

BORDNETZ-SPEZIFIKATIONEN
MODELLIEREN UND VALIDIEREN

Simulationsumgebung für Bordnetze

Dieser Beitrag beschreibt die Entwicklung einer ausführbaren Spezifikation für Fahrzeug-Bordnetze mit der Systementwurfsoftware MLDesigner. Unter Verwendung eines ereignisdiskreten Berechnungsmodells und der Kombination verschiedener Modellierungstechniken ist es mit Hilfe dieser Simulationsumgebung möglich, Bordnetz-Spezifikationen zu modellieren und auf Missionsebene zu validieren.

Der Fortschritt von Sicherheits-, Komfort-, Unterhaltungs- und Kommunikationssystemen, sowie die Entwicklung hybrider Antriebssysteme erfordert komplexere Fahrzeug-Bordnetze mit größeren Energiekapazitäten. Bereits heute besitzen europäische Kleinwagen mehr elektrische Komponenten als frühere Luxusfahrzeuge [3, 2]. In diesem Zusammenhang kann besonders bei längeren Fahrten im niedrigen Drehzahlbereich, wie beispielsweise im städtischen Berufsverkehr oder in Stop-And-Go-Stausituationen, das Verhältnis zwischen Generatorstrom und Energieverbrauch einen kritischen Zustand erreichen. Aus Kostengründen, sowie durch Begrenzungen bei Gewicht und Kraftstoffverbrauch, ist es jedoch nicht ausreichend, den steigenden Energiebedarf lediglich durch den Einsatz größerer Batterien und leistungsstärkeren Generatoren zu decken [5]. Demzufolge werden zuverlässige und intelligente Energiemanagement-

und Batterieüberwachungssysteme benötigt, um in jeder Fahrsituation eine positive Energiebilanz zu gewährleisten und die Startfähigkeit des Motors sicherzustellen.

Simulationsmodell

Fahrzeug-Bordnetze werden hauptsächlich durch das Zusammenwirken von Temperatur, Geschwindigkeit, Generator, Batterie, Energiemanagement und dem Belastungsprofil charakterisiert [1]. Dementsprechend setzt sich die Bordnetz-Simulation aus jeweils einem funktionalen Teilmodell für den zu simulierenden Fahrzyklus, das Antriebssystem, den Generator, die Batterie, das Energiemanagement sowie für die Verbraucherlandschaft zusammen

(Bild 2).

Im Sinne einer zweckmäßigen Modellabstraktion wurden diese Komponenten hauptsächlich aus der Sicht ihrer Leistungsparameter sowie der darauf einflussnehmenden Grö-

