

Forschungsprojekt Aktiv-VM

Adaptive und kooperative Technologien
für den intelligenten Verkehr - Verkehrsmanagement

Schlussbericht

Beitrag des Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität
München
Zuwendungsempfängers: Arcisstraße 21
80333 München

zu den Teilprojekten: Informationsplattform

Laufzeit: 01.09.2006 – 31.12.2010

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen **19P6018P** gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



München, 15.3.2011

Inhalt

1. Problemstellung und Zielsetzung.....	3
1.1 Arbeitsinhalte der Informationsplattform	3
1.2 Arbeitsinhalte der TU München	4
1.2.1 AP 200 Systemarchitektur und Kommunikation.....	4
1.2.2 AP 300 Prozessmonitoring	4
1.2.3 Projektverlauf	7
2. Monitoringkonzept.....	9
2.1 Prozessorientiertes Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000.....	9
2.1.1 Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9000 ff.....	9
2.1.2 Qualitätspolitik und Qualitätsziele.....	10
2.1.3 Prozesse	11
2.1.4 Einführung von Prozessen	14
2.1.5 Prozessmonitoring und Prozessreporting	16
2.2 Prozessorientiertes Qualitätsmanagement der AKTIV Informationsplattform.....	19
2.2.1 Visionen, Qualitätspolitik und Qualitätsziele der Qualitätssicherung	19
2.2.2 Prozesslandschaft.....	20
2.2.3 Prozessgruppe Datenerfassung	21
2.2.4 Prozessgruppe Verfahren	30
2.3 Systemarchitektur des Monitoringsystems	33
2.4 Qualitätsprüfungen.....	35
2.4.1 Module des Gerätemonitors	35
2.4.2 Module des Datenmonitors für stationäre Detektion	36
2.4.3 Module des Datenmonitors für streckenbezogene Detektion.....	42
2.4.4 Module des Verfahrensmonitors.....	42
2.4.5 Akzeptanzmonitor	45
2.4.6 Module des Wirkungsmonitors	45
3. Referenzdatenbasis	47
3.1 Aufbau der Simulationsumgebung.....	47
3.2 Kalibrierung	49
3.3 Implementierung von Detektionsfehlern	50
4. Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen und Wirkungsermittlung	50
4.1 Auswahl der Plausibilitätsprüfungen.....	51
4.1.1 Ermittlung der Ziele und Zielgewichte.....	51
4.1.2 Ermittlung der Ergebniswerte	52
4.1.3 Ermittlung der Nutzwerte	54
4.2 Umsetzung	58
4.3 Wirkungsermittlung	59
5. Literaturverzeichnis	60
Schlussbericht Aktiv-VM	

1. Problemstellung und Zielsetzung

Im Folgenden werden die Arbeitsinhalte der Informationsplattform sowie die konkret vom Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München durchgeführten Arbeiten beschrieben.

1.1 Arbeitsinhalte der Informationsplattform

Für eine wirksame Steuerung und Beeinflussung durch Netzbeeinflussungsanlagen, Streckenbeeinflussungsanlagen und Lichtsignalanlagen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und der Verkehrseffizienz sind die Schaltungen und die Informationen an den Verkehrsteilnehmer optimal auf die gegebenen (Verkehrs-) Bedingungen anzupassen und aufeinander abzustimmen. Zur Verarbeitung lokaler und regionaler Informationen wurde mit der Informationsplattform ein überregionales und funktionsübergreifendes System geschaffen, das aktuelle Informationen großräumig zusammenführt, systematisch verwaltet, konsistent verarbeitet und an die Adressaten übermittelt. Im Gegensatz zu kooperativen Systemen arbeiten die Systeme des Verkehrsmanagements bisher mehrheitlich in vorwiegend geschlossenen Welten. Um diesen und anderen identifizierten Defiziten heutiger Systeme gerecht zu werden, wurde im Rahmen des kooperativen AKTIV-Systems die Informationsplattform entwickelt.

Die Arbeiten an der Informationsplattform umfassen im Wesentlichen die folgenden Punkte:

- **Verkehrslagebasierte Informationen:**
Verkehrslagebasierte Informationen bilden die Basis für die in AKTIV-VM entwickelten Applikationen. Die heute üblichen Informationsangebote, wie Meldungen oder ‚Level Of Service‘ Darstellungen wurden durch historische Ganglinien und Prognosen erweitert.
- **Strategiebasierte Informationen:**
Informationen erweitern die zuvor genannten Informationsinhalte und stellen eine Verbindung zwischen den öffentlichen und privaten Partnern dar.
- **Erweiterte Karteninformationen:**
Die in AKTIV-VM entwickelten Applikationen benötigen erweiterte Karteninformationen. Dies schließt auch die Pflege und die kurzfristige Verfügbarkeit von temporären Änderungen mit ein.
- **Georeferenzierung:**
Der Austausch von Informationen erfordert einheitliche Lösungen zur Georeferenzierung. Die erforderlichen Module wurden bereitgestellt.
- **Prozessmonitoring:**
Die einzelnen Prozesse der Verkehrsdatenerfassung bis zur Veredelung der Information mittels verkehrstechnischer Modelle werden durch verschiedene Monitore überwacht und qualitätsgeprüft.

1.2 Arbeitsinhalte der TU München

Der Lehrstuhl für Verkehrstechnik der Technischen Universität München war im Rahmen der Informationsplattform im Einzelnen an den Arbeitspaketen ‚AP 200 Systemarchitektur und Kommunikation‘ und ‚AP 300 Prozessmonitoring‘ beteiligt.

1.2.1 AP 200 Systemarchitektur und Kommunikation

Die Systemarchitektur schafft die konzeptionellen Grundlagen für die Realisierung der Informationsplattform und stellt die technische Einbindung der Entwicklungen in den Gesamtkontext von AKTIV sicher.

Aufgabe der TU München war das Mitwirken an der technischen Anforderungsanalyse unter besonderer Berücksichtigung der Belange des Prozessmonitorings, sowie der Review der Konzeption und der Spezifikationen der Informationsplattform mit dem Schwerpunkt des Prozessmonitorings.

Die Arbeiten umfassten im Einzelnen folgende Punkte:

- Erarbeitung der Anwendungsfälle für die Informationsplattform im besonderen „I5 Synthetische Erzeugung von Verkehrs-/Meldungslage“ (siehe erster Meilensteinbericht) und deren Abstimmung mit den übrigen Projektpartnern der Informationsplattform.
- Verfeinerung des Monitoring Konzepts in Anlehnung an die AKTIV-VM Gesamtsystemarchitektur
- Erstellung eines Diskussionspapiers zum Feedbackmonitor in Zusammenarbeit mit der VZH.

Eine ausführliche Dokumentation der oben genannten Arbeiten befindet sich im ersten und zweiten Meilensteinbericht. Im Folgenden wird daher auf eine ausführlichere Erläuterung der Arbeiten in diesem Arbeitspaket verzichtet.

1.2.2 AP 300 Prozessmonitoring

Das Arbeitspaket Prozessmonitoring unterteilt sich in die drei Unterarbeitspakete AP:

- AP 310 Monitoringkonzept und Qualitätsbewertung
- AP 320 Aufbau einer Referenzdatenbasis
- AP 330 Simulation des Gesamtprozesses

1.2.2.1 AP 310 Monitoringkonzept und Qualitätsbewertung

Die Identifizierung, Beschreibung sowie das hierauf aufbauende Monitoring von Prozessen sind Grundlage für ein erfolgreiches Qualitätsmanagement innerhalb kooperativer Systeme und somit auch Voraussetzung für die Akzeptanz der ausgelieferten Informationen bei den potentiellen Kundengruppen. Gerade angesichts des Informationsaustausches in verteilten Systemen, wie es in Aktiv der Fall ist, sind hohe Anforderungen an die übergreifende Qualitätssicherung und das übergreifende Prozessmonitoring zu stellen, denen heutige Systeme, die zumeist in der Verantwortung eines Betreibers arbeiten, nur bedingt gerecht werden.

Neben der Qualität der erfassten Daten von stationären Messquerschnitten, Floating Car Data und Informationen von Content Providern, spielt auch die Güte der Verfahren zur Weiterverarbeitung dieser Daten eine entscheidende Rolle. Jeder Einzelprozess kann über die Qualitätsmerkmale Vollständigkeit, Aktualität, Konsistenz und Korrektheit beschrieben werden.

Bei einigen Datensätzen ist es aber grundsätzlich nicht möglich sie auf ihre absolute Korrektheit zu überprüfen, da der exakte Wert (die Wahrheit) in der Realität nicht bekannt ist. Im Folgenden wird daher „nur“ eine Überprüfung der Plausibilität durchgeführt.

Dazu werden die einzelnen Prozesse mittels geeigneter Module (Plausibilitätsprüfungen) überwacht und bewertet um die Fehler oder Schwachstellen der Einzelprozesse zu erkennen, genauer zu lokalisieren, gegebenenfalls zu beheben und die Prozesse zu optimieren. Die Auswahl der Module baut auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Benchmarking für Verkehrsdatenerfassungs- und Verkehrssteuerungssysteme.“ [BUSCH et.al., 2006] auf. Eine Überwachung von z.B. Datenerfassungsprozessen findet bereits in einigen Verkehrszentralen statt. Diese wird aber in der Regel nicht online durchgeführt, so dass Fehler meist nur im Nachhinein erkannt werden können. Als neuer Ansatz wurde hier aber eine online Bewertung der eingehenden Daten entwickelt, damit zeitnah (in der Regel sofort) auf Fehler reagiert werden kann. Die zugrunde liegende Prämisse ist, dass die ermittelten Verkehrsdaten die Eingangsgrößen der Steuerungsalgorithmen, Fahrerinformationen und Warnungen darstellen und somit eine hohe Qualität dieser Daten von großer Bedeutung ist. Falsch messende oder sich schleichend verschlechternde Sensoren sollen schnellst möglich erkannt werden, damit entsprechende Störungsursachen behoben werden können. Gleiches gilt für Verfahren zur Verkehrslageberechnung und Verkehrsprognose, besonders dann wenn sich die unterschiedlichen Quellen widersprechen sollten.

Durch eine geeignete Verknüpfung kann so auch die Qualität eines Gesamtprozesses bewertet werden. Hierzu wurde im Projekt ein Konzept für ein integriertes Gesamtwirkungssystem entwickeln, das auf dem Prozessmodell beruht. Neben der Qualität der einzelnen Prozesse kann so auch die Ergebnisqualität, also die Qualität des Gesamtprozesses gegenüber einem Abnehmer bzw. einem Endnutzer abgeschätzt werden. Die Ergebnisqualität ist letztendlich entscheidend für die Akzeptanz der vorgeschlagenen Maßnahmen und Maßnahmenbündel. Aufbauend auf dem Monitoringkonzept und seiner Architektur wurden hierzu Methoden zur kontinuierlichen Erfassung/Messung der Prozessqualität entwickeln. Mit Hilfe eines integrierten Wirkungssystems werden die Informationen aus den einzelnen Prozessen der Prozessketten der unterschiedlichen Quellen bewertet und zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst, wodurch eine Gesamtaussage über die Qualität der ganzen Prozesskette möglich ist.

Mit einer höheren Zuverlässigkeit der einzelnen Prozesse und damit des Gesamtprozesses kann eine höhere Zuverlässigkeit der bereitgestellten Informationen für die Verkehrsteilnehmer gewährleistet werden. Damit kann auch die Akzeptanz der Maßnahmen beim Verkehrsteilnehmer gesteigert werden.

Die Arbeiten umfassten im Einzelnen folgende Punkte:

- Ausarbeitung des Prozessmonitorings in Anlehnung an die DIN EN ISO 9000 ff. Qualitätsmanagementsysteme.
- Erstellung eines Datentemplates zur Erfassung der über die Informationsplattform laufenden Daten, mit besonderem Fokus auf die Qualitätssicherung der Daten. Abstimmung des Datentemplates mit der PTV.
- Auswertung des Rücklaufs des Datentemplates.
- Recherche zum Stand der Technik zur Plausibilitätsprüfung stationärer Datenerfassung.
- Auswahl geeigneter Plausibilitätsprüfungen zur Bewertung der stationären Datenerfassung.
- Niederschrift der Spezifikation der Plausibilitätsprüfungen zur Bewertung der stationären Datenerfassung und Übergabe an die PTV für die Umsetzung und Ankopplung an die Simulation.
- Recherche zum Stand der Technik der Plausibilitätsprüfungen zur fahrzeuggenerierten Datenerfassung.
- Recherche zum Stand der Technik für Monitore im Modul Verfahrensmonitor.
- Erstellung eines Konzeptes für den Verfahrensmonitor.

1.2.2.2 AP 320 Aufbau einer Referenzdatenbasis

Zur Verifikation des Prozessmonitorings und zum exemplarischen Nachweis seiner Wirksamkeit wurden Referenzdaten für die definierten und ausgewählten Qualitätsindikatoren erzeugt. Die Referenzdaten stellen vor allem Material zur Parametrisierung und zur Überprüfung der verkehrstechnischen Ansprüche des neuen Systems dar.

Die Referenzdatenbasis wurde ausschließlich mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation erstellt, da für die Parametrisierung der überprüfenden Module eine möglichst genaue Kenntnis der Messfehler benötigt wird. In der Simulation ist die gesamte „Wahrheit“ bekannt, da im Gegensatz zur Realität garantiert fehlerfreie Verkehrsdaten generieren werden können. Für die Überprüfung des in AP 310 entwickelten Monitoringkonzeptes wurden Messfehler in die Simulation implementiert. Wie ähnlich diese Daten den realen Daten sind hängt hauptsächlich von der Güte der Netzabbildung und der Kalibrierung der Fahrzeugparameter ab. Allerdings können auch mit den Standardparametersätzen relativ realistische Verkehrsdaten garantiert werden. Bei realen Daten kann dagegen nicht von sich aus davon ausgegangen werden, dass die Detektoren zu einhundert Prozent fehlerfrei sind. Eine Überprüfung, ob Detektoren fehlerfrei messen, würde in der Realität einen enormen Aufwand bedeuten und müsste für jeden Querschnitt einzeln (zum Beispiel durch Beobachtungen mittels einer Webcam) durchgeführt werden. Außerdem ist es so möglich gleiche Messfehler mit unterschiedlichen Parametersätzen und in unterschiedlichen Verkehrssituationen zu testen. Des Weiteren können im Gegensatz zur Realität, wo mit der begrenzten Anzahl an Testfahrzeugen, die in der Forschungsinitiative zur Verfügung stehen, nur räumlich beschränkt und für sehr kleine Ausstattungsgrade zur Verfügung stehen, auch unterschiedliche Ausstattungsgrade für Floating Car Data untersucht werden.

Grundlage für das in der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation verwendete Netz ist das reale AKTIV Testfeld, der Bergstraßen Korridor. Grundlage für die Netzabbildung in der Simulation war ein VISSIM Netz des AKTIV-Partners PTV AG, Kartendaten des Bergstraßenkorridors des AKTIV-Partners TELEATLAS (jetzt TOMTOM) sowie Knotenpunktpläne des AKTIV-Partners der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung. Die Versorgung der Verkehrsnachfrage sowie die Kalibrierung des Netzes wurden aufgrund von Werten der Induktivschleifen im Testfeld, die vom AKTIV-Partner der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung stammen, durchgeführt.

Die Arbeiten umfassten im Einzelnen folgende Punkte:

- Datenbeschaffung für Netzaufbau und Nachfrageversorgung in der Simulation.
- Aufbau des Simulationsnetzes in VISSIM.
- Versorgung der Verkehrsnachfrage und Kalibrierung des Fahrverhaltens und der Routenwahl.
- Versorgung von Detektionsfehlern in der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation.

1.2.2.3 AP 330 Simulation des Gesamtprozesses

Für die Simulation des Gesamtprozesses sind eine Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen sowie eine Kopplung der Simulation an die Plausibilitätsmonitore nötig. Durch die Simulation und der damit verbundenen Erzeugung von realistischen Verkehrsdaten können die Plausibilitätsprüfungen parametrisiert und kalibriert werden. Zu diesem Zweck werden die Daten der Messquerschnitte aus der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation in eine Datenbank geschrieben. Die Plausibilitätsprüfungen greifen online auf diese Datenbank zu und überprüfen sie auf ihre Plausibilität. Für jede Plausibilitätsprüfung wird ein Qualitätsindikator zwischen 0 und 1 generiert und als Metainformation in die Datenbank geschrieben. Die Indikatoren der einzelnen Plausibilitätsprüfungen können anschließend in einer Ergebnisfusion zu einem Qualitätsindikator des Datenmonitors zusammengefasst werden.

Die Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen als auch die Ankopplung an die Verkehrsflusssimulation wurde von der TU München übernommen. Die Umsetzung erfolgte in JAVA.

Die Arbeiten umfassten im Einzelnen folgende Punkte:

- Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen zur Bewertung der stationären Datenerfassung in JAVA.
- Kopplung der umgesetzten Plausibilitätsprüfungen an die mikroskopische Verkehrsflusssimulation VISSIM.
- Kalibrierung der Plausibilitätsprüfungen anhand der Verkehrsflusssimulation.
- Bestimmung von Prozessabhängigkeiten zur Erarbeitung eines Wirkungssystems der Qualitätsindikatoren einzelner Plausibilitätsprüfungen der stationären Detektion.

1.2.3 Projektverlauf

Abbildung 1-1 zeigt den ursprünglichen Zeitplan des Teilprojektes Informationsplattform. Durch Verzögerungen bei der Umsetzung der Module des Prozessmonitorings und der Schlussbericht Aktiv-VM

letztendlichen Übernahme durch die TU München konnten nicht alle entworfenen Module umgesetzt und anhand der Referenzdatenbasis getestet werden. Die restlichen Arbeitsinhalte entsprechen dem geplanten Zeitplan.

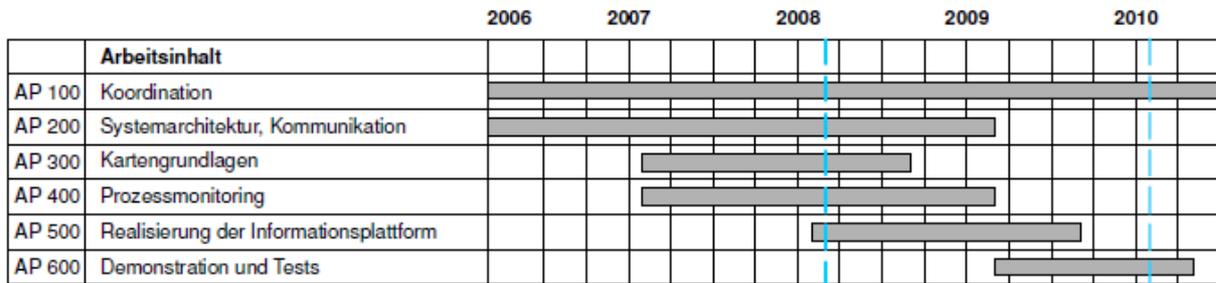


Abbildung 1-1: Zeitplan für das Teilprojekt "Informationsplattform" (Die blauen Linien stellen Halbzeit- und Abschlussveranstaltung dar)

Ein Literaturverzeichnis, das einen Überblick über wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde veranschaulicht, befindet sich am Ende des Dokuments.

2. Monitoringkonzept

Im Folgenden wird der Aufbau des Monitoringkonzeptes beschrieben, das in Anlehnung an die DIN EN ISO 9000 ff. Qualitätsmanagementsysteme entwickelt wurde. Hierzu werden zuerst allgemein die Begrifflichkeiten sowie das Vorgehen zum Aufbau eines prozessorientierten Qualitätsmanagementsystems beschrieben. Anschließend wird die Umsetzung im Rahmen der Informationsplattform näher erläutert. Der Fokus liegt dabei auf dem Monitoring der Prozesse. Eine Umsetzung eines kompletten Qualitätssicherungssystems findet nicht statt.

Dazu wurden mittels eines Fragebogens an die AKTIV-Partner analysiert welche Daten über die Informationsplattform laufen können. Zudem wurde ermittelt welche Anforderungen an die Qualität dieser Daten gestellt wird. Für die ermittelten Datenarten wurde dann eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei wurden für jeden Schritt des Monitoringkonzeptes meist onlinefähige Module zur Überprüfung der Qualitätsmerkmale gefunden. In einigen Fällen wurde eine Anpassung an die zu untersuchenden Datenarten vorgenommen beziehungsweise das bestehende Verfahren verbessert.

2.1 Prozessorientiertes Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000

Im folgenden Kapitel werden die Begriffe des prozessorientierten Qualitätsmanagement und der Qualitätssicherung, das Monitoring von Prozessen sowie damit in enger Verbindung stehende Begriffe definiert. Des Weiteren wird das allgemeine vorgehen zur Etablierung eines prozessorientierten Qualitätsmanagementsystems erläutert.

Qualität stammt vom lateinischen Begriff *qualitas* und bedeutet Beschaffenheit, Eigenschaft, Zustand. Gemäß DIN EN ISO 9000 ff. [2006] ist „Qualität“ als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“ definiert. Die „Qualität“ wird oft auch als Gesamtheit der Merkmale, die eine Einheit zur Erfüllung gegebener Forderungen geeignet macht, verstanden. Maßnahmen zur Erkennung von Mängeln und zur Herstellung der gewünschten Qualität werden als Qualitätssicherung bezeichnet.

Eine Qualitätssicherung wird in der Regel im Rahmen eines Qualitätsmanagementsystems umgesetzt. Qualitätsmanagementsysteme stellen sicher, dass die Qualität der Prozesse und Verfahren geprüft und verbessert wird. Ziel eines Qualitätsmanagementsystems ist eine dauerhafte Verbesserung der Qualität von Herstellung und Endprodukt.

2.1.1 Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9000 ff.

Qualitätsmanagementsystemen sind in der Qualitätsmanagementnorm, die in der europäischen Normenreihe EN ISO 9000 ff. [2006] zusammengefasst ist verankert. Sie bilden sie einen zusammenhängenden Satz von Normen für Qualitätsmanagementsysteme und sollen das gegenseitige Verständnis des Qualitätsmanagements auf nationaler und internationaler Ebene erleichtern, indem sie die Grundsätze für Maßnahmen zum Qualitätsmanagement dokumentiert. Dazu stellt die Qualitätsmanagementnorm folgende allgemeine Anforderungen an die Umsetzung:

Die Norm fordert

- „die für das Qualitätsmanagement erforderlichen Prozesse und ihre Anwendungen in der gesamten Organisation erkannt werden,
- die Abfolge und die Wechselwirkung dieser Prozesse festgelegt werden,
- die erforderlichen Kriterien und Methoden festgelegt werden, um das wirksame Durchführen und lenken dieser Prozesse sicherzustellen,
- die Verfügbarkeit von Ressourcen und Informationen sichergestellt werden, die zur Durchführung und Überwachung dieser Prozesse benötigt werden,
- diese Prozesse überwacht, gemessen und analysiert werden
- und die erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, um die geplanten Ergebnisse sowie eine ständige Verbesserung dieser Prozesse zu erreichen“ [DIN EN ISO 9000 ff., 2006]

Bei der Umsetzung des Qualitätsmanagementsystems sollte im Wesentlichen auf eine gesamthafte kontinuierliche Verbesserung, eine nachhaltige Kundenzufriedenheit und die Berücksichtigung der Erfordernisse und Erwartungen aller Interessensparteien, sowie auf die Vorbeugung von Problemen (anstatt der Abhängigkeit von deren Entdeckung nach dem Auftreten) geachtet werden. [vgl. WAGNER, 2006]

Nach DIN EN ISO 9000 ff. [2006] muss das Qualitätsmanagementsystem ausreichend dokumentiert werden. Dies beinhaltet im Wesentlichen:

- „ein Qualitätsmanagement-Handbuch,
- die Beschreibung der Qualitätsmanagement-Verfahren bzw. die Prozessbeschreibungen und
- die Beschreibung der Prüfverfahren, Anweisungen sonstige Vorgabeinformationen.

