



# Internet-Integration von fahrzeugbasierten Ad-hoc-Netzen

Internet Integration of Vehicular Ad Hoc Networks

Marc Bechler, Technische Universität Braunschweig, Nominierung GI-Dissertationspreis 2004<sup>1</sup>

**Zusammenfassung** Selbstorganisierende Ad-hoc-Netze gelten als Schlüsseltechnologie für zukünftige telematikgestützte Dienste im Fahrzeug. Die Bereitstellung von Internet-Diensten im Fahrzeug erfordert die Integration dieser Netze in das Internet, für die es keine gängigen Protokolle im Internet gibt. In diesem Beitrag wird mit MOCCA ein neuartiger Ansatz für die Internet-Integration von Fahrzeugnetzen vorgestellt. MOCCA verfolgt einen proxybasierten Ansatz, der die Eigenschaften des Fahrzeugnetzes verdeckt und für die effiziente Kommunikation zwischen Fahrzeug und Internet sorgt. MOCCA kümmert sich dabei um die Mobilitätsunterstützung der Fahrzeuge, die Ausnutzung von heterogenen Kommunikationsumgebungen sowie den effizienten Datenaustausch auf der Transportschicht. Eine wichtige Eigenschaft von MOCCA ist die starke Verzahnung der Protokolle, um einen bestmöglichen Wirkungsgrad zu erreichen. Die Evaluierung anhand von typischen fahrzeugbasierten Kommunikationsmodellen zeigt, dass MOCCA ein geeigneter Ansatz für die Internet-Integration von Fahrzeugnetzen ist.

**Summary** Self-organizing ad hoc networks are one of the hottest key technologies for future vehicular services and applications. In order to provide Internet services in such scenarios, the ad hoc networks must be integrated into the Internet, which is not possible with existing communication protocols. The MOCCA architecture described in this contribution is a novel approach for the Internet integration of vehicular ad hoc networks. MOCCA introduces a proxy-based communication architecture which hides the inherent characteristics of the vehicular ad hoc networks and which provides efficient communication between vehicles and Internet. Therefore, MOCCA supports the mobility of the vehicle, utilizes heterogeneity in the communication environment, and provides an efficient data transport at the transport layer. An important characteristic of MOCCA is the strong interaction between the protocols and mechanisms deployed in order to achieve efficiency and scalability. The evaluation using typical vehicular communication models shows that MOCCA is able to highly improve communication between vehicular ad hoc networks and the Internet.

**KEYWORDS** C.2.1 [Wireless communications], C.2.2 [Network protocols], Internet-Integration, Verkehrstelematik, Ad Hoc Networking, Mobilkommunikation

## 1 Motivation

Aktuelle Entwicklungsaktivitäten im Automobilssektor verlagern sich zunehmend auf neue Schlüsseltechnologien. Der Verkehrstelematik kommt dabei eine wachsende Bedeutung zu im Hinblick auf die

<sup>1</sup>Die Promotion erfolgte an der Fakultät Mathematik und Informatik der Technischen Universität Braunschweig, die sie zum GI-Dissertationspreis 2004 vorschlug. Die Gutachter waren Prof. Dr.-Ing. Lars Wolf, TU Braunschweig, und Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiller, FU Berlin.

Sicherheit und den Verkehrsfluss auf den Straßen: Diverse Studien belegen, dass sich die Fahrzeugsicherheit signifikant verbessern lässt, wenn Fahrzeuge untereinander kommunizieren können. Eine beispielhafte Anwendung ist das Warnen vor gefährlichen Verkehrssituationen wie Staus oder Unfälle. In diesem Fall können nachfolgende Fahrzeuge rechtzeitig bremsen oder auf alternative Strecken ausweichen. In einem solchen Szenario spielen ge-

ringe Verzögerungen und Kommunikationskosten eine wichtige Rolle. Daher konzentrieren sich aktuelle Entwicklungen auf Ad-hoc-Netze. Diese ermöglichen die Kommunikation zwischen Fahrzeugen über andere Fahrzeuge hinweg, ohne dass hierfür eine vorinstallierte Netzinfrastruktur vorhanden sein muss (Bild 1).

