26	15:28	15:31	15:36	15:41	15:47	1
sinnakt	15:12	15:17	15:22	15:27	15:30	15:32	15:37	15:43	15:49	1
grill	15:14	15:19	15:24	15:29	15:31	15:34	15:39	15:44	15:50	1
brhubg	15:15	15:20	15:25	15:30	15:32	15:35	15:40	15:45	15:51	1
kais	15:16	15:21	15:26	15:31	15:33	15:36	15:41	15:46	15:52	1
sia	15:18	15:23	15:28	15:33	15:35	15:38	15:43	15:48	15:54	1
uböck	15:20	15:25	15:30	15:35	15:37	15:40	15:45	15:50	15:56	1
zfrdh1	15:21	15:26	15:31	15:36	15:38	15:41	15:46	15:51	15:57	1
zfrdh2	15:22	15:27	15:32	15:37	15:39	15:42	15:47	15:52	15:58	1
_zfrdh	15:24	15:29	15:34	15:39	15:41	15:44	15:49	15:54	16:00	1

4

OK

Abb. 8-6
Aktueller Fahrplanausschnitt

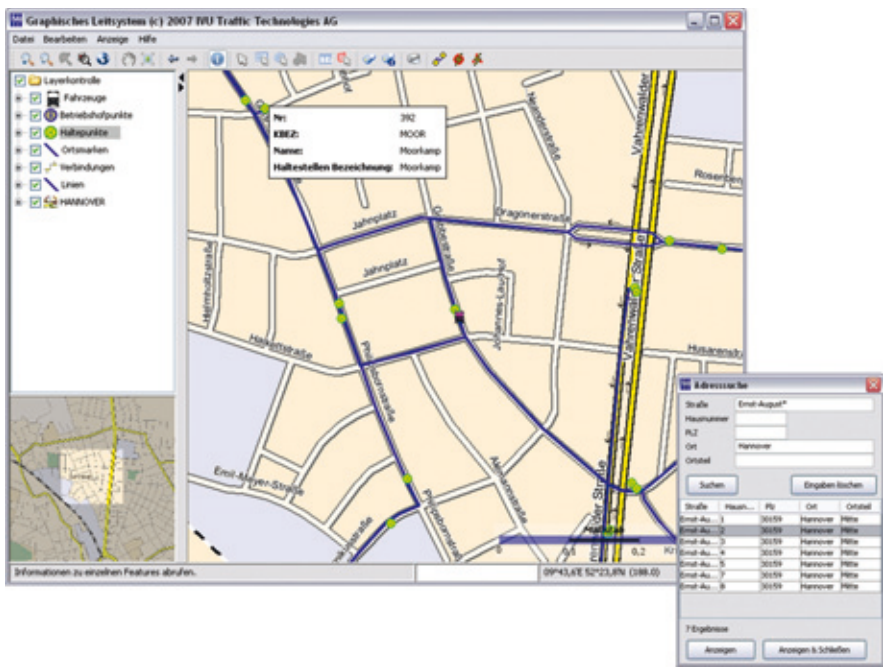


Abb. 8-7
Geografische Karte

Schematische Liniendarstellung

oder wenn besondere Umgebungsinformationen benötigt werden, z.B. bei der Zufahrt von Einsatzkräften bei Unfällen oder Notfällen.

Im Normalfall ist eine schematische Grafik jedoch nützlicher, denn sie beschränkt sich auf den Fahrweg und zeigt damit das Wesentliche in übersichtlicher Form. Bei komplexen Linien sieht man nicht nur den aktuell genutzten Fahrweg, sondern auch mögliche Abkürzungen oder optionale zusätzliche Streckenteile (»Langführungen«). In Abbildung 8-8 ist der Hauptfahrweg gegenüber den Alternativen mit dicker Strichstärke hervorgehoben. Neben jedem Fahrzeug ist ein kleiner Kasten eingeblendet, der das aktuelle Fahrziel und die Fahrplanlage zeigt. Letztere ist in unserem Beispiel zwar absolut gesehen nicht befriedigend (+8 oder +9 Minuten). Da der Wert jedoch für alle Fahrzeuge fast gleich ist, wird der Fahrgast bei einem 10-Minuten-Takt die aktuelle Situation eher als eine geringfügige Verfrühung wahrnehmen. Rein optisch kommt die Gleichmäßigkeit der Verspätung durch die ziemlich regelmäßig verteilten farbigen Punkte gut zum Ausdruck. Bei einer schematischen Darstellung ist dies allerdings nur ein Anhaltspunkt, denn die reale Streckenlänge korreliert nur lose mit der Diagrammdarstellung.