Das so genannte Qualitätsmanagement-Handbuch soll dabei die Qualitätspolitik und die Qualitätsziele, sowie die Prozesslandschaft und die Beschreibung der Wechselwirkungen der darin enthaltenen Prozesse oder Funktionen beschreiben. Es bezieht sich dabei auf die gesamte Organisation beziehungsweise das gesamte System.

In einer weiteren Ebene werden die einzelnen Prozesse der Prozesslandschaft beschrieben. Die Inhalte der Prozessbeschreibungen werden im Kapitel 2.1.4 Einführung von Prozessen näher beschrieben.

In der letzten Ebene werden die Qualitätsprüfungen und sonstige Arbeitsanweisungen beschrieben. Die Inhalte der Qualitätsprüfungen werden in Kapitel 2.1.5 Prozessmonitoring und Prozessreporting näher beschrieben.

2.1.2 Qualitätspolitik und Qualitätsziele

Aus einer Vision der Organisation kann die Qualitätspolitik abgeleitet werden. Die Qualitätspolitik beschreibt die qualitätsrelevante Zielsetzung der Organisation und legt somit fest, was das Qualitätsmanagement leisten muss [vgl. FERK, 1996]. Sie beschreibt die Art und Weise vor wie die Organisation die Vision umsetzen möchte und beinhaltet dazu geeignete Strategien. Dabei muss sichergestellt werden dass die Qualitätspolitik

- „für den Zweck der Organisation angemessen ist,
- eine Verpflichtung zur Erfüllung von Anforderungen und zur ständigen Verbesserung des Qualitätsmanagement enthält,
- einen Rahmen zur Festlegung und Bewertung von Qualitätszielen bietet,
- in der Organisation vermittelt wird und
- auf fortdauernde Angemessenheit kontrolliert wird“ (DIN EN ISO 9000 ff., 2006)

Die Qualitätspolitik sollte sich an der Strategie der Organisation bezüglich Umfang und Inhalt ausrichten, die Forderungen sowie die Fähigkeiten der Stakeholder (Partner, Lieferanten, ...) berücksichtigen, die aktuelle Marktsituation, also den Kunden berücksichtigen, sowie eine Beurteilung der Effektivität und der Effizienz, also der verfügbaren Ressourcen beinhalten.

Auf Grundlage der Qualitätspolitik können nun wiederum die Qualitätsziele, die für die Erfüllung der Anforderungen an die Produkte erforderlich sind, für einzelne Prozesse beziehungsweise Prozessgruppen festgelegt werden. Dem Inhalt der Qualitätspolitik entsprechend können jedem Aspekt ein oder mehrere Qualitätsziele zugeordnet werden. Die festgelegten Qualitätsziele dürfen einander dabei nicht widersprechen. [vgl. WAGNER, 2006]

Um die Zielwerte zu messen, müssen diesen Messgrößen zugeordnet werden. Des Weiteren sind Verantwortliche für die Messung der quantifizierbaren Messgrößen im Rahmen des Prozessmonitorings festzulegen. Eine genauere Erläuterung dazu gibt es in Kapitel 2.1.5 Prozessmonitoring und Prozessreporting.

Die Effizienz und die Effektivität des Qualitätsmanagementsystems sollten in regelmäßigen Abständen bewertet werden, um eventuell Qualitätspolitik und Qualitätsziele anzupassen und somit die Wirksamkeit des Qualitätsmanagementsystems zu verbessern. [vgl. WAGNER, 2006]

2.1.3 Prozesse

Grundsätzlich kann ein Qualitätsmanagementsystem sowohl auf einzelnen Akteuren (Funktionen) als auch einzelnen Tätigkeiten (Prozessen) aufsetzen. Bei einer Vielzahl von Akteuren und einer damit verbundenen Vielzahl von verschiedenen Verantwortlichen (Firmen, Straßenverwaltung, ...) für diese Akteure, ist eine funktionsorientierte Sichtweise (z.B. Aufbauorganisation in Form eines Organigramms) des Systems problematisch. Eine solche Sichtweise stellt zwar die einzelnen Akteure sowie den Aufbau des Systems also das WAS dar, allerdings zeigt es nicht das WIE, also Informationen über die Abläufe und Tätigkeiten die zur Entstehung der Dienstleistungen nötig sind. Es ist nicht von zentraler Bedeutung das einzelne Akteure optimiert werden, sondern dass der gesamte Ablauf beim erstellen des Produktes - wobei mehrere Akteure beteiligt sind – sein Optimum erreicht. Dies ist mit einer prozessorientierten Sichtweise möglich. Ausgehend von den erbrachten Dienstleistungen, stellt sich die Frage welche Aktivitäten innerhalb des Systems hierfür erforderlich sind. Diese Frage führt zu den einzelnen Prozessen.

„Unter einer Prozessorientierung wird somit die Grundhaltung verstanden, bei der das gesamte Handeln als Kombination von Prozessen beziehungsweise Prozessketten betrachtet wird“ [BULLINGER, 1996].

2.1.3.1 Definition

Prozess kommt von lateinischen Begriff *procedere*, voranschreiten. Ein Prozess wird in den meisten Fällen in der Bedeutung eines Vorgangs, einer Abfolge, einer Entwicklung gesehen. Weitere Synonyme sind Verlauf, Ablauf oder Hergang. Er ist eine allmähliche oder schrittweise Veränderung eines konkreten Ausgangsproduktes (Input) – z.B. Produkte, Werkstoffe, Halbfertigprodukte, Informationen, Dienstleistungen, etc. – in ein konkretes Endprodukt (Output). Ein Prozess erstreckt sich über einen begrenzten Zeitraum und ist auch inhaltlich genau abgegrenzt. Zur Definition von Schnittstellen ist bei den Prozessen immer festzuhalten welche Ergebnisse in welcher Form von vorhergehenden Prozessen übernommen werden, wie diese Ergebnisse weiterverarbeitet werden und wie und in welcher Form diese weiterverarbeiteten Ergebnisse an folgende Prozesse weitergegeben werden.

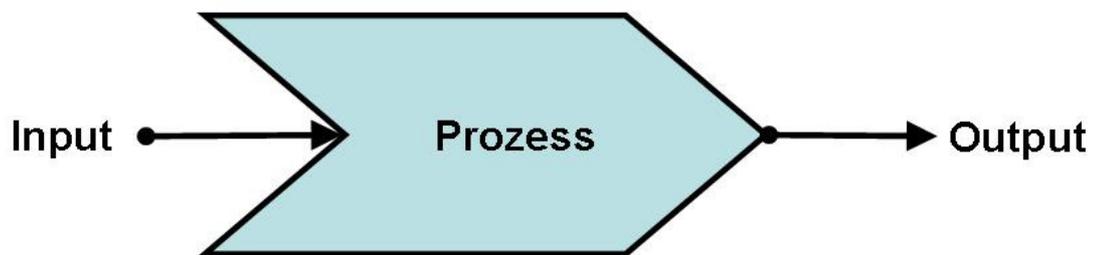


Abbildung 2-1: Input und Output eines Prozesses

„Konsequente Prozessausrichtung beinhaltet, dass die Gesamtverantwortung für einen Prozess bei einem Prozessverantwortlichen (Prozesseigner) liegt“ [WAGNER, 2006]

2.1.3.2 Prozessmodell der ISO 9000:2000

Das Prozessmodell der DIN EN ISO 9000 ff. [2006] stützt sich im Wesentlichen auf einen kontinuierlichen Verbesserungskreis mit den Schritten Planen (Plan), Durchführen (Do), Prüfen (Check) und Verbessern (Act) auch bekannt als PDCA-Kreis nach Deming.

- Planen: Festlegung der Ziele und Planung der Prozesse, die für die Erzielung der Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Anforderungen gefordert werden.
- Durchführen: Umsetzung und Durchführung der Prozesse
- Prüfen: Überwachung und Messung von Prozessen und Produkten anhand der Ziele und Vorgaben für das Produkt.
- Verbessern: Ergreifen von Maßnahmen zur Verbesserung des Prozesses

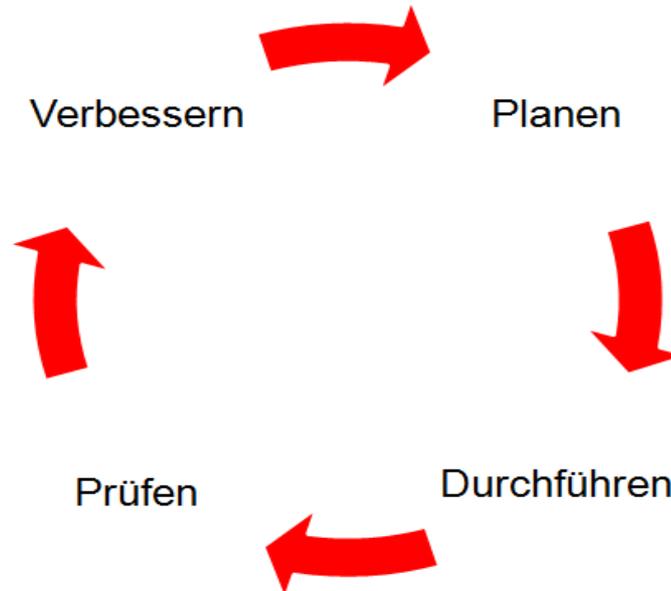


Abbildung 2-2: PDCA-Kreis nach Deming

„Die Anwendung eines Systems von Prozessen in einer Organisation, gepaart mit dem Erkennen von Wechselwirkungen dieser Prozesse zueinander sowie deren Lenkung, kann als „prozessorientierter Ansatz“ bezeichnet werden.“ [WAGNER, 2006]

Im prozessorientierten Ansatz des Qualitätsmanagement haben folgende Punkte eine besondere Bedeutung:

- Verständnis der Anforderungen der Kunden an die Ergebnisse der Prozesse und die Wichtigkeit der Erfüllung dieser Anforderungen.
- Die Notwendigkeit die Prozesse aus Sicht der Wertschöpfungskette zu betrachten.
- Erzielung von Ergebnissen bezüglich der Prozessleistung und –wirksamkeit und der damit eingehenden ständigen Verbesserung von Prozessen. [vgl. WAGNER, 2006]



Abbildung 2-3: Qualitätsmanagement-Prozessmodell ISO 9001:2000 [WAGNER, 2006]

2.1.4 Einführung von Prozessen

Mit Hilfe der 4-Schritte Methode ist ein „Werkzeug“ zur Einführung bzw. Optimierung von Prozessen.

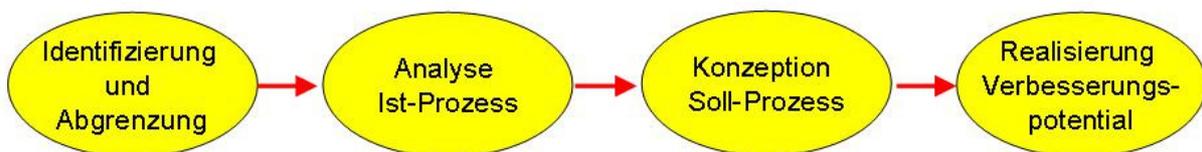


Abbildung 2-4: Die 4 Schritte zur Einführung eines Prozesses

2.1.4.1 Prozessidentifikation und Abgrenzung

Um einen Prozess eindeutig zu identifizieren und abzugrenzen und somit umfassend zu beschreiben sind für jeden Prozess folgende Punkte festzuhalten:

- Zweck des Prozesses (wofür ist der Prozess notwendig?)
- Schnittstellen zu nachfolgenden Prozessen bzw. Kunden und deren Anforderungen an den Prozess
- Input und Output des Prozesses
- Prozessschritte (hier insbesondere der erste und der letzte Prozessschritt um den Prozess klar abzugrenzen)
- Erforderliche Ressourcen
- Erfolgsfaktoren (Welche Voraussetzungen sind nötig, damit der Prozess dauerhaft die Erwartungen erfüllen kann)

Umfassend sind also sämtliche Randbedingungen eines Prozesses zu identifizieren. Um einen Überblick über die vorhandenen zu gewinnen ist es sinnvoll die identifizierten Prozesse in einer Prozesslandschaft darzustellen. Hierbei werden ähnliche Prozesse, aufgrund der Übersichtlichkeit zu Prozessgruppen zusammengefasst.

2.1.4.2 Ist-Analyse der Prozesse

Die im ersten Schritt identifizierten Prozesse werden visualisiert. Dies geschieht im Ist-Zustand, also so wie die Prozesse im Moment wirklich realisiert werden. Für diese Beschreibung ist eine einheitliche Symbolik mit einer begrenzten Anzahl an Symbolen (z.B. Unified Modeling Language) zu verwenden, so dass der Prozess auch von prozessfremden Personen lückenlos nachzuvollziehen ist.

Auf Grundlage dieser Beschreibung kann der Prozess nun hinsichtlich seines Verbesserungspotentials analysiert werden. Dazu stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, wie zum Beispiel die 7-M-Methode (Mittel, Management, Methode, Mensch, Maschine, Messung, Material), die 6-W-Methode (Wer, Was, Wo, Wann, Warum, Wie) die Gemeinkosten-Wertanalyse, die Cost-Drive-Analyse, oder die Aktivitätenanalyse.

Diese Methoden sind allerdings für Prozesse in ganzen Unternehmen konzipiert und daher nur bedingt für bestimmte Teilaspekte eines Systems geeignet. Für die Betrachtung eines Systems, das Dienstleistungen als Produkt erschafft, die größtenteils automatisch bzw. datenbasiert ablaufen entfallen somit eine große Anzahl an Gesichtspunkten. So sind von der 7-M-Methode im Wesentlichen nur die Punkte Mensch (Steigerung der externen und internen Kundenzufriedenheit), Messung (Messung der Leistung), sowie Methoden (Methoden zur Datenverarbeitung) anwendbar. Gemeinkosten-Wertanalyse, Cost-Drive-Analyse und Aktivitätenanalyse zielen auf Fragestellungen im finanziellen Bereich ab und sind daher für Datenprozesse nicht anwendbar

Als sinnvolle Methode erscheint die 6-W-Methode. Anhand eines umfassenden Fragenkataloges können Probleme bis zu ihrer Wurzel verfolgt werden.

Wenn sämtliche Verbesserungspotentiale erkannt sind erfolgt zum Abschluss eine Klassifizierung dieser Potentiale nach ihrer Bedeutung für den Prozess und dem Aufwand für die Umsetzung, um festzulegen welche Potentiale schnell umgesetzt werden können und den Prozess verbessern (low hanging fruits).

2.1.4.3 Konzeption der Soll-Prozesse

Nach der Analyse des Ist-Prozesses sind die Prozessziele zu definieren. Dabei ist die allgemeine Strategie (Top-down) genauso wie die Umsetzbarkeit (Bottom-up) zu berücksichtigen. Die Ziele können sich auf den Input, den eigentlichen Prozess oder den Output beziehen.

Um die Umsetzung der Prozessziele messen zu können müssen zugehörige Messgrößen, Methoden zur Messung und Messfrequenz zur Messung der Qualität der Prozesse festgelegt werden.

Laut DIN EN ISO 9000 ff. [2006] ist ein Merkmal eine „Eigenschaft zur Erkennung oder zum Unterscheiden von Einheiten“. Es handelt sich also um messbare Kenngrößen, die der eindeutigen Beschreibung der Systemzustände unterschiedlicher Prozesse dienen.

Jeder Einzelprozess hat Merkmale wie generelle Funktionalität, Vollständigkeit, Aktualität, Konsistenz, Korrektheit und gegebenenfalls weitere Merkmale. Die Messgrößen bzw. Merkmale sind nur aussagekräftig wenn sie über einen gewissen Zeitraum mit sich selbst verglichen werden, also eine Tendenz sichtbar ist, ein Benchmark mit anderen Systemen stattfindet, oder ein Vergleich mit den Kundenerwartungen (extern und intern).

Die Form der Darstellung der Kennzahlen muss für jeden Empfänger einfach und verständlich sein.

2.1.4.4 Realisierung des Verbesserungspotentials

Bei der Realisierung werden nur die ersten drei Schritten der Überlegungen umgesetzt. Dies bedeutet die tatsächliche Umsetzung der Prozesse, sowie Anstoßen des Monitoring und Reportings des laufenden Prozesses. Die Umsetzung sollte vom Prozessverantwortlichen begleitet werden.

2.1.5 Prozessmonitoring und Prozessreporting

Laut DIN EN ISO 9000 ff. [2006] muss die Organisation die Produktion und die Dienstleistungserbringung unter beherrschten Bedingungen planen und durchführen. Dies enthält u.a. die Verfügbarkeit von Angaben, die die Merkmale des Produkts beschreiben, sowie die Verfügbarkeit und die Anwendung von Überwachung und Messmitteln. Sobald der Prozess eingeführt ist, sollte somit die Überwachung, also das Monitoring der Prozesse beginnen um die Qualität dauerhaft zu gewährleisten.

„Eine Qualitätsprüfung sollte an wichtigen Punkten des Realisierungsablaufs vorgesehen werden, um Auswirkungen von Fehlern zu minimieren.“ [WAGNER, 2006]

Um Fehler zurückverfolgen zu können, sollte das Produkt mit geeigneten Mitteln während der gesamten Produktrealisierung gekennzeichnet werden. [vgl. DIN EN ISO 9000 ff., 2006]

Eine Zusammenfassung des Prozessmonitorings bietet dabei das Prozessreporting.

2.1.5.1 Abweichung vom idealen Prozess

Ein Fehler ist eine Abweichung von einem optimalen oder normierten Zustand oder Verfahren der Qualitätsmerkmale. Die Qualitätsmerkmale (Prozessmerkmale) werden aus den Qualitätszielen (Prozesszielen) abgeleitet (siehe Kapitel 2.1.2 Qualitätspolitik und Qualitätsziele).

Es werden in der Regel grobe Fehler, zufällige Fehler und systematische Fehler unterschieden.

Diese Fehlerarten werden folgendermaßen definiert:

- Zufällige Fehler: Diese zufälligen Abweichungen sind nicht zu vermeiden und führen zu einer zufälligen Streuung der Messwerte um einen Mittelwert. Zufällige Fehler können durch Methoden der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung beschrieben und modelliert werden.
- Systematische Fehler: Bei systematischen Fehlern handelt es sich um grundsätzliche Abweichungen vom „wahren“ Wert (Sollwert), so dass immer zu hohe oder zu niedrige Messwerte ermittelt werden. Aus diesem Grund ist diese Fehlerart nur schwer zu erkennen. Die Ursache kann beispielsweise in fehlerhafter oder falsch justierter Messgerätetechnik liegen.
- Durch menschliche Unachtsamkeit (z.B. Zahlendreher beim Ablesen von Messergebnissen) oder technische Fehlfunktionen (z.B. falsch gehende Uhren) können die so genannten groben Fehler entstehen. Diese Fehlerart kann mittels Plausibilitätskontrollen gut, aber nur schwer durch mathematische Analysen identifiziert werden. Grobe Fehler des Messsystems, wie z.B. Total- oder Teilausfall von Komponenten sind in der Regel einfach zu erkennen.

Zur Erkennung der Fehler werden Qualitätsprüfungen eingesetzt.

2.1.5.2 Qualitätsprüfung

„Die Organisation muss geeignete Methoden zur Überwachung und, falls zutreffend, Messungen der Prozesse des Qualitätsmanagement-Systems anwenden. Diese Methoden müssen darlegen, dass die Prozesse in der Lage sind, die geplanten Ergebnisse zu erreichen.“ [DIN EN ISO 9000 ff., 2006]

Eine Prozessprüfung ist eine Qualitätsprüfung an einem Prozess bzw. an einer Tätigkeit anhand der Merkmale des Prozesses bzw. der Tätigkeit selbst. Prozessprüfungen dienen unter anderem der Verfahrensüberwachung. [vgl. DIN EN ISO 9000 ff., 2006]

Sie soll feststellen, inwieweit eine Einheit „die Qualitätsforderung“ erfüllt. Qualitätsprüfungen werden anhand von Prüfmerkmalen (siehe E DIN 55350-12) durchgeführt. Dabei muss festgelegt sein, auf welche Merkmale (siehe E DIN 55350-12) sich die Qualitätsprüfung bezieht und welche Konkretisierungsstufe der Qualitätsforderung maßgeblich ist. [vgl. DIN EN ISO 9000 ff., 2006].

Die Qualitätsprüfung kann sich beziehen auf die Einheit:

- „materielles Produkt
- immaterielles Produkt
- Kombination aus materiellem und immateriellem Produkt,
- Tätigkeit oder Prozess.“ [DIN EN ISO 9000 ff., 2006]

Qualitätsprüfung bedeutet gesammelte Daten zu analysieren und zu interpretieren. Daten liegen meist nur im Bereich der Schnittstellen vor. Daher setzen die meisten Qualitätsprüfungen auch an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Prozessen an. Dies

kann grundsätzlich händisch oder auch automatisiert geschehen. Bei einzelnen Kundengesprächen empfiehlt sich aufgrund der geringen Datenmenge und der inhaltlichen Vielfalt eine Auswertung per Hand. In Systemen mit hohem Datenumschlag ist dies nur noch automatisch machbar.

Nach DIN EN ISO 9000 ff. [2006] müssen die Qualitätsprüfungen in festgelegten Abständen beziehungsweise vor dem Gebrauch kalibriert oder verifiziert werden und bei Bedarf justiert oder nachjustiert werden.

2.1.5.3 Prozessmonitoring

Monitoring kommt aus dem Englischen und bedeutet Überwachung, Beobachtung, Kontrolle. Monitoring ist ein Überbegriff für alle Arten der systematischen Erfassung, Beobachtung oder Überwachung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme. Ein Monitoring ist eine in die Zukunft gerichtete Langzeitbeobachtung. Mehrere Monitore können zu einem Monitoringsystem zusammengefasst werden. Ein Monitoringsystem ermöglicht zum Teil auch Eingriffe bzw. Steuerung der betreffenden Prozesse, sofern sich abzeichnet, dass der Prozess nicht den gewünschten Verlauf nimmt.

