

Markterkundung gem. § 26 SektVO

Zur beabsichtigen Beschaffung eines KI-Bewertungstools für potenzielle Umleitungen
im Störfungsfall und eines Data Warehouse/Lakehouse

Systembeschreibung

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage und Ziel der Markterkundung.....	3
1.1 Ziel der Markterkundung	3
1.2 Ausgangssituation in der Leitstelle.....	3
2 Zielbild.....	4
2.1 KI-Bewertungstool für mögliche Umfahrungen.....	4
2.2 KI-Bewertungskriterien und Ergebnisse	5
2.2.1 Prognose der benötigten Fahrzeit:.....	5
2.2.2 Prognose der Fahrgastnachfrage:	7
2.3 Datenaustausch via Verkehrsdatenplattform (VDP).....	8
2.4 Datenaustausch zur Bewertung potenzieller Umfahrungen	9
2.5 Protokollierung	10
3 Datenbasis und Einflussfaktoren.....	11
3.1 Verfügbare interne Daten.....	11
3.2 Externe Datenquellen.....	11

1. Ausgangslage und Ziel der Markterkundung

Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) beabsichtigt die Einführung eines KI-basierten Systems zur Optimierung des Verkehrsmanagements im Falle ungeplanter Störungen. Dabei sollen die Mitarbeitenden der Leitstelle bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich der einzurichtenden Umfahrungen im Straßenbahn- und Busverkehr durch ein automatisiertes Bewertungstool unterstützt werden.

1.1 Ziel der Markterkundung

Ziel dieser Markterkundung ist es, einen Überblick über am Markt verfügbare Lösungen, technologische Ansätze sowie Umsetzungsmodelle bezüglich der automatisierten Reaktion auf spontane Streckensperrungen zu gewinnen. Im Fokus steht die Einführung eines KI-Bewertungstools zur automatisierten Bewertung möglicher Umfahrungen als Entscheidungsunterstützung für die Mitarbeitenden der Leitstelle sowie zur Verbesserung der Qualität und Stabilität der Dispositionen.

Gegenstand dieser Markterkundung ist darüber hinaus die Evaluierung möglicher Betriebs- und Bereitstellungsmodelle des Bewertungstools und der zugrundeliegenden Daten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist noch nicht festgelegt, ob die Lösung als Cloud-basierter Dienst, als lokale Serverlösung in den Systemen der DVB oder als hybrider Ansatz betrieben werden soll. Die DVB bittet hierzu um geeignete Lösungsvorschläge und Empfehlungen der Marktteilnehmenden.

1.2 Ausgangssituation in der Leitstelle

Die Steuerung des laufenden Betriebs erfolgt zentral über die Leitstelle der DVB unter Einsatz des bestehenden ITCS (Intermodal Transport Control System) der Firma DXC. Die Mitarbeitenden der Leitstelle (Disponenten) überwachen dort kontinuierlich die Betriebslage und greifen bei Bedarf steuernd in den Betriebsablauf ein.

Spontane Störungen im Betrieb entstehen beispielsweise durch Unfälle, Demonstrationen, Infrastruktur- und Fahrzeugstörungen oder sonstige betriebliche Einschränkungen. In diesen Situationen müssen kurzfristig geeignete dispositive Maßnahmen wie Umleitungen, Fahrtenkürzungen, Kurzwenden oder Linienanpassungen entwickelt und umgesetzt werden. Dabei besteht das Ziel, die Auswirkungen der Störung auf die Fahrgäste möglichst gering zu halten und gleichzeitig die betriebliche Stabilität des Gesamtsystems aufrecht zu erhalten.

Die Entscheidungsfindung hinsichtlich der einzurichtenden Umleitung erfolgt derzeit weitgehend manuell und basiert auf den Erfahrungen sowie den individuellen Bewertungen der Situation durch die Disponenten. Gleichzeitig ist die Auswahl eines optimalen Umleitungskonzepts von einer Vielzahl dynamischer Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen abhängig, welche durch die einzelnen Mitarbeitenden häufig nur eingeschränkt vollständig überblickt werden können. Dies gilt insbesondere bei komplexen Umleitungsszenarien mit mehreren betroffenen Linien, bei denen zahlreiche betriebliche, infrastrukturelle und verkehrliche Zusammenhänge gleichzeitig zu berücksichtigen und bewerten sind. Hieraus ergibt sich der Bedarf nach einer datenbasierten Entscheidungsunterstützung, um auch im Störfall ein optimales

Fahrtangebot gewährleisten zu können und damit die Betroffenheiten unter den Fahrgästen zu minimieren.