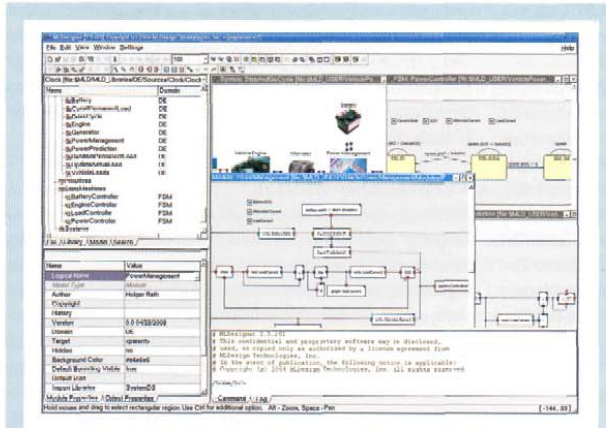


Bild 1: MLDesigner Modellierungsumgebung

© automotive

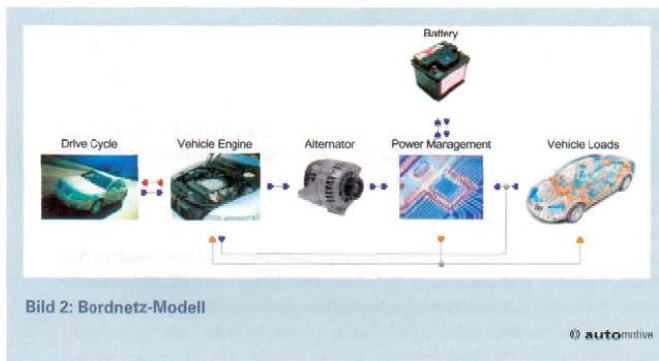


Bild 2: Bordnetz-Modell

© automotive

ßen (z. B. Temperatur) abgebildet. Generell unterliegt die funktionale Abbildung einem hierarchischen Modellansatz, wobei jede Modellebene aus einem Blockdiagramm integrierender Funktionsblöcke besteht. Die dabei verwendeten Basisfunktionen entstammen der mitgelieferten MLDesigner-Modellbibliothek. Spezielle Steuerungs- und Kontrollfunktionen, wie beispielsweise die Motorsteuerung oder die Kontrolle des Batterieladestands¹, wurden auf der Basis endlicher Zustandsautomaten² modelliert. Insgesamt wurden die Bordnetzkomponenten derart abgebildet, dass die einzelnen Funktionsblöcke nur dann aktiv werden, wenn sich der interne Systemzustand aufgrund eines externen Ereignisses verändert. Somit wird beispielsweise das Energiemanagement nur dann aktiv, wenn sich die Energiebilanz zwischen Generatorstrom und Verbraucherlandschaft verändert. Durch diesen Modellierungsansatz ist es möglich, einen 10-stündigen Fahrzyklus auf einem herkömmlichen PC in weniger als einer Sekunde zu simulieren. Die wesentlichen Modellierungseigenschaften der einzelnen Hauptkomponenten des Bordnetz-Modells werden im Folgenden näher erläutert.

Fahrzyklusmodell

Zur Bestimmung des Generatorstroms muss bei einer Fahrsimulation zunächst entweder ein Geschwindigkeitsverlauf des Fahrzeugs oder ein Drehzahlverlauf des Motors vorgegeben werden. Da sich der Drehzahlverlauf mittels eines Antriebsmodells aus dem Geschwindigkeitsverlauf errechnen lässt, basiert das Fahrzyklusmodell auf einem Zeit-Geschwindigkeitsprofil, wie es auch in Form von Standardfahrzyklen (z. B. MVEG, FTP-75, ECE, etc.) bei Untersuchungen von Emissionsabgaben und Kraftstoffverbräuchen eingesetzt wird [6]. Aufgrund der hohen Belastung der Batterie beim Starten des Fahrzeugs, muss das Fahrzyklusmodell in der Lage sein, zusätzlich zu den herkömmlichen Geschwindigkeitsverläufen und Leerlaufphasen, auch durch den Anlasser verursachte Belastungssituationen abzubilden. Um eine generelle Abweichung gegenüber der Notation von Standardfahrzyklen zu vermeiden, wird dies durch die Verwendung negativer Geschwindigkeitswerte realisiert.

Antriebsmodell

Das Antriebsmodell simuliert zwei wesentliche Grundfunktionen des Bordnetz-Systems. Einerseits wird aus dem Geschwindigkeitsprofil des Fahrzyklusmodells unter Verwendung von Fahrzeug- und Getriebedaten (Leerlaufdrehzahl, Getriebeübersetzung, Getriebebeschaltunkte, Reifendurchmesser, etc.) der entsprechende Drehzahlverlauf des Motors berechnet [6]. Zum anderen wird abhängig vom aktuellen Motorzustand die Strombelastung des Antriebssystems auf der Basis eines

AUSFÜHRBARE SPEZIFIKATIONEN

Aufgrund der Menge möglicher Belastungsprofile in unterschiedlichen Fahrscenarien müssen bei der Entwicklung geeigneter Energiemanagementsysteme eine Vielzahl von Parametern und Konfigurationen berücksichtigt werden. Um kostenintensive und zeitaufwändige Rekursionen im Entwicklungsprozess zu vermeiden, können ausführbare Spezifikationen auf der Basis generischer Architektur- und Leistungsmodelle zur Validierung neuer Bordnetz-Konzepte eingesetzt werden. Erfahrungen aus der Flugzeugindustrie haben gezeigt, dass derartige Simulationen auf Missionsebene eine effiziente Methode darstellen, um Entwicklungszeiten -und kosten zu reduzieren und Spezifikationsfehler bereits in den frühen Entwicklungsphasen zu korrigieren. Die Qualität von ausführbaren Spezifikationen ist dabei sowohl von der Abstraktion relevanter Systemfunktionen und des Umgebungsmodells als auch von der Simulationsleistung abhängig, um in adäquater Zeit brauchbare Ergebnisse zu erhalten.