Unter Zuhilfenahme von Qualitätskriterien, die jedes der in Schritt drei der Prozesseinführung aufgeführten Merkmale beschreiben, sind diese dann mittels einer Qualitätsprüfung zu bewerten.

Im Rahmen des Prozessmonitorings können zufällig Fehler mit Hilfe von Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung erkannt werden. Bei der Behandlung von Daten ist es allerdings oft schwierig Merkmale wie beispielsweise Korrektheit direkt zu bewerten, wenn die Realität nicht zeitgleich bekannt ist. Hier können wie auch bei groben Fehlern Verfahren eingesetzt werden, die die Plausibilität der Daten anhand von Qualitätskriterien überprüfen. Zufällige und grobe Fehler können so synchron überwacht und gemeldet werden.

2.1.5.4 Prozessreporting

Um systematische Fehler zu erkennen bedarf es eines Prozessreportings. Bei einem Prozessreporting werden die Werte der im Prozessmonitoring überwachten Kennzahlen über einen bestimmten Zeitraum zusammengefasst. Man kann so Tendenzen erkennen, die durch ein reines Prozessmonitoring nicht zu erkennen sind, und so erkennen wenn der Prozess droht zu kippen. Die Voraussetzung, dass systematische Fehler auf diese Weise erkannt werden ist, dass der Prozess bei der Einführung fehlerfrei ist beziehungsweise der Fehler quantifiziert werden kann.

2.2 Prozessorientiertes Qualitätsmanagement der AKTIV Informationsplattform

Im Folgenden wird die Umsetzung des prozessorientierten Qualitätsmanagements nach DIN EN ISO 9000 ff. [2006] im Rahmen der AKTIV Informationsplattform beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf dem Monitoring der Prozesse. Eine Umsetzung eines kompletten Qualitätssicherungssystems findet nicht statt, da diese außerhalb der Zuständigkeit des geförderten Projektes liegt und in die Belange der Prozessverantwortlichen eingreifen würde, die teilweise nicht direkte Beteiligte am AKTIV Projekt sind.

2.2.1 Visionen, Qualitätspolitik und Qualitätsziele der Qualitätssicherung

2.2.1.1 Vision

Ausgehend von der Vision beziehungsweise dem Ziel des Gesamtprojektes AKTIV-VM, der „Vernetzung intelligenter Systeme im Fahrzeug mit intelligenter Infrastruktur mittels Kommunikation und Kooperation im Verkehr“ [AKTIVa, 2007; AKTIVb, 2007], sowie der Entwicklung „neue Hard-, Software und Kommunikationstechnologien für Fahrzeuge und Infrastruktur sollen die es ermöglichen sollen, dass Verkehrsteilnehmer besser informiert werden und somit der Verkehr effizienter und sicherer wird.“ [AKTIV-VM, 2006] lassen sich Strategien im Rahmen der Qualitätspolitik festlegen.

Die Vision des Teilprojektes „Informationsplattform“, in dem das Qualitätsmanagement entstehen soll, ist eine „zentrale Drescheibe für strategische und verkehrslagebasierte Informationen“ [AKTIVa, 2007]. Auf der Informationsplattform sollen „Daten und Informationen aus unterschiedlichen Quellen aufbereitet und, entsprechend angepasst, für die Applikationen bereitgestellt werden“ [AKTIVb, 2007]

Aus diesen Visionen lässt sich die Qualitätspolitik für das gesamte Projekt beziehungsweise für das Teilprojekt „Informationsplattform“, die für das hier entwickelte Qualitätsmanagement relevante Ebene, ableiten.

2.2.1.2 Qualitätspolitik und Qualitätsziele

Aus der Vision des Gesamtprojektes, der Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur zu einem kooperativen System, und daraus folgend dem Ziel der Informationsplattform, der Bereitstellung verschiedenster umfassender strategischer und verkehrslagebasierter Informationen, ergeben neue Anforderungen an diese Daten.

Die Informationsplattform soll Daten für verschiedenste Applikationen bereitstellen. Dies beinhaltet:

- „Auf der untersten Ebene werden Daten wie Messwerte, Strategien oder Kapazitätseinschränkungen (z.B. Baustellen) über die Plattform vorgehalten.
- Diese Datengrundlagen werden für die Verkehrslagemodellierung bereitgestellt, die entweder direkt auf der Informationsplattform oder in externen Systemen, beispielsweise in Verkehrsrechenzentralen (VRZ) oder bei privaten Service- und Content Providern, laufen.
- Das so aufgespannte Netzwerk berechnet Verkehrslagen aber auch Prognosen für die AKTIV Applikationen. Aufgrund der spezifischen Zielrichtungen der Applikationen können sich die Anforderungen von Dienst zu Dienst unterscheiden.
- Auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse werden Meldungen generiert, die über die zur Verfügung stehenden Kommunikationsmedien an die Fahrzeuge übertragen werden und dort insbesondere von den Systemen der Adaptiven Navigation interpretiert werden.
- Insbesondere die kartenbasierten Informationen sind nicht nur für die Verkehrslageberechnung von Bedeutung, sondern stellen auch eine Basisversorgung für das „Störungsadaptive Fahren“ dar, wodurch die Informationsplattform auch eine Brücke zwischen Effizienzsteigerung und Sicherheit schlägt.“ [AKTIV-VM, 2006]

Als Strategie der Qualitätspolitik für die Informationsplattform ergibt sich daraus die Forderung die unterschiedlichen Zwischenprodukte der ablaufenden Prozesse entlang der Wertschöpfungskette, die aus einer Vielzahl verschiedener Quellen bereitgestellt werden, mit Indikatoren zu bewerten, um eine Aussage über ihre aktuelle Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu bekommen. Dies soll zeitlich synchron geschehen, damit die Bewertung für aktuelle Informationen und Schaltungen genutzt werden kann. Die Bewertung der Zwischenergebnisse hat das Ziel die genauen Fehlerquellen, beispielsweise bei für eine falsche Meldung lokalisieren zu können, eine ständige Verbesserung der einzelnen Prozesse zu ermöglichen, sowie eine Entscheidungshilfe zu bieten, falls sich unterschiedliche Quellen widersprechen.

2.2.2 Prozesslandschaft

Der nächste Schritt zur Umsetzung eines Qualitätsmanagement, wie in Kapitel 2.1 Prozessorientiertes Qualitätsmanagement nach DIN EN ISO 9000 beschrieben, ist die Identifizierung der Prozesse des AKTIV-Systems, die für die Informationsplattform relevant sind. Diese Prozesslandschaft fasst die einzelnen identifizierten Prozesse in Prozessgruppen zusammen, die an gleichen Schritten der Prozesskette beteiligt sind. Im folgenden Bild sind diese Prozesse aufgeteilt in Prozessgruppen dargestellt.

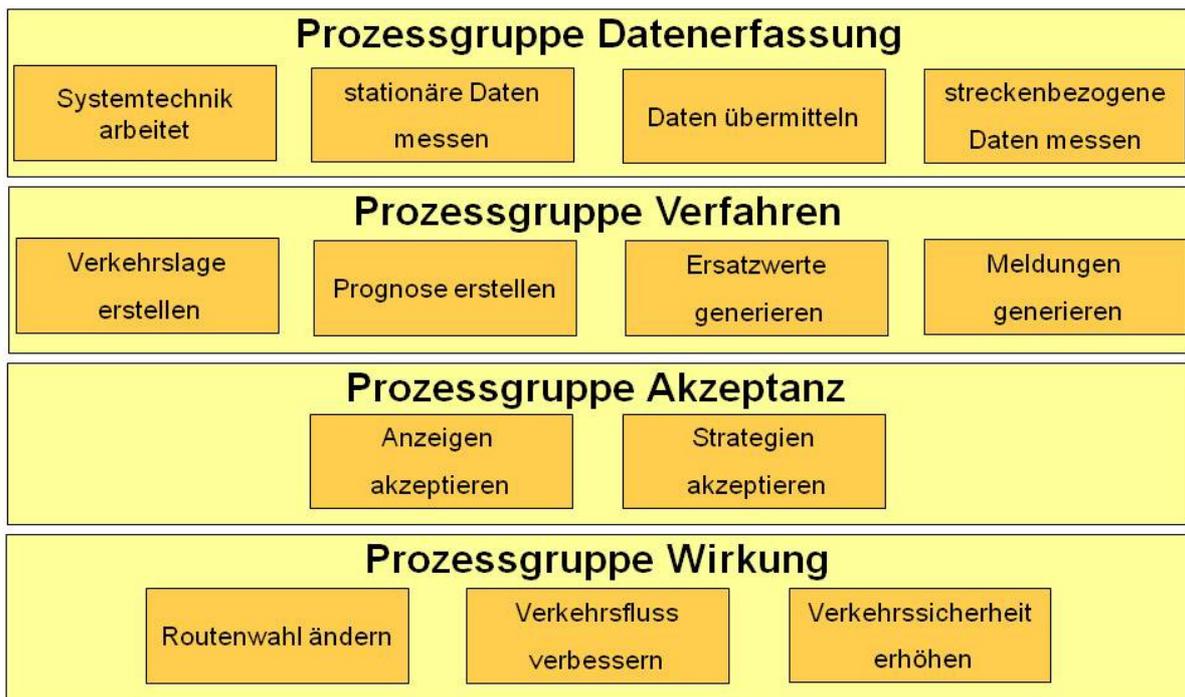


Abbildung 2-5: Prozesslandschaft des AKTIV-Systems

Eine Prozessabgrenzung (Schritt 1) sowie eine Analyse des Ist-Prozesses (Schritt 2) und des Soll-Prozesses (Schritt 3) erfolgt in Anlehnung an die in Kapitel 2.1.4 genannte 4-Schritte-Methode für jeden dieser Prozesse. Das Monitoringkonzept (Schritt 3) und die Umsetzung (Schritt 4) wird aufgrund der zentralen Fragestellung der TUM im AKTIV-VM Projekt in einem eigenen Kapitel behandelt.

Im Folgenden wird nur auf die Prozessgruppe Datenerfassung und auf die Prozessgruppe Verfahren näher eingegangen.

2.2.3 Prozessgruppe Datenerfassung

Die Prozessgruppe Datenerfassung befasst sich mit den Prozessen von der Erfassung des Verkehrs durch stationäre und fahrzeugseitige Sensorik bis hin zur Aggregation der Daten in Steuerungsmodul, Streckenstation, RSU, Unterzentrale und Verkehrsrechenzentrale. Die Übermittlung der erfassten Datenpakete zwischen diesen Akteuren ist ebenfalls Bestandteil der Prozessgruppe.



Abbildung 2-6: Prozessgruppe Daten

2.2.3.1 Prozess „Systemtechnik arbeitet“

Zur Systemtechnik gehören auf stationärer Seite die Detektoren, die Streckenstation (Steuermodul und Datenerfassungs-/Datenausgabegerät und Ein/Ausgabekonzentrator), die Unterzentralen und die Verkehrsrechenzentrale, sowie die Road Side Units. Auf Seite eines Fahrzeugs sind dies die Sensorik, die Datenbank im Fahrzeug und die Kommunikationseinheit.

Im Folgenden wird beispielhaft nur der Prozess „Systemtechnik arbeitet“ der stationären Detektion beschrieben. Grundsätzlich ist eine Überwachung der Systemtechnik auch in Systemen der streckenbezogenen Detektion vorhanden. Hier ist sie allerdings, zum Beispiel für Floating Car Data, auf Fahrzeug und Infrastruktur verteilt und liegt etwa bei der Positionsbestimmung des Fahrzeugs außerhalb der Informationsplattform. Die infrastrukturseitige Systemüberwachung obliegt hier dem AKTIV Partner PTV. Auch eine Überwachung von Road Side Units z.B. in Anlehnung an die Richtlinien der TLS erscheint sinnvoll.

Prozessidentifikation und Abgrenzung

Zweck des Prozesses	Das Funktionieren der Systemtechnik ist Voraussetzung zur Erhebung der Daten
Input des Prozesses	keiner
Output des Prozesses	Möglichkeit zur Messung
Schnittstellen inputseitig	keine
Schnittstellen outputseitig	„Daten übermitteln“, „stationäre Daten messen“ und „fahrzeugseitig Daten messen“
Prozessschritte	„Systemtechnik arbeitet“
Merkmale für Prozessmonitoring	Geräteverfügbarkeit
Merkmale für Prozessreporting	Störungshäufigkeit, Störungsdauer
Erforderliche Ressourcen	Installation der Systemtechnik, Stromversorgung
Erfolgsfaktoren	Geeignete, robusten Systemtechnik
Prozessverantwortlicher/Prozesseigner	Verkehrszentrale Hessen (stationäre Detektion); PTV (FCD)

Tabelle 2-1: Prozessabgrenzung "Systemtechnik arbeitet"

Ist-Analyse

Die Systemkomponenten einer Streckenstation bestehen im Wesentlichen aus folgenden Baugruppen:

- Datenerfassungsgerät (DEG)
- Datenausgabegerät (DAG)
- Steuerungsmodul (SM)

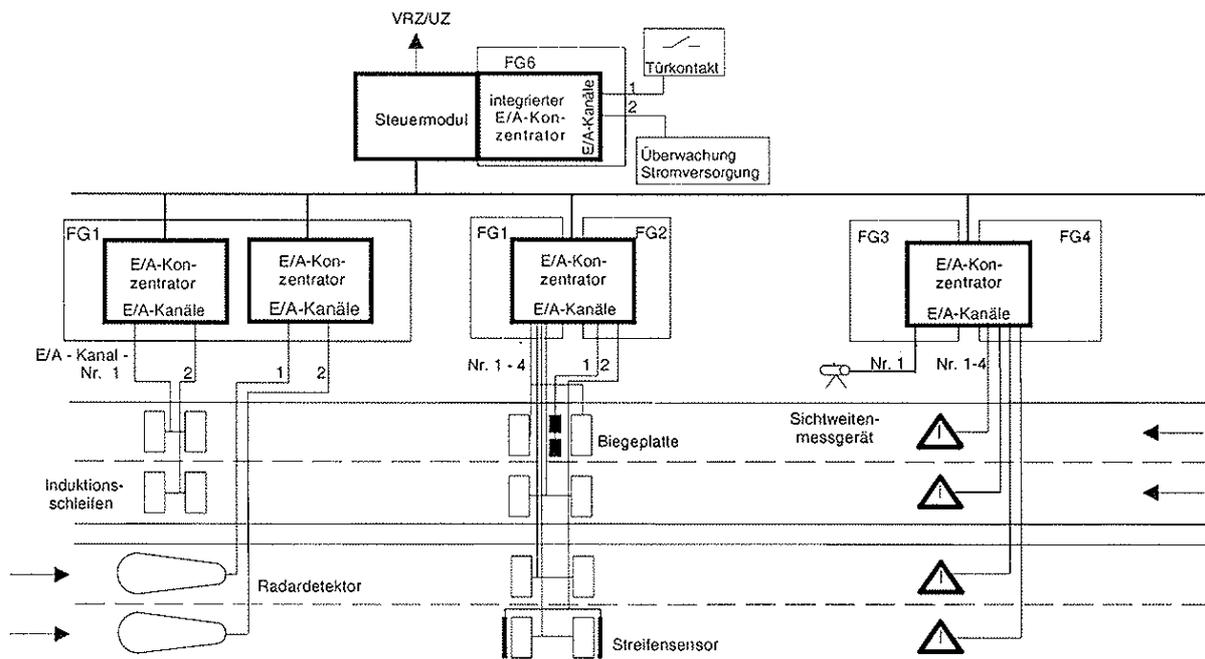


Abbildung 2-7: Aufbau einer Streckenstation [TLS, 2006]

Soll Prozess

Bei Ausfall einzelner Baugruppen ist eine vollständige Erfassung der Verkehrsdaten nicht mehr möglich. Daher ist eine Funktionsüberwachung nötig, die folgende Punkte umfasst:

- „Eigenüberwachung der einzelnen Baugruppen
- Anzeige der Funktion an den einzelnen Baugruppen (z.B. rote oder grüne Leuchtdioden)
- Spontane Meldung von Störungen
- Spezifizierte Fehlermeldung auf Anfrage von der ZU“ [TLS, 2006]

So kann die allgemeine Funktionstüchtigkeit der Systemtechnik aller Funktionsgruppen (online) kontrolliert werden. Die „Ergänzenden DE-Fehlermeldungen“ Typ 14 geben nähere Erläuterungen zu den im DE-Block Typ 1 gemeldeten Störungen (z.B. defekte Fahrzeugartenunterscheidung, defekte VÜ-Bus Verbindungen, defekte Geschwindigkeitsmesseinrichtungen, defekte Subbus und Störungen an Front- und Heckkamera).

Da diese Monitore bereits in den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen [TLS, 2006] vorgeschrieben sind, ist eine Umsetzung im Rahmen des Forschungsprojektes nicht mehr nötig.

2.2.3.2 Prozess „stationäre Daten messen“

„Verkehrsdetektoren dienen zur Erfassung jedes einzelnen Fahrzeugs beim Durchfahren ihres Wahrnehmungsbereiches.“ [TLS, 2006]

Die stationäre Datenerfassung geschieht in der Regel durch Induktivschleifen die in die Straße eingelassen sind. Weiterhin verbreitet sind auch Überkopfsensoren, wie Radarsensoren, Infrarotdetektoren, Laserdetektoren, Videodetektion oder auch Kombinationsdetektoren, die mehrere dieser Technologien verwenden.

Prozessidentifikation und Abgrenzung

Zweck des Prozesses	Erhebung von Einzelfahrzeugdaten und (meist) minutenweise Aggregation
Input des Prozesses	Stationäre messbare physikalische Impulse des Verkehrs
Output des Prozesses	Minutenweise aggregierte Verkehrsdaten; (Verkehrsstärke, Geschwindigkeiten) Teilweise auch Einzelfahrzeugdaten; (Fahrzeugklassifizierung)
Schnittstellen inputseitig	keine
Schnittstellen outputseitig	„Daten übermitteln“, Prozessgruppe „Verfahren“
Prozessschritte	Aufnahme Einzelfahrzeugdaten, Aggregation der Daten
Merkmale für Prozessmonitoring	Vollständigkeit, Plausibilität Einzeldatum, Plausibilität Daten zeitlich, Plausibilität Daten räumlich
Merkmale für Prozessreporting	Häufigkeit von unplausiblen Daten
Erforderliche Ressourcen	Systemtechnik, Algorithmen zur Aggregation
Erfolgsfaktoren	Laufende Systemtechnik, richtige Verkabelung und Installation der Systemtechnik
Prozessverantwortlicher/Prozesseigner	Verkehrszentrale Hessen

Tabelle 2-2: Prozessabgrenzung "stationäre Daten messen"

Ist-Analyse

Die in AKTIV-VM verwendeten Daten werden ausschließlich außerorts erhoben. Daher werden zur Erläuterung des Aufbaus der stationären Datenerfassung die „Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen“ (TLS) verwendet. Bei den beobachteten Daten handelt es sich um Daten der Funktionsgruppe 1 (FG1) (sowohl lokale Verkehrsdatenerfassung (LVE) als auch streckenbezogene Verkehrsdatenerfassung (SVE), also Verkehrsdaten. Daten der Funktionsgruppen 2 (Achslasten) und 3 (Umfeldaten) werden nicht betrachtet, da diese für die an die Informationsplattform angeschlossenen Applikationen nicht relevant sind.

Die Bestimmungen für die Erfassung lokaler, als auch streckenbezogener Verkehrsdaten, durch stationäre Messungen sind in den Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen (TLS) beschrieben. In Abbildung 2-7: Aufbau einer Streckenstation [TLS, 2006] ist der physikalische Aufbau der Datenerfassung zu sehen.

Bei den in der TLS behandelten Detektoren handelt es sich um Induktivschleifen. „Es können auch Detektoren mit anderen Messverfahren (z.B. Radar, Piezo-Kabel, Infrarot etc.) eingesetzt werden, sofern sie den Anforderungen an die Messgenauigkeit genügen“ [TLS, 2006]

Im Wesentlichen gibt es bei der stationären Datenerfassung zwei Datentypen:

- Einzelfahrzeugdaten
- Fahrstreifenfeine aggregierte (Minuten)-Intervalle

Einzelfahrzeugdaten

Jeder Detektor ist über einen Daten-Endgeräte-Kanal (DE) angeschlossen.

„Der DE ist die logische Adresse der kleinsten Informationen empfangenden oder aussendenden Einheit. Seine physikalische Entsprechung wird als E/A-Kanal bezeichnet, dies kann zum Beispiel eine Fahrbahndoppelschleife bzw. Detektorbaugruppe oder einzelner Wechselverkehrszeichengeber sein.“ [TLS, 2006]

„Die Detektoren ermöglichen die zahlenmäßige Erfassung und Klassifizierung nach Fahrzeugen sowie die Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeit. Jedem Fahrstreifen ist ein E/A-Kanal als kleinste adressierbare Adresse eindeutig zugeordnet. Damit ist es möglich die Daten fahrstreifenbezogen zu erfassen und Berechnungsparameter individuell für jeden Fahrstreifen einzugeben und zu verändern.“ [TLS, 2006]

Von allen Datenerfassungsgeräten (DEG), den Verkehrsdetektoren, werden zunächst Einzelfahrzeugdaten erhoben. Die Daten beinhalten dabei konkret Fahrzeugtyp (2, 5+1 oder 8+1 Fahrzeugklassen) und Geschwindigkeit. In Abhängigkeit des Detektors können des Weiteren noch Belegungszeit, Zeitlücken zwischen den erfassten Fahrzeugen, sowie Fahrzeuglänge erfasst werden.

Aggregierte Verkehrsdaten

Die Einzelfahrzeugdaten werden je Funktionsgruppe (FG) meist in Minutenintervallen fahrstreifenfein aggregiert.

„Die Funktionsgruppe ist ein logisches Adressierungselement. Sie kennzeichnet Gruppen von Ein- und Ausgabekanälen (DEs), die die gleiche Art von Datenquellen bzw. –senken darstellen.“ [TLS, 2006]

Für die Informationsplattform sind im Wesentlichen Daten der Funktionsgruppe 1 (FG 1) Verkehrsdaten relevant.

Als Hardwareeinheit gibt es auf dieser Ebene den Ein/Ausgabe-Konzentrator (EAK). Er ist nicht mit der Funktionsgruppe identisch. Er ist über den Lokalbus mit dem Steuerungsmodul verbunden und beinhaltet einen oder mehrere E/A-Kanäle, die Daten aus unterschiedlichen Funktionsgruppen liefern können. Im E/A-Konzentrator werden diese Einzeldaten aggregiert.