Neben den Fahrzeugen umfasst dieses Szenario auch sogenannte Zugangspunkte, die sich

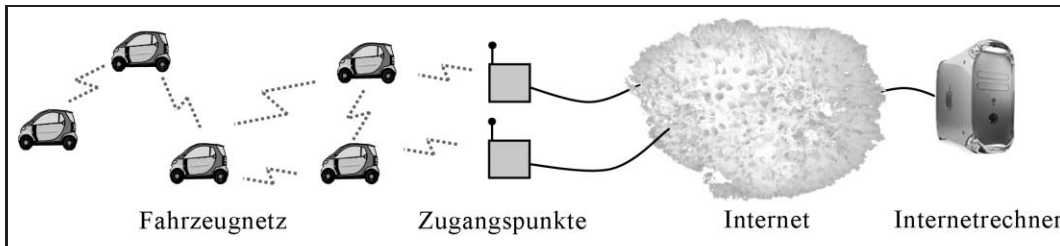


Bild 1 Beispielhaftes Kommunikationsszenario für Fahrzeugnetze.

nahtlos in das Fahrzeugnetz integrieren (Bild 1). Diese verhalten sich wie Fahrzeuge und können somit nicht von diesen unterschieden werden. Die Zugangspunkte sind zusätzlich an das Internet angeschlossen und bieten den vorbeifahrenden Fahrzeugen einen temporären Internetzugang. Dieser Zugriff kann z. B. dazu genutzt werden, damit weit entfernte Fahrzeuge miteinander (über das Internet) kommunizieren können. Darüber hinaus ist es auch möglich, vom Fahrzeug auf Dienste im Internet zuzugreifen.

Jedoch unterscheidet sich die Kommunikation im Fahrzeugnetz grundlegend von der Kommunikation im Internet: Fahrzeuge sind mobil und kommunizieren drahtlos, wodurch sich Topologie, Kommunikationsbedingungen und Standort der Fahrzeuge ständig ändern. Da Zugangspunkte nicht immer verfügbar sind, ist der Internetzugang nur temporär möglich. Neben dem Fahrzeugnetz können weitere Zugangnetze wie GSM oder WLAN-Hotspots verfügbar sein, die alternativ für den Internetzugang ge-

nutzt werden können. Auch können Fahrzeugnetze recht groß werden und eine Vielzahl kommunizierender Fahrzeuge umfassen. Aufgrund dieser Merkmale können die im Internet verwendeten Protokolle nicht für die Anbindung des Fahrzeugnetzes an das Internet verwendet werden: Diese unterstützen weder Kommunikation in Ad-hoc-Netzen noch Mobilität, und das im Internet verwendete TCP kommt nur sehr unzureichend mit temporären Verbindungen und variierenden Eigenschaften zurecht [1]. Daher ergibt sich die Notwendigkeit, das Fahrzeugnetz nahtlos in das Internet zu integrieren. Dazu sind folgende Aspekte zu berücksichtigen: (i) Unterstützung der Fahrzeugmobilität, (ii) Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften des Fahrzeugumfeldes, (iii) effizienter Datenaustausch auf der Transportschicht sowie (iv) Skalierbarkeit von Adressierung und Protokollen.

## 2 MOCCA

Das vorrangige Ziel der Internet-Integration ist es, dass das Fahr-

zeugnetz als eine transparente Erweiterung des Internets erscheint. Dieser Beitrag stellt mit MOCCA (*Mobile Communication Architecture*) eine neuartige Kommunikationsarchitektur für die Internet-Integration von Fahrzeugnetzen vor. MOCCA vereint einen proxybasierten Ansatz mit einem skalierbaren Mobilitätsmanagement für die Fahrzeuge. Darüber hinaus verbessert MOCCA die Kommunikation in heterogenen Kommunikationsumgebungen, die typisch sind für die Verkehrstelematik. Auf der Transportschicht sorgt ein optimiertes Transportprotokoll für den effizienten Datenaustausch. MOCCA verfolgt dabei einen integrierten Ansatz. Zum einen sind die entwickelten Mechanismen speziell auf die Eigenschaften des Fahrzeugumfeldes abgestimmt. Zum anderen sind die Protokolle eng miteinander verzahnt, um einen bestmöglichen Wirkungsgrad zu erzielen [2].

MOCCA basiert auf einem speziellen Proxy-Konzept, das in Bild 2 aus topologischer Sicht dargestellt ist. Eine zentrale Komponente ist