endlichen Zustands-automaten simuliert (**Bild 3**). Solange das Fahrzyklusmodell Geschwindigkeitswerte größer gleich 0 km/h liefert, befindet sich der Motor im laufenden Betrieb und liefert die entsprechenden Drehzahlen, wobei 0 km/h der Leerlaufdrehzahl entsprechen. Gleichzeitig wird in diesem Motorzustand eine von bestimmten Fahrzeugparametern (Zündung, Treibstoffpumpe, Einspritzanlage, usw.) abhängige Strombelastung verursacht. Liefert das Fahrzyklusmodell einen negativen Geschwindigkeitswert, wird dies von der Motorsteuerung als Ereignis zum Abschalten des Motors interpretiert. Im abgeschalteten Zustand liefert der Motor keine Drehzahl und es erfolgt innerhalb des Bordnetzes keine Strombelastung seitens des An-

das Lade- und Entladeverhalten der Fahrzeugbatterie. Ähnlich dem Ansatz im Generatormodell werden hierbei die elektrochemischen Vorgänge beim Laden und Entladen der Batterie nicht analytisch nachgebildet. Vielmehr werden dem Batteriemodell reale, temperaturabhängige Lade- und Entladecharakteristiken zugrundegelegt.

Verbrauchermodell

Abhängig vom Betriebszenario gilt es bei der Modellierung der elektrischen Verbraucherlandschaft im Fahrzeug sowohl die Unterschiede in der Leistungsaufnahme als auch in der zu erwartenden Betriebsdauer der elektrischen Verbraucher zu berücksichtigen. Dabei kann zwischen permanenten Verbrauchern (Zündung, Einspritzanlage, etc.), Langzeitverbrauchern (Abblendlicht, Heckscheibenheizung, etc.) sowie Kurzzeitverbrauchern (Blinker, Bremslicht, Fernlicht, etc.) unterschieden werden. Zusätzlich ist der Einsatz einzelner elektrischer Verbraucher von der Tages- und Jahreszeit und der zugrundeliegenden Energiemanagementstrategie abhängig [1, 4, 6].

In Verbindung mit einem konkreten Fahrzeugtyp umfasst das Verbrauchermodell alle zu berücksichtigenden elektrischen Verbraucher auf der Basis ihrer generellen Leistungsaufnahme.

triebssystems. Bevor der abgeschaltete Motor aufgrund einer Geschwindigkeit größer gleich 0 km/h in den laufenden Betrieb übergeht, wird kurzzeitig die hohe Strombelastung des Anlassers simuliert (**Bild 3**).

Generatormodell

Das Generatormodell übersetzt die vom Antriebsmodell gelieferten Motordrehzahlen in den zugehörigen Generatorstrom. Neben dem Übersetzungsverhältnis zwischen Motor- und Generator Drehzahl ist dabei der Generatorstrom hauptsächlich von der so genannten Generator Kennlinie abhängig. Im Sinne einer zweckmäßigen Abbildung basiert das Generatormodell nicht auf einer analytischen Berechnung des Generatorstroms unter Berücksichtigung aller elektromagnetischen Kenngrößen. Stattdessen wird die temperaturabhängige Generator Kennlinie durch Anwendung der linearen Interpolation aus repräsentativen Stützstellen realer Generatorkonfigurationen ermittelt (**Bild 4**).

Batteriemodell

Die Batterie dient im Bordnetz als elektrischer Speicher zur Aufnahme des überschüssigen Generatorstroms, der nicht von der Verbraucherlandschaft konsumiert wird, beziehungsweise zur Überbrückung von Versorgungsschwächen bei niedrigen Drehzahlen oder abgeschaltetem Motor [1, 2]. Das Batteriemodell simuliert somit die Speicherkapazität, den aktuellen Ladezustand sowie

die Leistungsaufnahme. Je nach Art und abhängig vom Untersuchungsgegenstand kann zusätzlich ein spezifisches Betriebszenario in Form einer permanenten, deterministischen oder stochastischen Betriebsdauer definiert werden.