Für die Verkehrsbeeinflussung werden aus Funktionsgruppe 1 standardmäßig folgende Daten in der Regel in Minutenintervallen erhoben:

- q_{Kfz} Anzahl der Kraftfahrzeuge/Zeitintervall
- $q_{Lkw\ddot{A}}$ Anzahl Lkw – ähnlicher Fahrzeuge/Zeitintervall
- $v_{Pkw\ddot{A}}$ Geschwindigkeit Pkw-ähnlicher Kraftfahrzeuge
- $v_{Lkw\ddot{A}}$ Geschwindigkeit Lkw-ähnlicher Kraftfahrzeuge

Die Verkehrsmengen q_{Kfz} und $q_{Lkw\ddot{A}}$ werden dabei im Abfrageintervall einfach hoch gezählt.

Für die örtliche Aggregation der Geschwindigkeitswerte kommen zwei Möglichkeiten infrage:

- Ungelättete Geschwindigkeitswerte:

Als Geschwindigkeitswert wird für die entsprechende Fahrzeugart der arithmetische Mittelwert aus den gemessenen Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrzeuge errechnet:

$$v_{Mittel} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M v_{i,Einzel}$$

mit

M : Anzahl gemessener Fahrzeuge dieser Fahrzeugart

$v_{i,Einzel}$ Geschwindigkeit des i -ten Fahrzeugs

- Geglättete Geschwindigkeitswerte

Mit der gemessenen Geschwindigkeit v_{Pkw} bzw. $v_{Lkw\ddot{A}}$ der einzelnen Fahrzeuge wird nach jedem Fahrzeugdurchgang ein neuer geglätteter Mittelwert berechnet:

$$v_{g(i)} = v_{(i)} * a + v_{g(i-1)} * (1 - a)$$

mit dem Glättungsfaktor:

$$a = f(v_{(i)}; v_{g(i-1)})$$

$$a = a_1 \text{ für } v_{(i)} \leq v_{g(i-1)}$$

$$a = a_2 \text{ für } v_{(i)} > v_{g(i-1)}$$

Für die Glättungsfaktoren befinden sich Vorschläge in der MARZ [1999]

Des Weiteren können die aggregierten Verkehrsdaten in Abhängigkeit der Einzelfahrzeugdaten folgende weitere Informationen enthalten:

- Verkehrsstärke differenziert in , 5+1 oder 8+1 Fahrzeugklassen
- Kennwerte der Geschwindigkeitsverteilung (z.B. Mittelwert, Standardabweichung, usw.)
- Geschwindigkeitsverteilung (Geschwindigkeitsklassen)
- Belegungsgrad
- Mittlere Nettozeitlücke

Soll-Analyse

Als Prozessziele können die in den TLS [2006] definierten Grenzwerte für die Messgenauigkeit verwendet werden. Danach dürfen die Verkehrsdatenerfassungsgeräte die in der TLS aufgeführten Messfehlergrenzen nicht überschreiten.

Jedes neue Erfassungsgerät muss zugelassen werden. In der TLS werden Eignungsprüfungen für die Verkehrserfassung der Detektoren beschrieben. „Geprüft wird die Genauigkeit bei der Erfassung der Verkehrsmenge, der Fahrzeugklassifizierung und der Geschwindigkeitsmessung“ [TLS, 2006]

Bei der Fahrzeugklassifizierung müssen für eine Zulassung beispielsweise für 2 Fahrzeugklassen 97% aller Kraftfahrzeuge und 95% aller Lastkraftwagen ähnlichen Fahrzeuge mit einer abgesicherten Detektionsrate richtig erkannt werden. [vgl. TLS, 2006]

Bei den Verkehrsmengen darf die Abweichung in einem Minutenintervall beispielsweise bei einer Verkehrsstärke von über 10 Fahrzeugen pro Minute für Kfz nicht größer als 10% und für LkwÄ nicht größer als 20% sein.

Bei der Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit darf das Ergebnis bei werten zwischen 0 und 100 km/h nicht um mehr als 3 km/h und bei Geschwindigkeiten von 100 bis 160 km/h nicht um mehr als 3% von der Realität abweichen. [vgl. TLS, 2006]

Die Eignungsprüfungen sind zur Zulassung von Verkehrserfassungsgeräten vorgeschrieben und gelten nur für baugleiche Detektoren. Eine Kontrolle der eingebauten Detektoren, sowie weitere Kontrollen im Betrieb auf

- Teil- oder Totalausfall von Detektoren,
- Falschzählung (Fahrzeuge werden doppelt gezählt; Anhänger werden falsch identifiziert; Fahrzeuge werden wegen Ein-, Ausfahrten, bzw. ungünstiger Überfahung des Messbereichs der Detektoren nicht gezählt),
- Ungenauigkeit der Messung, z.B. bei der Geschwindigkeitserfassung durch Verstimmung der Schleifen,

werden nicht verlangt. Eine fortlaufende Information über die Güte, der von der stationären Detektion erfassten Verkehrskennwerte ist aber von großer Bedeutung für die angeschlossenen Verfahren und Steuerungen. Die oben genannten Erfassungsgenauigkeiten können dabei als Zielwerte der Güte genutzt werden.

2.2.3.3 Prozess „streckenbezogene Daten messen“

Die streckenbezogenen Daten beschränken sich im Rahmen der AKTIV Informationsplattform auf Reisezeitinformationen aus Floating Car Data. Grundsätzlich sind Schlussbericht Aktiv-VM

auch andere direkte Reisezeitmessungen zum Beispiel durch Fahrzeugwiedererkennung mittels Nummernschildkameras oder Bluetooth möglich, diese finden allerdings im AKTIV Projekt keine Anwendung.

Im Folgenden wird der bisher übliche Prozess der Generierung von Reisezeitinformationen aus Positionsdaten in der Zentrale beschrieben. Die wesentlichen Schritte dieses Prozesses können auch auf Verfahren der Reisezeitermittlung mittels Fahrzeugwiedererkennung angewendet werden. Für die Verfahrensentwicklung des Monitorings werden die besonderen Randbedingungen des AKTIV Systems berücksichtigt.

Prozessidentifikation und Abgrenzung

Zweck des Prozesses	Reisezeitermittlung von Einzelfahrzeugen und (eventuell) streckenbezogene Aggregation
Input des Prozesses	Positionsmeldungen einzelner Fahrzeuge
Output des Prozesses	Einzelfahrzeugreisezeiten bzw. aggregierte streckenbezogene Reisezeiten
Schnittstellen inputseitig	„Daten übermitteln“ (Schnittstelle zum Fahrzeug),
Schnittstellen outputseitig	Prozessgruppe „Verfahren“
Prozessschritte	Map matching der Einzelpositionen, Routensuche, Berechnung der Kantenreisezeit.
Merkmale für Prozessmonitoring	Plausibilität Einzelpositionsdatum, Plausibilität Route, Plausibilität Kantenreisezeit
Merkmale für Prozessreporting	Häufigkeit von unplausiblen Daten
Erforderliche Ressourcen	Systemtechnik, Algorithmen Map Matching, Algorithmen Routing, Algorithmen Reisezeitberechnung
Erfolgsfaktoren	Laufende Systemtechnik, Karten für Map matching und Routing
Prozessverantwortlicher/Prozesseigner	FCD-Content Provider (in AKTIV PTV AG)

Tabelle 2-3: Prozessabgrenzung "fahrzeugseitige Daten messen"

Ist-Analyse

Der Vorteil streckenbezogener Detektion ist, dass Reisezeiten für Strecken direkt gemessen werden können. Bei stationärer Detektion können Reisezeiten, dagegen nur aus lokalen Geschwindigkeiten gemittelt werden.

Der erste Schritt ist dabei eine die Ermittlung der Fahrzeugposition. Dies findet in der Regel mittels des Global Positioning Systems (GPS) statt. „Ein GPS-Empfänger benötigt zur Standortbestimmung die Signale von mindestens vier Satelliten gleichzeitig. Mit Hilfe einer Schlussbericht Aktiv-VM

Borduhr im GPS-Empfänger und den von den Satelliten in Lichtgeschwindigkeit empfangenen Zeit- und Positionsdaten kann das Fahrzeug die Entfernung zwischen Nutzerstandort und jedem Satelliten durch Signallaufzeitdifferenzrechnung ermittelt werden.“ [HUBER, 2001] Neben den drei benötigten Satelliten zur Bestimmung der Position wird ein vierter Satellit aufgrund der nicht absolut Synchron laufenden Uhren im GPS-Empfänger und den Satelliten benötigt. Das GPS garantiert aktuell eine Genauigkeit von ca. 10 Metern. Für die Ermittlung von Reisezeiten auf längeren Kanten spielt diese Ungenauigkeit kaum eine Rolle.

Aufgrund von Abschattung oder Reflexion, besonders im städtischen Umfeld, kann sich die Genauigkeit allerdings verschlechtern. Eine Verbesserung, die dem entgegen wirkt, bringt hier das Map Matching. „Eine Verbesserung des Positionsergebnisses kann durch die Nutzung digitaler Karten erreicht werden, indem eine Korrektur der rechnerischen bzw. kontinuierlichen Positionsdaten mit den digital vorliegenden Kartendaten vorgenommen wird (Map Matching). Hierbei wird ein Vergleich der tatsächlichen Position (aktuelle Ist-Position) mit dem digitalisierten Abbild des Straßennetzes (Soll-Position) durchgeführt.“ [HUBER, 2001]

Je nachdem in welchem zeitlichen und räumlichen Abstand Positionsmeldungen vorliegen ist zusätzlich ein Routing nötig, um die wahrscheinlichste Route zu berechnen. Dies ist zum Beispiel für Taxi FCD bzw. Fahrzeugwiedererkennung nötig, da hier die Positionsdaten nur in zeitlichen Abständen von 15 bis 180 Sekunden vorliegen bzw. räumlich weiter auseinander liegen. Meist wird „mittels Kürzestweg-Suche der wahrscheinlichste Weg durch die Kandidaten-Kanten ermittelt. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass Fahrzeuge den kürzesten möglichen Weg zwischen mehreren Stationen im Netz nutzen.“ LEONHARDT [2008]

Ein überwiegender Teil der aktuell genutzten FCD stammt aus Taxi FCD bzw. Flotten FCD. Primärziel ist hier ein Flottenmanagement. Die Ermittlung von Reisezeiten und die damit verbundene Erkennung von Verkehrsstörungen ist „nur“ ein Nebenprodukt. Dazu werden die Positionsdaten an eine Zentrale übermittelt. Hier werden die Reisezeiten für die einzelnen Fahrzeuge berechnet. Reisezeiten für die Kanten werden in der Regel durch Mittelwertbildung über die vorhandenen Einzelfahrzeugreisezeiten in einem bestimmten Zeitintervall gebildet.

Soll Prozess

Die Positionierung der Fahrzeuge mittels GPS erfolgt grundsätzlich im Navigator, also im Fahrzeug und damit außerhalb der Informationsplattform.

Bei Fahrzeugen die ihre Positionsdaten im eigenen Fahrzeug zur Navigation nutzen, wie es auch bei der AKTIV-VM Fahrzeugflotte der Fall ist, findet das Map Matching auf der sich im Fahrzeug befindlichen digitalen Karte statt. Im Gegensatz zu beispielsweise Taxi FCD, wo dies zentralseitig geschieht.

Im AKTIV-System erfolgt die Ermittlung der Reisezeit (u.a. für das individuelle Reisezeitarchiv) im Fahrzeug selbst und nicht wie bei Flotten FCD in einer Zentrale (siehe Teilprojekt Adaptive Navigation). An die Zentrale werden daher nur die Reisezeiten und nicht einzelne Positionsdaten übertragen. Aufgrund der sekundenfeinen Positionierung ist für die AKTIV-VM Fahrzeugflotte auch ein Routing nicht nötig.

In der Zentrale wird im AKTIV-System nur noch eine mittlere Reisezeit pro Kante gebildet.

2.2.3.4 Prozess „Daten übermitteln“

Für die Überprüfung des Prozesses „Daten übermitteln“ gibt es Richtlinien für stationäre Daten [TLS, 2006]. Die streckenbezogenen Daten der Informationsplattform werden über die Road Side Unit (RSU) empfangen. Die Überwachung und Bewertung der Datenübermittlung ist Bestandteil der Entwicklung der RSU. Im Rahmen dieses Berichtes wird daher nicht näher auf den Prozess „Daten übermitteln“ eingegangen.

2.2.4 Prozessgruppe Verfahren

Die Prozessgruppe Verfahren befasst sich mit der Veredelung der in der Prozessgruppe Datenerfassung generierten Outputs. Dies umfasst die Erstellung von Meldungen und Verkehrslagen, sowie deren Prognose. Außerdem ist die Generierung von Ersatzwerten Teil der Prozessgruppe. Aufgrund der Verzögerungen bei der Übernahme der Umsetzungen der Module, wurde das Monitoring der Verfahren nicht umgesetzt und getestet, sondern nur theoretisch erarbeitet und bezieht sich daher nicht explizit auf die in AKTIV-VM verwendeten Verfahren.

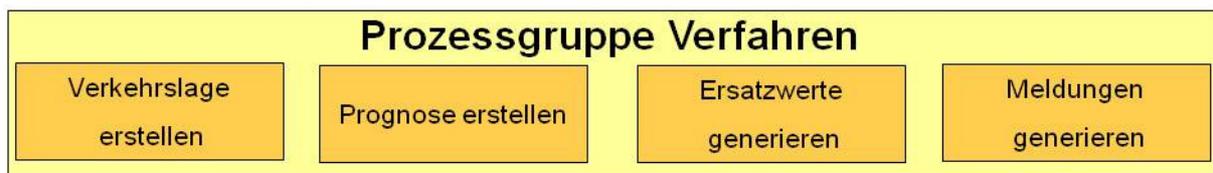


Abbildung 2-8: Prozessgruppe Verfahren

Die Monitore zur Plausibilitätsprüfung der Ersatzwerte entsprechen in etwa denen zur Überprüfung der Realwerte bzw. werden falls auch reale Werte vorliegen mit diesen verglichen. Das Konzept zum Monitoring der Prozesse „Verkehrslage erstellen“, „Prognose erstellen“ und „Meldungen generieren“ beruht im Wesentlichen auf den selben Inputs, wobei Meldungen auch verbindliche Vorgaben (wie eine Geschwindigkeitsbeschränkung) enthalten können. Es ist daher für alle drei Prozesse ähnlich. Im Folgenden wird aus diesem Grund nur der Prozess „Verkehrslage erstellen“ näher betrachtet und später das Konzept des Monitorings an diesem Prozess beispielhaft erläutert.

2.2.4.1 Prozess „Verkehrslage erstellen“

Die netzweite Verkehrslageschätzung veredelt die erfassten Verkehrskenngrößen unter Verwendung von Modellen. Meist werden nur Kenngrößen aus Quellen der gleichen Art, also z.B. nur stationärer Detektion genutzt. Ergebnis ist meistens ein Level Of Service (LOS) der auf mittleren Reisezeiten oder Geschwindigkeiten beruht.

Prozessidentifikation und Abgrenzung

Zweck des Prozesses	Veredelung von Verkehrsdaten unter zur Hilfenahme von Verkehrsmodellen
Input des Prozesses	Stationäre Verkehrskenngrößen, streckenbezogene Verkehrskenngrößen, digitale Karte

Output des Prozesses	Meist LOS (beruhend auf gemittelten Verkehrskenngrößen)
Schnittstellen inputseitig	„Daten übermitteln“, „stationäre Daten messen“ und „fahrzeugseitig Daten messen“
Schnittstellen outputseitig	„Meldungen generieren“ und „Prognose erstellen“
Prozessschritte	„Verkehrslage erstellen“
Merkmale für Prozessmonitoring	Verlässlichkeit Verkehrslage
Merkmale für Prozessreporting	Verlässlichkeit Verkehrslage
Erforderliche Ressourcen	Digitale Karte, Algorithmus Verkehrslage
Erfolgsfaktoren	Geeignete Digitale Karte, geeigneter Algorithmus (Verkehrsflussmodell) zur Verkehrslageschätzung, Empfang plausibler Verkehrskenngrößen, geeignete räumliche und zeitliche Verteilung der Detektion
Prozessverantwortlicher/Prozesseigner	PTV

Tabelle 2-4: Prozessabgrenzung "Verkehrslage erstellen"

Ist-Analyse

Die netzweite Verkehrslageschätzung wird häufig auch unter dem Begriff Datenfusion verstanden. „Die Datenfusion umschreibt einen Vorgang, bei dem Signale bzw. Daten aus mehreren Sensoren automatisch detektiert, assoziiert, kombiniert und geschätzt werden. Es wird dabei das Ziel verfolgt, die reale Welt mit höherer Genauigkeit und Zuverlässigkeit als mit einem Sensor alleine identifizieren zu können.“ [FGSV, 2003]

Verfahren der Verkehrslageschätzung können grundsätzlich danach unterschieden werden ob sie ein Umlegungs- bzw. Verkehrsflussmodell verwenden oder nicht.

Bei Verfahren mit Umlegungs- bzw. Verkehrsmodell kann nach makroskopischen Ansätzen und mikroskopischen Ansätzen unterschieden werden.

Makroskopische Verkehrsflussmodelle beschreiben den Verkehr als Strom auf einer Kante. Die bekanntesten Modelle sind nach SCHNABEL, LOHSE 1997] die Adaption der Kontinuumstheorie auf den Verkehr nach LIGHTHILL, WHITHAM [1955] und das Fundamentaldiagramm von CREMER [1979]. Weitere makroskopische Ansätze sind beispielsweise das Cell Transmission Model [DAGANZO, 1995], das Verfahren ESE (erweiterte Störungserkennung) [BUSCH ET AL., 1994], der Dynamische Netzmonitor (DINO) [LOGI, ULLRICH, 2001], die modellunterstützte Messwertpropagierung nach VORTISCH [2006] oder der Path Flow Estimator [BELL ET AL., 1997], um nur einige zu nennen.

Mikroskopische Verkehrsflussmodelle beschreiben den Verkehr als einzelne Fahrzeuge auf einer Kante. Zu den bekanntesten Ansätzen zählen das Fahrzeugfolgemodell nach WIEDEMANN [1974] und der zellulare Automat [NAGEL, SCHRECKENBERG, 1992]. Parameter dieser Ansätze sind z.B. Wunschgeschwindigkeit und Wunschbeschleunigung. Aufgrund ihres Detaillierungsgrades und der damit verbundenen Berechnungsintensivität sind mikroskopische Modelle für große Netze nicht online geeignet.

Verfahren ohne Umlegungs- bzw. Verkehrsmodell lassen sich nach MAIER [2010] in Ganglinienverfahren und Zeitreihenanalysen, regressions- und musterbasierte Ansätze, sowie in Ansätze mit Fuzzy-Logik und neuronalen Netzen unterteilen. Sie greifen auf Erfahrungen zurück, die aus historischen makroskopischen Daten abgeleitet wurden.

„Ganglinienverfahren gehören zu den einfachsten Methoden der Verkehrsschätzung basierend auf historischen Daten. Sie beschreiben den typischen Verlauf verkehrlicher Kenngrößen in der Regel über einen Tag für verschiedene Tagestypen. ... Ganglinienverfahren und Zeitreihenanalysen zielen insbesondere auf Prognosen von Daten, die bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt durchgängig erhoben wurden.“ [MAIER, 2010].

Regressions- und musterbasierte Ansätze verwenden historisch beobachtete Zusammenhänge von Verkehrskenngrößen, um diese aus aktuellen Daten zu schätzen. Hierzu werden unterschiedliche Ansätze zur Analyse der Zusammenhänge aus den historischen Verkehrskenngrößen herangezogen. LEONHARDT [2008] verwendet ein instantbasiertes Lernverfahren zur Schätzung von Verkehrskenngrößen aus lokalen Daten und Kalenderinformationen. THOMAS [1998] verwendet einen multiplen Regressionsansatz zur Störungserkennung. EHMKE, MEISEL [2008] setzen Clusterverfahren zur Verkehrsanalyse ein. MAIER [2010] verwendet eine abschnittsweise Regressionsanalyse zur Schätzung der Verkehrskenngrößen.

Fuzzy-Logik und neuronale Netze zählen zu Formen der künstlichen Intelligenz. Die Verfahren versuchen menschliches Denken und Lernprozesse nachzubilden. BUSCH, GHIO [1994] verwenden einen Fuzzy-Regler zur Störfallerkennung auf Autobahnen unter Verwendung zweier Messquerschnitte. EID [2001] verwendet einen Fuzzy-Logik-Ansatz zur Bestimmung des Verkehrszustandes auf Hauptstraßen mit geringer Detektionsdichte. MATHIAS [1999] beschreibt ein Verkehrsumlegungsmodell auf Basis von rekurrenten neuronalen Netzen.

Soll Prozess

Die wenigsten Verfahren zur Verkehrslageschätzung verwenden bisher sowohl stationäre als auch streckenbezogene Verkehrskenngrößen. Auch auf der AKTIV-VM Informationsplattform werden unterschiedliche Verfahren verwendet, die auch unterschiedliche Datenquellen nutzen. Erst die daraus geschätzten Verkehrslagen werden anschließend fusioniert. [vgl. AKTIV-VM, 2007]

VORTISCH UND ORTGIESE [2005] stellen fest, dass stationäre und streckenbezogene Daten und damit auch die daraus generierte Verkehrslage selten exakt übereinstimmen oder sich teilweise sogar widersprechen. Sie leiten daraus die Notwendigkeit eines Zuverlässigkeitswertes für die erhobenen bzw. generierten Daten ab. So wird beispielsweise ein streckenbezogenes Datum zuverlässiger wenn es aus mehreren FCD erzeugt wurde.

Eine stationäre Messung dagegen verliert ihre Zuverlässigkeit mit ihrer Entfernung vom Detektor.

Grundsätzlich sollte ein gemessener Wert (sofern dieser plausibel erscheint) einem geschätzten immer vorgezogen werden.

Grundsätzlich lassen sich als Eingangskenngrößen im Sinne des Prozessmonitorings folgende Qualitätsindikatoren identifizieren:

- **Plausibilität der Eingangswerte:**
Der Qualitätsindikator beschreibt die Plausibilität der eingehenden stationären oder streckenbezogenen Verkehrskenngrößen. Der Qualitätsindikator der Plausibilität wird für jedes Datum von mehreren Plausibilitätsprüfungen berechnet und zu einem Qualitätsindikator der Plausibilität fusioniert.
- **Repräsentativität der Eingangswerte:**
Der Qualitätsindikator beschreibt, wie repräsentativ Eingangswerte für die Verkehrslageschätzung einer Kante sein können. Für Verfahren die Daten aus der stationären Detektion verwenden schränkt z.B. die Entfernung vom Detektor die Repräsentativität ein. Für Verfahren mit streckenbezogener Detektion ist dies z.B. die Anzahl der erfassten Fahrzeuge.
- **Aktualität der Eingangswerte:**
Der Qualitätsindikator beschreibt den Zusammenhang zwischen Aktualität und Aussagekraft der Eingangswerte. Bei der stationären Detektion spielt dieser Indikator, abgesehen von Detektionsausfällen, aufgrund der stetig im Minutentakt eintreffenden Daten kaum eine Rolle. Streckenbezogene Daten dagegen treten meist unregelmäßig auf. FCD Reisezeiten einzelner Fahrzeuge verlieren mit der Zeit an Verlässlichkeit bezüglich ihrer Aussagekraft für die aktuelle Verkehrslage.
- **Sonstige Parameter:**
Auch andere Bedingungen können Einfluss auf die Qualität der Verkehrslageschätzung haben. Diese Bedingungen hängen meist sehr stark vom verwendeten Verfahren ab. Als Beispiel kann hier der Verkehrszustand genannt werden. Je nach Verkehrszustand sind manche Verfahren geeigneter als andere.

