Daten erfassen und interpretieren, Informationen vervollständigen, Verkehr managen

Ein Einblick in die Werkstatt aktueller Forschung
an Intelligenten Verkehrssystemen

Fritz Busch
Lehrstuhl für Verkehrstechnik
Technische Universität München

Zürich, 17.02.2009

Agenda

- Kontext
- Struktur Intelligenter Verkehrssysteme
- Daten erfassen und interpretieren
- Informationen vervollständigen
- Verkehr managen
- Fahrzeug-X-Kommunikation
- Qualität in der Verkehrstechnik
- Hemmnisse und Handlungserfordernisse

Kontext …

… Die Welt des Verkehrs verändert sich

MOBILITÄT und GESELLSCHAFT
- Verhalten und Demographie
- Verfügbarkeit, Erreichbarkeit des Verkehrssystems
- Re-Urbanisierung ⇔ regionale Räume
- Internationalisierung, Globalisierung
- Energie und Umwelt

Mobilität: mehr denn je zentrales Element im menschlichen Leben, die Erwartungen Einzelner und der Gesellschaft sind hoch.

VERKEHRS-SYSTEM
- Neue Technologien und Funktionalitäten
- Zunehmende System-Komplexität
- Zunehmendes system-internes Wissen
- Zunehmende Innovationsgeschwindigkeit
- Große Vielfalt, große installierte Basis, Inkompatibilität

Vielseitigkeit / Komplexität der Verkehrs-Systeme nehmen zu. Neue Funktionalität fordert neue Fähigkeiten, sie einzusetzen.

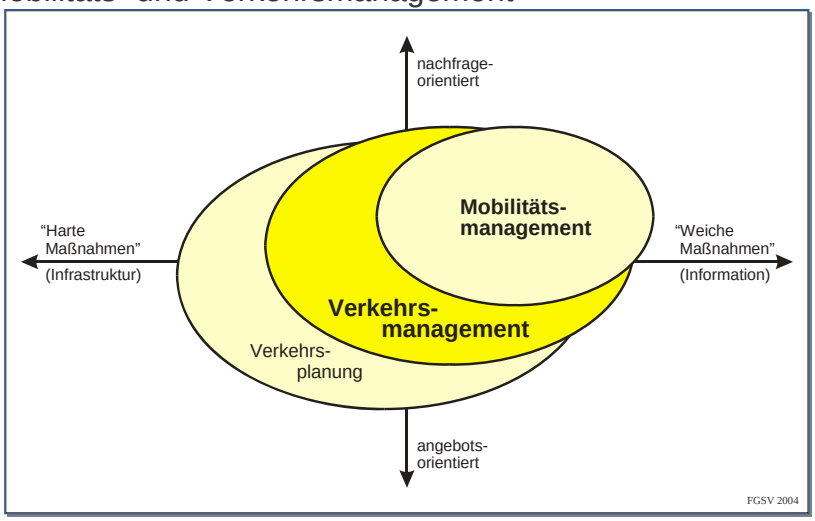
MARKT
- Der Wettbewerb nimmt (nicht nur auf der Schiene) zu.
- Neue Interessenvertreter betreten die 'Szene'.
- Neue Dienste für Mobilität und Verkehr entstehen.
- Mobilitäts- und 'Consumer'-Angebote verschmelzen.
- Effektive Mobilität: ein Schlüsselfaktor der Wirtschaft.

Der Markt der Verkehrsdienste wird vielseitiger, konsumorientierter und vermehrt wettbewerbsgetrieben.

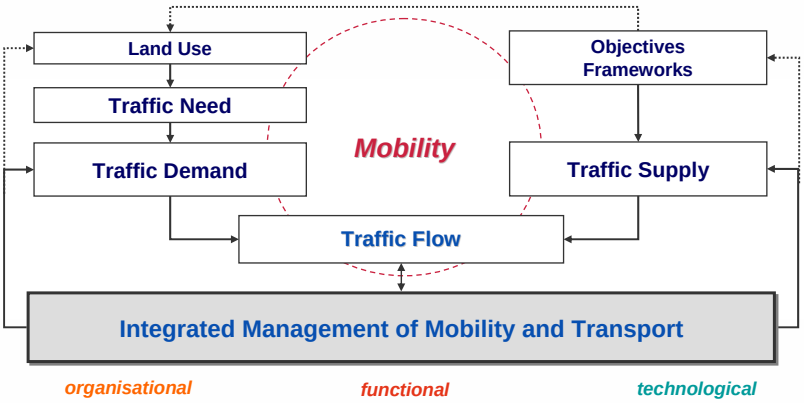
HERAUSFORDERUNGEN und RISIKEN
- Informationsüberflutung ⇔ Kompetenzverlust
- Finanzierung und Eigentum
- Verantwortung und Haftung
- Systemsicherheit und Daten-Schutz
- Daten- und Maßnahmen-Konsistenz

Die Welt des Verkehrs wird komplizierter, vielfältiger und anspruchsvoller; neue Fragen entstehen.

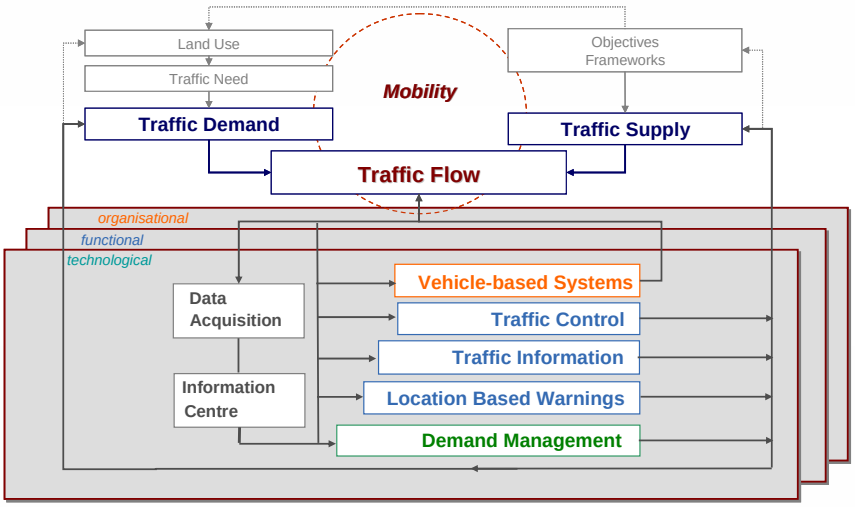
Mobilitäts- und Verkehrsmanagement



Mobilitäts- und Verkehrsmanagement



Mobilitäts- und Verkehrsmanagement



Aufgabenteilung

Infrastructure		Vehicle
Data Acquisition		Data Acquisition
Interpretation/Algorithm		Interpretation/Algorithm
… Information	driver decis-ion	… Information
… Warning		… Warning
… Guidance		… Support/ Guidance
… Control	need for action	… Intervention

Objectives	collective	system ⇔ user optimum	individual

Aufgabenteilung ➔ Kooperation durch C2X

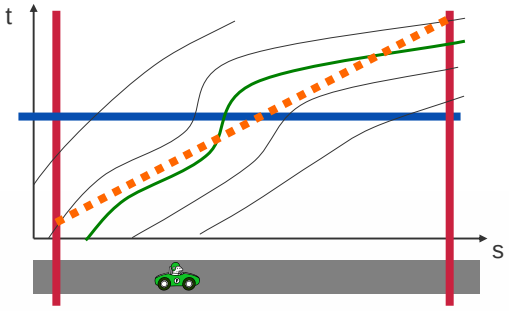
Data exchange generates benefits for the needs of both sides:

Infrastructure	Vehicle
Data Acquisition	Data Acquisition
Interpretation/Algorithm	Interpretation/Algorithm
… Information	… Information
… Warning	… Warning
… Guidance	… Support/ Guidance
… Control	… Intervention

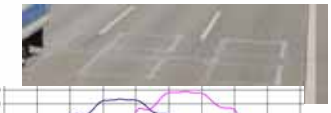
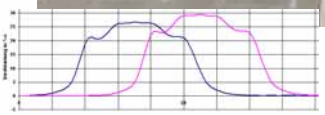
Objective	collective	individual
	traffic efficiency	travel time reduction - mobility
	traffic safety	safety
	emissions	fuel consumptions

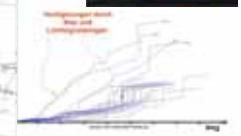
Datenerfassung

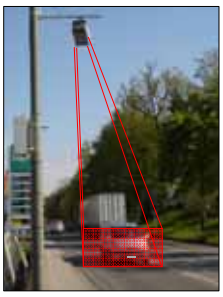
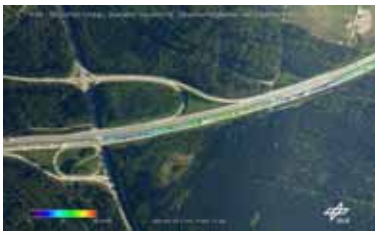
- **Ziel**
  - Möglichst umfangreiche und genaue Information über den Ist-Zustand
  - Grundlage für Datenarchive (Verfahrensentwicklung, Verkehrsmuster)
- **Relevante dynamische Daten**
  - Verkehrsdaten
  - Umfelddaten
- **Erfassungsarten**
  - Infrastrukturbasiert
    - lokal querschnittsbezogen
    - lokal streckenbezogen
  - Fahrzeugbasiert
  - Momentan (z.B. aus Luftbild)
- **Herausforderungen**
  - Plausibilität
  - Verfügbarkeit



