

**Matthias Fauth / Markus Finke / Swen Gandl / Alexander Hoffmann / Jens Rücknagel / Igor Schmiedel / Horst Salzwedel**

## **ENTWICKLUNG EINES EVALUIERUNGSSYSTEMS FÜR LKW-MAUT SYSTEME**

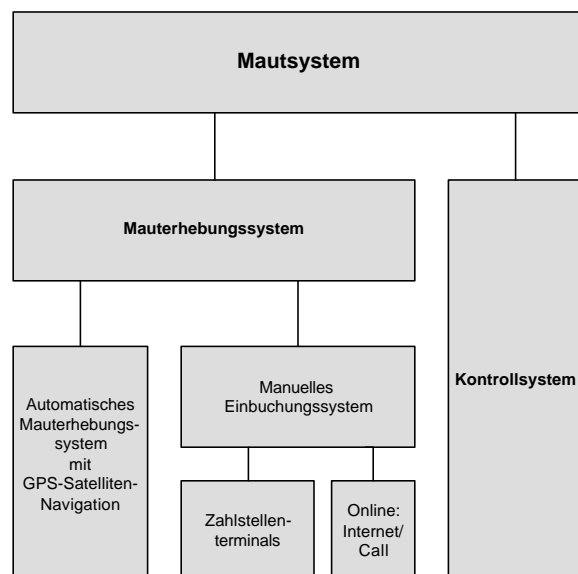
### **EINLEITUNG**

Im Rahmen der Vorlesung Systemanalyse des Instituts für Theoretische und Technische Informatik der Technischen Universität Ilmenau untersuchen Studenten aktuelle Probleme der Industrie mit Hilfe der Mission Level Design Technologie [1,2] und erarbeiten Vorgehensweisen zur Lösung der Probleme. Probleme wie das Iridium Satellitensystem, Satellitennavigation im Automobil und globale Flugführungssysteme für Flugzeuge wurden untersucht. In jedem der Projekte konnten neue Lösungen für aufgetretene Probleme entwickelt werden. Im Herbstsemester 2003/2004 wurde das zur Zeit entwickelte deutsche LKW-Maut-System untersucht.

Das deutsche LKW-Maut-System ist ein System zur Erhebung einer entfernungsabhängigen Maut für das Befahren deutscher Autobahnen durch Lastkraftwagen ab 12t zulässigem Gesamtgewicht. Es wird zur Zeit vom Unternehmen Toll Collect im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen entwickelt. Das Mautsystem sollte ursprünglich im August 2003 starten und ist zur Zeit noch nicht fertiggestellt. Laut Finanzministerium gehen durch die Verzögerung jährlich etwa 2,8 Milliarden Euro Steuereinnahmen verloren [3].

Das Mautsystem besteht aus den nebenstehenden Komponenten. Die Einbuchung erfolgt entweder manuell über rund 3500 Automaten oder das Internet, oder automatisch mit Hilfe einer On-Board Unit (OBU).

Für die automatische Einwahl wird in einem Fahrzeug eine OBU installiert, die mittels eines GPS-Empfängers die Position und Fahrstrecke auf Autobahnen bestimmt. Diese berechnet Maut von gespeicherten Fahrzeugdaten und der Fahrstrecke und übermittelt sie mittels eines GSM-Senders an



die Toll Collect Zentrale. Diese rechnet die Maut mit dem Betreiber des Lastwagens ab. Für LKW ohne OBU muss der Fahrer ein Ticket an einem dafür vorgesehenen Automaten durch Eingabe der Fahrzeugdaten und der Fahrtstrecke lösen. Der Automat sendet diese Daten an die Toll-Collect-Zentrale.

## ANALYSE DER TECHNOLOGIEN FÜR DEN ENTWURF DES SYSTEMS

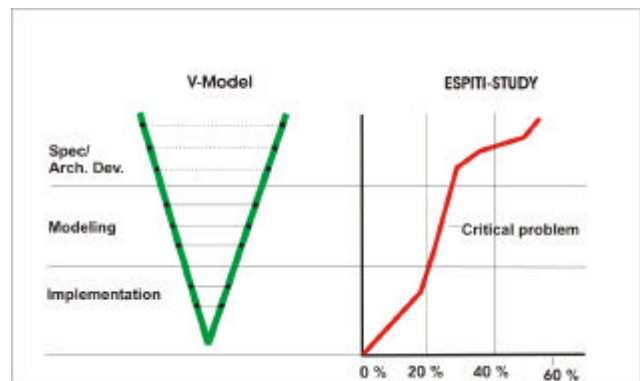
Das LKW-Maut-System ist ein komplexes System bestehend aus vernetzten eingebetteten Systemen. Technisch neue Lösungen erfordern vor allem die Positionsbestimmung unter Brücken, in engen Schluchten und in Tunneln. Pseudolites [4] und ähnliche Augmentierungen für die Satellitennavigation müssen hier entwickelt werden.