2.3 Systemarchitektur des Monitoringsystems

Aus den identifizierten Prozessen können Qualitätsprüfungen abgeleitet werden. Die Qualitätsprüfungen und Verfahren können zu Modulen zusammengefasst werden, die gleiche Daten- oder Systemzustände überprüfen und/oder verbessern. Diese Module wiederum können in Monitoren zusammengefasst werden, die sehr ähnliche oder verwandte Prozesse betrachten. Hieraus aufbauend wurde eine Architektur für ein Monitoringkonzept erarbeitet. In Abbildung 2-9 sind diese Module und Monitore des Monitoringsystems dargestellt. Sie orientieren sich am im Rahmen des Projektes "Benchmarking für Verkehrsdatenerfassungs- und Verkehrssteuerungssysteme" entworfenen Monitoringsystem für Verkehrsbeeinflussungsanlagen.

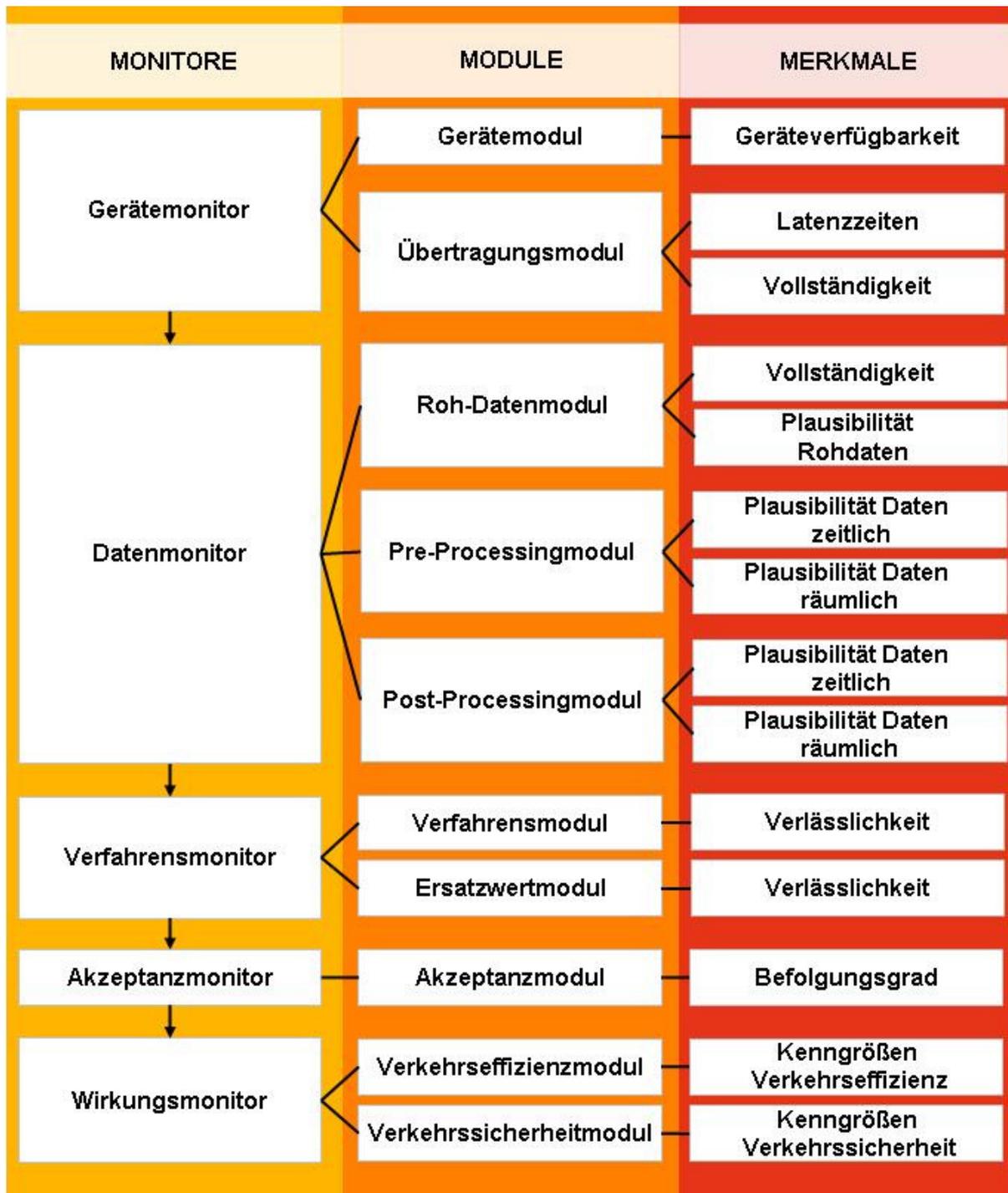


Abbildung 2-9: Übersicht über die Monitore und Module

„Alle Management- und Führungssysteme müssen auf das Erreichen der Veränderungsziele ausgerichtet werden“ [WAGNER, 2006]. Daher werden im Monitoringsystem im Gegensatz zur Prozesslandschaft die Merkmale der Prozesse bei der Einteilung berücksichtigt.

Die Verfahren sollen zu einer kontinuierlichen Qualitätsüberwachung und -bewertung von Geräten, Daten, Verfahren und Maßnahmen führen. Nicht jede Prozesskette findet sich dabei in allen Monitoren oder Modulen mit einem Prozess wieder und die Module und Monitore sind aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Daten, die über die Informationsplattform laufen, allgemein gehalten. Durch den modularen Aufbau des

Monitoringsystems ist es erforderlich, jeden Prozess bis zu der Ausgabe von Qualitätskenngrößen getrennt zu behandeln.

Jedes Modul liefert als Ergebnis einen Qualitätsindikator, der in der Regel auf mehreren Verfahrensergebnissen basiert. Die Qualitätsindikatoren mehrerer Module werden in den übergeordneten Monitoren fusioniert. Abbildung 2-10 zeigt die Fusionierung der Qualitätsindikatoren am Beispiel des Gerätemonitors. Hierfür ist anhand der Referenzdatenbasis festzulegen, wie sich Verfahrensergebnisse zu einem Qualitätsindikator je Modul und letztendlich je Monitor fusionieren lassen. Ziel sollte sein, dass sich Fehlerquellen auch aus den höheren Ebenen zu rückverfolgen lassen. Nur so können geeignete Reaktionen eingeleitet werden.

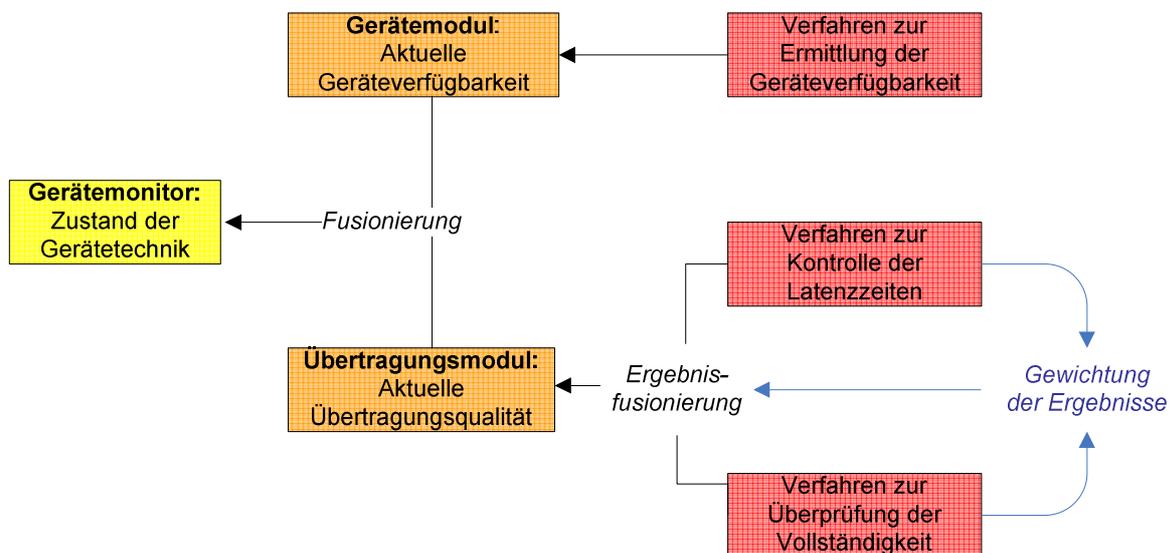


Abbildung 2-10 Informationsgenerierung am Beispiel des Gerätemonitors

2.4 Qualitätsprüfungen

Im Folgenden werden die Monitore und ihre Module im Kontext der AKTIV Informationsplattform näher beschrieben. Zudem werden die zugehörigen Qualitätsprüfungen des Gerätemonitors und des Datenmonitors kurz erläutert. Beim Datenmonitor wird dabei nach stationärer und streckenbezogener Detektion unterschieden. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in den Spezifikationen der Plausibilitätsprüfungen [vgl. AKTIV, 2009]. Für die Qualitätsprüfung von Verfahren wird ein Konzept vorgestellt.

2.4.1 Module des Gerätemonitors

Der Gerätemonitor überprüft die allgemeine Funktionalität der Systemtechnik. Es wird ermittelt, wie oft, wie lange und mit welcher Häufigkeit bzw. in welchem Rhythmus die Geräte zur Erfassung oder zur Übertragung der Messwerte und Meldungen gestört sind.

2.4.1.1 Gerätemodul

Das Gerätemodul befasst sich mit der Überprüfung der generellen Funktionalität der Datenendgeräte, Steuerungsmodule und Streckenstationen, sowie Verkehrsrechenunterzentrale und Verkehrszentrale auf Infrastrukturseite. Es müssen dazu Qualitätsprüfverfahren verwendet werden, die im Prozessmonitoring das Merkmal Geräteverfügbarkeit überprüfen. Im Prozessmonitoring können aus diesem Merkmal dann

Störungsdauern und Störungshäufigkeiten ermittelt werden. Die Funktionsüberwachung von Road Side Units und fahrzeugseitiger Komponenten zur Datenerfassung sind, wie schon in der Prozessbeschreibung erwähnt, nicht Teil des Monitorings der Informationsplattform. Die einzelnen Qualitätsprüfungen geben einen Wert von 0 oder 1 aus (wobei 0 unplausibel bedeutet und 1 plausibel).

DE-Fehlermeldungen

Laut TLS muss jedes Datenendgerät in der Stande sein auf Abruf beziehungsweise beim Auftreten einer Störung eine „DE-Fehlermeldung Typ 1“ zu generieren. Die Nachricht wird vom Ein/Ausgabekonzentrator erzeugt. Bei Ende der Störung wird ebenfalls eine Meldung gesendet. Mit den „Ergänzende(n) DE-Fehlermeldungen Typ 14“ werden zusätzliche Erläuterungen zur Art der Störung aus Typ 1 gemeldet. Die Meldungen werden vom E/A-Konzentrator erzeugt wenn die Störung auf Ebene der Datenendgeräte auftritt. Falls die Störung einen E/A-Konzentrator betrifft, übernimmt das Steuerungsmodul die Generierung der Fehlermeldung. Ein Ausfall einer Streckenstation wird in der Zentrale registriert. [vgl. TLS, 2006]

2.4.1.2 Übertragungsmodul

Im Übertragungsmodul wird die Funktionstüchtigkeit der Datenübertragungstechnik überprüft. Dies beinhaltet nicht die Gerätefunktionalität, da diese bereits im Gerätemodul überwacht wird. Die eingesetzten Qualitätsprüfungen müssen im Prozessmonitoring die Merkmale Latenzzeit und Vollständigkeit der Übertragung überprüfen können. Mit Hilfe des Prozessreportings kann hier die zeitliche Verfügbarkeit der Übertragung kontrolliert werden. Die Überwachung und Bewertung der Datenübermittlung der RSU ist Bestandteil der Entwicklung der RSU innerhalb des AKTIV Projekts und wird daher im Prozessmonitoring nicht näher beschrieben. Die einzelnen Qualitätsprüfungen geben einen Wert von 0 oder 1 aus.

DE-Fehlermeldungen

Falls die Störung einen E/A-Konzentrator betrifft, übernimmt das Steuerungsmodul die Generierung der Fehlermeldung [vgl. TLS, 2006]. Da stationäre Daten in der Regel in festgelegten Abständen (meist im Minutentakt) eingehen kann ein Fehlen oder verspätetes Eingehen der Daten leicht erkannt werden. In Kombination mit Fehlenden DE-Fehlermeldungen kann auf die Kommunikation geschlossen werden.

2.4.2 Module des Datenmonitors für stationäre Detektion

Der Datenmonitor überprüft die Plausibilität der eingehenden Daten. Im Prozessmonitoring wird dabei die Vollständigkeit, sowie die räumliche und zeitliche Plausibilität der Daten überprüft. Im Prozessreporting wird die Häufigkeit von unvollständigen bzw. unplausiblen Daten ermittelt. Unzuverlässige Datenquellen können so nicht mehr berücksichtigt werden, da bei einer hohen Anzahl unplausibler Daten einer Quelle auch die Richtigkeit der restlichen Daten angezweifelt werden kann. Es wird zwischen Rohdatenmodul, Pre-Prozessingmodul und Post-Prozessingmodul unterschieden. Die einzelnen Qualitätsprüfungen geben in den meisten Fällen einen Wert von 0 oder 1 aus. Einzelne Prüfungen können auch Zwischenwerte generieren.

Aufgrund der Vielzahl von in der Literatur gefundenen und teilweise für die Online-Anwendung erweiterten Verfahren wurde zur Auswahl der umzusetzenden Plausibilitätsprüfungen eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Diese wird im Anschluss an die Vorstellung der Verfahren beschrieben.

2.4.2.1 Rohdatenmodul

Die im Rohdatenmodul zusammengefassten Plausibilitätsprüfungen überprüfen Einzelfahrzeugdaten. Eine Überprüfung muss daher vor der Aggregation der Daten geschehen, das heißt bereits in der Streckenstation.

PL-Check California Path Program

In „Automatic Diagnostics of Loop Detectors and the Data Collection System in the Berkeley Highway Lab“ [May et al., 2005 und May et al., 2004] aus dem California Path Programm werden Möglichkeiten zur Überprüfung der Geschwindigkeitsmessung aufgezeigt. Die Plausibilitätsprüfungen werden für jeden Fahrstreifen einzeln angewendet:

- **Dynamic Minimum On-Time:** Wenn ein bestimmter Prozentsatz der letzten 100 Fahrzeuge eine Verweildauer auf dem Detektor unter einem Grenzwert aufweist, gelten die Werte als unplausibel.
- **Dynamic Maximum On-Time:** Wenn ein bestimmter Prozentsatz der Fahrzeuge eine Verweildauer auf dem Detektor über einem Grenzwert aufweist, gelten die Werte als unplausibel.
- **Minimum Off-Time:** Wenn ein bestimmter Prozentsatz der Nettozeitlücken unter einem Grenzwert liegt, gelten die Werte als unplausibel. Diesem Test liegt zugrunde, dass der zeitliche Abstand zweier hintereinander fahrender Kfz unabhängig von der gefahrenen Geschwindigkeit ist. Der Grenzwert muss von der Verkehrsstärke abhängig sein.
- **Dual Detector On-Time Difference:** Dieser Test vergleicht die Verweildauer auf zwei Detektoren eines Detektorpaares. Wenn bei einem bestimmten Prozentsatz der Fahrzeuge die Verweildauer nicht in einem gewissen Intervall (+/-) liegt, gelten die Werte als unplausibel.

Kontrolle durch Fahrzeuglänge

Von diesem Verfahren werden Messwerte der Fahrzeuglänge als suspekt klassifiziert, wenn ein bestimmter Prozentsatz der Messwerte unrealistische Beträge aufweist. Überprüft werden sowohl maximale als auch minimale Schwellenwerte in Abhängigkeit der Klassifizierung der Fahrzeuge.

2.4.2.2 Pre-Prozessingmodul

Im Modul Pre-Processing sind Qualitätsprüfungen zusammengefasst, die die aggregierten Daten einer einzelnen Streckenstation überprüfen. Die aufgeführten Plausibilitätsprüfungen können theoretisch in der Streckenstation durchgeführt werden.

Plausibilitätsprüfungen nach MARZ

Die im MARZ (Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechenzentralen und Unterzentralen) [MARZ, 1999] aufgeführten Plausibilitätsprüfungen überprüfen logische Bedingungen der in der Regel als Minutenintervalle aggregierten Daten eines Detektors. Daten die diesen Logiken widersprechen sind als fehlerhaft zu kennzeichnen.

Plausibilitätsprüfungen nach FGSV AK 3.5.20

In den „Hinweise(n) zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung“ [FGSV, 2006] sind weitere Plausibilitätsprüfungen definiert, die auf den Plausibilitätsprüfungen des MARZ basieren.

Differentialkontrolle

Messwerte weisen Schwankungen auf. Daher wird geprüft ob innerhalb eines definierten Intervalls (parametrierbar) eine Änderung des Messwertes vorliegt. Bei konstanten Werten sind diese als unplausibel zu kennzeichnen. In den „Hinweise(n) zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung“ werden hierzu Prüfbedingungen empfohlen. Diese Methode erkennt stockende Detektoren sehr gut. [vgl. FGSV, 2006]

Belegungsabhängige Plausibilitätskontrolle

Diese Plausibilitätskontrolle des Freeway Traffic Management System in Seattle vergleicht Verkehrsstärken q und Verkehrsstärke – Belegungsgrad Verhältnisse q/b mit Schwellenwerten. Die Berechnung der Schwellenwerte für q/b erfolgt nach dem fundamentalen Zusammenhang. In einer ersten Version des Tests wurde die Belegung in 4 Bereiche aufgeteilt (0,1 bis 7,9%, 8,0 bis 25,9%, 26,0 bis 35,9% und mehr als 36%), für die jeweils zulässige Bereiche des Verhältnisses q/b berechnet wurden [NIHAN et. al., 1990]. Auf diese Weise kommt es allerdings zu Sprüngen zwischen den Bereichen und sog. Hanging-On Fehler (zu hohe Belegungen) konnten nicht erkannt werden. In einer zweiten Version [NIHAN et. al., 1995] werden Polynome 3ten und 4ten Grades zur Begrenzung der zulässigen Verhältnisse von q/b verwendet. Auf diese Weise können die Sprünge vermieden werden und auch Hanging-On Fehler erkannt werden. Die Plausibilitätsprüfungen werden fahrstreifenfein angewendet.

Fundamentaldiagrammtest

Das Ziel der in FREUDENBERGER [2001] entstandenen und in TONNDORF [2002] für Autobahnen adaptierten Plausibilitätsprüfung mittels Fundamentaldiagramm ist es, Messwerte, die im Fundamentaldiagramm verhältnismäßig weit von der berechneten Regressionskurve entfernt liegen, aufzuzeigen. Dazu wird eine Regressionskurve, die sich an realen Messungen orientiert, gebildet. Für jeden neu gemessenen Punkt kann daraus der Abstand zur Regressionskurve $d(x)$ berechnet werden.

Fuzzy Clustering

In ISHAK [2002] wird eine Methode erläutert, die der Plausibilitätsprüfung von Verkehrsdaten dient. Auf Grundlage einer genügend großen Datenbasis werden Cluster gültiger Messwertkombinationen von q (Verkehrsstärke), v (Geschwindigkeit) und b (Belegung) gebildet.

Es wird zunächst kein Zusammenhang zwischen den Größen vorgegeben, vielmehr wird dieser aus der vorhandenen Datenbasis, im Sinne des fundamentalen Zusammenhangs, erlernt. Für die Datenbasis bzw. für online gemessene Daten wird ermittelt, inwieweit diese einem gültigen Gebiete angehören, was über den Grad der Zugehörigkeit einer Wertekombination zu einem Cluster abgeleitet wird. Durch die Festlegung von Schwellenwerten der Zugehörigkeit können die Daten als gültig oder nicht gültig klassifiziert werden. Dem „Erlernen“ der Cluster liegt die Annahme zugrunde, dass die meisten Messungen gültig sind und somit durch einen statistischen Vergleich von Messwerten mit den Clustern, die eine Vielzahl von Messungen repräsentieren, auf deren Gültigkeit geschlossen werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass Daten, die sich sehr gut in Cluster einfügen mit größerer Wahrscheinlichkeit „korrekte“ Messwerte sind, als Daten, die sich schlecht in Cluster einfügen.

Querschnittsprognose

Die Querschnittsprognose der Verkehrsstärke wurde ursprünglich entwickelt, um fehlerhafte Datensätze durch plausible Ersatzwerte zu substituieren. Insofern kann man davon ausgehen, dass die Prognosegrößen zumindest in einem plausiblen Datenbereich liegen und man die Querschnittsprognose auch zur Datenkontrolle heranziehen kann. Diesen Ansatz verfolgt TONNDORF [2002], indem er ein Prognoseverfahren von ZACKOR und HERKT [1980] verwendet. Es ist hier auch durchaus vorstellbar andere Verfahren zur Kurzzeitprognose zu verwenden, wie etwa von JANKO [1994], CHROBOK [2000], BELZNER [2002] oder PEETA und ANASTASSOPOULOS [2002]. Idealerweise sollte ein Verfahren herangezogen werden, welches sowieso schon zur Kurzzeitprognose, beispielsweise für eine Streckenbeeinflussungsanlage, verwendet wird, da eine Kalibrierung der Verfahren notwendig ist.

Wertekontrolle

Bei der Wertekontrolle der Messwerte wird die Funktionstüchtigkeit der Messapparatur angezweifelt, wenn über einen festlegbaren Zeitraum Extremwerte nicht gemessen werden. Außerdem wird überprüft ob Werte im plausiblen Bereich auftreten. Als plausibel gelten nur Detektoren die sowohl Extremwerte als auch „normale“ Werte messen. Mit diesem Verfahren können Messstellen erkannt werden, die zwar Daten innerhalb eines plausiblen Wertebereichs liefern, an denen über einen längeren Zeitraum jedoch trotzdem Störungen in der Detektion auftreten. Diese Messfehler würden bei der Untersuchung eines kürzeren Zeitraums nicht auffallen.