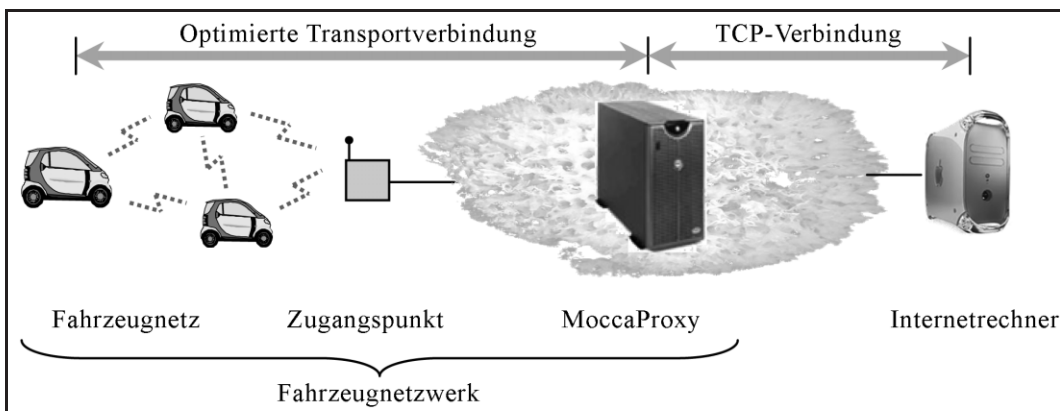


Bild 2 Die proxybasierte Kommunikationsarchitektur von MOCCA.

der *MoccaProxy*, der im Internet angesiedelt ist.<sup>1</sup> Dieser fungiert als Bindeglied zwischen Fahrzeugnetz und Internet. Die Proxyfunktionalität umfasst auch das Aufspalten der TCP-Verbindungen in zwei Abschnitte, wie in Bild 2 gezeigt ist: Kommunikation im Internet, d. h. zwischen Internetrechner und *MoccaProxy*, und Kommunikation im Fahrzeugnetzwerk, also zwischen Fahrzeug und *MoccaProxy*.

Das Fahrzeugnetzwerk umfasst neben dem Fahrzeugnetz auch das Netz, das die Zugangspunkte mit dem Internet verbindet. Das kann z. B. mit DSL geschehen. Dadurch fungiert der *MoccaProxy* als Stellvertreter sowohl für das Internet als auch für das Fahrzeugnetz. Die Aufgabe des *MoccaProxys* ist es, die unterschiedlichen Kommunikationsprotokolle zu überbrücken sowie die Eigenschaften des Fahrzeugnetzes zu verdecken. Für die Internet-Integration betrifft dies die Netzwerkschicht und die Transportschicht. Auf der Netzwerkschicht kümmert sich der *MoccaProxy* um die Mobilität der Fahrzeuge, die Heterogenität sowie die Kommunikation im Fahrzeug. Auf der Transportschicht sorgt ein neuartiges Transportprotokoll für einen effizienten Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Internet.

Die Mobilitätsunterstützung in MOCCA übernimmt das Protokoll MMIP6 (*MOCCA Mobile IPv6*). MMIP6 basiert auf Prinzipien von Mobile IPv4, ist jedoch für die Internet-Integration von Fahrzeugnetzen optimiert [2]. Dazu ist MMIP6 konsequent in die proxybasierte MOCCA-Architektur integriert. Damit wird von einem die Mobilität der Fahrzeuge durch den *MoccaProxy* verdeckt. Zum anderen unterstützt es die IPv6-ba-

sierte Kommunikation im Fahrzeugnetz bei gleichzeitiger Wahrung der Kompatibilität zum IPv4-basierten Internet. Darüber hinaus ist MMIP6 so ausgelegt, dass die Fahrzeuge über statische IPv6-Adressen identifiziert werden, wodurch eine aufwendige Adressvergabe nicht benötigt wird. MMIP6 wird ergänzt durch das Protokoll DRIVE (*Discovery of Internet Gateways from Vehicles*), das geeignete Zugangspunkte im Fahrzeugnetz identifiziert. Dies ist notwendig, da sich die Zugangspunkte nicht von Fahrzeugen unterscheiden. DRIVE setzt hierzu proaktive Mechanismen ein, wodurch die Skalierbarkeit gewährleistet bleibt. Ein Fuzzy-Logic-basiertes Entscheidungsmodul sorgt dafür, dass aus einer Menge an verfügbaren Zugangspunkten der jeweils „geeignetste“ identifiziert wird. Dazu werden vielfältige Informationen über die Zugangspunkte und die Fahrzeugumwelt herangezogen [2].