2 Zielbild

Vor diesem Hintergrund planen die DVB die Einführung eines KI-gestützten Bewertungstools zur besseren Unterstützung der Entscheidungsfindung hinsichtlich der einzurichtenden Umfahrungen im Störfall.

Die Zielarchitektur basiert auf einer klaren Trennung der am Verkehrsmanagement der DVB beteiligten Systeme. Die Generierung von Dispositionsmaßnahmen verbleibt im bestehenden ITCS. Als zentrale Datendrehscheibe fungiert die Verkehrsdatenplattform (VDP). Die durch das ITCS ermittelten, potenziellen Umfahrungen werden über die VDP an das KI-gestützte Bewertungstool übergeben. Dort erfolgen die Analyse und die Bewertung der übergebenen Umfahrungsoptionen. Dazu könnten auch historische bzw. aggregierte Daten über ein Data Warehouse bzw. Lakehouse eingebunden werden. Die vom KI-gestützten Bewertungstool ermittelten Ergebnisse werden über die VDP an das Leitsystem zurückgegeben. Dort erfolgt die Gesamtbewertung der möglichen Umfahrungsoptionen. Die finale Entscheidung verbleibt beim Disponenten.

2.1 KI-Bewertungstool für mögliche Umfahrungen

Abbildung 1 zeigt den angestrebten Zielprozess. Im ersten Schritt erfolgt die Identifikation und das Anlegen einer neuen Störungssituation im Leitsystem (1). Ausgehend von der Störungsart und des Störungsortes werden darauf aufbauend mögliche Umfahrungen ermittelt und an das KI-Bewertungstool übergeben (2). Das KI-Bewertungstool soll die bereitgestellten potenziellen Umfahrungen analysieren und anhand vordefinierter, entscheidungsrelevanter Kennzahlen bewerten (3). Dazu müssen für jede potenzielle Umfahrung aus verschiedenen internen (und externen) Datenquellen verlässliche Prognosen zur Fahrgastnachfrage und zur benötigten Fahrzeit generiert werden. Die Ergebnisse werden an das Leitsystem zurückgegeben und dort zur betrieblichen Gesamtbewertung der Umfahrungsoptionen genutzt (4). Im letzten Schritt trifft der Disponent anhand der Gesamtbewertung die Entscheidung hinsichtlich der einzuleitenden Umleitungen (5).

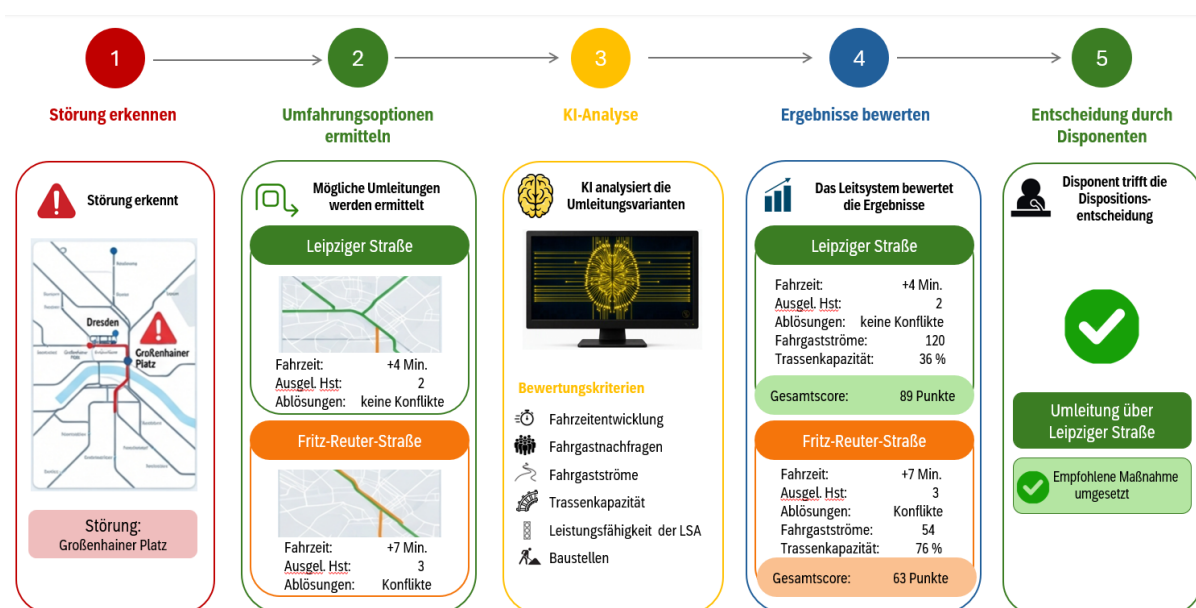


Abbildung 1: Beispielhafter Ablauf einer KI-gestützten Entscheidungsunterstützung im Störfall