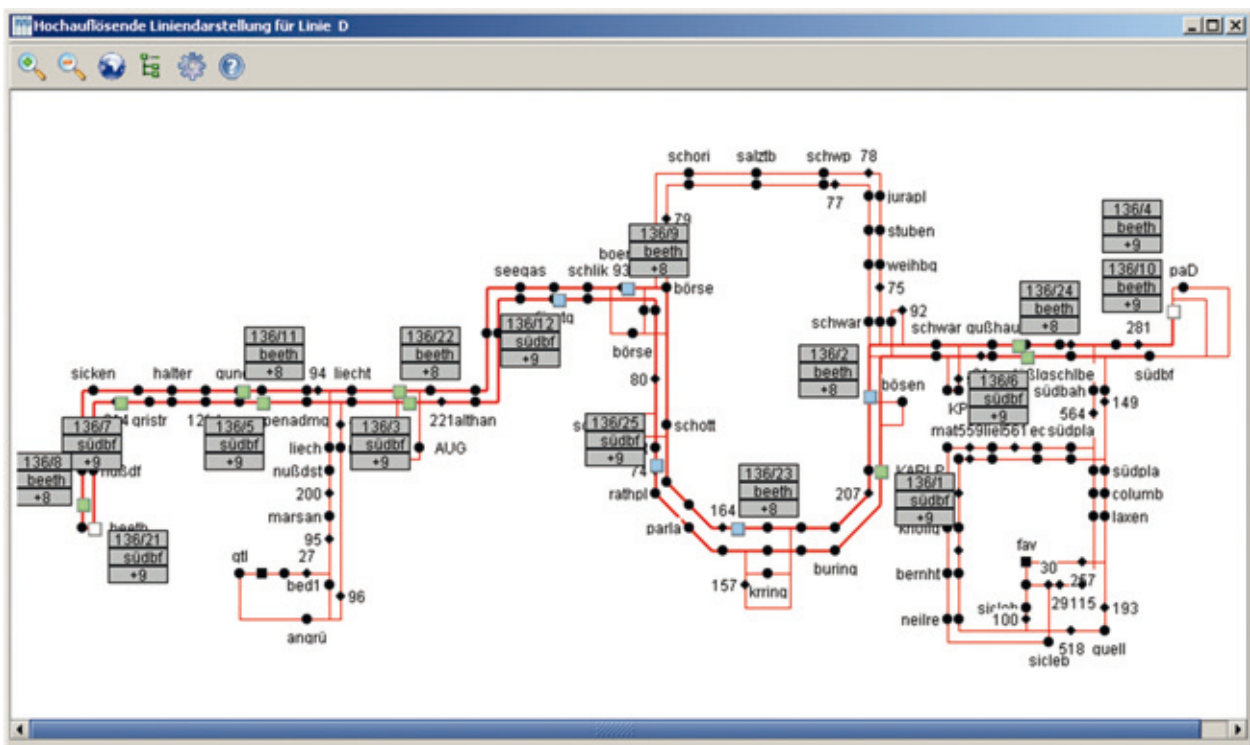


Abb. 8-8 Liniendarstellung mit Fahrweg-Varianten

Bei einfachen Linien genügt eine Darstellung, die von Himmelsrichtungen und alternativen Fahrwegen völlig abstrahiert: die *Linienleiter*. Sie hat den Vorteil, dass die Verteilung der Fahrzeuge genauer ablesbar ist und für alle Linien einheitlich aussieht. Unser Bild (Abb. 8-9) zeigt die Fahrzeuge an ihrer Ist-Position. Die Abweichung vom Soll ist an Farbcodes erkennbar (rot = zu früh, blau = zu spät, grün = im Plan) und zusätzlich in Zahlenform angegeben. Farbcodes können auch benutzt werden, um den Status eines Fahrzeugs darzustellen: Beispielsweise eine spezielle Farbhinterlegung für Fahrzeuge an der Endhaltestelle oder für Fahrzeuge auf Fahrten, die eingeplant sind, aber aktuell nicht durchgeführt werden. Zur Visualisierung der Fahrplananlage kann auch zusätzlich von jeder Infobox eines Fahrzeugs eine dünne Linie zu dem Punkt gezogen werden, wo das Fahrzeug laut Plan stehen müsste. Weist diese Linie schräg nach vorn, so ist das Fahrzeug zu spät dran, verläuft sie rechtwinklig, ist es im Plan, weist sie rückwärts, so ist das Fahrzeug verfrüht. Die Abbildung 8-9 zeigt Beispiele dafür.