Ganglinienvergleich

Beim Ganglinienvergleich [Peters 2005] werden die Daten eines Querschnitts oder einer Spur als Zeitreihe über einen Zeitraum von 24 Stunden betrachtet, um dann mit einer oder mehreren Referenzganglinien verglichen zu werden. Bei signifikanten Abweichungen werden die erfassten Daten als „Ausreißer“ markiert. Als Ausreißer werden solche Ganglinien bezeichnet, die einen untypischen und von der Masse abweichenden Verlauf aufweisen. Die Abweichung der Tagesganglinie von der Referenzganglinie wird durch Über- oder Unterschreiten eines Vergleichskorridors berechnet.

Ähnlichkeit der Geschwindigkeitsniveaus

Das von HOOPS [2007] entwickelte Verfahren zur Detektion von Messwertabweichungen in der Geschwindigkeit bezieht sich nur auf lokale Messungen um auf Fehler des Messsystems zu schließen, da bei lokal gemessenen Geschwindigkeiten kein räumlicher Zusammenhang mit den Nachbarquerschnitten gegeben ist. Eine lokale Messung kann fehlerfrei sein, auch wenn sie eine aktuelle Reisezeit zwischen zwei Messstellen nicht widerspiegelt. Das Verfahren basiert auf drei wesentlichen Komponenten:

- Überwachung von unerwartet großen absoluten Geschwindigkeitssprüngen von einem Messintervall zum nächsten;
- Überwachung von unerwartet großen relativen Geschwindigkeitsfluktuationen gegenüber der gleitenden ermittelten Standardabweichung;
- verkehrstechnische Störungen werden im Gegensatz zu messtechnischen Störungen in aller Regel auf allen Fahrstreifen beobachtet.

Systematische Fehler, besonders wenn sie mehrere Detektoren eines Messquerschnittes betreffen, sind mit diesem Verfahren kaum zu ermitteln.

2.4.2.3 Post-Prozessingmodul

Im Modul Pre-Processing sind Qualitätsprüfungen zusammengefasst, die die aggregierten Daten mehrerer Streckenstation zur Überprüfung ihrer Plausibilität nutzen. Diese Verfahren können daher nur in der Verkehrsrechenzentrale bzw. in einer Unterzentrale durchgeführt werden.

Fahrstreifenquotient

Die Aufteilung der Fahrzeuge auf die verschiedenen Fahrbahnen bei zwei- [LEUTZBACH, SPARMANN, 1977] und dreistreifigen BAB Richtungsfahrbahnen [BUSCH, 1984] zeigt einen relativ klaren Zusammenhang mit der jeweiligen Verkehrsstärke. Die Anteile der Verkehrsstärken sind meist über mehrere Querschnitte konstant. HEIDEMANN [1994] und WU [2006] haben für die Fahrstreifenaufteilung des Verkehrs Funktionen in Abhängigkeit der Gesamtverkehrsstärke entwickelt. Gerade ein Vergleich mehrerer aufeinander folgender Querschnitte kann hier zusätzliche Erkenntnisse bringen. Ähnliche Effekte sind auch für die Verhältnisse der Geschwindigkeiten zu beobachten.

Lkw Anteile

Das nachfolgend beschriebene Verfahren untersucht die Lkw Anteile auf den Fahrstreifen. Es ist davon auszugehen, dass der Schwerverkehrsanteil auf dem rechten Fahrstreifen (wesentlich) höher ist als auf den weiter links liegenden Fahrstreifen. Gerade ein Vergleich mehrerer aufeinander folgender Querschnitte kann hier zusätzliche Erkenntnisse bringen.

Ersatzwertbildung

Eine Möglichkeit zur Überprüfung eingehender Verkehrsdaten ist der Plausibilitätscheck mit Ersatzwertverfahren. Durch den Vergleich aktueller Messwerte mit ständig parallel generierten Ersatzwerten kann bei großen Differenzen auf Störungen geschlossen werden.

Die meisten Ersatzwertverfahren arbeiten nicht mit Werten aus der Vergangenheit, sondern mit aktuellen Werten, die von einer anderen Fahrspur oder von einem benachbarten Querschnitt bezogen werden. Diese Tatsache prädestiniert die Ersatzwertverfahren zur

Plausibilitätskontrolle, da nicht der Detektor selbst, der unter Umständen schleichend schlechtere Messwerte liefert, sondern ein Referenzdetektor, von dem ausgegangen wird, dass er korrekte Werte liefert, als Datenquelle herangezogen wird. Durch diesen Querabgleich besteht die Chance verstörte, oder schleichend abdriftende Detektoren zu identifizieren.

Es können drei grundsätzliche Ersatzwertverfahren verwendet werden:

- Ersatzfahrstreifen/Nachbarfahrstreifen (direkte Übernahme bzw. Berechnung)
- Vorwochenwerte (direkte Übernahme und Berechnung)
- Ersatzquerschnitte (direkte Übernahme)

Die Ersatzfahrstreifen- und Ersatzquerschnittmethode werden im MARZ beschrieben. Für die ersten beiden Ersatzwertverfahren sind nur die Daten einer Streckenstation nötig. Das Verfahren kann mit diesen Ersatzwertverfahren daher auch im Modul Pre-Processing angesiedelt werden.

Kalman-Situationsanalyse

Das in „Ein Qualitätsindikator für Zählwerte von Verkehrsdetektoren“ von SACHSE [2004] beschriebene Verfahren dient der Störungserkennung in Messwerten. Störungen im Verkehrsablauf werden dabei über die Kalman-Störgröße, wie zum Beispiel in den Patentanmeldungen von LAGGER und MÜLLER [2000] oder BUSCH ET AL [1998], identifiziert. Durch den Vergleich der aus einem Abschnitt fahrenden Fahrzeuge mit einem auf Basis der einfahrenden Fahrzeuge errechneten Prognosewert werden Störungen identifiziert. Ab einer bestimmten Abweichung, die die normale Schwankungsbreite übersteigt, meldet der Kalman-Filter eine Verkehrsstörung. Allerdings schlagen diese Verfahren auch bei Messfehlern an.

Querschnittsbilanz

Durch das Gesetz der Fahrzeugerhaltung ist eine starke Koppelung der Messungen der Verkehrsstärke von benachbarten Messquerschnitten vorgegeben. In FRISCHEISEN, DENAES [2004] wird ein Verfahren vorgestellt, welches die summierten Verkehrsstärken zweier aufeinander folgender Detektoren vergleicht. Das Verfahren wurde in der Software LOTRAN-DQ [TRANSVER, 2007] für Tagesbilanzen umgesetzt. Das hier vorgestellte Verfahren erweitert diesen Ansatz um den Ansatz von HOOPS [2007] zwei aufeinander folgende Streckenabschnitte zu betrachten.

Querschnittsbilanz für gemäßigt grobe Fehler

Im Gegensatz zur einfachen Querschnittsbilanzierung, die erst im Nachhinein einen Schluss auf die Richtigkeit der Daten zulässt wird in HOOPS [2007] mittels einer Reisezeitschätzung ein onlinefähiges Verfahren der Querschnittsbilanzierung vorgestellt. Durch die Bilanzierung der beiden Streckenabschnitte, sowie eine Gesamtbilanz können Fehler der Verkehrsstärkezahlungen erkannt werden.

Querschnittsbilanz für systematische Fehler

Für die Erkennung von systematischen Fehlern verwendet HOOPS [2007] einen ähnlichen Ansatz wie für die Erkennung der gemäßigt groben Fehler. Es werden allerdings andere Kriterien zur Fehlererkennung verwendet.

2.4.3 Module des Datenmonitors für streckenbezogene Detektion

Beim Datenmonitor sind für Floating Car Data nur die Plausibilitätsprüfungen des Post-Processing Moduls Bestandteil der Informationsplattform, da hier nur Reisezeiten von Einzelfahrzeugen eingehen. Aufgrund der Entstehung der Einzelfahrzeugreisezeiten ist ein fehlerhaftes Reisezeitdatum allerdings aufgrund der sekundenfeinen Ortung im Fahrzeug und dem anschließenden Mapmatching nahezu ausgeschlossen. Es stellt sich hier also nur die Frage, inwieweit das Einzelfahrzeugdatum die aktuelle Verkehrssituation repräsentiert und daher für ein angeschlossenes Verfahren oder eine Aggregation berücksichtigt werden sollte. Hierzu gibt es unterschiedliche Ansätze die im Wesentlichen von der Anzahl der vorliegenden Reisezeiten abhängt.

Bei einer geringen Anzahl an Einzelfahrzeugreisezeiten je betrachtetes Zeitintervall ist das Ziel ein oder mehrere Reisezeiten für dieses Zeitintervall und die vorherrschende Verkehrssituation auszuwählen. Bei einer hohen Anzahl an Einzelfahrzeugreisezeiten hingegen ist es das Ziel un plausible Reisezeiten auszusortieren, damit diese die Mittelwertbildung nicht stören.

Auswahl von Reisezeiten bei geringer Anzahl von Einzelfahrzeugdaten

LEONHARDT [2008] verwendet den Median als repräsentativen Reisezeitwert. Aufgrund der Zufälligkeit der beobachteten Reisezeit wird eine Glättung der Messwerte nicht als sinnvoll erachtet. Der Median dagegen ist eine reale Beobachtung, die bei mehreren Beobachtungen Ausreißer außer Acht lässt.

Auswahl von Reisezeiten bei hoher Anzahl von Einzelfahrzeugdaten

SPANGLER [2009] verwendet zum Filtern un plausibler Einzelfahrzeugreisezeiten einen Filter der den Reisezeitwert des Fahrzeuges mit den Reisezeitwerten des vor und nach diesem erfassten vergleicht. „Er ist dann zu verwerfen, wenn er um mehr als die Toleranzzeit über beiden liegt. Die Toleranzzeit kann ausgehend von der Streckenlänge, der Streuung der Fahrzeuggeschwindigkeit auf freier Strecke und innerorts vor allem an der Anzahl der LSA-gesteuerten oder vorfahrtsgeregelten Knotenpunkte geschätzt werden.“ [SPANGLER, 2009]. Der Filter eignet sich für Echtzeitanwendungen.

2.4.4 Module des Verfahrensmonitors

Im Verfahrensmonitor wird die Plausibilität bzw. Aussagekraft der aus den Verkehrslageverfahren und Prognoseverfahren bzw. den Ersatzwert generierten Verkehrsdaten überprüft.

2.4.4.1 Verfahrensmodul

Im Verfahrensmodul werden die eingesetzten Verfahren geprüft. Im Rahmen der AKTIV Informationsplattform sind dies Verfahren zur Verkehrslageschätzung und –prognose. Es wird für jeden Link und Zeitabschnitt ein Plausibilitätswert generiert. Prognoseverfahren können zudem mittels einer Treffer- und Fehlalarmquote überprüft werden, indem untersucht wird inwieweit aktuell berechnete und prognostizierte Verkehrszustände

übereinstimmen. Im Folgenden wird ein Konzept zur Generierung eines Qualitätsindikators für Verfahren der Verkehrslageschätzung vorgestellt. Im Einzelnen werden folgende Eingangsgrößen bewertet:

- Plausibilität der Eingangswerte
- Repräsentativität der Eingangswerte
- Aktualität der Eingangswerte
- Sonstige Parameter

Plausibilität der Eingangswerte

Der Qualitätsindikator beschreibt die Plausibilität der eingehenden stationären oder streckenbezogenen Verkehrskenngrößen. Der Qualitätsindikator der Plausibilität wird für jedes Datum von mehreren Plausibilitätsprüfungen berechnet und zu einem Qualitätsindikator der Plausibilität fusioniert. Eine Erläuterung wie diese Fusionierung der einzelnen Plausibilitätsprüfungen durchgeführt werden sollte wird über die Simulation des Gesamtprozesses ermittelt und im Laufe dieses Dokumentes im Rahmen der Ermittlung der Wirkungszusammenhänge erläutert.

Repräsentativität der Eingangswerte

Der Qualitätsindikator beschreibt wie repräsentativ Eingangswerte für die Verkehrslageschätzung einer Kante sein können. Es ist hier nach stationären und streckenbezogenen Eingangsdaten zu unterscheiden.

VORTISCH [2006] stellt fest, dass „beiden Quellen (stationäre Detektion und FCD) im allgemeinen nicht auf allen Links und zu jedem Zeitpunkt die gleiche Aussage machen.“ Für Verfahren die Daten aus der stationären Detektion verwenden schränkt z.B. die Entfernung vom Detektor die Repräsentativität ein. Der AKTIV-Partner PTV [AKTIVc, 2007] geht in einem bestimmten Bereich stromaufwärts und stromabwärts von einem Detektor von einer 100-prozentigen Repräsentativität der Eingangswerte aus. Für jede Zu- und Abfahrt wird ein Strafterm angesetzt der die Repräsentativität absenkt. Der Qualitätsindikator für die Repräsentativität der Eingangswerte berechnet sich für die stationäre Detektion daher wie folgt:

$$Q - \text{indikator} = 0,5 * \left[\begin{array}{l} \min(1, \frac{s}{d_{\text{auf}} + ZA_{\text{auf}} * 0,5}) + \\ \min(1, \frac{s}{d_{\text{ab}} + ZA_{\text{ab}} * 0,5}) \end{array} \right]$$

Mit:

s Bereich stromauf- und stromabwärts vom Detektor in dem eine 100 prozentige Repräsentativität angenommen wird

d_{auf} Entfernung vom nächsten Detektor stromaufwärts

ZA_{auf} Anzahl Zu- und Abfahrten stromaufwärts

d_{ab} Entfernung vom nächsten Detektor stromabwärts

ZA_{ab} Anzahl Zu- und Abfahrten stromabwärts

Für Verfahren mit streckenbezogener Detektion ist die wesentliche Kenngröße die Anzahl der erfassten Fahrzeuge. Dabei ist Vollerfassung für eine ausreichende Repräsentativität der Eingangswerte, also eine 100 prozentige Güte, nicht nötig. Angelehnt an die Formel zur Ermittlung des Qualitätsindikators für die stationäre Detektion lässt sich folgende Gleichung aufstellen:

$$Q\text{-indikator} = \min\left(1, \frac{a_E}{s}\right)$$

Mit:

- s Erfassungsgrad für den eine 100-prozentige Repräsentativität angenommen wird.
- a_E Anteil der Fahrzeuge an der Gesamtverkehrsstärke der Kante für die ein Reisezeitwert vorliegt.

Aktualität der Eingangswerte

Der Qualitätsindikator beschreibt den zeitlichen Verfall von erfassten Verkehrskenngrößen. Bei der stationären Detektion spielt dieser Indikator, abgesehen von Detektionsausfällen, aufgrund der stetig im Minutentakt eintreffenden Daten kaum eine Rolle, da minütliche Daten eine 100 prozentige Aktualität darstellen sollten. Streckenbezogenen Daten dagegen treten meist unregelmäßig auf. FCD Reisezeiten einzelner Fahrzeuge verlieren mit der Zeit an Verlässlichkeit bezüglich ihrer Aussagekraft für die aktuelle Verkehrslage. Für die Ermittlung des Qualitätsindikators für stationäre Detektion lässt sich folgende Gleichung aufstellen:

$$Q\text{-indikator} = 0,5 * \left[\begin{array}{l} \min\left(1, \frac{s}{t_{\text{auf}}}\right) + \\ \min\left(1, \frac{s}{t_{\text{ab}}}\right) \end{array} \right]$$

Mit:

- t_{auf} Zeitraum seit Eingang der letzten Daten des Detektors stromaufwärts in Sekunden.
- t_{ab} Zeitraum seit Eingang der letzten Daten des Detektors stromabwärts in Sekunden.
- s Zeitraum in dem von eine 100-prozentigen Aktualität ausgegangen wird. In der Regel kann hier, aufgrund von minütlich erwarteten Verkehrskenngrößen ein Wert von 60 Sekunden angenommen werden.

Für die streckenbezogene Detektion kann analog eine Gleichung zur Bestimmung eines Qualitätsindikators aufgestellt werden. Grundsätzlich sind aber auch höhergradige Gleichungen zur Beschreibung der Aktualität der streckenbezogenen Eingangswerte herangezogen werden:

$$Q\text{-indikator} = \min\left(1, \frac{s}{t_R}\right)$$

Mit:

- t_R Zeitraum seit Eingang des letzten Reisezeitwertes in Sekunden.

s Zeitraum in dem von eine 100-prozentigen Aktualität ausgegangen wird in Sekunden.

Sonstige Parameter

Auch andere Bedingungen können Einfluss auf die Qualität der Verkehrslageschätzung haben. Als Beispiel kann hier der Verkehrszustand genannt werden. Je nach Verkehrszustand sind manche Verfahren geeigneter als andere. Eine Festlegung von Situationen die einen abgeminderten Qualitätsindikator darstellen hängt sehr stark vom verwendeten Verfahren und den Netzgegebenheiten ab. Die Festlegung dieser Parameter muss daher individuell vom Verkehrsingenieur festgelegt werden.

2.4.4.2 Ersatzwertmodul

Im Ersatzwertmodul werden die Verfahren zur Generierung von Ersatzwerten überprüft. Die Überprüfung erfolgt durch Vergleich der Ersatzwerte mit den real gemessenen Werten, sofern diese vorhanden sind und vom Datenmonitor als plausibel erkannt wurden.

2.4.5 Akzeptanzmonitor

Mit Hilfe des Akzeptanzmonitors wird der Befolgungsgrad der aufgrund der Verfahren geschalteten Strategien überprüft. Ein Ansatz ist der Feedbackmonitor der Informationsplattform [AKTIV, 2007a]. Ziel des Feedbackmonitors ist es, die Informationen aus dem Fahrzeug zur Überprüfung der Akzeptanz aktiver Strategien zu nutzen. Im Gegensatz zu Strategien einer Streckenbeeinflussungsanlage, bei der zum Beispiel Geschwindigkeitsmessungen zur Überprüfung herangezogen werden können, kann eine Überprüfung der Akzeptanz bei Netzbeeinflussungsanlagen kaum durch stationäre Messungen durchgeführt werden. Ein Befolgungsgrad für Routenempfehlungen kann nur ermittelt werden, wenn eine ursprüngliche Originalroute bekannt ist. Durch die Kenntnis des exakten Fahrziels ist diese Route im Fahrzeug bekannt und kann mit der durch die Strategie (z.B. Umleitungsempfehlung) verglichen werden. Bei niedrigen Befolgungsgraden hat der Operator die Möglichkeit rechtzeitig einzugreifen, da er eine weitere wichtige Entscheidungsgrundlage für die Aktivierung bzw. Deaktivierung von Strategien hat.

2.4.6 Module des Wirkungsmonitors

Der Wirkungsmonitor überprüft abschließend die Auswirkungen der Fahrerinformationen, Schaltungen und Strategien auf die Verkehrseffizienz und die Verkehrssicherheit des gesamten Verkehrs.

2.4.6.1 Verkehrseffizienzmodul

Ein Monitoring der Verkehrseffizienz stellt im Endeffekt jede Verkehrslageschätzung bzw. jede Verkehrsmessung dar, also eine Überwachung von Geschwindigkeiten, Kapazitäten und im Besonderen des räumlichen und zeitlichen Verlauf von Verkehrsstörungen. Im Verkehrseffizienzmodul ist es zusätzlich das Ziel, diese Verkehrskenngrößen mit den Ergebnissen aus verkehrsbeeinflussenden und verkehrssteuernden Verfahren zu verbinden, um damit Rückschlüsse auf die Qualität der Ergebnisse dieser Verfahren ziehen zu können.

2.4.6.2 Verkehrssicherheitsmodul

Ein Monitoring der Verkehrssicherheit ist bisher, besonders flächendeckend und in Echtzeit, nicht Stand der Technik. Denkbar ist hier beispielsweise eine Überwachung von Kenngrößen Auffahrzeit (Time to Collision) und Netto-Zeitlücken von Abschnitten mit besonderer Relevanz wie Baustellenzufahrten oder dem Wegfallen einer Fahrbahn. Eine weitere Möglichkeit die sich durch C2X-Kommunikation eröffnet, sind Eingriffe fahrzeuginterner sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme, wie beispielsweise ABS oder ESP. Wichtig ist auch hier eine Verbindung mit den Ergebnissen der verkehrsbeeinflussenden und verkehrssteuernden Verfahren, um Rückschlüsse auf die Qualität der Ergebnisse dieser Verfahren ziehen zu können.

3. Referenzdatenbasis

Zur Verifikation des Prozessmonitorings und zum späteren exemplarischen Nachweis seiner Wirksamkeit werden Referenzdaten benötigt. Zudem wird über diese Referenzdaten eine Analyse der Wirkungen von vom Idealprozess abweichenden Einzelprozessen auf die gesamte Prozesskette innerhalb der Informationsplattform durchgeführt. Die Referenzdaten stellen somit vor allem Material zur Parametrisierung und zur Überprüfung der verkehrstechnischen Ansprüche des Monitoringsystems dar.

Die Referenzdatenbasis wurde ausschließlich mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation erstellt, da für die Parametrisierung der überprüfenden Module eine möglichst genaue Kenntnis der Messfehler benötigt wird. In der Simulation ist gesamte „Wahrheit“ bekannt, da im Gegensatz zur Realität garantiert fehlerfreie Verkehrsdaten generiert werden können. Für die Überprüfung des Monitoringkonzeptes wurden Messfehler in die Simulation implementiert

3.1 Aufbau der Simulationsumgebung

Grundlage für das in der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation verwendete Netz ist das reale AKTIV Testfeld, der Bergstraßen Korridor. Als Programm wird die mikroskopische Verkehrsflusssimulation VISSIM des AKTIV-Partners PTV verwendet. Basis für die Netzabbildung in der Simulation war ein VISSIM Netz dieses Partners. Das Netz umfasst das Autobahnnetz vom Dreieck Darmstadt im Norden bis zum Autobahnkreuz Walldorf im Süden. Im Westen und im Osten ist es von der A61 bzw. A5 begrenzt.

Anschließend wird das Netz auf den Bergstraßenkorridor verkleinert, um den Kalibrierungsaufwand geringer zu halten. Es wird darauf geachtet, dass bereits vorhandene Routen- und Zuflussinformationen erhalten bleiben. Zusätzlich zum Autobahnnetz wird anhand von Kartendaten des Bergstraßenkorridors des AKTIV-Partners TELEATLAS (jetzt TOMTOM) sowie Knotenpunktpläne des AKTIV-Partners der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung die B 426 zwischen den Anschlussstellen Pfungstadt und Darmstadt-Eberstadt hinzugefügt. Außerdem wird der benötigte Bereich südlich bis zur AS Heppenheim vergrößert um so eine Ausweichmöglichkeit über die B460 zu erzeugen.