Der in Deutschland eingesetzte Entwurfsprozess sieht allgemein wie folgt aus:

1. Von Anforderungen werden geschriebene Spezifikationen entwickelt
2. Untersysteme werden von geschriebenen Spezifikationen entwickelt
3. Wenn die Untersysteme zum Gesamtsystem zusammengefügt werden funktioniert dies nicht
4. Auftretende Probleme werden lokal gelöst
5. Trotz sehr hoher Validierungskosten und Tests können nicht alle kritischen Probleme gelöst werden
6. Es kommt zu erheblichen Verzögerungen in der Fertigstellung der Systeme oder die Entwicklung wird aufgegeben

Beispielentwicklungen, die in diese Kategorie fallen sind neben dem LKW-Maut-System Automobile der Luxusklasse mit einer grossen Anzahl von Steuergeräten, das Teledesic Satellite System (aufgegeben) und die Boeing 702 Satelliten.

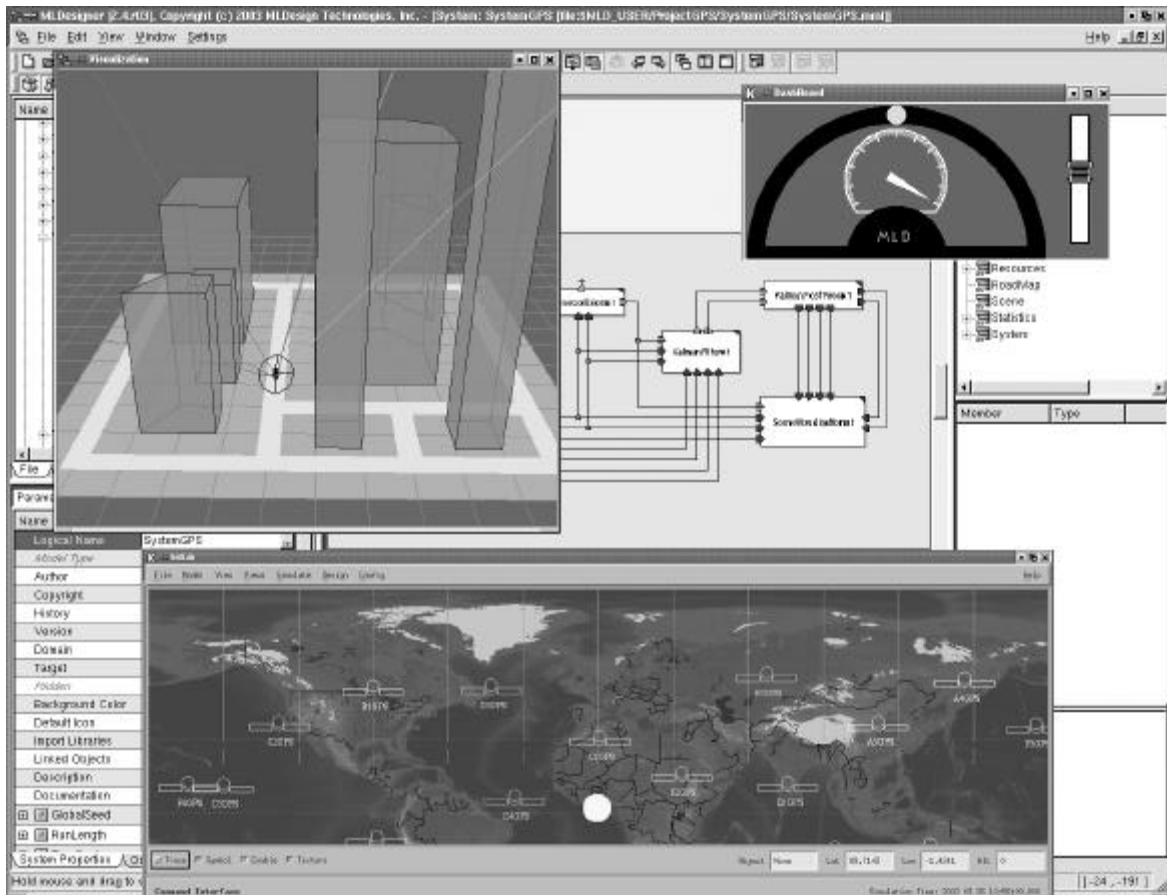
Eine Analyse von kritischen Problemen beim Entwurf komplexer Systeme zeigt, daß fast 60% der Probleme durch nicht-validierte Spezifikationen hervorgerufen werden, 25% kommen aus Modellierung und Entwurf und 15% werden durch Fehler in der Implementierung hervorgerufen. Der Grund für den hohen