2.2 KI-Bewertungskriterien und Ergebnisse

Das KI-Bewertungstool soll für die bereitgestellten Umfahrungsvarianten im Störfall belastbare Prognosen erzeugen. Die ermittelten Prognosen werden durch das Leitsystem als Bewertungskriterien genutzt, um eine fundierte Entscheidungsfindung durch die Disponenten zu unterstützen. Für jede potenzielle Umfahrung sind mindestens die folgenden Prognosen zu erstellen:

1. Prognose der Fahrzeit
2. Prognose der Fahrgastnachfrage

Die Prognosen müssen situationsbezogen für den jeweiligen Störfall erzeugt werden und dürfen nicht ausschließlich auf statischen Fahrplandaten oder historischen Durchschnittswerten basieren. Die Herausforderung besteht nicht in der Bewertung der Umfahrungsvarianten selbst, sondern in der Generierung belastbarer Prognosen für Fahrzeiten und Fahrgastnachfrage unter einer konkreten, oftmals einmaligen Störungssituation. Hierbei sind zahlreiche betriebliche, infrastrukturelle und externe Einflussfaktoren zu berücksichtigen sowie deren gegenseitige Wechselwirkungen zu modellieren. Die Lösung soll daher über eine reine regelbasierte oder historische Auswertung hinausgehen und eine situationsspezifische, prognosegestützte Entscheidungsunterstützung ermöglichen.

2.2.1 Prognose der benötigten Fahrzeit:

Fragestellung

Welche Fahr- und Haltestellenaufenthaltszeiten sind für die jeweilige Umfahrungsvariante unter den aktuellen und erwarteten Betriebsbedingungen zu erwarten?

Erwartete Eingangsdaten

Mögliche Eingangsdaten sind beispielsweise:

Betriebsdaten (vorhanden)

- Störungsart
- Störungsort
- betroffene Linien
- aktueller Betriebszustand
- aktuelle Fahrzeugpositionen
- Verspätungslagen

Infrastruktur- und Netzdaten (vorhanden)

- Liniennetz
- Gleis- und Streckeninformationen
- mögliche Umfahrungsstrecken
- Fahrwege
- Haltestellen
- Position von Signalanlagen

Historische Daten

- historische Fahrtverläufe (vorhanden)
- historische Fahrzeiten (ableitbar)
- historische Verspätungsdaten (vorhanden)
- frühere vergleichbare Störungssituationen (nicht vorhanden)

Externe Daten

- Gesamtverkehrslage innerhalb der Stadt Dresden (teilweise vorhanden)
- Baustellen (nicht vorhanden)
- Veranstaltungen (nicht vorhanden)
- Wetterdaten (nicht vorhanden)
- weitere verkehrsbeeinflussende Faktoren (nicht vorhanden)

Erwartete Ergebnisse

Im Ergebnis der Prognose muss sowohl die Gesamtfahrzeit als auch die Fahr- und Haltestellenaufenthaltszeiten der einzelnen Streckenabschnitte an das Leitsystem bereitgestellt werden. Dafür ist für jede Umfahrungsvariante mindestens zu prognostizieren:

- Gesamtfahrzeit
- Fahr- und Haltestellenaufenthaltszeiten je Streckenabschnitt
- erwartete Ankunfts- und Abfahrtszeiten je Halteort
- Verlustzeit an den einzelnen LSA
- Prognose der Fahrplanlage
- erwartete Folgeverspätungen
- Vertrauensmaß bzw. Prognosegüte (z. B. Unsicherheitsintervall)

Besondere Anforderungen

Die Prognose muss insbesondere berücksichtigen:

- Auswirkungen einer Umleitung auf bereits belastete Netzabschnitte
- sich verändernde Verkehrslagen
- Baumaßnahmen
- Überlagerungen mit weiteren Betriebsereignissen
- potenzielle Wechselwirkungen mit anderen Linien

2.2.2 Prognose der Fahrgastnachfrage:

Fragestellung

Wie verändert sich die Fahrgastnachfrage infolge der jeweiligen Umfahrungsvariante und welche Fahrgastströme sind zu erwarten?