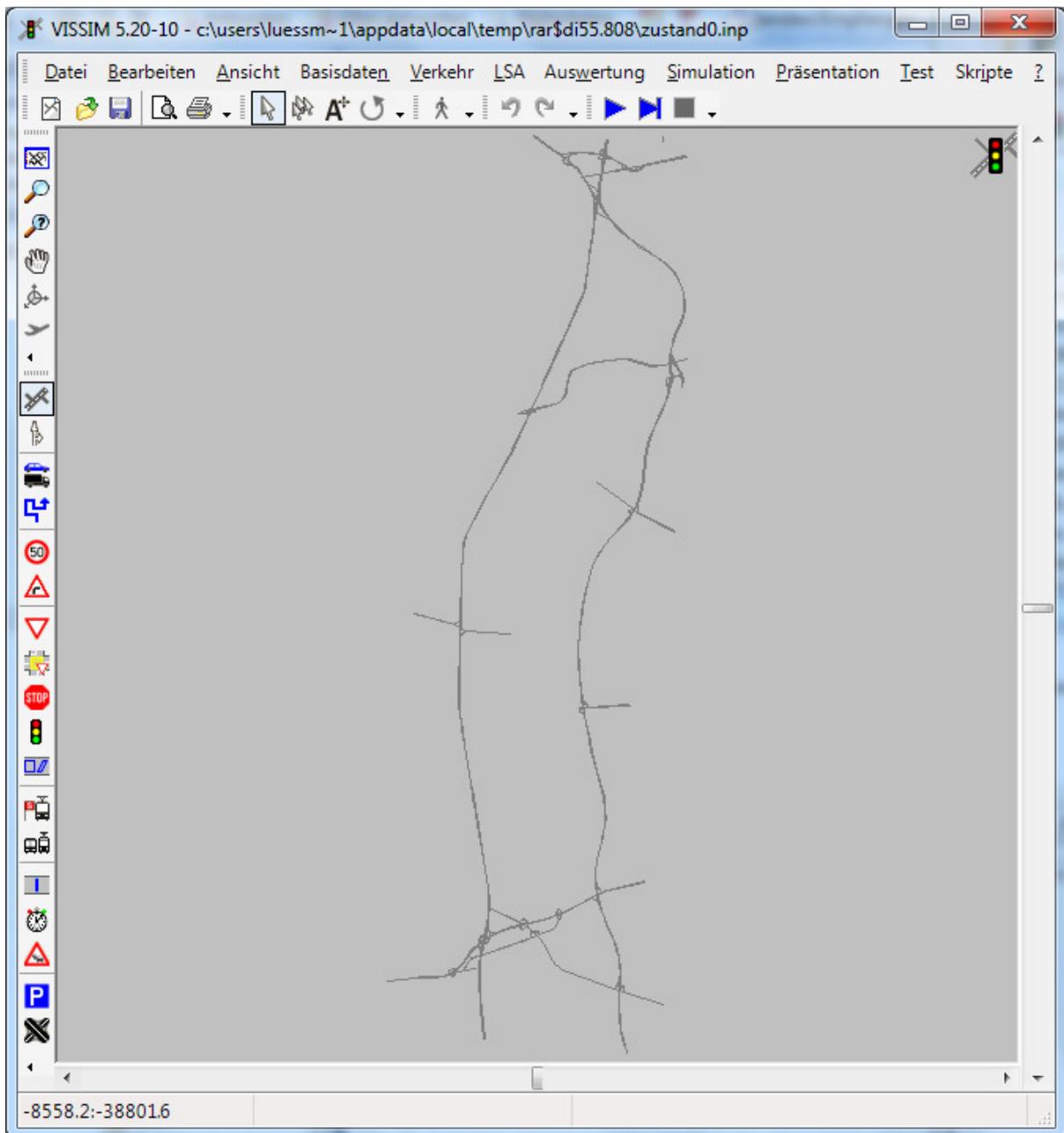


Abbildung 3-1 Netzumfang in der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation VISSIM

In der mikroskopischen Verkehrsflusssimulation VISSIM werden Detektoren durch sogenannte Messquerschnitte repräsentiert. Diese Messquerschnitte werden aufgrund von Lageplänen und Knotenpunktspänen des AKTIV-Partners der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung platziert.

Die Versorgung der Verkehrsnachfrage des Netzes wird aufgrund von Werten der Induktivschleifen im Testfeld, die vom AKTIV-Partner der Hessischen Straßen- und Verkehrsverwaltung stammen, durchgeführt. Zur Verfügung stehen Daten aus den Monaten November und Dezember 2007. Die Verkehrsnachfrage in der Simulation wird in 15 Minutenintervallen für einen ganzen Tag versorgt.

3.2 Kalibrierung

Als Kalibrierungsparameter werden Verkehrsstärke und mittlere Geschwindigkeit getrennt nach PKW und LKW betrachtet.

Für die Auswahl der Daten zur Kalibrierung wird ein Tag mit folgenden Voraussetzungen gesucht:

- An den ausgewählten Tagen soll freier Verkehr als auch Verkehrsstörungen vorliegen. Die Kalibrierung ist nur dann vollständig, wenn auch eine Verkehrsstörung ausreichend gut simuliert wird.
- Tage mit Baustellen, Unfällen und anderen außerordentlichen Ereignissen sollen ausgeschlossen werden. Solche Ereignisse können in der Simulation nur schwer modelliert werden.
- Für die ausgewählten Tage sollten nach Möglichkeit alle Daten vorliegen.

An keinem Tag können die oben genannten Bedingungen vollends erfüllt werden. Zur Kalibrierung werden die Daten vom Montag, den 5. November 2007 verwendet. Auf der A5 (Heidelberg Richtung Darmstadt) ist zwischen Tankraststätte Bergstraße und AS Zwingenberg eine Verkehrsstörung von einem Kilometer Länge vorhanden. Der Tag ist unfallfrei. Es fehlten allerdings Daten zu den Messquerschnitten 7123, 6402 und 6401. Beim Messquerschnitt 7123 wurden die Daten zur Verkehrsstärke und Geschwindigkeit mit dem Mittelwert aller Montage des Untersuchungszeitraumes ersetzt. Beim Messquerschnitt 6402 fehlten die Daten zu den Geschwindigkeiten an allen Tagen, deshalb wurden diese nicht in der Kalibrierung berücksichtigt. Die fehlenden Verkehrsstärken bei Messquerschnitt 6401 wurden mit der Differenz der Querschnitte 7311 und 6402 ersetzt.

In den „Hinweisen zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation [FGSV, 2006b] wird der Root Mean Square Error (RMSE) als übliches Maß für die Beschreibung des Fehlermaßes beschrieben. Der RMSE berücksichtigt große Fehler stärker, als kleine.

Er ist folgendermaßen definiert:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{sim} - x_i^{real})^2}$$

Auskunft über die Größe des Fehlers relativ zum Mittelwert gibt der prozentuale Fehler RMSPE (= Root Mean Square Percent Error):

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i^{sim} - x_i^{real}}{x_i^{real}} \right)^2}$$

Als Kalibrierungsgrößen dienen in der Simulation Wunschgeschwindigkeit und Wunschbeschleunigung von PKW und LKW, sowie das Routenwahlverhalten und Zu- und Abflüsse an undetektierten Zu- und Abfahrten im Netz.

„Für die Beschreibung des Verkehrs in einem großen Netz (zahlreiche Maschen und Alternativrouten pro Quelle-Ziel-Beziehung) fordert die [FHWA, 2004] in ihren Schlussbericht Aktiv-VM

Empfehlungen, dass in mehr als 85 % der simulierten Verkehrsstärken weniger als 15 % Abweichung zwischen Realität und Simulation erreicht werden sollte. Gleiches gilt für die Reisezeiten. In diesem Fall sind dies Durchschnittswerte über eine Stunde. Werden kürzere Zeitintervalle verwendet, ist eher ein größerer Fehler zu erwarten, bei kleineren Netzen hingegen sollte das Ergebnis besser sein.“ [FGSV, 2006b]

Die oben erwähnten Bedingungen konnten für das Netz erreicht werden.

3.3 Implementierung von Detektionsfehlern

Für den Test der Plausibilitätsprüfungen und die damit verbundenen Bestimmung der Abhängigkeiten ist es notwendig Detektionsfehler in bekannter Größe und Dauer zu haben. Hierzu gibt es zwei Ansätze. Entweder wird die von VISSIM ausgegebene Messdatei im Nachhinein verfälscht oder direkt in VISSIM für falsche Zählwerte und Geschwindigkeitsmessungen sorgt. Aufgrund der Echtzeitanwendung des Monitoringsystems wird der zweite Ansatz verfolgt.

Die Versorgung von Zählfehlern in VISSIM erfolgt über zusätzliche Strecken. Um einen positiven Zählfehler zu simulieren wird auf einem Strecken ohne Anbindung an das Netz eine zusätzliche Messstelle platziert. Diese Messstelle wird zusammen mit einer Messstelle auf der wirklichen Fahrbahn als ein Messquerschnitt definiert. Über den Zufluss der zusätzlichen Strecke können nun positive Zählfehler erzeugt werden (linke Abbildung). Negative Zählfehler können ebenfalls über eine zusätzliche Strecke erzeugt werden. Hier ist allerdings eine Verbindung mit dem wirklichen Netz nötig. Über Teilrouten können bestimmte Fahrzeuganteile an der Messstelle vorbeigeleitet werden. Indem die „Umleitung“ sehr kurz gestaltet wird, wird ein allzu großer Einfluss auf den Verkehrsfluss vermieden (rechte Abbildung).

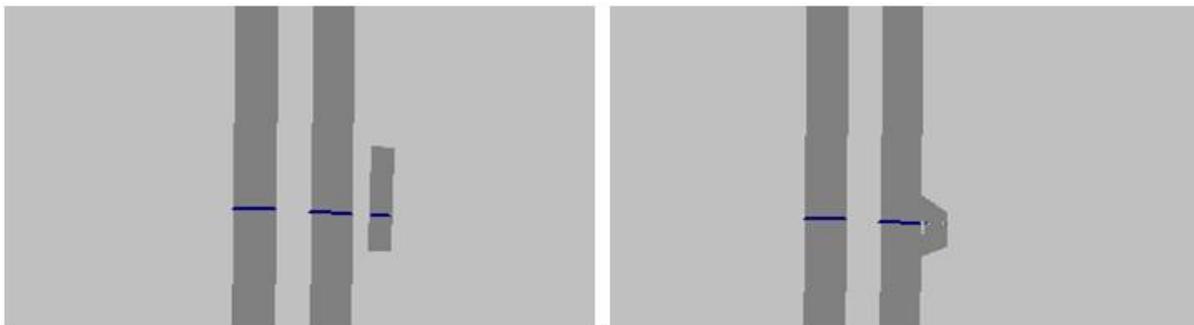


Abbildung 3-2 Modifikation der Simulation zur Generierung von Zählfehlern

Die Versorgung von Fehlern in der Geschwindigkeitsmessung hat denselben Aufbau wie die Versorgung von positiven Zählfehlern. Der Unterschied ist, dass eine neue Fahrzeugklasse erstellt wird, die entweder eine sehr hohe oder eine sehr niedrige Wunschgeschwindigkeit besitzt. Auf diese Weise kann die mittlere Geschwindigkeit mit sehr wenigen Fahrzeugen in der gewünschten Weise beeinflusst werden.

4. Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen und Wirkungsermittlung

Für die Simulation des Gesamtprozesses sind eine Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen sowie eine Kopplung der Simulation an die Plausibilitätsmonitore nötig.

4.1 Auswahl der Plausibilitätsprüfungen

Aufgrund der Vielzahl von möglichen Plausibilitätsprüfungen wird eine Nutzwertanalyse durchgeführt, um diejenigen Prüfungen auszusuchen, die schließlich umgesetzt werden.

4.1.1 Ermittlung der Ziele und Zielgewichte

Für die Bewertung des Lösungsraumes, in diesem Fall der Plausibilitätsprüfungen, ist es notwendig Ziele g_j festzulegen, um Wirkungen der Alternativen nicht monetär zu bewerten. Jedes Ziel wird gemäß der individuellen Wichtigkeit auf einer Skala von beispielsweise 1-5 (5 = Ziel ist sehr wichtig, 4 = wichtig, 3 = mittel wichtig, 2 = weniger wichtig, 1 = marginal wichtig) absolut bewertet. [vgl. KOLISCH, 2005]

Folgende 6 Ziele werden festgelegt:

- Ziel 1: Verfahrensrandbedingungen und Datenverfügbarkeit

Dieses Zielkriterium bewertet, ob die Eingangsdaten bzw. Randbedingungen für das Verfahren im ganzen zu qualitätssichernden Gebiet oder zumindest im überwiegenden Teil dieses Gebietes vorhanden bzw. gegeben sind. Im Allgemeinen ist eine Anwendbarkeit eines Verfahrens für jeden Detektor in Überwachungsgebiet allein schon aus Gründen der Vergleichbarkeit sinnvoll, allerdings nicht zwingend notwendig. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 4.

- Ziel 2: Rechte am Verfahren

Dieses Zielkriterium bewertet, ob das Verfahren verwendet werden kann oder beispielsweise durch Patentrechte geschützt ist. Eine Patentierung schließt eine Nutzung aus. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 5.

- Ziel 3: Kalibrierungsaufwand

Dieses Zielkriterium bewertet den Aufwand, den eine Kalibrierung des Verfahrens benötigt. Hier fließt die Anzahl der Parameter ein, ob diese Parameter für jeden Detektor lokal kalibriert werden müssen oder global kalibriert werden können und ob es bereits Erfahrungen mit der Kalibrierung/Parametrierung gibt. Eine aufwendige Kalibrierung macht ein Verfahren in der Praxis bedienungsaufwendig. Dies kann allerdings in Kauf genommen werden wenn die Ergebnisse dementsprechend gut sind. Der Aufwand sollte in einem annehmbaren Verhältnis zum Nutzen stehen. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 3.

- Ziel 4: Komplexität/Nachvollziehbarkeit

Dieses Zielkriterium bewertet, wie nachvollziehbar ein Verfahren für einen Anwender ist und ob eine hohe Komplexität des Verfahrens die Ergebnisse eventuell verrauschen kann, es also auch wenn das Verfahren verstanden wird nicht mehr eindeutig klar ist, warum das Verfahren einen Fehler meldet. Für den Nutzer ist es in der Regel sinnvoll den Grund für das Erkennen eines Fehlers nachvollziehen zu können, da somit seine Akzeptanz für das Verfahren höher liegen sollte. Dies trifft auf unterschiedliche Nutzergruppen unterschiedlich stark zu. Betreiber brauchen meist genaue Informationen um einen Fehler auch beheben zu können, für andere Nutzer kann es ausreichen nur über den Fehler Bescheid zu wissen um Daten eventuell auszusortieren. Ein direktes Bewerten der Daten ohne Verwendung von Hilfsgrößen oder Modellen ist in der Regel leichter

nachzuvollziehen und birgt auch weniger mögliche Fehlerquellen in sich. Zwingend notwendig ist eine Nachvollziehbarkeit allerdings nicht. Grundsätzlich ist eine Nachvollziehbarkeit durch den Anwender zwar wünschenswert aber nicht zwingend notwendig. Im Zweifel funktioniert die Bewertung der Daten auch als Blackbox. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 2.

- Ziel 5: Trefferquote/Fehleralarmquote

Dieses Zielkriterium bewertet die Treffer- und Fehleralarmquote. Sie ist in jedem Fall von der Parametrierung abhängig. Eine hohe Trefferquote und eine niedrige Fehleralarmquote sind für die Anwendbarkeit eines Verfahrens essenziell. Hilfreich sind hier Erfahrungen aus Untersuchungen oder der täglichen Anwendung sowohl für eine geeignete Parametrierung als auch für die daraus zu erwartende Treffer- und Fehleralarmquote. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 5.

- Ziel 6: Fehlerabgrenzung

Dieses Zielkriterium bewertet, wie gut das Verfahren Fehler gegenüber Verkehrsstörungen abgrenzen kann. Zudem können die einzelnen Plausibilitätsverfahren in der Regel nur eine bestimmte Art von Fehlern erkennen. Durch die Anwendung mehrerer Verfahren und die Fusion der Ergebnisse können Schwächen einzelner Verfahren aber in der Regel ausgeglichen werden. Für die verschiedenen Nutzergruppen ist aber die Möglichkeit der Eingrenzung der Art des Fehlers von unterschiedlicher Bedeutung (für den Betreiber beispielsweise zur Fehlerbehebung sehr hilfreich). Eine Erkennung von Verkehrsstörungen als Fehler ist nicht erwünscht, da besonders in diesen Situationen eine Falschmeldung Folgen hat. Das Ziel erhält eine Zielwichtung von 5.

Das normierte Gewicht eines Ziels ist das Verhältnis des jeweiligen Zielgewichts zur Summe aller Zielgewichte. Die Zielgewichte werden mit folgender Formel normiert:

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_j g_j} \quad [\text{vgl. KOLISCH, 2005}]$$

Daraus ergeben sich für die Zielgewichte in diesem Fall folgende Werte:

Ziel	1	2	3	4	5	6
Wichtung w_j	0,167	0,208	0,125	0,083	0,208	0,208

Tabelle 4-1: Zielgewichte der Nutzwertanalyse

4.1.2 Ermittlung der Ergebniswerte

Im nächsten Schritt wird für jede Alternative bezüglich der gewählten Ziele ein Ergebniswert $e_{i,j}$ ermittelt.

Die Plausibilitätsprüfungen können grob in Gruppen eingeteilt werden. Für die Ermittlung der Ergebniswerte lassen sich für diese Gruppen einige grundsätzliche Aussagen treffen. Eine Ausführliche Begründung für die ermittelten Ergebniswerte für jede Plausibilitätsprüfung findet sich in den Systemspezifikationen [AKTIV, 2009]:

- Plausibilitätsprüfung von Rohdaten:

Hierzu gehören die PL-Checks des California Path Program und die Kontrolle der Fahrzeuglänge. Die Daten für diese Kontrollen sind grundsätzlich in jeder Streckenstation vorhanden, werden aber nicht an die Zentrale übertragen. D.h. eine Implementierung müsste in der Streckenstation geschehen und der Qualitätskennwert müsste mit übertragen werden. Ziel 1, die Verfahrensrandbedingungen und Datenverfügbarkeit sind für diese Prüfungen schwer erreichbar, was sich in den Ergebniswerten widerspiegelt.

- Grenzwertprüfungen:

Hierzu gehören die Plausibilitätsprüfungen der MARZ und des FGSV AK 3.5.20, die Differentialkontrolle, die Wertekontrolle, die Überprüfung des LKW-Anteils und die belegungsabhängige Plausibilitätskontrolle. Diese Verfahren können nur grobe Fehler erkennen. Bei Ziel 3, der Kalibrierung, sind Erkenntnisse zu bisherige Erfahrungen und Anwendungen für eine feine Parametrierung und damit verbundenen Erfolg der Prüfungen wichtig.

- Plausibilitätsprüfungen auf Grundlage historischer Daten:

Zu dieser Gruppe gehören der Fundamentaldiagrammtest, der Ganglinienvergleich, das Fuzzy Clustering und der Fahrstreifenquotient. Grundsätzliche Schwäche dieser Verfahren ist Ziel 6, die Fehlerabgrenzung. Die Verfahren können im Grunde nur erkennen, dass sich die Verkehrskenngrößen im Gegensatz zur Vergangenheit verändert haben. Dies kann, neben Detektionsfehlern allerdings auch verkehrliche Gründe haben. Zudem ist nicht nachzuweisen, ob die dem Verfahren zu Grunde liegenden historischen Daten überhaupt fehlerfrei sind. Dies spiegelt sich in den Ergebniswerten wieder.

- Plausibilitätsprüfungen auf Grundlage von Verkehrsmodellen:

Hierzu gehören die Querschnittsprognose und die Ersatzwertbildung. Wie bei den Verfahren, die auf historische Daten zurückgreifen, ist auch hier die Schwierigkeit gegeben zwischen Verkehrsstörung und Detektionsfehler zu unterscheiden.

- Plausibilitätsprüfungen auf Grundlage der Verkehrsflusstheorie:

Der Gruppe gehören die Querschnittsbilanz, die Querschnittsbilanz für grobe Fehler, Querschnittsbilanz für systematische Fehler, die Kalmansituationsanalyse und das Geschwindigkeitsniveau an. Die Prüfungen greifen auf physikalische Gegebenheiten der Verkehrsflusstheorie zurück.

In folgender Tabelle sind diese Ergebniswerte für alle Plausibilitätsprüfungen zusammengefasst:

$e_{i,j}$	Randbedingungen /Datenverfügbarkeit	Rechte	Kalibrierung	Komplexität	Trefferquote /Fehleralarmquote	Fehlerabgrenzung
PL-Check California Path Program	1	5	3	5	3	4
Kontrolle durch Fahrzeuglänge	1	5	4	5	3	4
MARZ	5	5	5	5	5	5
FGSV AK 3.5.20	5	5	4	5	5	4
Differentialkontrolle	5	5	5	5	5	5
Belegungsabhängige Plausibilitätskontrolle	3	5	2	5	3	5
Fundamentaldiagrammtest	4	5	3	5	2	2
Fuzzy Clustering	4	5	3	5	3	3
Querschnittsprognose	5	4	4	4	4	3
Wertekontrolle	4	5	5	4	3	5
Ganglinienvergleich	4	5	3	4	3	2
Geschwindigkeitsniveau	4	5	5	5	4	5
Fahrstreifenquotient	3	5	2	5	2	5
LKW-Anteil	3	5	3	5	3	5
Ersatzwertbildung	4	5	5	5	3	3
Kalmansituationsanalyse	4	1	1	2	5	5
Querschnittsbilanz	4	5	5	5	5	4
Querschnittsbilanz für grobe Fehler	4	5	5	5	4	4
Querschnittsbilanz für systematische Fehler	4	5	5	5	4	4

Tabelle 4-2: Ergebniswerte (1-5) der Plausibilitätsprüfungen

4.1.3 Ermittlung der Nutzwerte

Für die Ermittlung der Nutzwerte je Ziel $u_{i,j}$ wird eine lineare Nutzwertfunktion angesetzt. Diese Funktion verläuft zwischen dem schlechtesten Ergebniswert $e_{i,\min}$ und dem besten Ergebniswert $e_{i,\max}$ jedes Zieles von 0 bis 1.