Auf der Transportschicht kommt bei MOCCA das optimierte Protokoll MCTP (*MOCCA Transport Protocol*) zum Einsatz, und zwar zwischen Fahrzeug und *MoccaProxy*. Dies ist notwendig, da in mobilen Ad-hoc-Netzen wie dem Fahrzeugnetz die Leistungsfähigkeit von TCP aufgrund der konservativen Staukontrolle sehr ineffizient ist. Da der *MoccaProxy* mit einem Internetrechner mittels TCP kommuniziert, bleibt durch den proxybasierten Ansatz von MOCCA die Kompatibilität mit dem Internet gewährleistet. MCTP basiert auf TCP, berücksichtigt aber die folgenden typischen Eigenschaften von Fahrzeugnetzen: (i) Unterscheidung zwischen Überlast und Übertragungsfehlern, (ii) Netzpartitionierungen und (iii) Abkoppelungen vom Internet. Dies ist möglich, indem Informationen aus den übrigen MOCCA-Protokollen herangezogen werden. Der Protokollautomat von MCTP ist als eine Zwischenschicht zwischen TCP und IP realisiert. Dabei analysiert es den ein-/ausgehenden Datenverkehr und steuert die in TCP

implementierten Mechanismen situationsabhängig [2].

Im Fahrzeug selbst können mobile Geräte über einen weiteren Proxy an das Fahrzeugnetz „angeschlossen“ werden. Darüber ist in der Kommunikationsplattform des Fahrzeugs ein so genannter Multiplexer realisiert, der ein transparentes Umschalten zwischen den gerade verfügbaren Netzen erlaubt. Damit ist es möglich, die inhärente Heterogenität der Kommunikationssysteme im Fahrzeugumfeld auszunutzen. Das Umschalten wird durch einen Fuzzy-Logic-Algorithmus unterstützt, der das „geeignetste“ Netz auswählt. Auch hier werden die unterschiedlichsten Informationen herangezogen, die von den in MOCCA integrierten Protokollen bereit gestellt werden [2].

### 3 Ergebnisse

Die Leistungsfähigkeit von MOCCA wurde anhand von „typischen“ Verkehrsszenarien evaluiert. Die Protokolle DRIVE und MMIP6 zeigten eine sehr gute Skalierbarkeit verglichen mit existierenden Ansätzen. Unter ungünstigsten Bedingungen hängt bei DRIVE der Overhead linear von der Fahrzeugdichte ab, wohingegen der Overhead von traditionellen Verfahren quadratisch mit der Fahrzeugdichte wächst. Für die Evaluierung von MCTP wurden unterschiedliche Mobilitätsmuster von Fahrzeugen entwickelt, die daraus resultierenden Kommunikationscharakteristiken emuliert und Messungen basierend auf einem realen Prototypen durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass MOCCA im Vergleich zu Standard TCP ein bis zu viermal höherer Datendurchsatz erreichen konnte [2].

Damit lässt sich zusammenfassen, dass durch den integrierten Ansatz von MOCCA ein hohes Maß an Effizienz und Skalierbarkeit erreicht wurde. Die Eignung von MOCCA wird nicht nur durch die Evaluierung bestätigt; MOCCA wird im BMBF-Projekt FleetNet für die Internet-Integration des

<sup>1</sup> Der *MoccaProxy* ist hier zur Verdeutlichung der Konzepte als eine virtuelle Instanz zu betrachten. In einer realen Umsetzung kann der *MoccaProxy* selbst als Cluster realisiert sein, um kritische Engpässe zu vermeiden. Auch können mehrere *MoccaProxies* unabhängig voneinander als Übergangspunkte zwischen Fahrzeugnetz und Internet fungieren.



dort entwickelten Fahrzeugnetzes verwendet [1].

## Literatur

- [1] M. Bechler, W.J. Franz, L. Wolf: Mobile Internet Access in FleetNet. In: *Proc. Fachtagung Kommunikation in verteilten Systemen*, Feb. 2003.
- [2] M. Bechler: Internet Integration of Vehicular Ad Hoc Networks. *Logos-Verlag, ISBN 3-8325-0750-7*, 2004.



**Dr.-Ing. Marc Bechler** arbeitete nach seinem Studium der Informatik als Wissenschaftli-

cher Mitarbeiter am Institut für Telematik der Universität Karlsruhe (TH) und am Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund der Technischen Universität Braunschweig, wo er im Oktober 2004 mit Auszeichnung promovierte. Die Gutachter der Arbeit waren Prof. Dr.-Ing. Lars Wolf und Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiller. Die Forschungsarbeiten von Marc Bechler umfassen Verkehrstelematik, Mobile Computing, Ad Hoc Networking und Sicherheit in der Mobilkommunikation. Er veröffentlichte zahlreiche Beiträge auf nationalen und internationalen Konferenzen und ist Mitautor des Buches „Linux-Netzwerkarchitektur“, das in Deutsch, Englisch, Französisch und Russisch erschienen ist. Seit Ende 2005 arbeitet Marc Bechler bei der BMW Group in München.

Adresse: TU Braunschweig, Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund, Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig, Tel.: +49-531-3913263, Fax: +49-531-3915936, E-Mail: bechler@ibr.cs.tu-bs.de