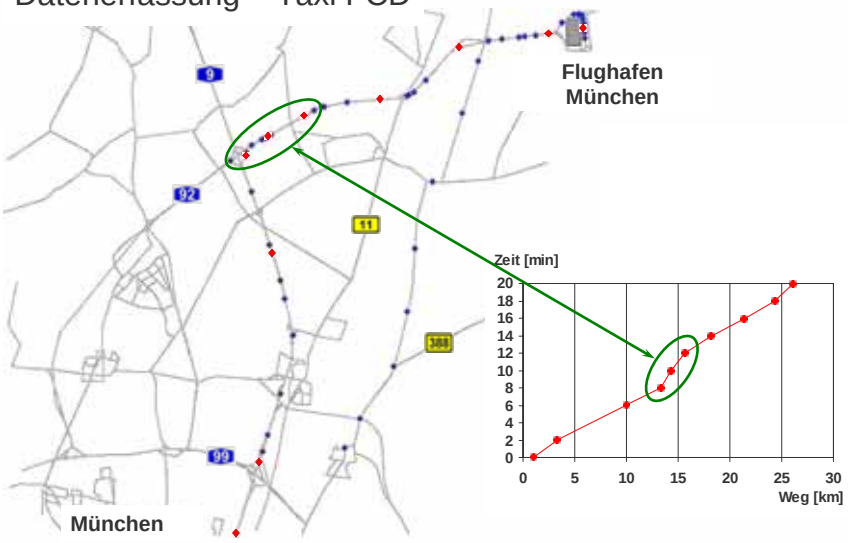
Datenquellen

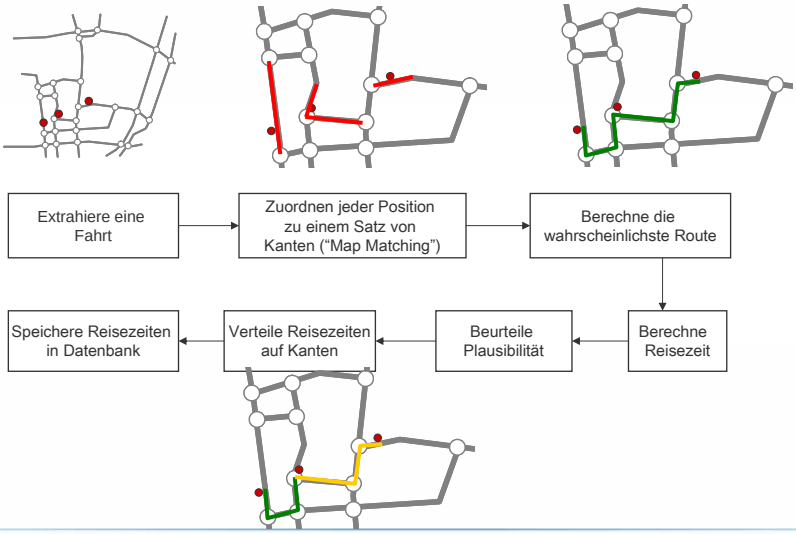


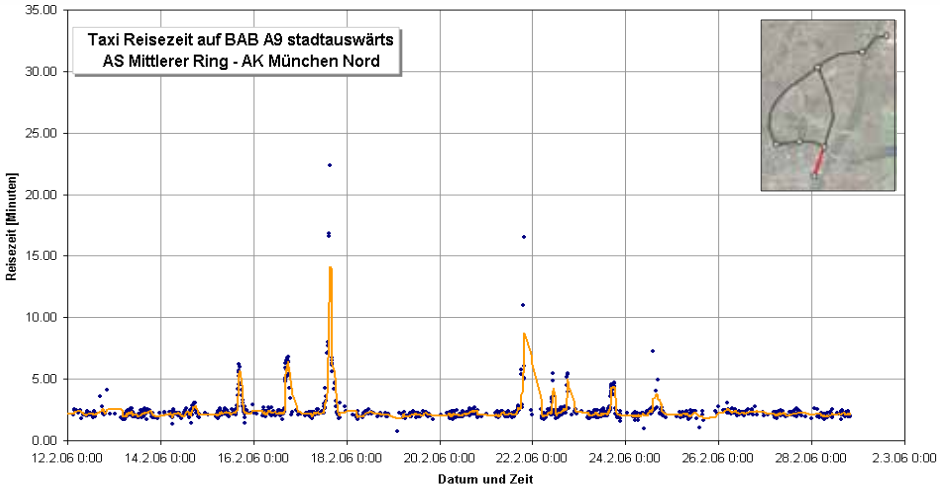
Datenerfassung – Taxi FCD



Datenerfassung – Taxi FCD: Welche Route gilt?

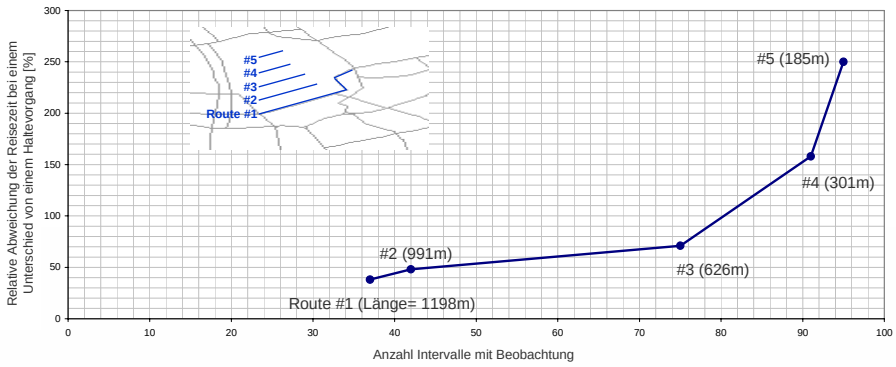


Datenerfassung – Taxi FCD: Ausreißerproblematik



Datenerfassung – Taxi FCD: Routenlänge – Beobachtungshäufigkeit

Welchen Einfluss hat ein Haltevorgang auf die Genauigkeit?



Datenerfassung – Taxi FCD

Anwendung: FCD Server Guangzhou

Herausforderungen

- große Menge verfügbarer Daten
- Mehr als 10.000 gleichzeitig bewegte Taxifahrzeuge (Meldung mehrmals pro Minute)
- Entwicklung intelligenter Algorithmen zur Echtzeitverarbeitung

Projektziel

- Aussagekräftige Verkehrslage in der südchinesischen Stadt Guangzhou (Kanton)

Datenerfassung – Taxi FCD

Anwendung: FCD Server Guangzhou

Online Verkehrslage unter http://traffic.96900.com.cn/

Datenerfassung – RBL-Daten

Characteristic

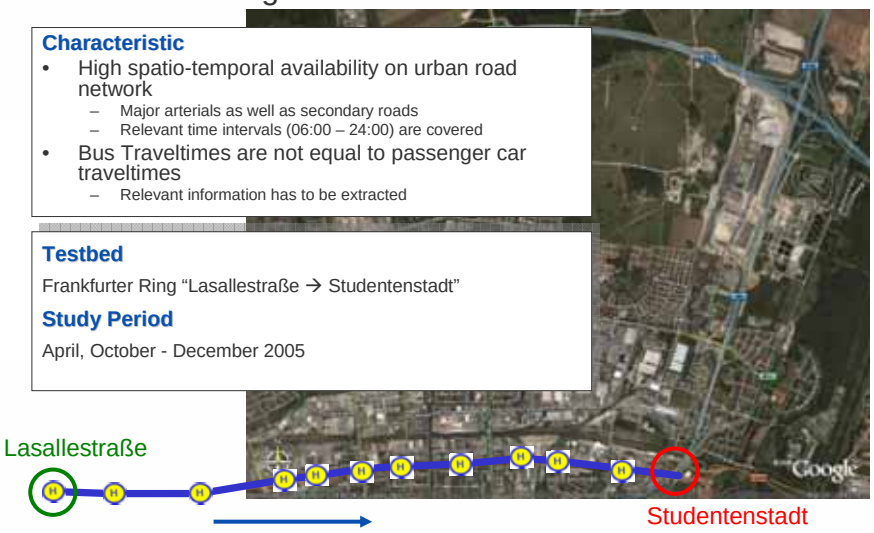
- High spatio-temporal availability on urban road network
  - Major arterials as well as secondary roads
  - Relevant time intervals (06:00 – 24:00) are covered
- Bus Traveltimes are not equal to passenger car traveltimes
  - Relevant information has to be extracted

Testbed

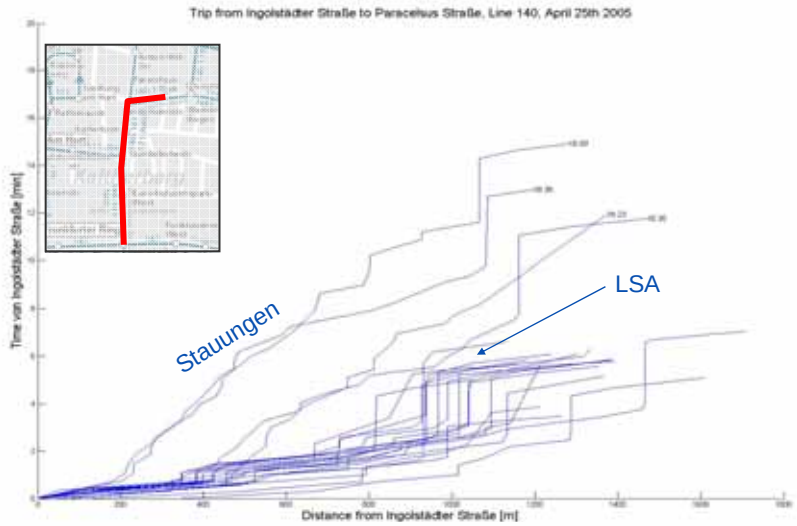
Frankfurter Ring "Lasallestraße → Studentenstadt"

Study Period

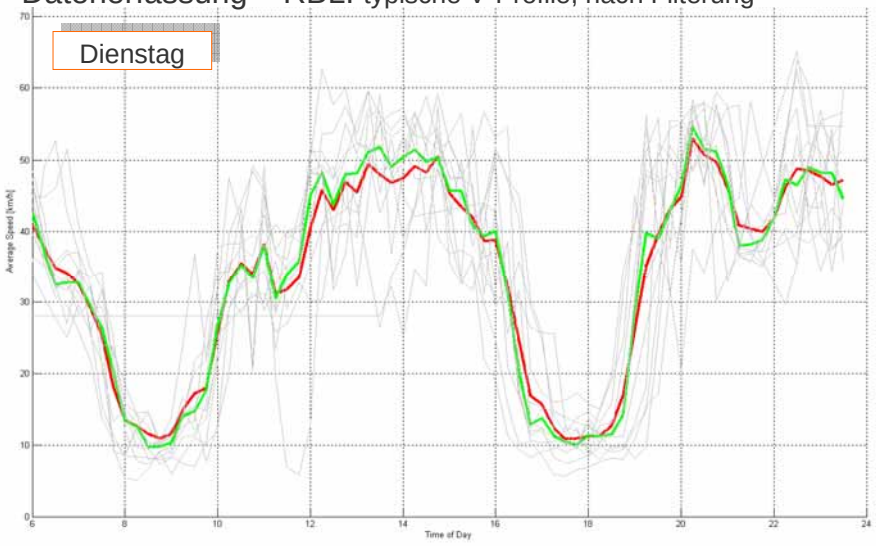
April, October - December 2005



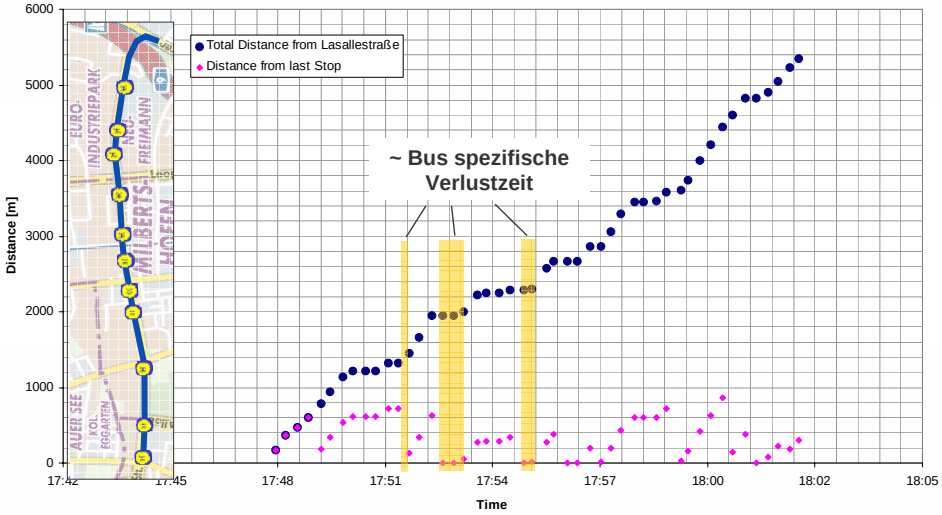
Datenerfassung – RBL-Daten: Variabilität hat verschiedene Ursachen



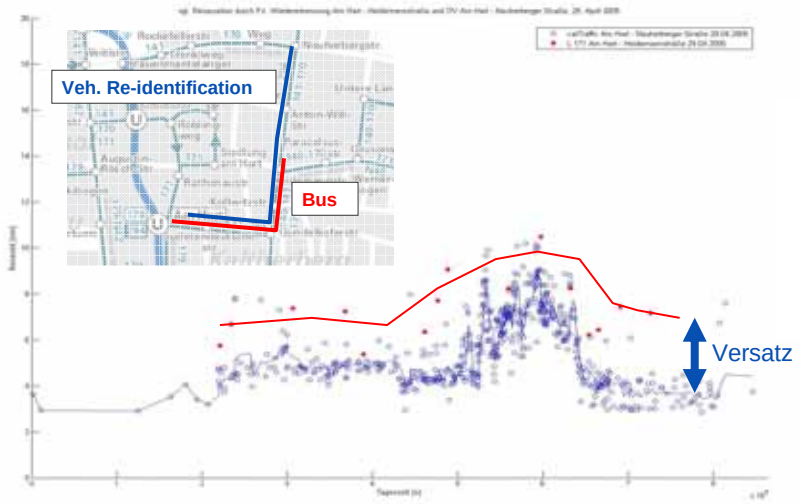
Datenerfassung – RBL: typische V-Profile, nach Filterung