Anteil von kritischen Fehlern in der Spezifikationsphase ist der, dass komplexe Systeme nicht mehr auf funktionaler Ebene als Ganzes simuliert werden können und so die Spezifikationen nicht auf dieser Entwurfsabstraktion validiert werden können.

Drei Gebiete der Entwicklung erscheinen als kritisch. Dies ist der Gesamtentwicklungsprozess des Systems, die Entwicklung des GPS-basierten Navigationssystems und die Entwicklung der eingebetteten Softwaresysteme.

In [5] wurde bereits eine Validierungsumgebung für die Entwicklung von GPS Navigationssystemen entwickelt, die auf die Problematik von Brücken und Tunneln erweitert werden kann. In dieser Validierungsumgebung kann die Entwicklung fast vollständig auf dem Rechner durchgeführt werden.



Über 80% der Probleme in der Softwareentwicklung für eingebettete Systeme liegen im Bereich des Datentransports und der unzureichenden Berücksichtigung der Endanwender; die Analyse der Terminals zeigt z.B., dass Lastwagenfahrer nicht ihre Gesamtfahrstrecke, bestehend aus einer Mischung von Autobahnen und anderen Straßen, eingeben können. In [6] wurde gezeigt, daß die Entwicklung eines Validierungssystems auf Architektur/Leistungsebene mit einem durchgängigen Datentransport die Entwicklung eingebetteter Software für vernetzte eingebettete Systeme um mehr als einen Faktor 10 beschleunigen kann.

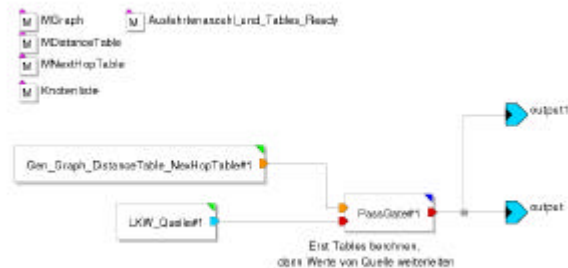
In dieser Arbeit wird eine Validierungsumgebung für das Gesamtsystem des LKW-Maut-Systems untersucht, die es erlaubt, Anforderungsanalysen durchzuführen, einschließlich,

- Straßennetze und deren Ein- und Ausfahrten
- Zeitlich variable Verkehrsströme und Staus
- Abfragearchitekturen von Maut-Systemen
- Kommunikationsinfrastruktur
- Ressourcen der zentralen, fest installierten und im LKW mitgeführten Systeme.

Die Entwicklung wird mit dem Softwaresystem MLDesigner [7] durchgeführt, das heute weltweit für die Entwicklung komplexer Systeme eingesetzt wird. MLDesigner ist ein Simulationswerkzeug, das Entwicklungsprozesse von der Missions- oder Anwendungsebene bis hin zur Implementierung unterstützt. MLDesigner Modelle werden graphisch als hierarchische Blockdiagramme definiert. Blöcke werden visuell durch Linien oder durch Shared Memories verbunden. Kontroll- und/oder Informationsflüsse werden durch Austausch von Partikeln in Form von einfachen Trigger-Partikeln oder hierarchischen Datenstrukturen realisiert. Primitive werden in C++ geschrieben. Module enthalten Blockdiagramme.