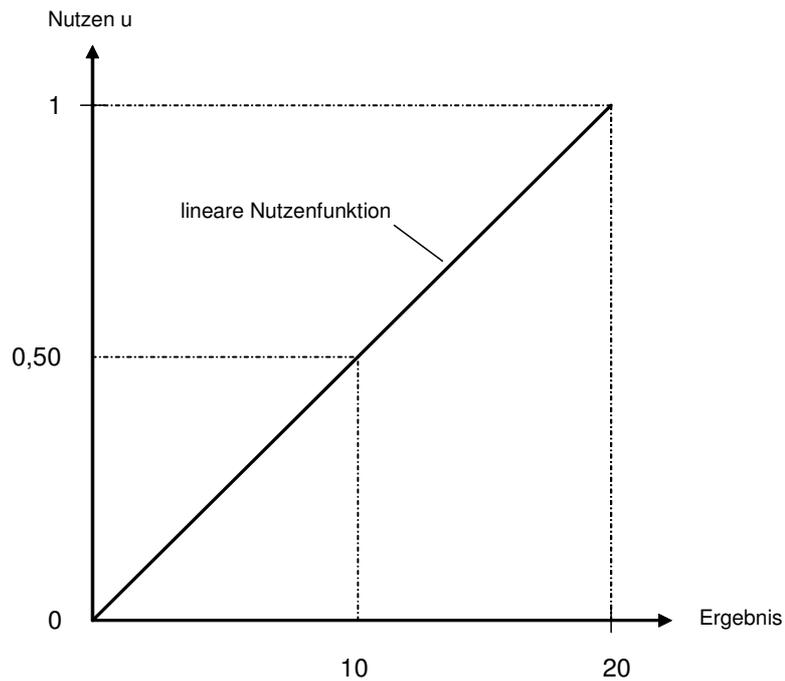


Abbildung 4-1: Lineare Nutzenfunktion (Beispiel)

4.1.3.1 Ermittlung der Nutzwerte je Ziel

Die Nutzwerte je Ziel $u_{i,j}$ werden mit folgender Formel berechnet:

$$u_{i,j} = e_{i,j} * \frac{e_{i,\min}}{(e_{i,\max} - e_{i,\min}) * e_{i,\min}} - \frac{e_{i,\min}}{e_{i,\max} - e_{i,\min}}$$

Mit:

- $u_{i,j}$ Nutzwert der Bedingung i für das Verfahren j
- $e_{i,j}$ Ergebniswert der Bedingung i für das Verfahren j
- $e_{i,\min}$ maximaler Ergebniswert der Bedingung i
- $e_{i,\max}$ minimaler Ergebniswert der Bedingung i

Für die einzelnen Nutzwerte je Ziel $u_{i,j}$ ergeben sich folgende Werte:

$u_{i,j}$	Randbedingungen /Datenverfügbarkeit	Rechte	Kalibrierung	Komplexität	Trefferquote /Fehleralarmquote	Fehlerabgrenzung
PL-Check California Path Program	0,000	1,000	0,500	1,000	0,333	0,667
Kontrolle durch Fahrzeuglänge	0,000	1,000	0,750	1,000	0,333	0,667
MARZ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
FGSV AK 3.5.20	1,000	1,000	0,750	1,000	1,000	0,667
Differentialkontrolle	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Belegungsabhängige Plausibilitätskontrolle	0,500	1,000	0,250	1,000	0,333	1,000
Fundamentaldiagrammtest	0,750	1,000	0,500	1,000	0,000	0,000
Fuzzy Clustering	0,750	1,000	0,500	1,000	0,333	0,333
Querschnittsprognose	1,000	0,750	0,750	0,667	0,667	0,333
Wertekontrolle	0,750	1,000	1,000	0,667	0,333	1,000
Ganglinienvergleich	0,750	1,000	0,500	0,667	0,333	0,000
Geschwindigkeitsniveau	0,750	1,000	1,000	1,000	0,667	1,000
Fahrstreifenquotient	0,500	1,000	0,250	1,000	0,000	1,000
LKW-Anteil	0,500	1,000	0,500	1,000	0,333	1,000
Ersatzwertbildung	0,750	1,000	1,000	1,000	0,333	0,333
Kalmansituationsanalyse	0,750	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
Querschnittsbilanz	0,750	1,000	1,000	1,000	1,000	0,667
Querschnittsbilanz für grobe Fehler	0,750	1,000	1,000	1,000	0,667	0,667
Querschnittsbilanz für systematische Fehler	0,750	1,000	1,000	1,000	0,667	0,667

Tabelle 4-3: Nutzwerte der Plausibilitätsprüfungen

4.1.3.2 Ermittlung des Nutzwertes je Alternative

Der Nutzwert s_i je Alternative errechnet sich nach folgender Formel:

$$s_i = \sum_j w_j \cdot u_{i,j}$$

Mit:

s_i Nutzwert der Alternative i

$u_{i,j}$ Nutzwert der Bedingung i für das Verfahren j

w_j Wichtungsfaktor der Bedingungen

Daraus ergeben sich folgende Nutzwerte für die einzelnen Plausibilitätsverfahren. Die Verfahren sind nach der Detektion von groben und systematischen Fehlern und nach dem Kennwert der Untersuchung sortiert:

s_i	grobe Fehler	Nutzwert	systematische Fehler	Nutzwert
q	MARZ	1,000	Querschnittsbilanz	0,889
	Differentialkontrolle	1,000	Querschnittsbilanz für systematische Fehler	0,819
	FGSV AK 3.5.20	0,899	Wertekontrolle	0,792
	Querschnittsbilanz für grobe Fehler	0,819	Fahrstreifenquotient	0,615
	Belegungsabhängige Plausibilitätskontrolle	0,684	Kalmansituationsanalyse	0,542
	Querschnittsprognose	0,681		
	Ersatzwertbildung	0,681		
	Fuzzy Clustering	0,618		
	Fahrstreifenquotient	0,615		
	Kalmansituationsanalyse	0,542		
	Ganglinienvergleich	0,521		
Fundamentaldiagrammtest	0,479			
	grobe Fehler	Nutzwert	systematische Fehler	Nutzwert
v	MARZ	1,000	Wertekontrolle	0,792
	Differentialkontrolle	1,000	Fahrstreifenquotient	0,615
	FGSV AK 3.5.20	0,899		
	Geschwindigkeitsniveau	0,889		
	Querschnittsprognose	0,681		
	Ersatzwertbildung	0,681		
	Fuzzy Clustering	0,618		
	Fahrstreifenquotient	0,615		
	PL-Check California Path Program	0,563		
	Fundamentaldiagrammtest	0,479		

	grobe Fehler	Nutzwert	systematische Fehler	Nutzwert
Klassifizierung	LKW-Anteil	0,715	LKW-Anteil	0,715
	Kontrolle Fahrzeuglänge	durch 0,594	Kontrolle Fahrzeuglänge	durch 0,594

Tabelle 4-4: Nutzwerte je Alternative

Für die Umsetzung der Alternativen werden nur Verfahren in Betracht gezogen die einen bestimmten Nutzwert überschreiten. Dieser Nutzwert wurde mit 0,66 festgelegt.

4.2 Umsetzung

Im Gegensatz zu den meisten Auswertungsdateien ist es für Messquerschnitte nicht möglich diese direkt in eine Datenbank zu schreiben. Die Umsetzung der Anbindung an VISSIM und die Umsetzung der Plausibilitätsprüfungen erfolgt in JAVA. Im ersten Schritt der Umsetzung werden daher die von VISSIM in eine Textdatei geschriebenen Daten der Querschnittsmessung in einer MySQL-Datenbank gesichert. Das Programm überprüft dabei regelmäßig ob neue Daten vorliegen.

Die MySQL-Datenbank hat folgende Struktur:

- DetektorID
- Von Sekunde
- Bis Sekunde
- Verkehrsstärke Kfz q_{Kfz}
- Verkehrsstärke Lkw q_{Lkw}
- Verkehrsstärke Pkw q_{Pkw}
- Mittlere Geschwindigkeit Kfz v_{Kfz}
- Mittlere Geschwindigkeit Lkw v_{Lkw}
- Mittlere Geschwindigkeit Pkw v_{Pkw}
- Belegungsgrad b
- Nettozeitlücke t_n

Für Daten die nicht in der Messdatei vorliegen bleibt der Inhalt in der Datenbank leer.

Anschließend greifen die Plausibilitätsprüfungen auf die MySQL-Datenbank zu. Die Parametrierung der Plausibilitätsprüfungen erfolgt über Textdateien. Für jede Plausibilitätsprüfung wird ein Wert als Metainformation der Plausibilität in die Datenbank geschrieben.

id	von	bis	qKfz	qLkw	qPkw	vKfz	vLkw	vPkw	belegung	nettozeitluecke	valid	marz	fgsv	diffkont	querschng	direction
A05_001N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_001N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_002N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_002N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_003N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_003N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_004N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_004N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_005N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_005N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_006N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_006N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_007N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_007N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_008N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_008N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_009N_0m__DE 001	1279714171608	1279714231608	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N
A05_009N_0m__DE 002	1279714171608	1279714231608	2	1	1	126	114	137	1	0	1	1	1	1	1	N

Abbildung 4-2: MySQL-Datenbankstruktur

4.3 Wirkungsermittlung

Durch die Simulation und der damit verbundenen Erzeugung von realistischen Verkehrsdaten können die Plausibilitätsprüfungen parametrisiert und kalibriert werden. Die Indikatoren der einzelnen Plausibilitätsprüfungen werden anschließend in einer Ergebnisfusion zu einem Qualitätsindikator des Datenmonitors zusammengefasst werden.

Aus den Erkenntnissen der Simulation ergibt sich folgender Ansatz für eine Ergebnisfusion der Ergebnisse der einzelnen Plausibilitätsprüfungen. Hierbei wird auf die Gruppierung der Plausibilitätsprüfungen aus der Nutzwertanalyse Bezug genommen:

$$Q - \text{indikator} = QI_{G1} * QI_{Gn} * \left(\frac{a * QI_{H1} + b * QI_{Hn} + c * QI_{M1} + d * QI_{Mn} + e * QI_{V1} + f * QI_{Vn}}{n} \right)$$

- Q_G Qualitätsindikator einer Grenzwertprüfung
- Q_H Qualitätsindikator einer Plausibilitätsprüfung auf Grundlage historischer Daten
- Q_M Qualitätsindikator einer Plausibilitätsprüfung auf Grundlage von Verkehrsmodellen
- Q_V Qualitätsindikator einer Plausibilitätsprüfung auf Grundlage der Verkehrsflusstheorie
- a, b, ... Wichtungsfaktoren
- n Anzahl der fusionierten Qualitätsindikatoren (mit Ausnahme der Grenzwertprüfungen)

Die Fusionierung der Ergebnisse der einzelnen Plausibilitätsprüfungen sollte für jede Verkehrskenngröße (Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, Klassifizierung) einzeln erfolgen, da nicht zwingend alle Werte eines Detektors unplausibel sein müssen.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass Grenzwertprüfungen immer eine sehr grobe Überprüfung darstellen. Daher sollte ein in den Grenzwertprüfungen als unplausibel erkannter Wert auch nach einer Fusion unplausibel sein.

Die übrigen Plausibilitätsprüfungen zeigen je nach Netz und Verkehrssituation teilweise eine unterschiedliche Wirksamkeit im erkennen von Detektionsfehlern. Daher ist es sinnvoll diese dementsprechend zu wichten.

Da die meisten Plausibilitätsprüfungen nur einen Wert von 0 oder 1 generieren können hat es als wirksam erwiesen, ein und dasselbe Verfahren parallel mit unterschiedlichen Parametersätzen laufen zu lassen umso mehrere Plausibilitätsniveaus prüfen zu können. Mit der Fusion dieser Qualitätsindikatoren lässt sich so eine feinere Abstufung erreichen.

5. Literaturverzeichnis

Bisher erfolgte Veröffentlichungen:

Busch, F.; Lüßmann, J.: Prozess- und Qualitätsmonitoring in Verkehrsinformationszentralen - Anforderungen, Konzept, Umsetzung im Projekt AKTIV-VM. Fachtagung "Verkehrsmanagement und Verkehrstechnologien", Halle/Saale, 20./21.Mai 2008.

Dinkel, A.; Lüßmann, J.; Spangler, M.: Qualitätssicherung für streckenbezogene Verkehrsdaten - Aufbau eines Monitoringsystems. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.), HEUREKA '08 "Optimierung in Verkehr und Transport" - Tagungsdokumentation, FGSV Verlag, Köln, ISBN 978-3-939715-48-1, 2008.

Verwendete Literatur:

AKTIV: Vorhabensbeschreibung, Projekt Aktiv-VM Adaptive und kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement, 2006.

AKTIVa: Systemarchitektur, Projekt Aktiv-VM Adaptive und kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement, 2007.

AKTIVb: Use Cases, Projekt Aktiv-VM Adaptive und kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement, 2007.

AKTIVc: Verfahrensgüte, Projekt Aktiv-VM Adaptive und kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement, internes Dokument, 2007.

AKTIV: Spezifikation der Module der stationären Detektion, Projekt Aktiv-VM Adaptive und kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr – Verkehrsmanagement, internes Dokument, 2009.

Bell, M.; Shield, C.; Busch, F.; Kruse, G.: Stochastic User Equilibrium Path Flow Estimator. Transportation Research, Part C, Vol. 5, Nr. 3/4, 1997.

Belzner, H.: Entwicklung eines hybriden Modells zur Kurzfristprognose des Verkehrszustands, Diplomarbeit, TU München – Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, 2002.

- Bullinger, H.-J.; Warnecke H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen – Ein Handbuch für das moderne Management, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 1996.
- Busch, F.: Spurbelastung und Häufigkeit von Spurwechseln auf 3-spurigen Autobahnen, Straßenverkehrstechnik, Heft 6, 1984.
- Busch, F.; Ghio, A.: Automatic Incident Detection on Motorways by Fuzzy Logic. Proc. Traffic and Transport Solutions, Amsterdam, 1994.
- Busch, F.; Ghio, A.; Cremer, M.; Henninger, T.: Dynamische Schätzung des Verkehrszustands auf Autobahnen – ein modellbasierter Filteransatz. Sonderveröffentlichung der Siemens AG, München, 1994.
- Busch, F.; Ghio, A.; Cremer, M.; Henninger, T.: Verfahren zur Ermittlung von Verkehrsinformationen, Erfindungsmeldung, 1998.
- Busch, F.; Dinkel, A.; Leonhardt, A.; Ziegler, J.; Kirschfink, H.; Peters, J.: Benchmarking für Verkehrsdatenerfassungs- und Verkehrssteuerungssysteme, Herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehrs, Bau und Stadtentwicklung, Heft 949. Bonn, 2006.
- Chrobok, R.: Statische Analyse von Zählschleifen als Methode zur Verkehrsprognose, Diplomarbeit, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, 2000.
- Cremer, M.: Der Verkehrsfluß auf Schnellstraßen. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1979.
- Daganzo, C.: The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic. Transportation Research Part B, Vol. 29, Nr. 2, 1995.
- DIN EN ISO 9000 ff.: Qualitätsmanagementsysteme, Beuth Verlag, Berlin, 2006.
- Eid, J.: Entwicklung und Analyse eines Verkehrsinformationsalgorithmus zur grafischen Anzeige des Verkehrszustands im Rahmen der MOBINET-Maßnahme Ring-Info. Diplomarbeit am Fachgebiet für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, 2001.
- Ehmke, J.; Meisel, S.: Charakterisierung des städtischen Straßenverkehrs mit Floating Car Data und Data Mining. Straßenverkehrstechnik 10/2008, Kirschbaumverlag, Bonn, 2008.
- Federal Highway Administration: Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software. Report FHWA-HRT-04-040, Washington, D.C., 2004.
- Ferk, H.: Geschäfts-Prozessmanagement, ganzheitliche Prozessoptimierung durch die Cost-driver-Analyse, Vahlen, München, 1996.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Hinweise zur Datenvervollständigung und Datenaufbereitung in verkehrstechnischen Anwendungen, Köln 2003.

- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV): Hinweise zur Qualitätsanforderung und Qualitätssicherung der lokalen Verkehrsdatenerfassung für Verkehrsbeeinflussungsanlagen, Köln, 2006.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation, FGSV Verlag, Köln, 2006b.
- Freudenberger, P.: Analyse von Schleifendetektoren und Entwicklung von Methoden zur Plausibilitätsprüfung, Diplomarbeit am Fachgebiet für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, 2001.
- Frischeisen, F.; Denaes, S.: Automated Quality Control of Traffic Data Acquisition, ITS in Europe, Budapest, 2004
- Heidemann, D.: Distribution of Traffic to the Individual Lanes on Multilane Unidirectional Roadways, 2nd International Symposium on Highway Capacity, 1994.
- Hoops, M.: Methodik zur Qualitätssicherung von aggregierten Daten eines Messsystems im Betrieb von verkehrstechnischen Anlagen, Schriftreihe des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München, Heft 2, München, 2007.
- Huber, W.: Fahrzeuggenerierte Daten zur Gewinnung von Verkehrsinformation, Veröffentlichung des Fachgebiets Verkehrstechnik und Verkehrsplanung der Technischen Universität München, München, 2001.
- Ishak, S.: Quantifying Uncertainties of Freeway Detector Observations using Fuzzy-Clustering Approach, Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting, Washington, D.C., 2002.
- ISO/TR 21707: Intelligent Transport Systems – Integrated Transport Information, Management and Control – Data Quality in ITS Systems.
- Janko J.: Probleme der Reisezeitprognose in einem Leitsystem für den Straßenverkehr, Universität Berlin, Dissertation, 1994
- Kolisch, R.: Vorlesungsunterlagen „Management Science“ der TU München, Lehrstuhl für Technische Dienstleistungen und Operations Management, Wintersemester 2003/04, München, 2005.
- Kurz, F.; Charmette, B.; Suri, S.; Rosenbaum, D.; Spangler, M.; Leonhardt, A.; Bachleitner, M.; Stätter, R.; Reinartz, P.: Automatic traffic monitoring with an airborne wide-angle digital camera system for estimation of travel times. PIA07, Photogrammetric Image Analysis, Munich, 2007.
- Lagger, A.; Müller, K.: Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des Verkehrszustandes eines Verkehrsabschnittes, Erfindungsmeldung, 1999.
- Leonhardt, A.: Ein Instanzbasiertes Lernverfahren zur Prognose von Verkehrskenngrößen unter Nutzung Räumlich-Zeitlicher Verkehrsmuster, Schriftreihe des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München, Heft 9, München, 2008.

- Leutzbach, W.; Sparmann, U.: Spurwechsel auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen, Forschungsauftrag F.A. 1.026 G 75 H des Bundesministers für Verkehr, Karlsruhe, 1977.
- Lighthill, M.; Whitham, G.: On kinematic waves – II. A theory of traffic flow on long crowded roads. Proceeding of the Royal Society, London, Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 229, No. 1178, Mai 1955
- Logi, F.; Ullrich, M.: The Dynamic Network Model DINO: Documentation. Arbeitspapier, Fachgebiet Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, 2001.
- Maier, F.: Abschnittsweise Regressionsanalyse zur Schätzung von Verkehrskenngrößen, Schriftreihe des Lehrstuhls für Verkehrstechnik der Technischen Universität München, Heft 13, München, 2010.
- MARZ: Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen, Bundesanstalt für Straßenwesen, 1999.
- Mathias, P.: Statische und dynamische Verkehrsumlegung mit Rekurrenten Neuronalen Netzen. Dissertation an der RWTH Aachen, 1999.
- May, A.; Coifman, B.; Cayford, R.; Merritt, G.: Automatic Diagnostics of Loop Detectors and the Data Collection System in the Berkeley Highway Lab, California PATH Research Report, 2004
- May, A.; Coifman, B.; Cayford, R.; Merritt, G.: Berkeley Highway Laboratory Project: Final Report, California PATH Research Report, 2005
- Spangler, M., Grötsch, M.: Analyse des Hauptverkehrsstraßennetzes in München -Konzept zur Generierung von zuverlässigen Verkehrslageinformationen auf der Basis von Reisezeiten-. Projektendbericht, im Auftrag der BMW Group, München, 2006.
- Nagel, K.; Schreckenberg, M.: A cellular automaton model for freeway traffic. Journal de Physique I 2, Les Ulis Cedex A, 1992.
- Nihan, N.; Davis, G.; Bender, J.: Freeway Data Storage and Loop Detector Validity, Final Report, Washington, 1990.
- Nihan, N.; Wong, M.: Improved Error Detection Using Prediction Techniques and Video Imaging, Final Technical Report, Washington, 1995.
- Peeta S., Anastassopoulos: Automatic real-Time Detection and Correction of Erroneous Detector Data using Fourier Transformation for Online Traffic Control Architectures, 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2002.
- Peters, J.-C.: Qualitätsüberwachung und Mustererkennung verkehrstechnischer Zeitreihendaten, Vortrag zur HEUREKA, 2005.
- Sachse, T.: Ein Qualitätsindikator für Zählwerte von Verkehrsdetektoren, Erfindungsmeldung, 2004.
- Schnabel, W.; Lohse, D.: Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung – Band 1. Verlag für Bauwesen, Berlin 1997.

- Spangler, M.: Reisezeitbasierte Verfahren für die Verkehrszustandsanalyse von städtischen Hauptverkehrsstraßen. Dissertation am Lehrstuhl für Verkehrstechnik, Technische Universität München, 2009.
- Steinhoff, C.: Online Bewertung der Akzeptanz und der Wirksamkeit präventiver Schaltungen von Streckenbeeinflussungsanlagen auf Autobahnen, Dissertation am Fachgebiet für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, 2003.
- Thomas, N.E.: Multi-state and multi-sensor incident detection systems for arterial streets. Transportation Research Part C, Vol. 6 (1998), Nr. 5/6, 1998.
- TLS: Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2002.
- Tonndorf, J.: Entwicklung und Bewertung von Methoden zur Plausibilitätsprüfung von Detektordaten im Autobahn-Bereich, Diplomarbeit am Fachgebiet für Verkehrstechnik und Verkehrsplanung, Technische Universität München, 2002.
- Transver: Anwenderseminar „Qualitätssicherung von Verkehrsdaten und Streckenbeeinflussungsanlagen“, München, 2007
- Turner, S.: Defining and Measuring Traffic Data Quality, Traffic Data Quality Workshop, www.its.dot.gov/JPODOCS/REPTS_TE/doc/DefiningMeasuringDQ.doc, Washington, 2002.
- Vortisch, P.: Modellunterstützte Messwertpropagierung zur Verkehrslageschätzung in Stadtstraßennetzen. Dissertation am Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 2006.
- Vortisch, P.; Ortgiese, M.: Vom Stau zur Verkehrsinformation – Datenfusion als Teil eines Gesamtprozesses. at – Automatisierungstechnik 53 (2005), Oldenbourg Verlag, 2005.
- Wagner K.W. (Hrsg.): PQM – Prozessorientiertes Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag, München 2006.
- Wiedemann, R.: Simulation des Straßenverkehrs. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, 1974.
- Wu, N.: Equilibrium of Lane Flow-Distribution on Motorways, Transportation Research Record, 1965 (06-0287), National Research Council, Washington, D.C., USA, 2006.
- Zackor, H.; Herkt, S: Kurzzeitprognose von Verkehrsströmen auf Grundlage aktueller Querschnittsmessungen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 313, 1980.