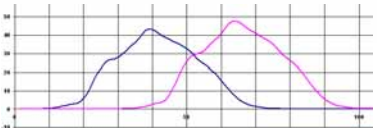
Datenerfassung – RBL-Daten: Reisezeiten aus Fz. Trajektorien



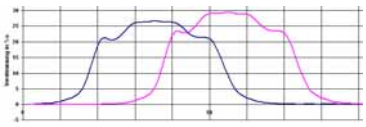
Datenerfassung – RBL-Daten: Gegenüberstellung zu MIV-Daten



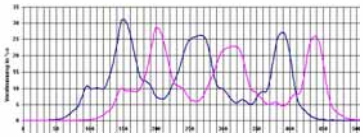
Datenerfassung – Fahrzeugwiederkennung



Signatur eines Pkw über einer Doppelschleife



Signatur eines Lieferwagens über einer Doppelschleife



Signatur eines Sattelschleppers über einer

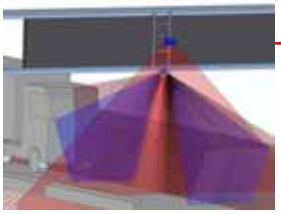
ISAR – Fahrzeugwiedererkennung auf Basis von Induktivschleifensignaturen

Erhobene Schleifendaten:

- Fahrzeugzählung
- Geschwindigkeit (Doppelschleife)
- Fahrzeuglänge (Doppelschleife)
- Signaturen für Klassifizierung und Fahrzeugwiedererkennung

Datenerfassung – Fahrzeugwiederkennung

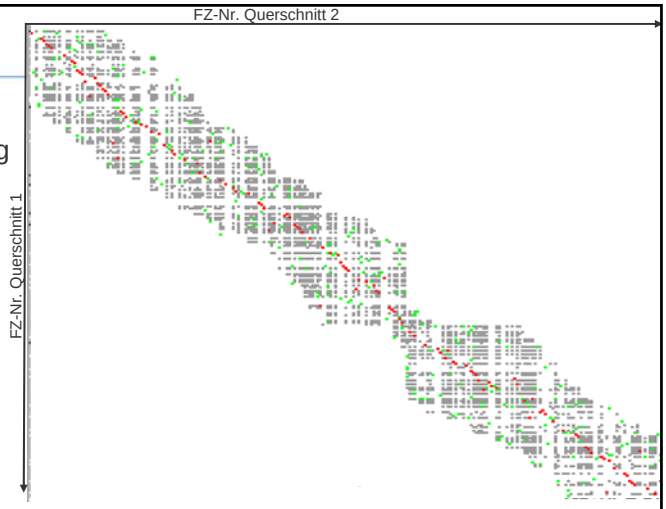
- Quelle: Jeder Detektor, der einen „Fingerabdruck“ (mehr oder weniger detailliert) hinterlässt,
- z.B. Laserdetektoren, Schleifen



Datenerfassung – Fahrzeugwiederkennung

Filterungsprozess:

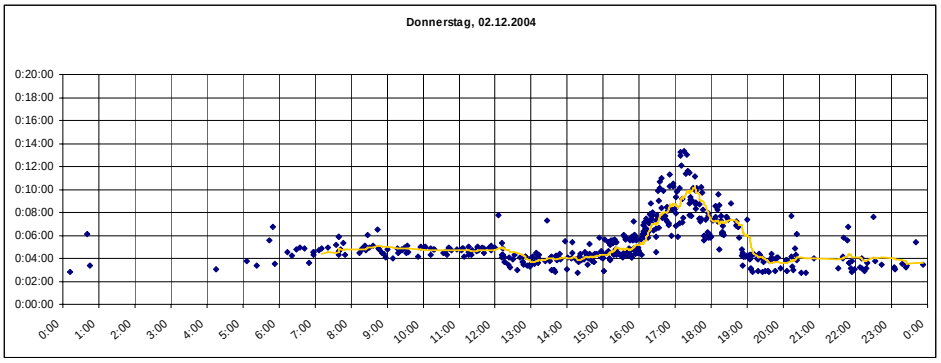
- Zeitfenster – (1)
- Klasse – (1)
- Ähnlichkeit der max. Verstimmung – (1) und (2)
- „Matchingwert“ – (2)
- Abstand – (1) und (2)



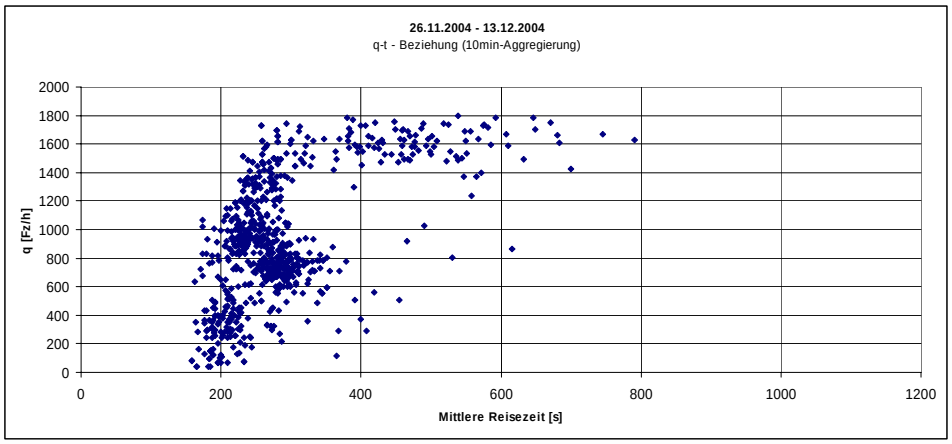
Zu- und Abfluss:

FEHLER !!!

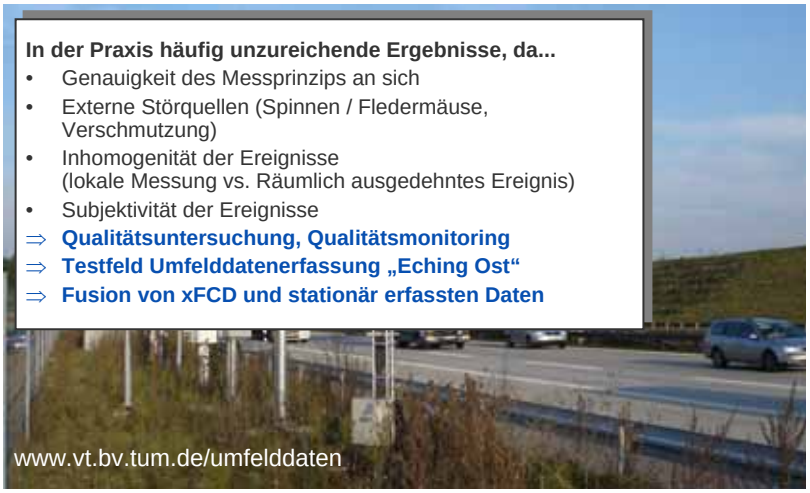
Fahrzeugwiedererkennung – Beispiel Tagesganglinie



Fahrzeugwiedererkennung – Fundamentaldiagramm mehrere Tage



Datenerfassung – Umfelddatenerfassung

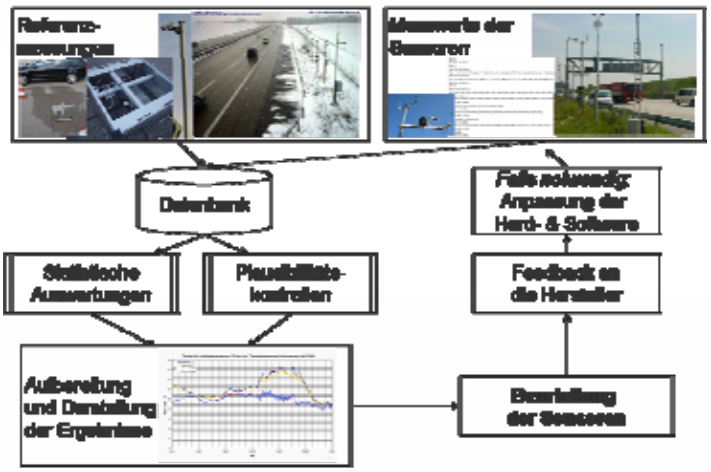


In der Praxis häufig unzureichende Ergebnisse, da...

- Genauigkeit des Messprinzips an sich
- Externe Störquellen (Spinnen / Fledermäuse, Verschmutzung)
- Inhomogenität der Ereignisse (lokale Messung vs. Räumlich ausgedehntes Ereignis)
- Subjektivität der Ereignisse

⇒ **Qualitätsuntersuchung, Qualitätsmonitoring**
⇒ **Testfeld Umfelddatenerfassung „Eching Ost“**
⇒ **Fusion von xFCD und stationär erfassten Daten**

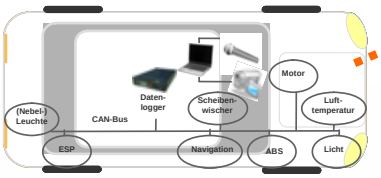
Datenerfassung – Testfeld für Umfelddatenerfassung
Tätigkeiten

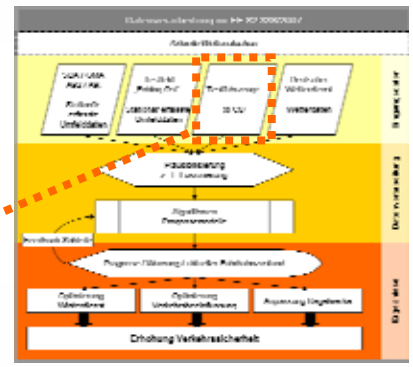


Datenerfassung – Testfeld für Umfelddatenerfassung
Referenzmessungen

Datenerfassung – Datenfusion stationär-mobil
Streckenbezogene Ermittlung des witterungsbedingten Fahrbahnzustands

- Fusion von extended Floating Car Data (xFCD) aus Befahrungen und stationär erfassten Umfelddaten
- Relevant für Verkehrsbeeinflussung und Winterdienst





Datenerfassung – Datenfusion stationär-mobil
Streckenbezogene Ermittlung des witterungsbedingten Fahrbahnzustands

- Jede Fahrt wird per Videokamera aufgezeichnet
- Der subjektive Eindruck des Fahrers sowie weitere Informationen werden mit Mikrofon aufgezeichnet