## ENTWICKLUNG EINES VALIDIERUNGSSYSTEMS

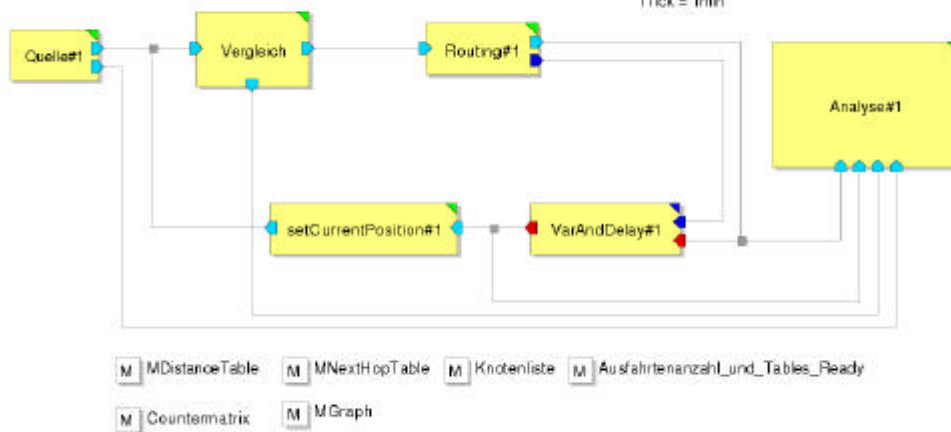
Das Verkehrssystem, bestehend aus dem Lastwagenverkehr und dem Autobahnnetz mit den Auf- und Abfahrten, kann als Telekommunikationsnetz modelliert werden. Von den Ein- und Ausfahrten des Autobahnsystems und den Entfernungen zwischen den Ausfahrten wird eine Routing-Tabelle angelegt. Ein schneller Dijkstra-Algorithmus wurde für die Berechnung der Routing-Tabelle entwickelt. Von Verkehrsdaten werden Lastwagen in Form von Datenstrukturen generiert. Start und Ziel werden in die Datenstruktur eingetragen. Im Block *Vergleich* wird untersucht ob ein LKW das Ziel erreicht hat und die Autobahn verläßt. Der Block *Routing* ermittelt die nächste Ausfahrt und die Entfernung. Der Block *VarAndDelay* berechnet und implementiert die Fahrzeit nach der Verkehrssituation. Der Block *setCurrentPosition* trägt die neue Ausfahrt/Hop in die Datenstruktur ein. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis der Lastwagen sein Ziel erreicht hat