Erwartete Eingangsdaten

Mögliche Eingangsdaten sind beispielsweise:

Fahrgastbezogene Daten

- historische Fahrgastzählungen (teilweise vorhanden)
- Ein- und Aussteigerzahlen (nicht vorhanden)
- Auslastungsdaten (vorhanden)
- Fahrgastströme (vorhanden)
- Nachfrageprofile nach Wochentag und Tageszeit (nicht vorhanden)

Betriebsdaten (vorhanden)

- aktuelle Störungssituation
- betroffene Linien und Haltestellen
- geplante Umfahrungsvarianten
- prognostizierte Fahrzeiten

Infrastruktur- und Netzdaten

- Umsteigebeziehungen (nicht vorhanden)
- Anschlüsse (vorhanden)
- alternative Reisemöglichkeiten (nicht vorhanden)
- Netzstruktur (vorhanden)

Externe Einflussgrößen

- Veranstaltungen (nicht vorhanden)
- Ferienzeiten (vorhanden)
- Wetterlagen (nicht vorhanden)
- Großereignisse (nicht vorhanden)

Erwartete Ergebnisse

Die Prognose soll die Auswirkungen der verschiedenen Umleitungsoptionen auf die Fahrgäste quantitativ bewerten. Dafür ist für jede Umfahrungsvariante mindestens zu prognostizieren:

- prognostizierte Anzahl betroffener Fahrgäste
- prognostizierte Fahrgastströme
- Auslastung der betroffenen Fahrzeuge
- zusätzliche Reisezeiten für Fahrgäste
- Anzahl erwarteter Anschlussverluste
- Nachfrageentwicklung an relevanten Haltestellen
- Vertrauensmaß bzw. Prognosegüte

Besondere Anforderungen

Die Prognose soll insbesondere berücksichtigen:

- Verlagerungen von Fahrgastströmen innerhalb des Netzes
- Auswirkungen durch entfallende oder verlegte Haltestellen
- Veränderungen von Umsteigebeziehungen
- Änderungen der Nachfrage infolge verlängerter Fahrzeiten
- unterschiedliche Wirkungen abhängig von Tageszeit, Wochentag oder Sondereignissen

2.3 Datenaustausch via Verkehrsdatenplattform (VDP)

Der Datenaustausch zwischen Leitsystem und KI-Bewertungstool erfolgt über die Verkehrsdatenplattform (VDP) der DVB. Die VDP umfasst einen MQTT-basierten Datenbroker mit strukturierter Topic-Hierarchie, über den Daten und Ergebnisse zwischen den angebundenen Systemen ausgetauscht werden.