Energiemanagementmodell

Die Aufgabe des Energiemanagements im Fahrzeug ist es, zumindest mittelfristig ein Gleichgewicht zwischen der bereitgestellten und der verbrauchten elektrischen Energie zu gewährleisten. Maßgebende Einflussgrößen sind dabei der aktuell verfügbare Generatorstrom, die Leistungsaufnahme aller aktiven elektrischen Verbraucher und der ak-

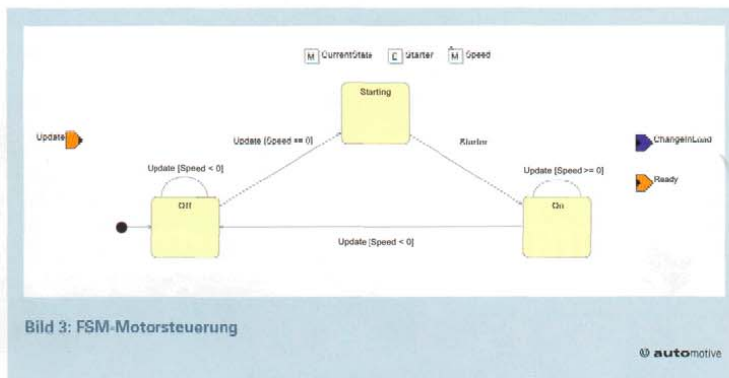


Bild 3: FSM-Motorsteuerung

© automotive

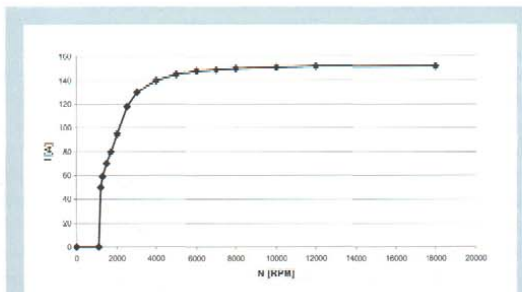


Bild 4: Generatorkennlinie

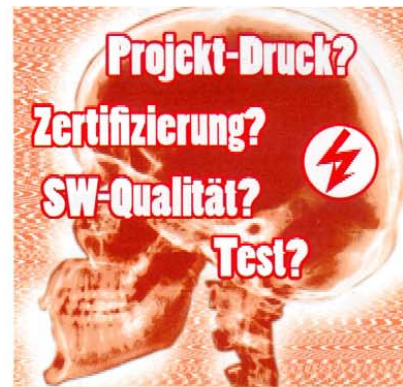
© automotive

tuelle Ladezustand der Batterie. Das Energiemanagementmodell innerhalb der Bordnetz-Simulation umfasst somit alle Basisfunktionen (Aufstellen der Energiebilanz, Laden und Entladen der Batterie, etc.) als auch strategieabhängige Funktionen zur Aktivierung und Deaktivierung bestimmter Energiesparmaßnahmen.

Beispiel

Mit dem Ziel, eine permanente und stabile Energieversorgung zu gewährleisten, werden Bordnetz-Modelle hauptsächlich zur flächendeckenden Simulation versorgungskritischer Fahrzyklen bei unterschiedlichen Belastungsszenarien eingesetzt. Erfahrungsgemäß ist der durchschnittliche Energieverbrauch im Fahrzeug durch den witterungsbedingten Langzeitbetrieb bestimmter Verbraucher (Beleuchtung, Heckscheibenheizung, Sitzheizung, etc.) in den Herbst- und Wintermonaten am höchsten. Somit zählen Stausituationen oder städtischer Berufsverkehr, geprägt durch einen hohen Anteil niedriger Drehzahlphasen, in dieser Jahreszeit zu den Fahrzyklen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit einer kritischen Energieversorgung.