Datenvervollständigung und Prognose

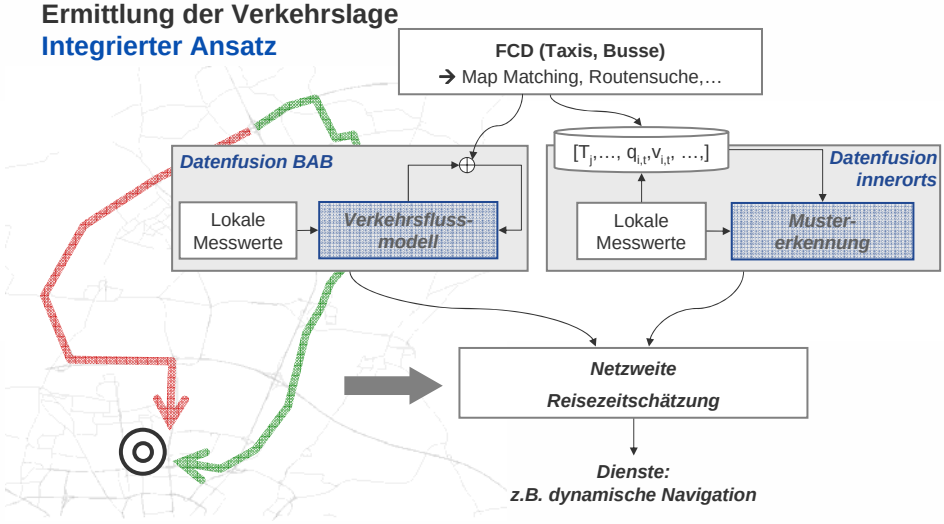
Datenvervollständigung und Prognose

- **Ziel**
  - Nicht alles was benötigt wird kann erfasst werden
  - Schließen der Lücken durch intelligente Verfahren
- **Ansätze**
  - Daten-basiert (*mathematische Modellvorstellung*)
  - Verkehrsmodell-basiert (*physikalische Modellvorstellungen*)
- **Herausforderungen**
  - Zuverlässigkeit
  - Effizienz
  - Konsistenz
  - Praktische Applizierbarkeit
- **Beispiele**
  - IQMobility – Prognose von Störungsmustern
  - IVM Graz – Schätzung und prognose von Verkehrsqualitätsstufen
  - Multisensorielle Datenfusion

Datenvervollständigung und Prognose

Ermittlung der Verkehrslage

Integrierter Ansatz



Störungsausbreitungsprognose – IQmobility

Musterbasierte Störungsausbreitungsprognose und automatische Maßnahmenempfehlung

1. Generierung von historischen Störungsmustern aus historischen Verkehrslagedaten
2. Klassifizierung der Störungsmuster
3. Störungsausbreitungsprognose
4. Automatische Ableitung von Störungsmeldungen
5. Automatische Generierung von Maßnahmenempfehlungen

Störungsausbreitungsprognose – IQmobility

vom Datensatz zum Störungsmuster

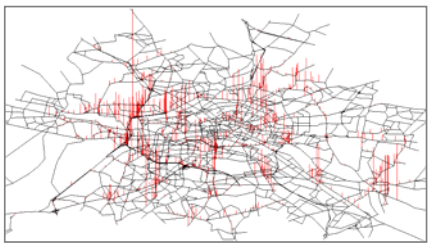
Datenbank

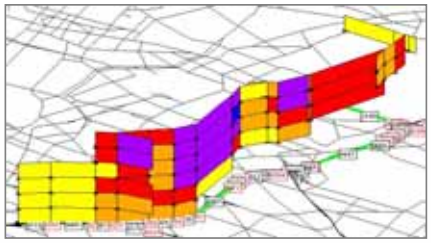
Kennwertbasierte Störungsdefinition

Datensätze, die der Störungsdefinition entsprechen

Räumlich-zeitlicher Kontakt?

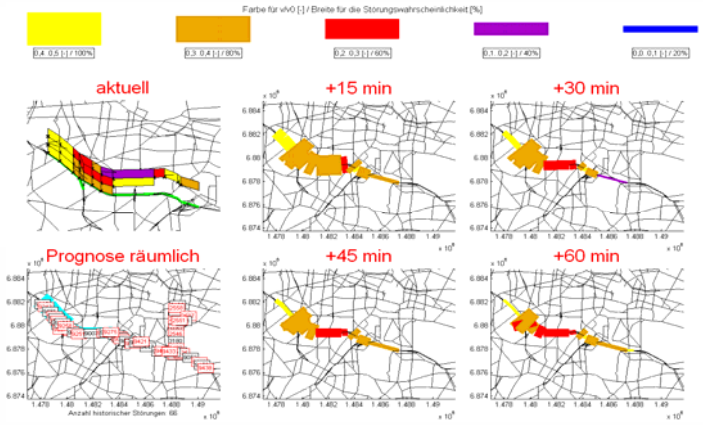
Störungsmuster





Prognose der Störungsausbreitung

1. Schritt: Verlaufsprognose für **jede <u>einzelne</u>** Störung



Prognose der Störungsausbreitung

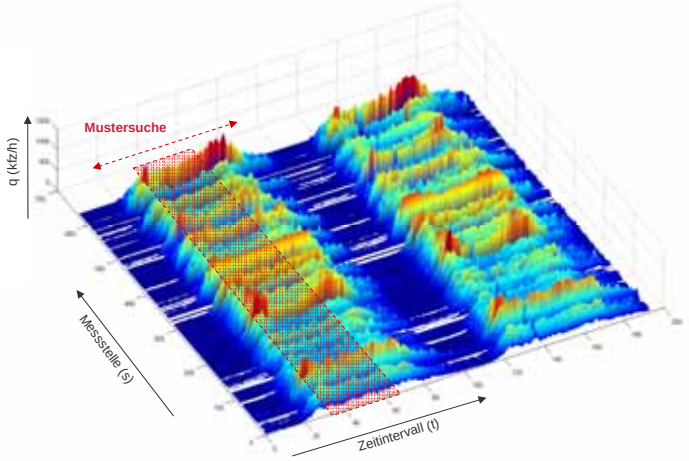
2. Schritt:
Netzweite Aggregierung der Ausbreitungsprognosen der einzelnen Störungen (Bayes-Theorem)

3. Schritt:
Ableitung von link- und zeitintervallspezifischen Kennwerten
LOC (Level of Congestion) und **POC** (Probability of Congestion)

➔ ***Ergebnis:***
Pro Zeitintervall (15') ein **<u>netzweites Muster</u>** der aktuellen und prognostizierten Staugrade und Stauwahrscheinlichkeiten.

Für die **Generierung von Meldungen** erfolgt eine Nachbereitung:
Welche Ausschnitte aus der Prognose enthalten einen Mehrwert / eine Veränderung gegenüber der aktuellen Verkehrslage?
Diese Ausschnitte sollen in Meldungen gepackt werden!

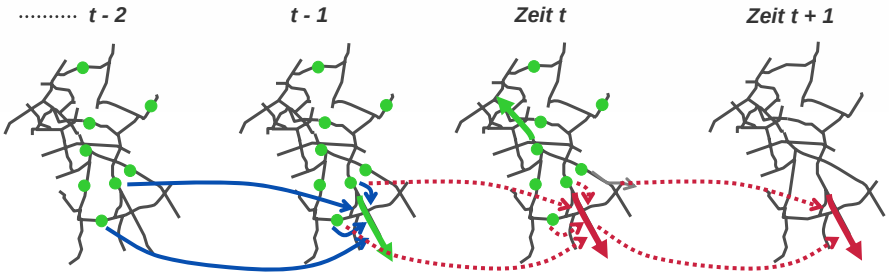
Datenvervollständigung und Prognose
Mustererkennung



Raum-Zeit Musterdatenbasis

Lokaler Messwerte

Datenvervollständigung und Prognose – Mustererkennung



Verfahrensgrundlage:

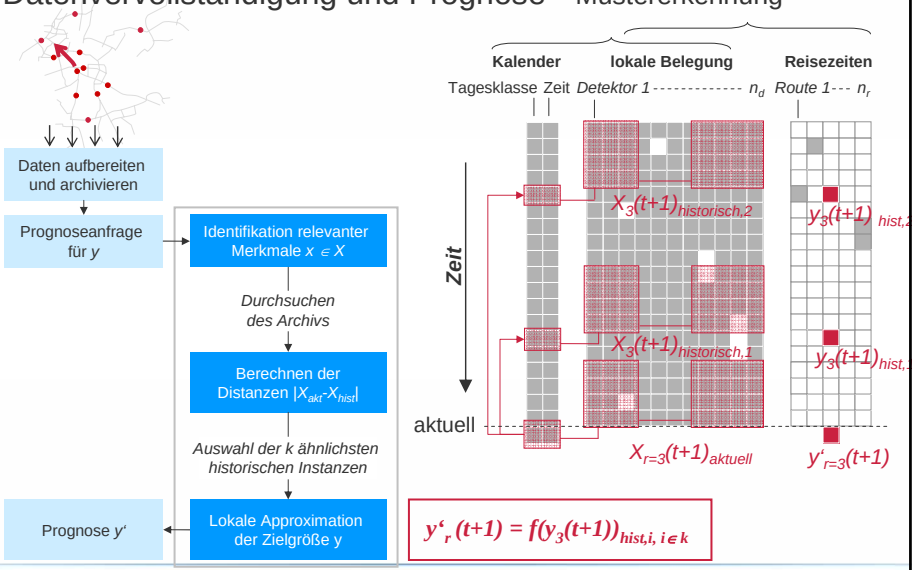
Nutzung beobachteter räumlich-zeitliche Zusammenhänge

Regressionsproblem, allgemein:

$y' = f(X), \qquad X = x_1, \ldots, x_n$ gegeben $y_1, X_1; \ldots; y_m, X_m$

historische Beobachtungen
y und X („Trainingsinstanzen“)

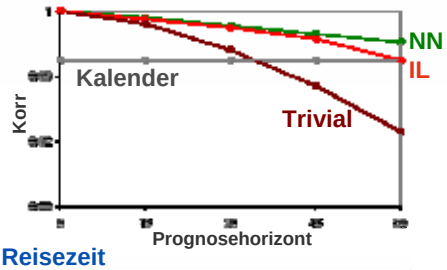
Datenvervollständigung und Prognose – Mustererkennung

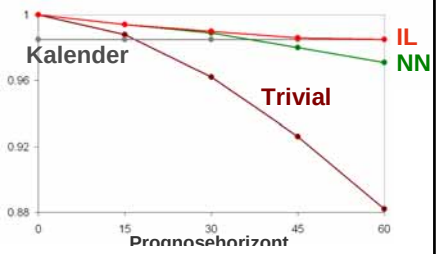


$$y'_r(t+1) = f(y_3(t+1))_{hist,i,\, i \in k}$$

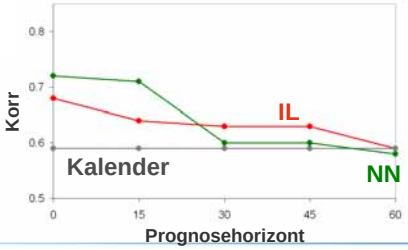
Datenvervollständigung und Prognose – Mustererkennung