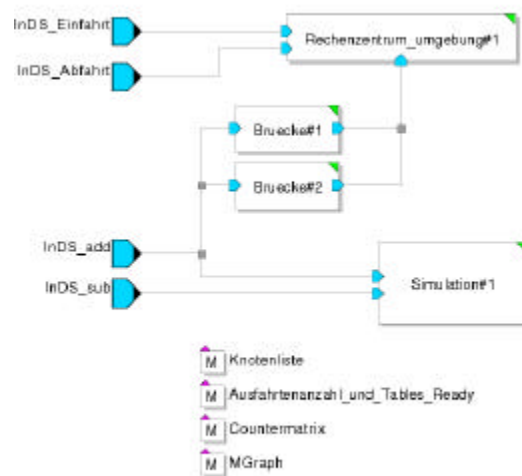
## Verkehrssimulation LKW - Mautsystem

Version 1.08 WS03/04

1Tick = 1min

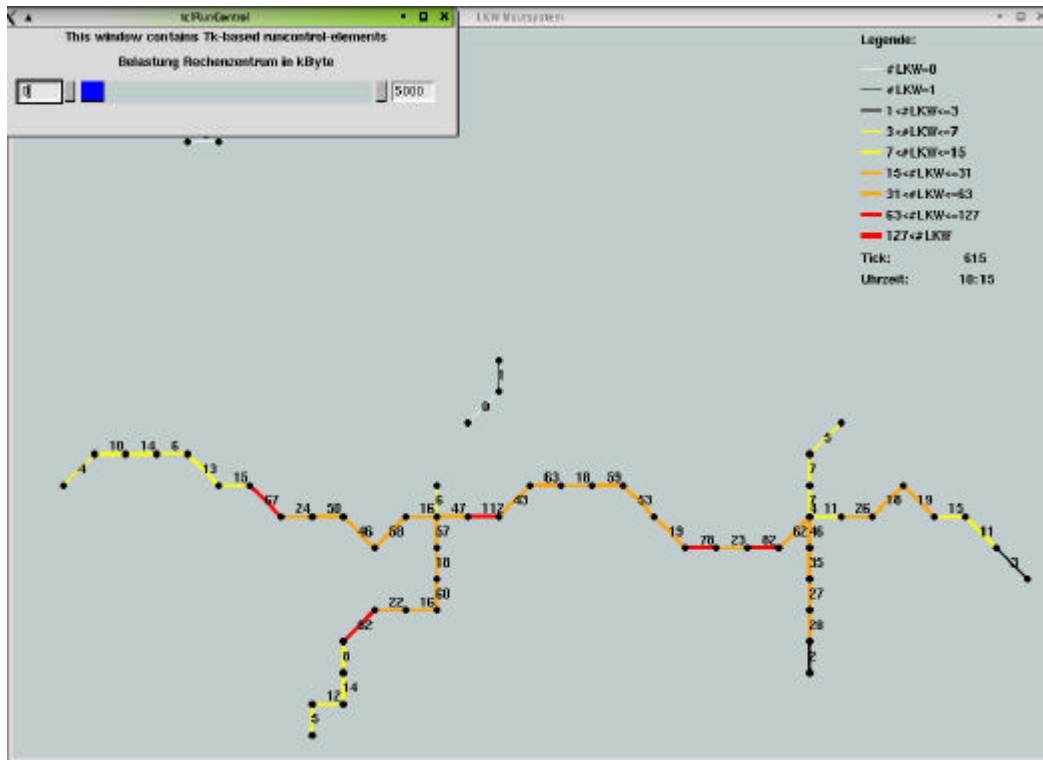


Das Modul *Analyse* nimmt die Daten der Verkehrssimulation auf und führt Analysen und Visualisierung des Systems durch. Leistungs- und Anforderungsanalysen in Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen können durchgeführt werden. In dem Analysemodul rechts sind Brücken und das zentrale Rechenzentrum implementiert. Das Rechenzentrum empfängt Daten von von Terminals, LKWs und Brücken. Das Datenaufkommen wird analysiert, um die erforderliche Rechenleistung im Rechenzentrum zu berechnen. Das Modul *Simulation* führt die Visualisierung des Systems durch.



## SIMULATION UND ANIMATION

Eine erste Analyse des LKW-Maut-Systems wurden mit Daten für das Land Thüringen durchgeführt. Verkehrsdaten für den LKW Verkehr innerhalb Thüringens und Koordinaten für Ein- und Ausfahrten der Autobahnen wurden vom Verkehrsamt Thüringen zur Verfügung gestellt. Die Verkehrsdaten sind für einen Zeitraum von 24 Stunden. Statistische Modelle steuern die Feinverteilung der Verkehrsdaten. Das Balkendiagramm oben links zeigt das Verkehrsaufkommen im Rechenzentrum.



Die Zahlen entlang der Autobahnabschnitte zeigen die Anzahl der LKWs in diesen Abschnitten zum angezeigten Zeitpunkt.

## ZUSAMMENFASSUNG

Ein Evaluierungssystem zur Analyse von LKW-Maut-Systemen wurde entwickelt. Dieses System besteht aus Verkehrssimulation und Analysesystem des Kommunikationssystems. Simulationen für das Land Thüringen wurden durchgeführt. Andere Gebiete können durch Eingabe anderer Daten analysiert werden. Das Simulationsmodell ist beliebig erweiterbar.

### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Gunar Schorcht, Entwicklung Integrierter Mobilkommunikationssysteme auf Missionsebene, Dissertation an der Technischen Universität Ilmenau, 2000.
- [2] Horst Salzwedel, Design Technology Development Towards Mission Level Design, 49th International Scientific Colloquium, Ilmenau, 27-30 September 2004
- [3] [http://de.wikipedia.org/wiki/LKW-Maut\\_inDeutschland](http://de.wikipedia.org/wiki/LKW-Maut_inDeutschland)
- [4] Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr., Global Positioning System: Theory and Application, Progress in Aeronautics and Astronautics, 1996
- [5] Holger Rath, Peter Unger, Tommy Baumann, Andreas Emde, David Grüner, Thomas Lohfelder, Jens Wegemann, Horst Salzwedel, A Virtual Validation Environment for the Design of Automotive Satellite Based Navigation Systems for Urban Canyons, 49th International Scientific Colloquium, Ilmenau 27-30 September 2004.
- [7] [http://www-sst.theoinf.tu-ilmenau.de/studentsWorks/works/documents/2002/Studienarbeit2002\\_PeterUnger.pdf](http://www-sst.theoinf.tu-ilmenau.de/studentsWorks/works/documents/2002/Studienarbeit2002_PeterUnger.pdf)
- [8] MLDesigner® Manual v2.4, <http://www.mldesigner.com>

### Autoren:

Matthias Fauth, Markus Finke, Swen Gandl, Alexander Hoffmann, Jens Rücknagel, Igor Schmiedel  
 Prof. Horst Salzwedel, Technische Universität Ilmenau, Helmholtzring 1,98693 Ilmenau,  
 Tel.: +49-3677-691316, Fax: +49-3677-691285, E-mail: horst.salzwedel@tu-ilmenau.de