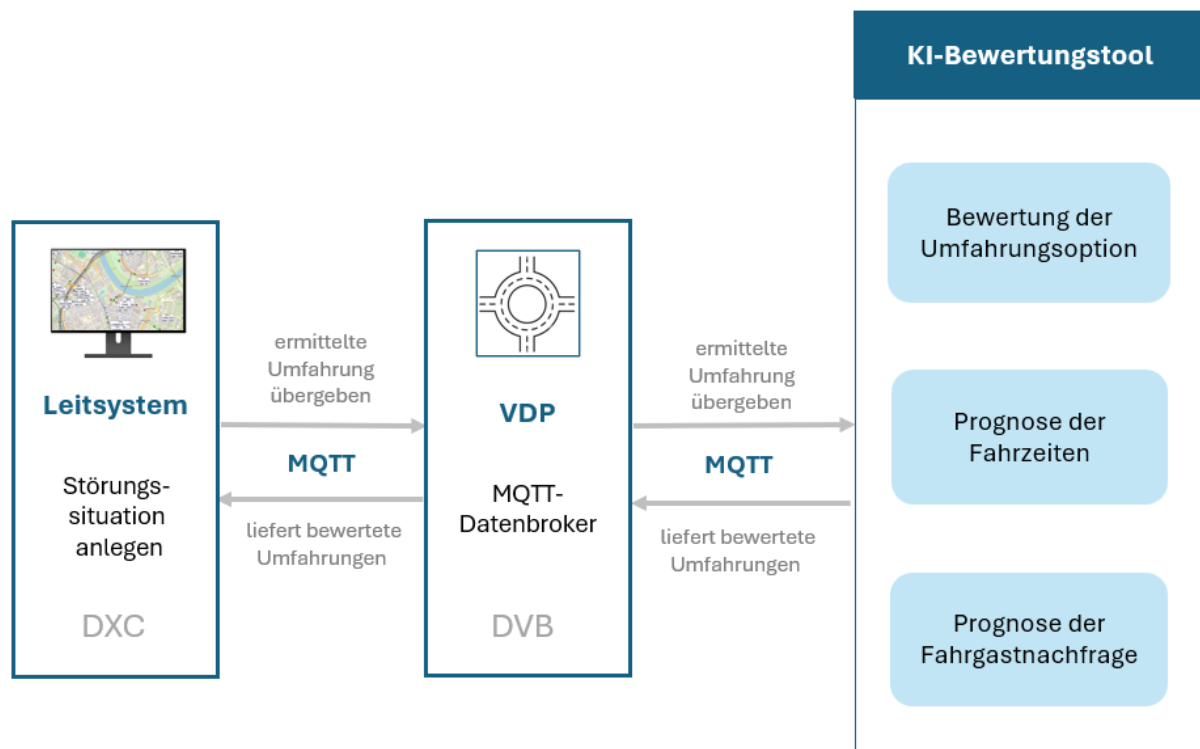


Abbildung 2: Zielprozess KI-gestützte Entscheidungsunterstützung im Störfall

Die Abbildung 2 zeigt den zukünftigen Ablauf von der Ermittlung der Dispositionsmaßnahmen im ITCS über die Analyse im KI-Tool bis zur Bereitstellung der Ergebnisse im Leitsystem.

2.4 Datenaustausch zur Bewertung potenzieller Umfahrungen

Ergänzend zur Verkehrsdatenplattform (VDP) ist perspektivisch der Einsatz eines Data Warehouse bzw. Data Lakehouse als zentrale Speicher-, Archiv- und Auswertungsplattform für historische und aggregierte Daten vorgesehen.

Neben den Verkehrsdaten sollen über geeignete, standardisierte Schnittstellen auch relevante Daten aus dem zentralen SAP-ERP, insbesondere aus den Bereichen Finanzbuchhaltung, Controlling, Materialwirtschaft und Instandhaltung, für Reporting, Analysen und KI-gestützte Anwendungsfälle nutzbar gemacht werden.

Als bevorzugtes Zielbild soll geprüft werden, ob die Datenbereitstellung für nachgelagerte Anwendungen und KI-Tools gebündelt über die VDP, beispielsweise mittels MQTT, erfolgen kann. So soll die VDP als zentrale Integrationsschicht gestärkt und die Anzahl direkter Schnittstellen reduziert werden. Die konkrete Architektur ist jedoch unter Berücksichtigung der eingesetzten KI-Lösung gemeinsam mit dem künftigen Auftragnehmer festzulegen.