Lokaler Belegungsgrad



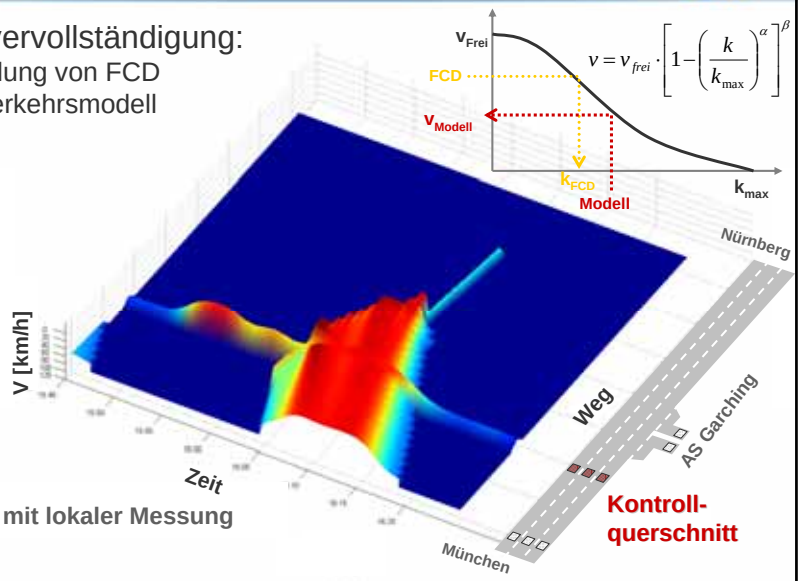


Reisezeit



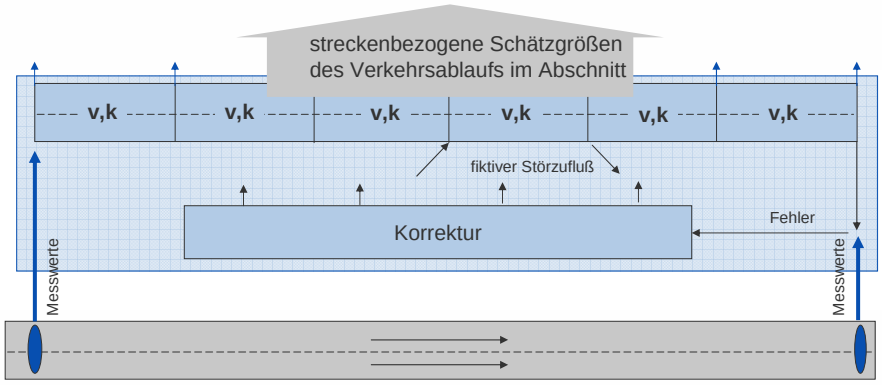
Methodenvergleich

Datenvervollständigung:
Einkopplung von FCD
in ein Verkehrsmodell



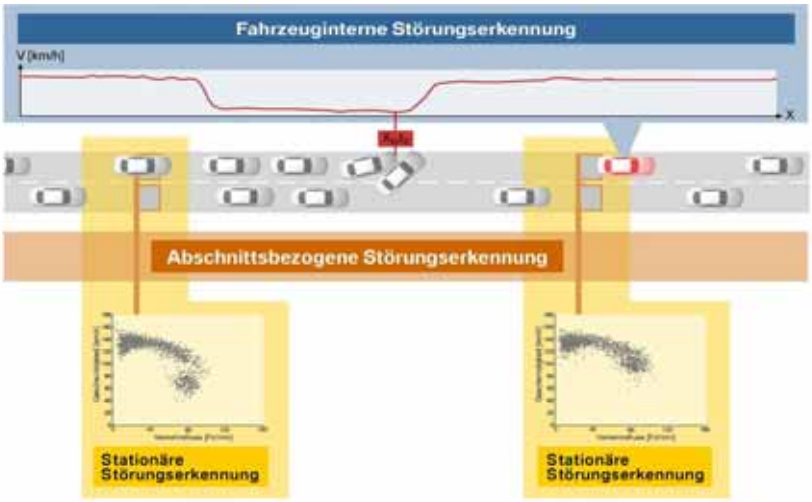
Verifizierung mit lokaler Messung

Datenvervollständigung:
Situationserkennung durch dynamische Schätzung (ESE, AZTEK)

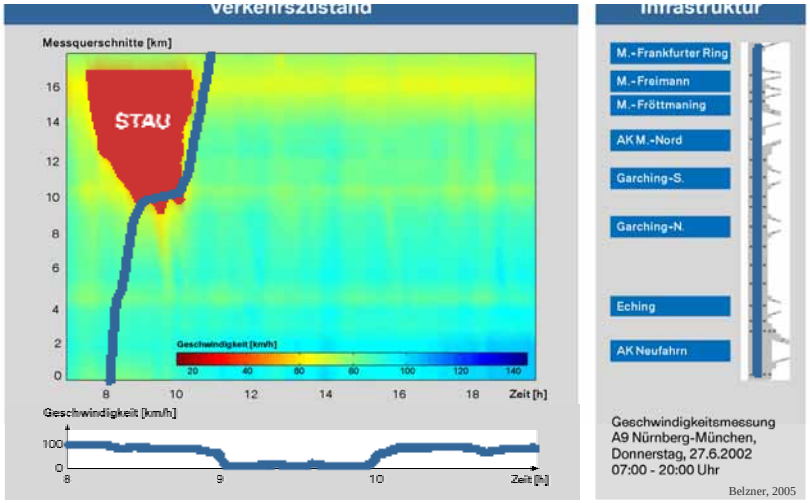


Mehrwerte:
Störfallerkennung, Stauausbreitung, Reisezeiten, virtuelle Querschnitte

Datenvervollständigung:
Situationserkennung basierend auf FCD

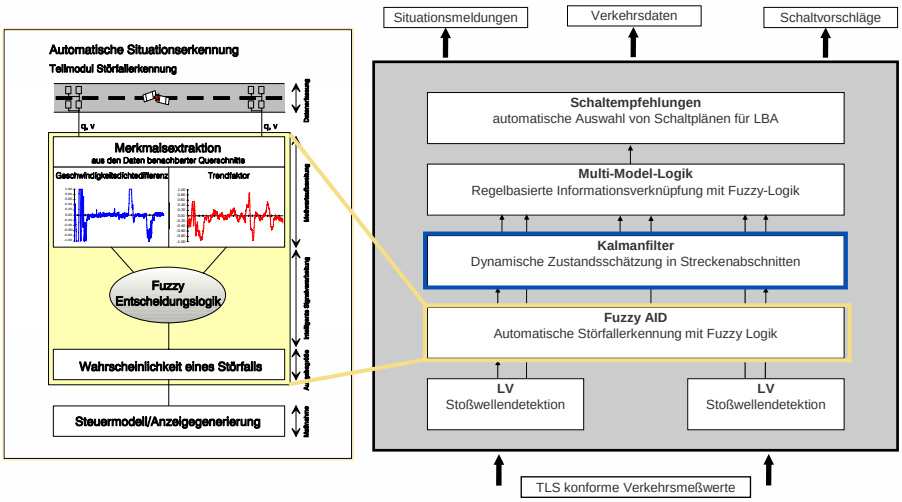


Datenvervollständigung:
Situationserkennung basierend auf FCD



Belzner, 2005

Datenvervollständigung:
Situationserkennung durch integrierten Ansatz ESE

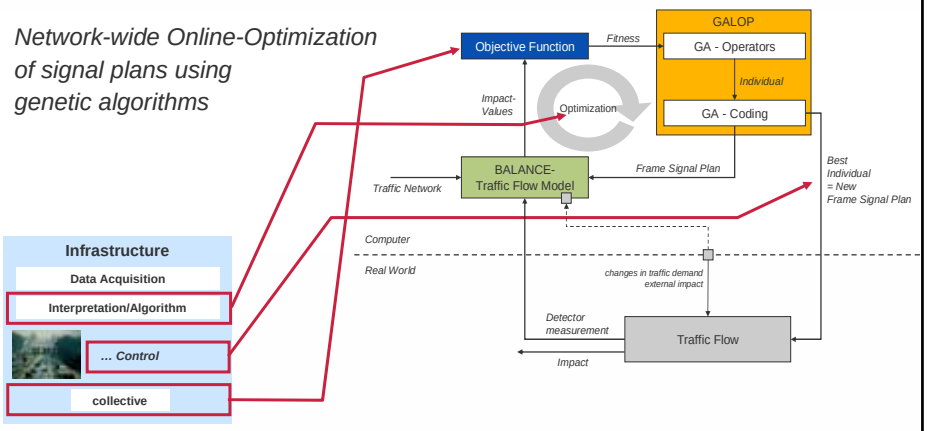


Verkehrsmanagement

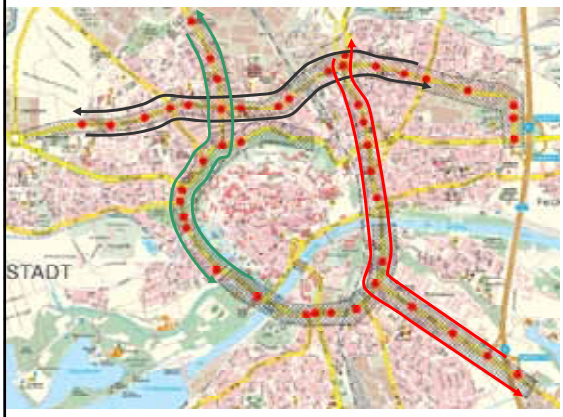
- **Ziele**
  - Gezielte Einflussnahme auf den Verkehrsablauf
  - nutzer- oder systemoptimal
  - individuell oder kollektiv
- **Ansätze**
  - Zuflussregelung (beispielsweise koordiniert: ACCESS)
  - SBA (Optimierung Sicherheit / Effizienz: INCA)
  - Wechselwegweisung
  - Netzsteuerung LSA: Motion, Balance
  - ÖV-Priorisierung
  - Dynamisches ÖV-Routing
  - kooperative Systeme
  - …

Verkehrsmanagement – adaptive LSA-Steuerung

Network-wide Online-Optimization of signal plans using genetic algorithms



Verkehrsmanagement – adaptive LSA-Steuerung



Network-wide Online-Optimization of signal plans using genetic algorithms **compared to reference szenario**

delay times

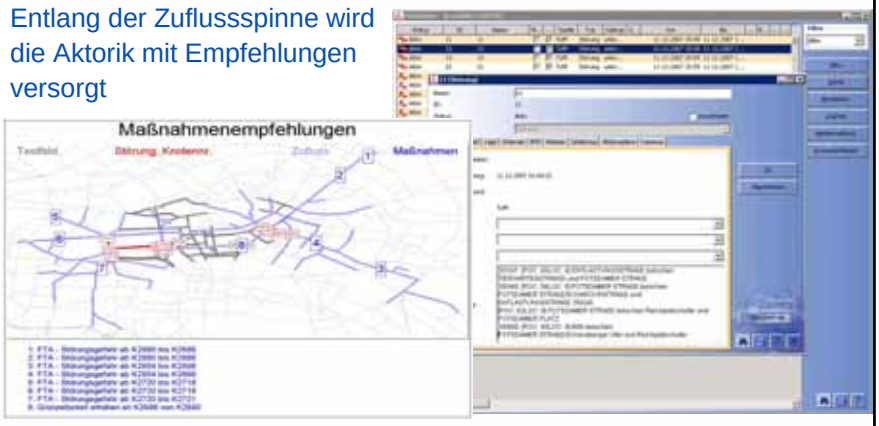
average per day	**-21 % veh-h**
during peak times	**-32 % veh-h**

number of stops

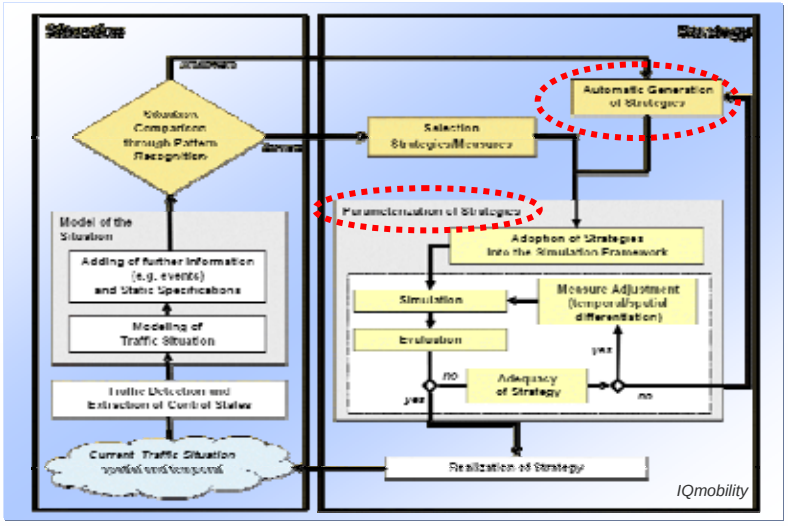
average per day	**-17 % stops**
during peak times	**-32 % stops**