Linienleiter

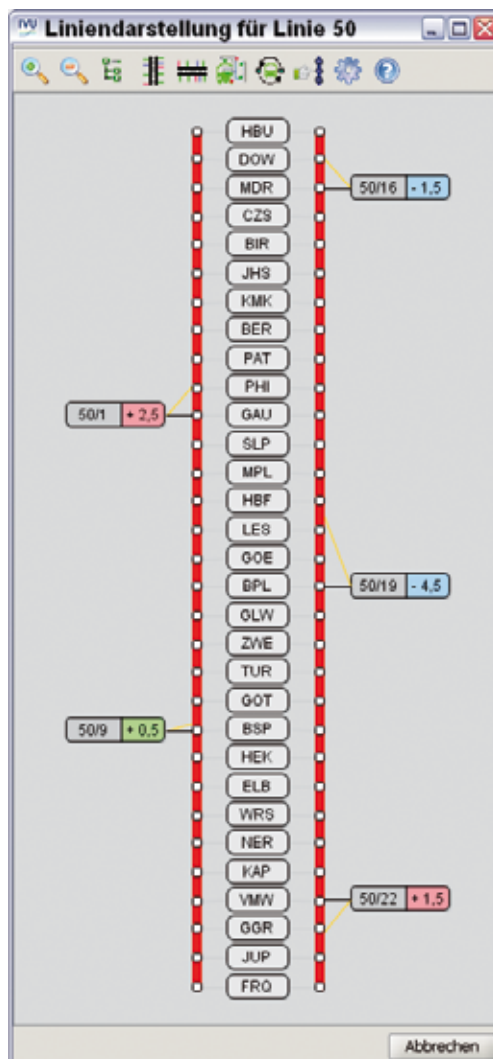


Abb. 8-9

Linienleiter

Beschränkung der Anzeige

Linienleitern zeigen meist aus Gründen der Übersichtlichkeit nur Fahrzeuge der ausgewählten Linie. Wenn mehrere Linien einen Abschnitt des Fahrwegs gemeinsam nutzen, wäre es aber natürlich auch denkbar, Fahrzeuge anderer Linien einzublenden. Die Namen der Haltestellen stehen bei einer Linienleiter im inneren Bereich, da es ja in der Regel die (schwarz dargestellten) Haltepunkte für jede Fahrtrichtung gibt. Kann eine Haltestelle nur in einer Richtung angefahren werden, so ist ihr Name nur einseitig angebunden (z. B. im unteren Bildbereich). Liegen Haltestellen sehr dicht beieinander, so kann die Linienleiter dies zumindest andeuten (z. B. im oberen Drittel des Bildes). Haltestellen mit Lautsprecher oder DFI-Anzeigen sind farblich herausgehoben. Wenn DFI-System und Leitsystem integriert sind, dann kann man hier beispielsweise den aktuellen Inhalt der Anzeiger einblenden; hat der Disponent bei Störungen eingegriffen, so kann er hier seine Maßnahmen quasi aus Fahrgastsicht miterleben.