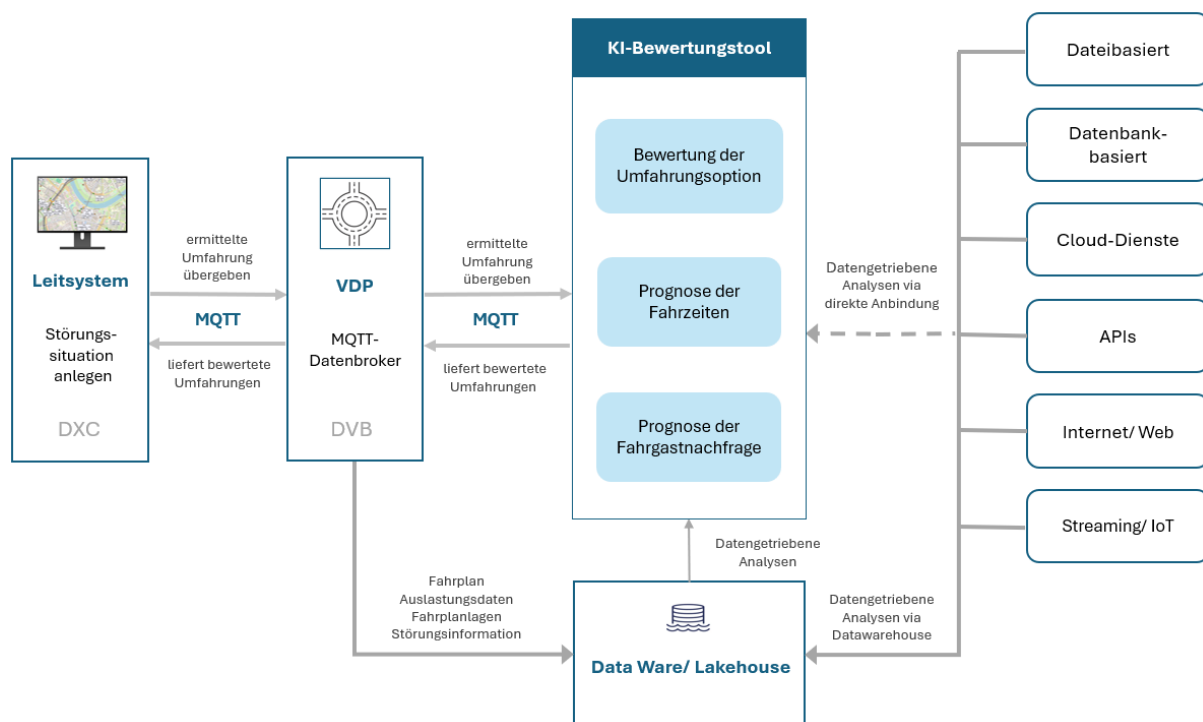


Abbildung 3 zeigt die konzeptionelle Datenarchitektur mit VDP als zentraler Integrationsschicht sowie der optionalen Einbindung eines Data Warehouse bzw. Lakehouse.

Das System soll modular aufgebaut sein und sowohl funktional als auch hinsichtlich der Datenintegration flexibel erweitert werden können.

Die Anbieter werden gebeten darzustellen, welche Integrationsstrategie sie für den beschriebenen Anwendungsfall empfehlen und welche Auswirkungen diese hinsichtlich Echtzeitfähigkeit, Datenqualität, Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit hat.

2.5 Protokollierung

Alle relevanten Systemereignisse sowie die Kommunikation mit der Verkehrsdatenplattform (VDP) sind zu protokollieren und historisiert bereitzustellen. Die Ereignisse sollen in einer filterbaren Ereignishistorie dargestellt und mindestens nach den Log-Leveln: Info, Warning und Error klassifiziert werden. Die Protokollierung muss eine nachvollziehbare Analyse von Datenflüssen, Statusänderungen und Fehlerfällen ermöglichen.

3 Datenbasis und Einflussfaktoren

3.1 Verfügbare interne Daten

Bereits heute stehen über die Verkehrsdatenplattform (VDP) umfangreiche betriebliche, netzbezogene und infrastrukturelle Daten zur Verfügung.

Bereich	Objekte	Inhalt
Fahrplan	Fahrten	- Linie/Kurs/Umlauf - Route - Abfahrtszeiten - Informationen zum Abfahrtsort - Wendezeit - Fahrzeiten
	Anschlüsse	- Informationen zum Anschlussort (Zubringer/Abbringer) - geplante Abfahrt - Auflösungszeitpunkt - Abfahrtsort
Infrastruktur	Haltestellen (steigfein)	- Netzmodell
	Streckenelemente	- Streckenverlauf einschließlich Lage, Geschwindigkeit und Streckeneigenschaften
	Weichen	- Weicheninformationen
	Signalgruppen	- Signalinformationen
Betriebsdaten	Fahrten	- Aktuelle Position - Aktuelle Fahrplanlage - Aktuelle Auslastung
	Störungen	- Art der Störung - Gesperre Abschnitte - Betroffene Linien - Aktuelle Umfahrungen
Verkehrsmanagementsystem der Stadt Dresden	MIV-Verkehrslage	- Aktuelle Verkehrslage des Individualverkehrs
	Parkplatzdaten	- Informationen zur Auslastung und Verfügbarkeit von Parkplätzen

3.2 Externe Datenquellen

Die DVB geht davon aus, dass die bereits bestehende Datenbasis nicht ausreicht, um die geforderte Prognosequalität zu gewährleisten. Demzufolge sind für die Analyse, Prognose und Bewertung der Umfahrungsoptionen weitere Datenquellen zu berücksichtigen. Dazu zählen insbesondere Fahrgastströme, Kalenderdaten wie Ferien, Feiertage und Tagesarten, Veranstaltungskalender sowie Wetterdaten.

Die Architektur des Systems muss so gestaltet sein, dass eine schrittweise Erweiterung der Datenbasis möglich ist.