Verkehrsmanagement – Strategiemanagement IQmobility

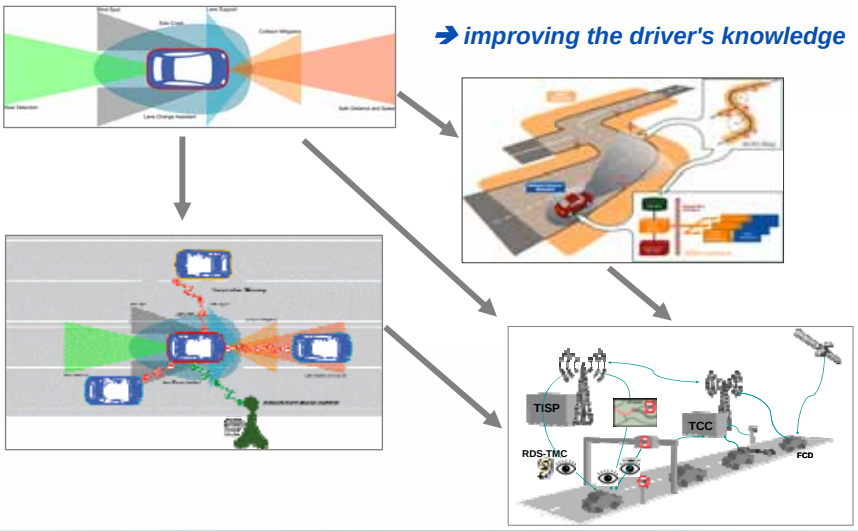
- Wird eine Störung prognostiziert, wird anhand der Abbiegebeziehungen eine Zuflussspinne ermittelt
- Entlang der Zuflussspinne wird die Aktorik mit Empfehlungen versorgt



Verkehrsmanagement – Strategiemanagement IQmobility



Cooperative Systems: *World of Connected Driving*



➔ ***improving the driver's knowledge***

Cooperative Systems – Traffic Management tomorrow

Infrastructure
- Data Acquisition
- Interpretation/Algorithm
- *... Information*
- *... Warning*
- *... Guidance*
- *... Control*
- collective

Vehicle
- Data Acquisition
- Interpretation/Algorithm
- *... Information*
- *... Warning*
- *... Support/ Guidance*
- *... Intervention*
- individual

Enhanced traffic state estimation

vehicle to infrastructure:

velocities, positions, route

Enhanced optimization of signal control

infrastructure to vehicle:

„time to green", geometry of intersection

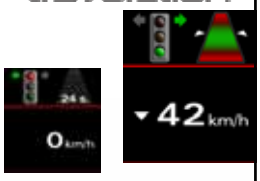
„time to green" information
dynamic „green wave"

„red light violation"

intersection information for navigation

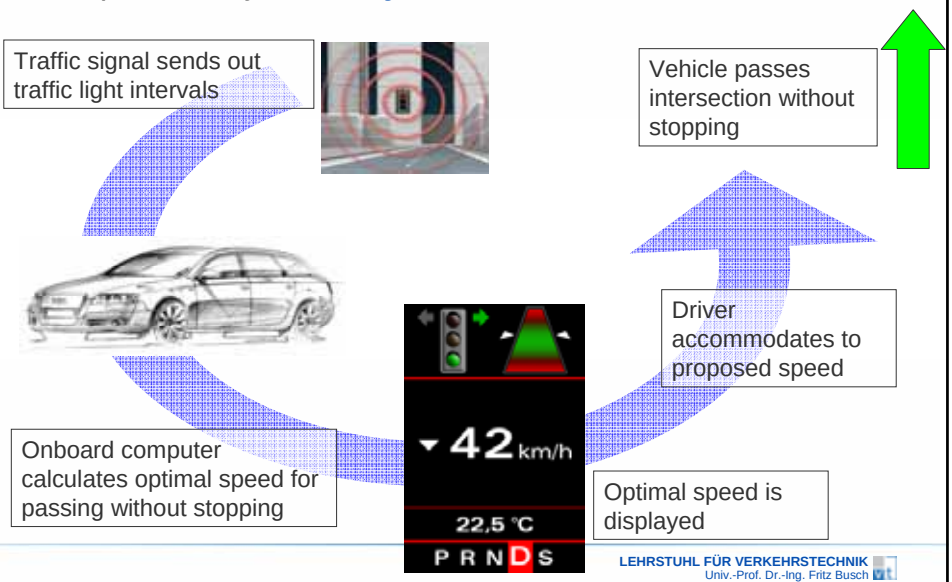
„engine control"
reduced fuel consumption

travolution

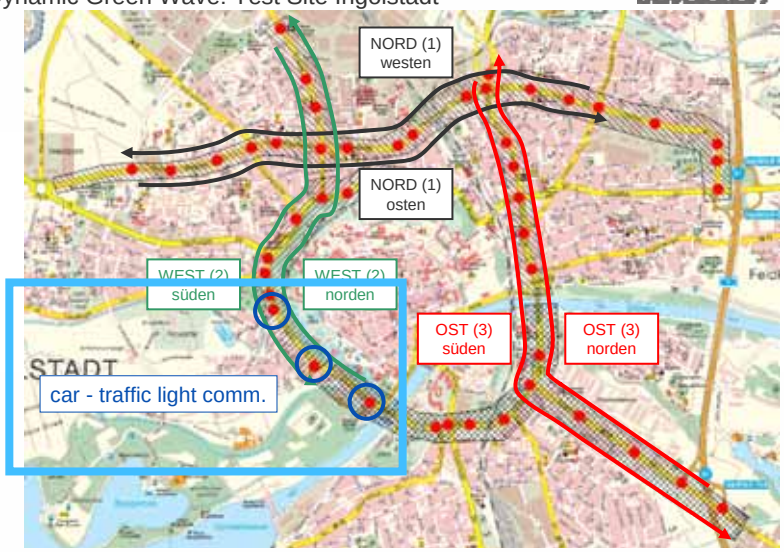


[Source: Menig et al., 2008]

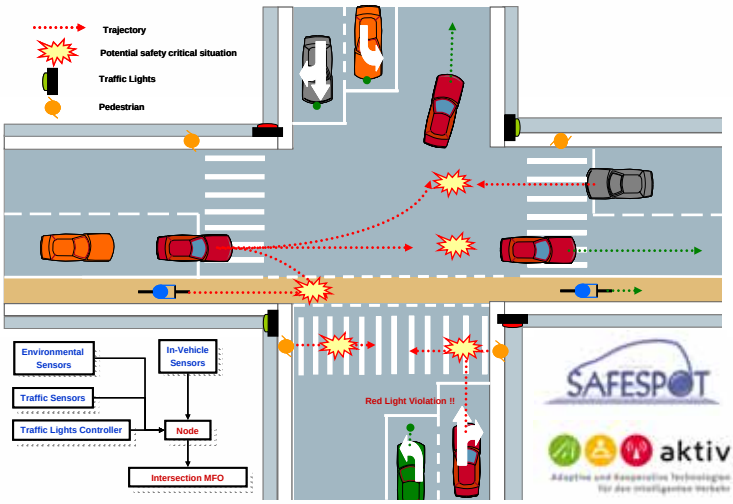
Cooperative Systems: *Dynamic Green Wave*

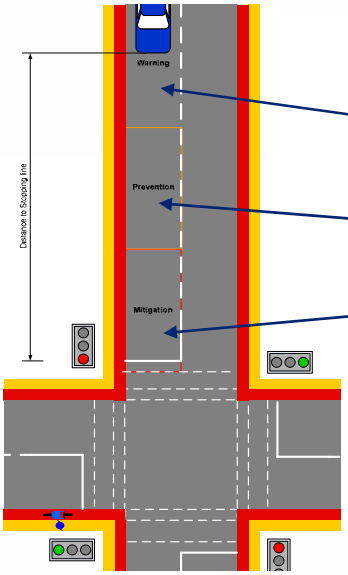


Dynamic Green Wave: Test Site Ingolstadt



Cooperative Systems: *The Intelligent Intersection*



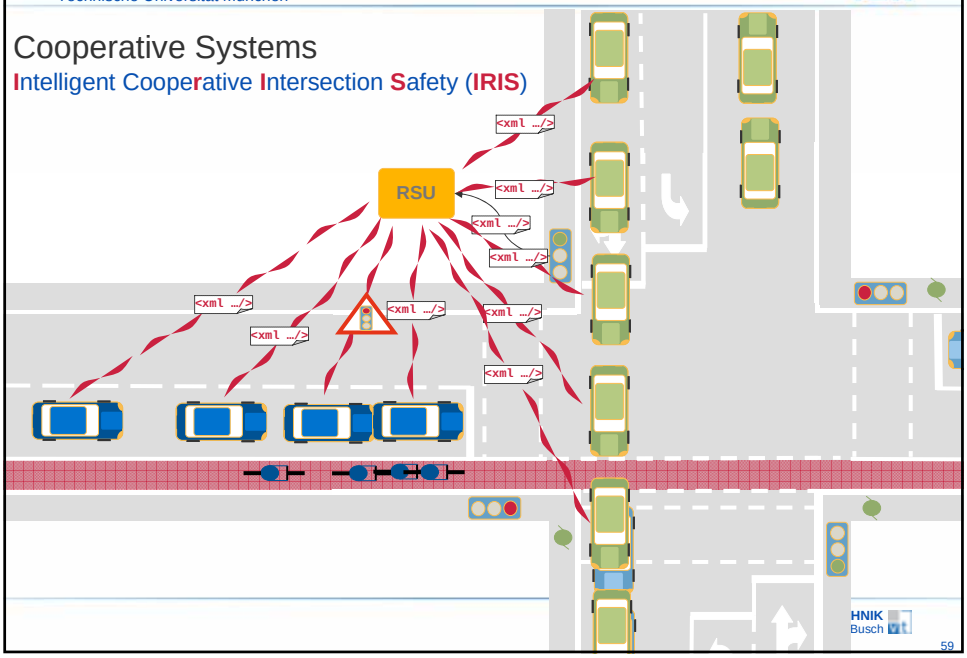


Cooperative Systems
The Intelligent Intersection

- **Warning:**
  slight warning to the driver that he is approaching a red light
- **Prevention:**
  driver should brake immediately;
  low risk of running the red light
- **Mitigation:**
  driver should brake immediately;
  violation not avoidable;
  warning to the other road users

Cooperative Systems

Intelligent Cooperative Intersection Safety (IRIS)



The Intelligent Intersection: Test Site Dortmund

joint test site of EU-projects CVIS and SAFESPOT

Interurban Traffic Management today

Where?

High traffic load or safety critical motorway stretches

Today: ~ 10 % of German motorway network

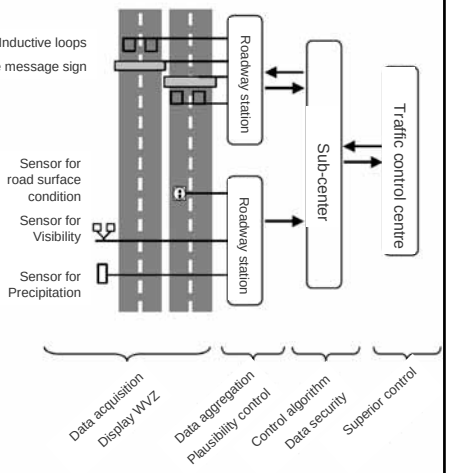
Objective?

Increasing traffic efficiency

Increasing traffic safety

How?