Tabellarische Darstellungen

Grafische Darstellungen sind sehr instruktiv, können aber nicht alle Bedürfnisse abdecken. Wenn ein Disponent beispielsweise quer über alle Linien hinweg Fahrer identifizieren möchte, deren Dienst in den nächsten 30 Minuten endet, nützen ihm Grafiken gar nichts. Deshalb hat jedes Leitsystem zusätzlich frei konfigurierbare tabellarische Übersichten.

Balkenpläne zum Personaleinsatz

Wenn es um Fahrer geht, dann ist die zeitliche Lage von Dienststücken und Pausen besonders wichtig. Hierfür bietet sich ein Balkenplan an (vgl. Abb. 8-10). Im Prinzip handelt es sich um die gleiche Art von Darstellung, wie sie bei der Dienstplanung und insbesondere bei der Personaldisposition genutzt wird. In integrierten IT-Systemen wird man sogar dieselben Dialoge für den Personaldisponenten und den Fleetmanager verwenden. Der Unterschied liegt vor allem in der zeitlichen Abgrenzung: Der Personaldisponent arbeitet mit einem zeitlichen Vorlauf von mindestens einem Tag (in der Regel deutlich mehr), der Fleetmanager nimmt seine Änderungen nur am Tag des Geschehens vor. Kleinere Unterschiede gibt es auch beim Detaillierungsgrad: Der Fleetmanager interessiert sich für Fahrzeiten, Stehzeiten und Pausen, d. h. Fahrdienstelemente. Der Personaldisponent befasst sich auch mit Vor- und Nachbereitungstätigkeiten, Fahrzeugumsichtnahmen und sonstigen Tätigkeiten (Schulung, Betriebsrat usw.) der Mitarbeiter.

Kulturunterschiede

In europäischen Verkehrsbetrieben tauchen Personen in Dienstplänen meist nur als Nummer auf. Der Personalrat achtet darauf, dass Personendaten nur dargestellt werden, wenn dies unumgänglich ist. Die Sprechfunk-Dialoge in einem Leitsystem stellen einen Grenzfall dar. Darf, muss, soll der Disponent wissen, wie der jeweilige Fahrer heißt?¹⁸ Soll er sein Gegenüber als »Linie 13, Kurs 8« ansprechen? In Deutschland gilt Letzteres als sachlich korrekt, in anderen Ländern, insbesondere außerhalb Europas, stoßen solche Gepflogenheiten jedoch auf Befremden, und man stellt ganz selbstverständlich Namen oder Namenskürzel dar.