Der in diesem Beispiel simulierte Fahrzyklus stellt eine einstündige Stop-And-Go- Stausituation zur Winterzeit auf der Autobahn dar. Ausgehend von einem zyklischen Fahrverhalten durchläuft das Fahrzeug dabei fortlaufend zunächst eine Motorstillstandphase (60...180 Sekunden), gefolgt von einem Motorstart und einer Leerlaufphase (30...60 Sekunden). Anschließend wird das Fahrzeug auf maximal 30 km/h beschleunigt und allmählich wieder bis zum Stillstand abgebremst. Nach einer weiteren Leerlaufphase (30...60 Sekunden) wird der Motor erneut abgeschaltet. Simuliert wird ein 12-V-Bordnetz. Die Fahrzeugbatterie besitzt eine Kapazität von 44 Ah und unter der Annahme einer vorangegangenen längeren Autobahnfahrt im höheren Drehzahlbereich liegt der initiale Ladezustand bei 90%. Beim Starten des Motors wird der Anlasser mit einer Leistung von 1,8 kW für 1...3 Sekunden betätigt. Im laufenden Betrieb besitzt das Antriebssystem (Zündung, Treibstoffpumpe, Einspritzanlage, etc.) eine Gesamtleistung von 0,4 kW. Als potenzielle elektrische Verbraucher sind das Autoradio (36 W), das Navigationssystem (24 W), das Abblendlicht (150 W) und die Sitzheizung (300 W) dauerhaft eingeschaltet. Die Kurzzeitverbraucher (Blinker, Bremslicht, Scheibenwischer, etc.) besitzen eine gleichverteilte, schwankende Leistungsaufnahme zwischen 120 W und 240 W bei einer exponentiell verteilten Betriebsdauer mit einem Mittelwert von 120 Sekunden. Ein Batterieladezustand kleiner gleich 40% wird vom Energiemanagement als kritisch interpretiert und führt zur Aktivierung von Energiesparmaßnahmen. Dabei wird einerseits die Leerlaufdrehzahl des Motors von 800 U/min auf 1000 U/min angehoben und andererseits die Sitzheizung als unkritischer Verbraucher abgeschaltet. Sobald sich der Batterieladezustand auf größer gleich 50% erholt hat, wird die Leerlaufdrehzahl wieder gesenkt und der Betrieb der Sitzheizung automatisch reaktiviert. Als Ergebnisse der beschriebenen Konfiguration werden in **Bild 5** das vorgegebene Geschwindigkeitsprofil, der zugehörige Generatorstrom, der elektrische Energieverbrauch und der Ladezustand der Batterie in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Anhand des Verlaufs des Batterieladezustands wird deutlich, dass die Energiebilanz von Beginn an eine negative Tendenz aufweist und die Energieversorgung bereits nach ca. 35 Minuten einen kritischen Zustand erreicht. Durch die Aktivierung der Energiesparmaßnahmen, erkennbar an der erhöhten Leerlaufdrehzahl sowie am gesunkenen Verbrauch, entsteht eine positive Energiebilanz, die nach ca. 15 Minuten zu einer vorübergehenden Stabilisierung der Energieversorgung führt. Daran anschließend weist der weitere Verlauf der Simulation eine periodische Aktivierung und Deaktivierung der Energiesparmaßnahmen auf. Aus diesen Simulationsergebnissen können zwei unterschiedliche Schlussfolgerungen für die Spezifikation eines entsprechenden Bordnetz-Systems gezogen werden. Zum einen kann die vorgegebene Energiemanagementstrategie für dieses spezielle Fahr- und Belastungsszenario



Embedded Kopfweg?

Bei solch massiven Kopfschmerzen
haben wir was für Sie: Hitex Services!



Und wegen
der Risiken und
Nebenwirkungen

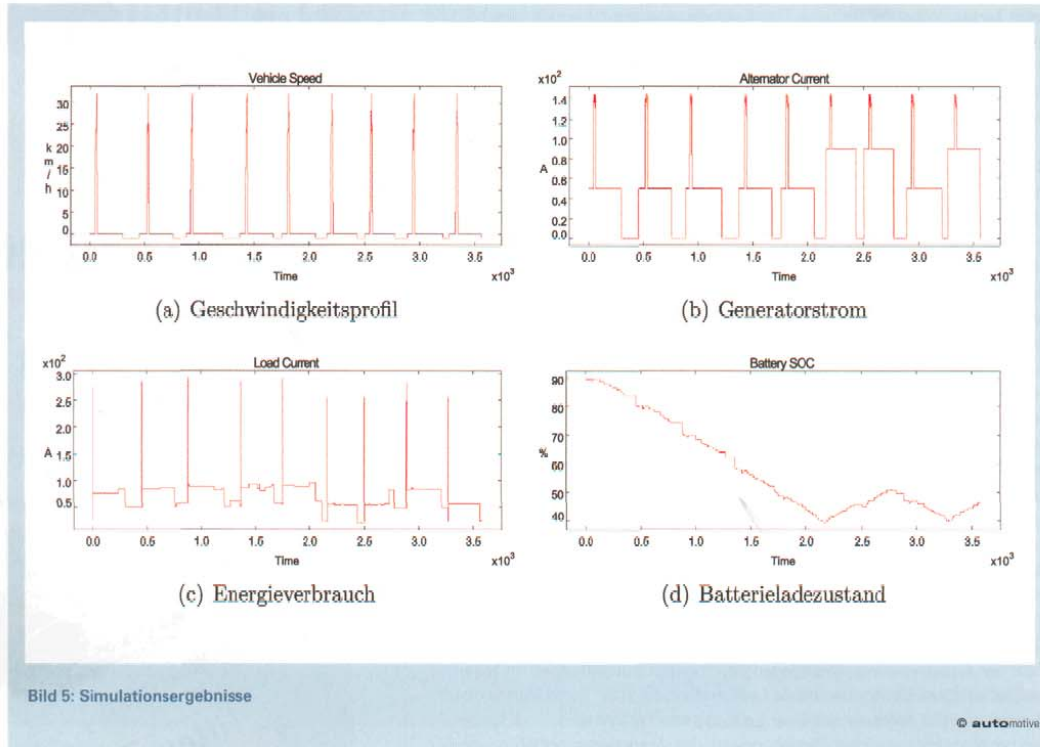
besuchen Sie am besten
unsere Service-Website:

www.embedded-services.de

hitex DEVELOPMENT TOOLS

Wir stellen aus:
Halle 6, Stand 6360
Stuttgart, 9.-11. Mai

automotive
testing expo 2008
europe



im Sinne der Startfähigkeit und der Versorgung sicherheitsrelevanter Funktionen als ausreichend interpretiert werden. Andererseits kann jedoch das wiederholte automatische Abschalten der Sitzheizung über einen Zeitraum von jeweils bis zu 15 Minuten von den Fahrzeuginsassen wahrgenommen und als nichterfülltes Qualitätsmerkmal betrachtet werden.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Entwicklung und der Anwendungsbereich eines Simulationsmodells für Fahrzeug-Bordnetze diskutiert. Die Integration derartiger Simulationsmodelle in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses ermöglicht sowohl eine Reduktion der Entwicklungszeiten und -kosten als auch eine Verbesserung der Qualität. Vor diesem Hintergrund wurden unter dem Aspekt spezieller Modellierungsmethoden die einzelnen Komponenten der Bordnetz-Simulation vorgestellt. Letztendlich wurde anhand eines konkreten Beispiels gezeigt, welche potenziellen Aussagen mit Hilfe der Simulation

über die Konfiguration eines Bordnetz-Systems bereits in der Spezifikationsphase getroffen werden können.

Literatur

- [1] Ulrich Adler (Hrsg.), Automotive handbook / Bosch, VDI-Verlag, 3. Aufl., 1993
- [2] Ali Emadi (Hrsg.), Handbook of automotive power electronics and motor drives, Taylor & Francis, 2005
- [3] Henning Wallentowitz (Hrsg.), Christian Amsel (Hrsg.), 42V-PowerNets, Springer, 2003
- [4] Gerhard Henneberger, Elektrische Motorausstattung, Starter, Generator, Batterie und ihr Zusammenwirken im Kfz-Bordnetz / Bosch, Vieweg, 1990
- [5] Matthias Schöllmann (Hrsg.), Energiemanagement und Bordnetze: Moderne Bordnetzarchitekturen und innovative Lösungen für Energiemanagementsysteme in Kraftfahrzeugen, expert-Verlag, 2005
- [6] Bernard Bäker, Energie- und Informationsmanagement für zukünftige Kfz-Bordnetze, Aachen: Mainz, 1998
- [7] MLDesigner User's Manual, Version 2.5, <http://www.mldesigner.com>, 2006.

@ MLDesign Technologies Inc.
www.mldesigner.de



Dipl.-Inf. H. Rath ist bei der Mission Level Design GmbH in 98693 Ilmenau beschäftigt.
E-mail: holger.rath@mldesigner.de



Dr. G. Schorch ist ebenfalls bei der Mission Level Design GmbH in 98693 Ilmenau beschäftigt.
E-mail: gunar.schorch@mldesigner.de



Prof. H. Salzwedel ist an der Technischen Universität Ilmenau, Fakultät für Informatik und Automatisierung, Fachgebiet System- und Steuerungstheorie.
E-mail: horst.salzwedel@tu-ilmenau.de