Traffic **Control** with

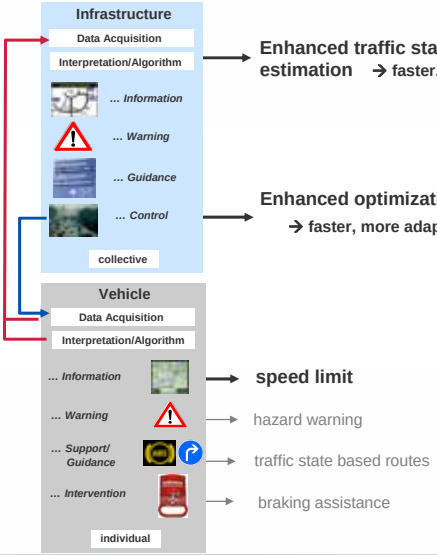


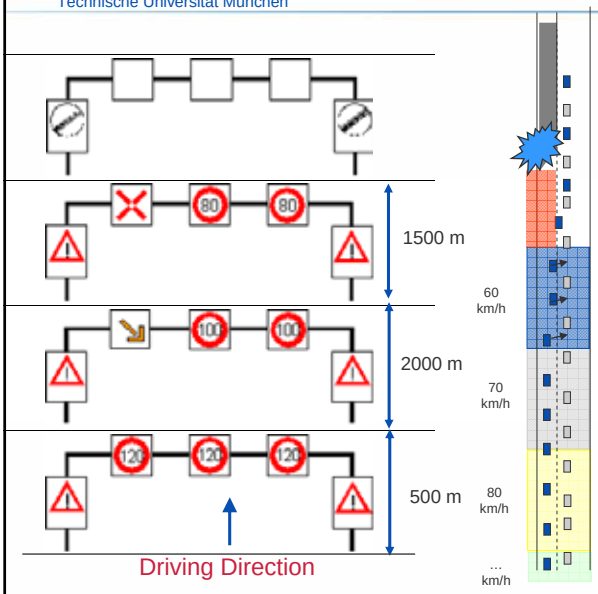
Inter-urban Traffic Management tomorrow

Example:
Virtual Speed Funnel

vehicle to infrastructure:
velocities, positions, road & weather

infrastructure to vehicle:
speed limit, warnings





Cooperative Systems: *Congestion Warning on the Intelligent Highway*

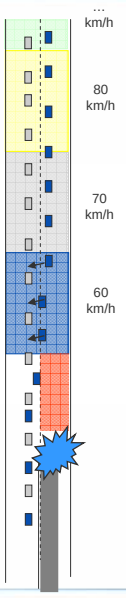
C2X:

Congestion/Hazard **detection**:

- Everywhere
- Faster

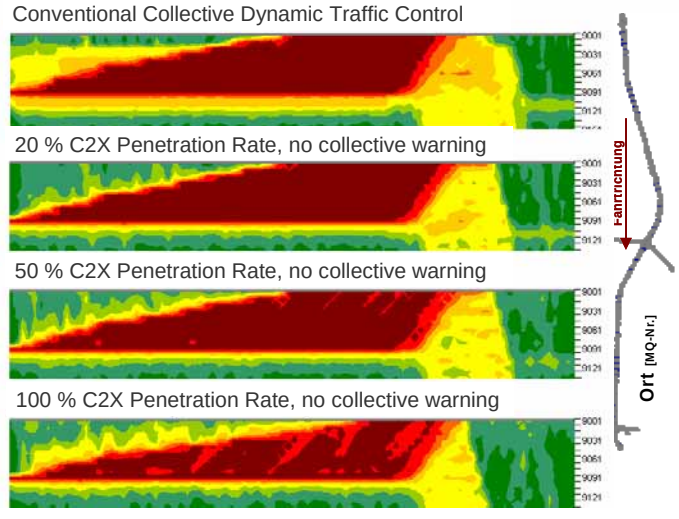
Congestion/Hazard **Warning**:

- Everywhere
- Faster
- More Adaptive



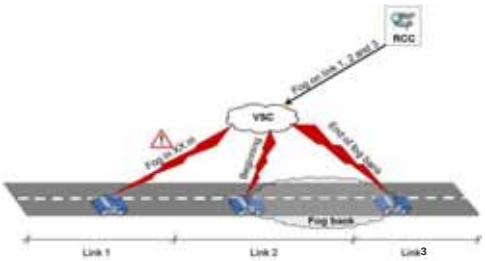
Cooperative Systems: *Congestion Warning*

Conventional Collective Dynamic Traffic Control



Cooperative Systems:
The Intelligent Highway

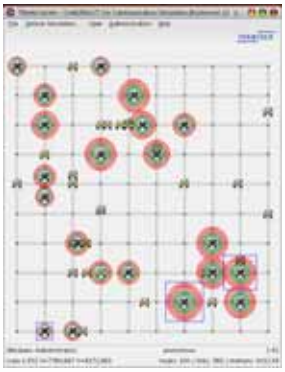
Detection of congestion back ends

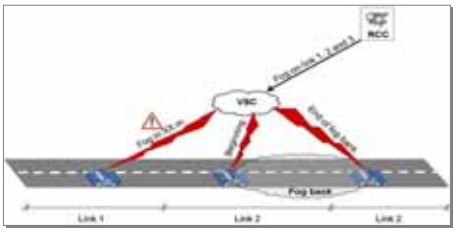


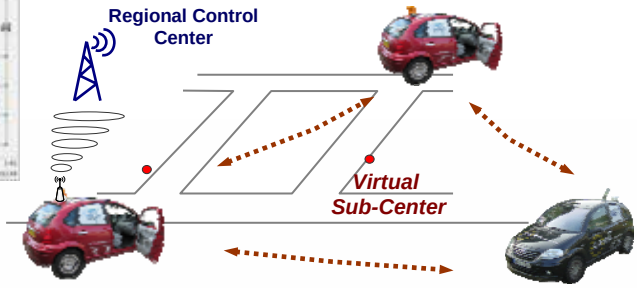
Detection of fog and heavy rain

Detection of broken down vehicles or cars involved in an accident

Cooperative Systems:
Vehicle Clusters



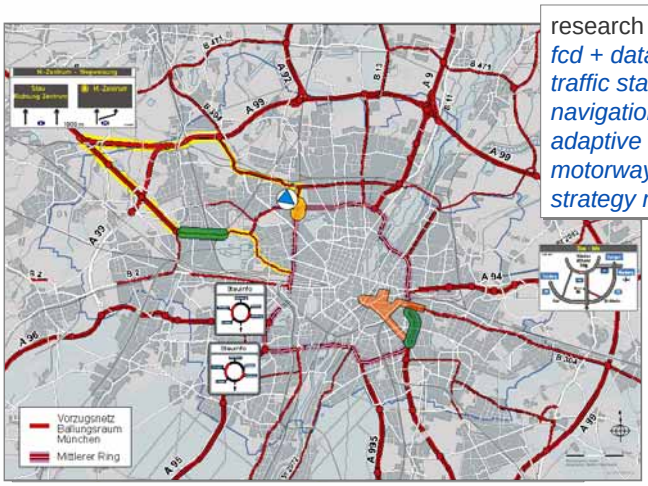




c2R
Traffic efficiency and safety system

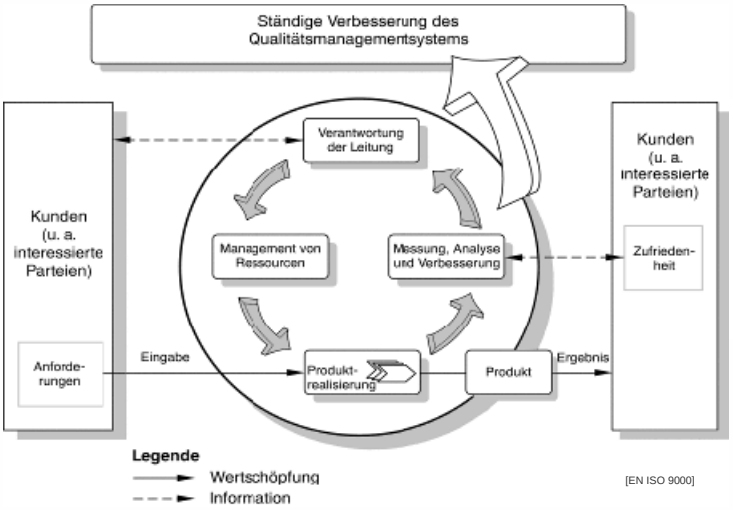
Cooperative Systems: Vehicle Cluster Test Site Munich

Cooperative Systems: Test Site Munich



research on
fcd + data fusion
traffic state estimation
navigation + route guidance
adaptive traffic control
motorway control
strategy management

Qualitätsmanagement

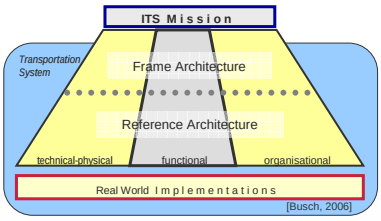


[EN ISO 9000]

Total quality management – general approach

A total QM in transport should cover

- 3 viewpoints of the transportation system architecture:
  - functional performance (planning … operation)
  - system behavior (technical)
  - organizational performance (institutional)
- and all phases of the traffic management process
  - land use and transport system planning
  - detailed transport system design
  - mobility management
  - traffic management
  - system operation
  - system recycling and replacing

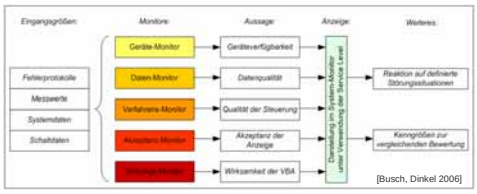


[Busch, 2006]

Total quality management – general approach

The quality management should be implemented in a
concise multi-level top-down approach, e.g.:

1. technological level (sensor, sign, cable, …)
2. data and information level (speed, occupancy,…)
3. module function level (algorithms,…)
4. integrated system function level (algorithms, strategies,…)
5. acceptance level (behavior versus signage)
6. effects level (system effects towards objectives)



[Busch, Dinkel 2006]

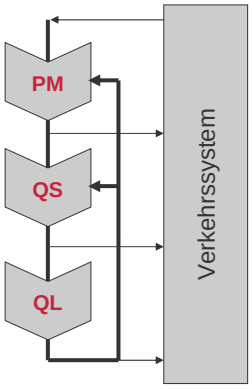
➔ BENCHMARKING BAB [2005-2006]
➔ Traffic-IQ [2009 ff]

Total quality management – general approach

Umfassendes Qualitätsmanagement im Verkehrswesen sollte

aus 3 (aufeinander aufbauenden) Stufen bestehen:

1. Prozess-Monitoring
   1. Definition des 'Systems'
   2. Beobachtung des Systemverhaltens
2. Qualitäts-Sicherung
   1. Definition der Anspruchsniveaus für Prozesse
   2. Korrektur des Systemverhaltens
3. Qualitäts-Lenkung
   1. Definition / Vereinbarung relevanter Szenarien
   2. Definition der Qualitätsstandards pro Szenario
   3. Steuerung des Systemverhaltens

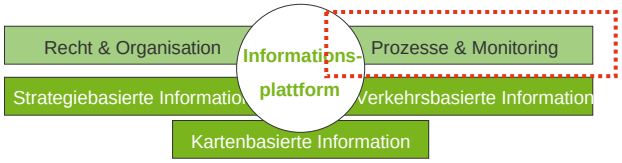


Qualitätsmanagement im Projekt AKTIV-VM Informationsplattform

➔ **Zentrale Drehscheibe für strategie- und verkehrslagebasierte Informationen angepasst an die spezifischen Applikationsanforderungen**

- Erstellung einer Datenplattform als Basis für die Kooperation von Systemen und Akteuren
- Aufbereitung von Daten und Informationen unterschiedlicher Quellen
- Bereitstellung der Informationen für die Applikationen
- Unterscheidung unterschiedlicher thematischer Ebenen
- Gewährleistung einer applikationsübergreifenden Georeferenz
- Dezentrale Pflege von verkehrstechnischen Kartenattributen
- Berücksichtigung rechtlicher & organisatorischer Aspekte