18. Die Frage stellt sich auch umgekehrt: Weiß der Fahrer, mit wem er es in der Leitstelle zu tun hat?

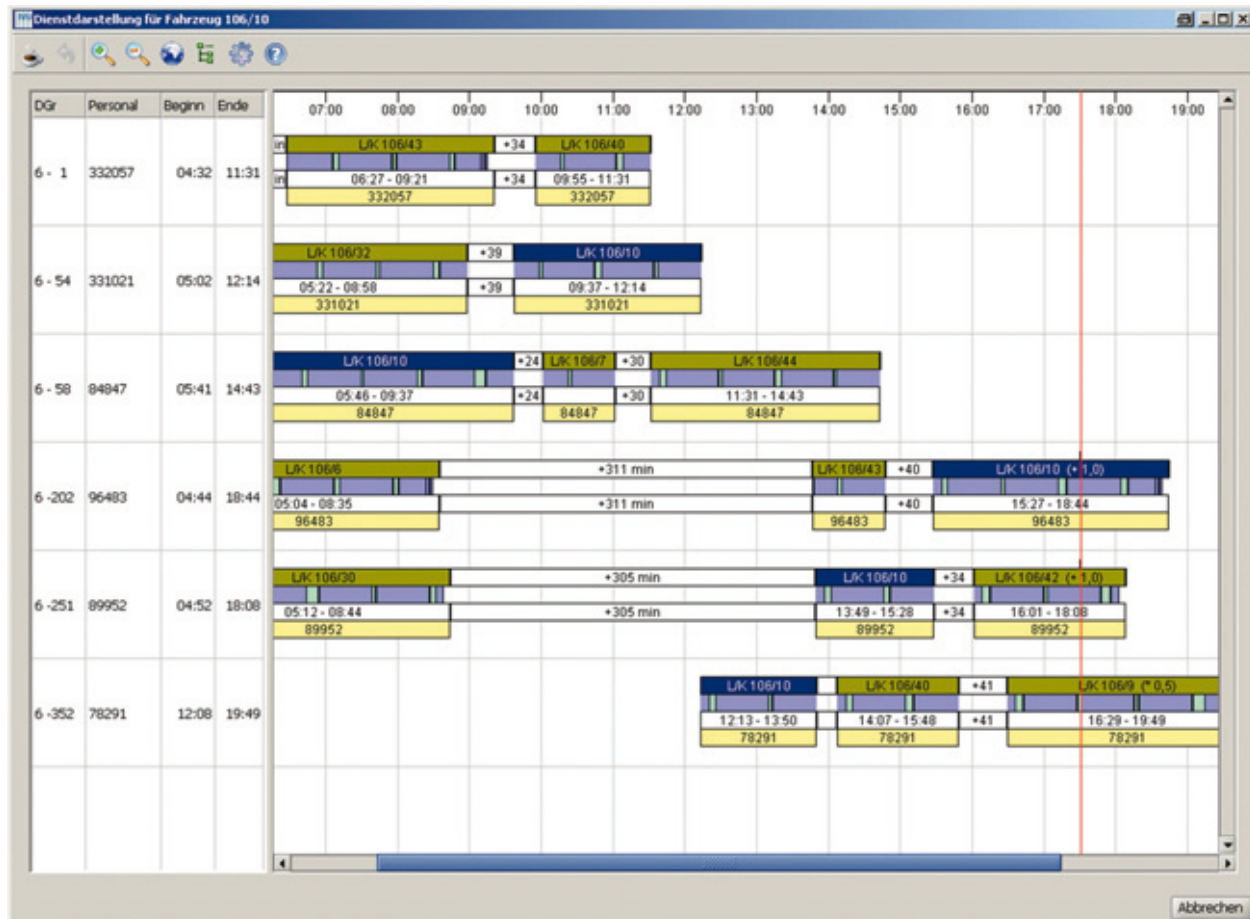


Abb. 8-10 Dienstplan aus Sicht einer Leitstelle (mit *geteilten Diensten*)

Während der Überwachung von Fahrten und Diensten entsteht beim Fleetmanager das Bedürfnis, mit Fahrern zu sprechen oder ihnen eine Nachricht zukommen zu lassen – meist im Zusammenhang mit den bisher beschriebenen Bildschirmdarstellungen. Die Aufnahme der Kommunikation wird daher zweckmäßigerweise als Kontextmenü (rechte Maustaste bzw. Doppelklick) realisiert. Viele Verkehrsunternehmen nutzen Funksysteme, bei denen Gruppenrufe möglich sind. Das Leitsystem bietet dem Fleetmanager automatisch konfigurierte Gruppen an (z. B. alle Fahrzeuge einer Linie). Außerdem kann er Rufgruppen durch Mehrfachselektion in Tabellen oder Grafiken spontan zusammenstellen.

Viele Leitsysteme können Ereignisse und Maßnahmen zusammen mit den Bewegungsdaten der Fahrzeuge und den Fahrerdiensten aufzeichnen. Eine anschließende Wiedergabe im Zeitraffer erlaubt ein besseres Verständnis von Zusammenhängen, eine Wiedergabe mit Zeitlupe und Unterbrechungen (»Freeze«-Schalter) hilft, problematische Situationen zu analysieren, und unterstützt bei der Ausbildung von Disponenten oder beim Training für spezielle Notfallsituationen.

Kommunikationssteuerung

Aufzeichnung und Wiedergabe