Zentral im Verkehrsgeschehen
Fehler an dieser Stelle haben weitreichende Folgen



AKTIV-VM – Prozessmonitoring: Prozesslandschaft

Identifikation der an der Informationsplattform beteiligten Prozesse

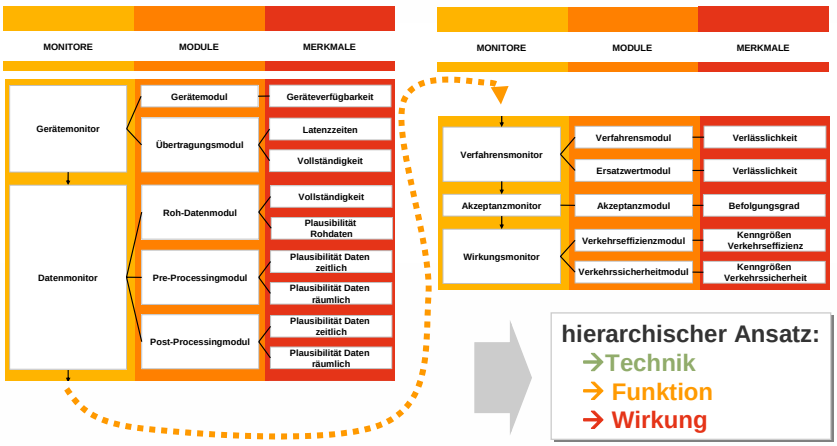
Prozessgruppe Datenerfassung
- Systemtechnik arbeitet
- stationäre Daten messen
- Daten übermitteln
- fahrzeugseitig Daten messen

Prozessgruppe Verfahren
- Verkehrslage erstellen
- Prognose erstellen
- Ersatzwerte generieren
- Meldungen generieren

Prozessgruppe Akzeptanz
- Anzeigen akzeptieren
- Strategien akzeptieren

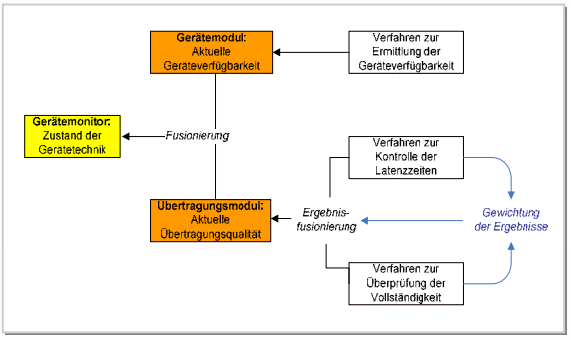
Prozessgruppe Wirkung
- Routenwahl ändern
- Verkehrsfluss verbessern
- Verkehrssicherheit erhöhen

AKTIV-VM – Prozessmonitoring: Monitorkonzept, Merkmale



hierarchischer Ansatz:
- → Technik
- → Funktion
- → Wirkung

AKTIV-VM – Prozessmonitoring: z.B. Gerätemonitor



Jedes Modul generiert je einen **Qualitätsindikator** für
- Zuverlässigkeit, und
- Genauigkeit.

Die Indikatoren dienen als Eingangswerte für nachfolgende Module oder Anwendungen

Eine **Sensitivitätsanalyse** mit Hilfe mikroskopischer Simulation bildet die Grundlage der Fusionierungsansätze der **Qualitätsindikatoren** der einzelnen Module.

Hemmnisse und Handlungserfordernisse

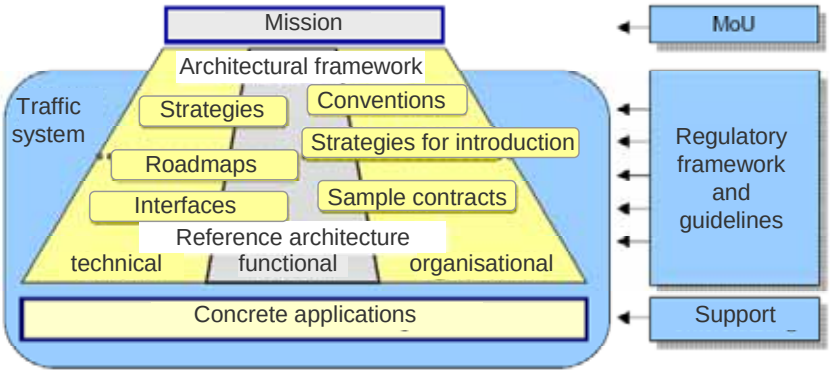
Risiken, Barrieren, Fragen

- Ablenkung durch zuviel Technik, Information
- Kompetenzverlust des Fahrers
- Widersprüchliche Infos

- Aufgabenträgerschaft
- Geschäftsmodelle
- Finanzierung
- Zielsystem, Wertungen
- Datenverfügbarkeit

- Haftungsfragen
- Sicherheitsaspekte
- Datenschutz

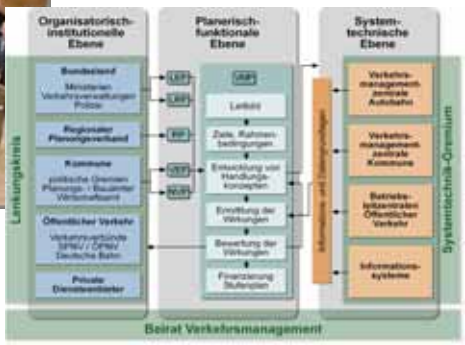
ITS need to be integrated in ***National System Architectures***



Cooperative Processes to ***design and implement ITS***

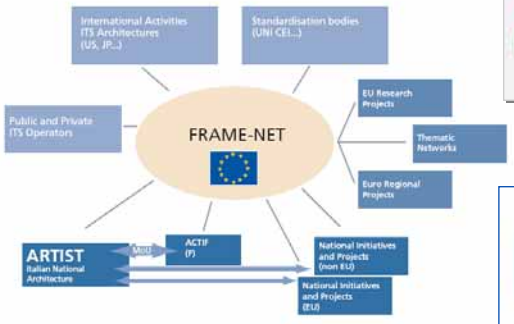
Include all stakeholders

set up agreed procedures



public awareness
marketing of ITS

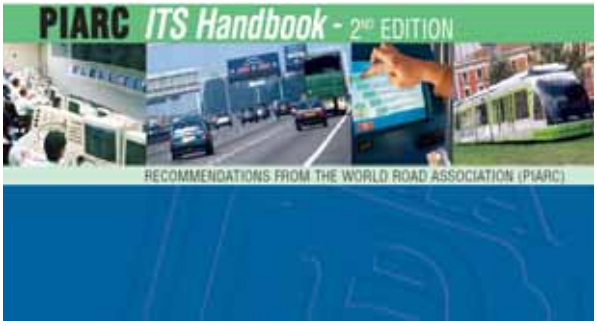
Set up the national communities
Link to the international ITS-scene ***to share knowledge***



ITS Network
Germany Intelligent Transport Society

Nearctis
Excellence in co-operative traffic management

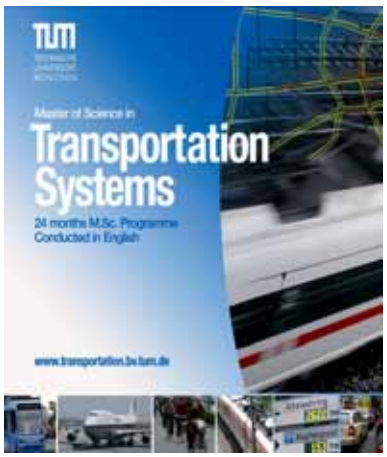
International ***Knowledge Transfer***: PIARC and FISITA



+

cooperative activities, e.g. **JTF PIARC-FISITA on VII/C2X**

Education: M. Sc. in Transportation Systems



http://www.transportation.bv.tum.de/

- **Beginning:** every October
- **Duration:** 4 semesters (24 months)
- **Overview:**
  - 3 semesters of course works (including a project seminar)
  - 8 weeks internship in transportation related industry or authority
  - 4 months Master's thesis

Contents:

- Traffic Flow Theory, Modeling, Simulation
- Intelligent Transport Systems
- Integrated Traffic and Mobility Management
- Design of Transportation Networks
- Interactions of land-use and transport
- Regional and Local Planning Methods, Governance
- Design of road networks / public transport networks
- Public transport planning
- Design of railways, airports and harbours
- Passenger and freight logistic concepts
- Transport economics
- Intercultural aspects, soft skills

Education: M. Sc. in Transportation Systems – partners

SIEMENS

BMW

MVG

ptv traffic mobility logistics.

gtz

The World Bank
IBRD & IDA: Working for a World Free of Poverty

Audi

MVV 1 Netz. 1 Fahrplan. 1 Ticket.

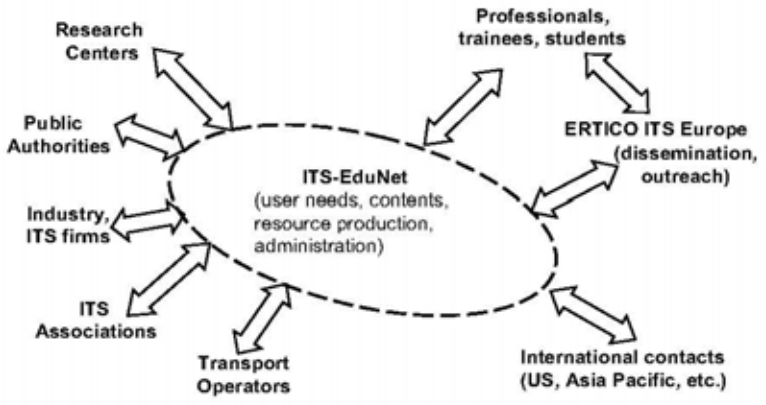
PROBST & CONSORTEN MARKETING-BERATUNG

ITDP Institute for Transportation & Development Policy

Flughafen München

DB

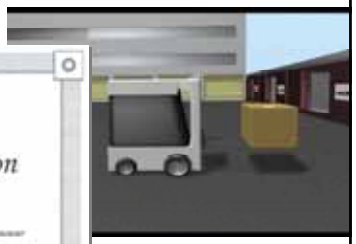
International Training Network **ITS-EduNet**



Members of **ITS-EduNet**

- TUM - Technische Universität München, Chair of Traffic Engnieering and Control (Germany)
- TRG - Transportation Research Group, University of Southampton (Great Britain)
- ISMB - Instituto Superiore Mario Boella (Italy)
- CTU - Czech Technical University (Czech Republic)
- FHTW - Fachhochschule Technikum Wien (Austria)
- KTH - Kungliga Tekniska Högskolan, Department of Infrastructure (Sweden)
- TTI - Traffic Technical Institute, University of Ljubljana (Slovenia)

Transport Systems in 2015
Visions of ITS-students at TUM, 2006



last but not least…

"If you have an apple and I have an apple and we exchange these apples - then you and I will still each have one apple.

But if you have an idea and I have an idea and we exchange these ideas, then each of us will have two ideas."

George Bernard Shaw (1856-1950)

We cordially invite you to cooperate and exchange ideas at the mobil.TUM 2009 conference in Munich!

mobil.TUM 2009 – ITS for Larger Cities

International Scientific Conference on Mobility and Transport

12 &13 May 2009, Munich, Germany

Submission of abstracts no later than	2009-01-15
Confirmation of the selected contributions until	2009-02-27
Submission of the final papers no later than	2009-04-15
Conference	2009-05-12/13

Scientific Advisory Board:
Michael G.H. Bell, United Kingdom
Robert L. Bertini, United States
Fritz Busch, Germany (chairman)
Henry Fan, Singapore
Larry Head, United States
Huapu Lu, China
Henk van Zuylen, The Netherlands

www.vt.bv.tum.de/mobil.TUM2009

The conference is supported by: