



SIGNOS

**Standardisierte Interfaces, Geräte und Netzwerke zur Steuerung
von Lichtsignalanlagen auf der Basis von OCIT-Schnittstellen**

**Schlussbericht zum Teilvorhaben
- Netzwerktechniken für OTS-Infrastrukturpunkt -**

14. Dezember 2007

Gefördert durch:

Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie
Förderkennzeichen: 16 IN 0292

Zuwendungsempfänger:

Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg (ifak)
Steinfeldstraße 3
D-39179 Barleben

Inhalt

1	Hintergrund und Motivation	5
1.1	Einführung	5
1.2	Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Steuergerät bei dezentraler Steuerung	6
1.3	Der OCIT-Standard.....	7
1.3.1	Das OCIT-System	8
1.3.2	OCIT-Outstations	9
1.4	Aufgabenstellung	11
2	Anforderungen	13
2.1	Verbesserung der Erreichbarkeit von LSA-Steuergeräten mit OCIT- Outstations-Schnittstelle	13
2.2	Plattform für die verkehrsabhängigen Steuerverfahren.....	13
2.3	Anbindung weiterer Geräte	14
2.4	Aufrüstung von Altanlagen.....	15
2.5	Konfiguration und Bedienung.....	15
2.6	Zu berücksichtigende Umwelteinflüsse.....	16
2.7	Zusammenfassung	16
3	Konzeption	17
3.1	Evaluierung von Netzwerktechniken.....	17
3.1.1	Voraussetzungen	18
3.1.2	Ethernet-LAN, -MAN und -WAN.....	19
3.1.3	Feldbus	21
3.1.4	DSL.....	22
3.1.5	WLAN.....	23
3.1.6	Bluetooth.....	24
3.1.7	GPRS.....	25
3.1.8	UMTS.....	26
3.1.9	Fazit	27
3.2	Aufrüstung von Altanlagen.....	29
3.3	Entkopplung der Steuergerätefunktionen.....	30
3.4	Steuersoftware.....	31
3.5	Hardware des Infrastrukturpunktes.....	31
3.6	Betriebssystem	33

3.7	Konfiguration und Bedienung über Webbrowser	34
4	Umsetzung und Ergebnisse.....	35
4.1	Infrastrukturpunkt.....	35
4.1.1	Hardwarekonfiguration	35
4.1.2	Betriebssystem.....	37
4.2	Schaltgerät.....	39
4.3	Virtuelle Entwicklungsumgebung	41
4.4	Konformitäts- und Verträglichkeitsnachweise	42
4.4.1	Klimatest	42
4.4.2	EMV-Test	42
4.4.3	CE-Konformität.....	43
5	Quellen.....	45

1 Hintergrund und Motivation

1.1 Einführung

Eine Lichtsignalanlage (LSA), auch als Lichtzeichenanlage oder umgangssprachlich als Ampel bezeichnet, dient der Steuerung des Straßenverkehrs an Knotenpunkten (Kreuzungen). Lichtsignalanlagen werden in der Regel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, wenn z. B. die Regelung mit Verkehrsschildern unklar oder unübersichtlich ist und gehäuft zu Verkehrsunfällen führt, oder zur Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs eingerichtet [RiLSA-92].

Einen Verbund von mehreren Lichtsignalanlagen einschließlich übergeordneter Verkehrsrechner und Verkehrsingenieursarbeitsplätze wird als Verkehrssteuerungssystem bezeichnet. Der Aufbau eines solchen Verkehrssteuerungssystems ist in Bild 1 skizziert.

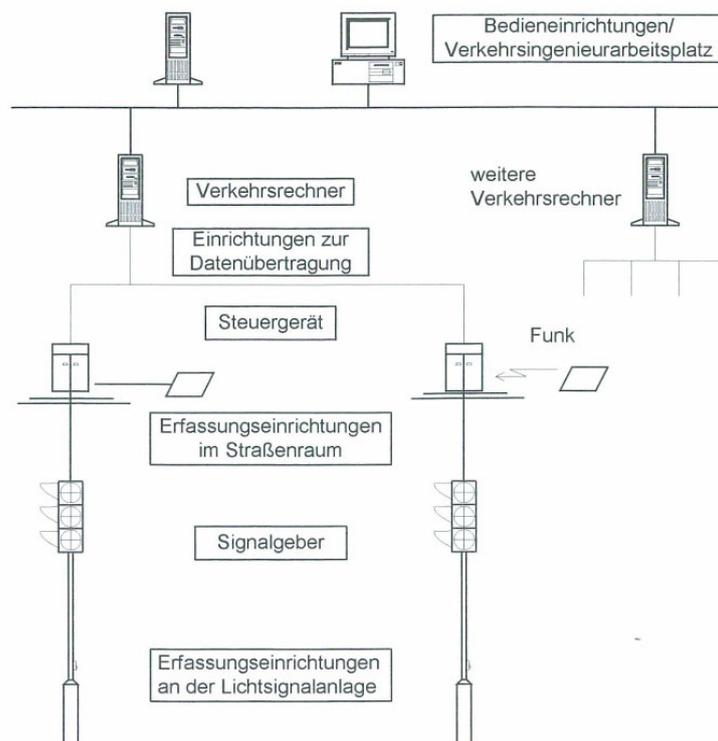


Bild 1: Komponenten eines Verkehrssteuerungssystems [FGSV-01]

Eine verkehrsabhängig steuernde LSA besteht im Wesentlichen aus dem Steuergerät mit dem Steuerverfahren, den Signalgebern und den Detektoren. Die Kommuni-

kationsverbindung vom Steuergerät (Feldgerät) zum übergeordneten Verkehrsrechner dient beispielsweise der Überwachung, der Befehlserteilung und dem Austausch von anfallenden Prozessdaten. Ausführliche Erläuterungen hierzu finden sich in den nachfolgenden Absätzen. Zu den bedeutendsten Herstellern von Steuergeräten in Deutschland zählen die Dambach Werke GmbH, die Siemens AG, die Signalbau Huber AG, die STOYE GmbH und die Stührenberg GmbH. Weitere Details zu Lichtsignalanlagen allgemein können dem Bericht zum Verbund sowie [RiLSA-92] entnommen werden.

Die Daten, die auf dem Kommunikationsweg zwischen Feldgerät und Verkehrsrechner ausgetauscht werden, sind je nach Steuerungsform, Hersteller und spezifischer Umsetzung sehr verschieden. Bei einer *zentralen* Steuerung wird das Signalprogramm auf dem Verkehrsrechner abgearbeitet. Von dort erhalten die angeschlossenen Steuergeräte ihre Freigabe- und Sperrbefehle, wobei die Übergänge (Gelb- und Gelb-Rot-Signal) vom Steuergerät ergänzt werden. Bei der *dezentralen* Steuerung dagegen übernimmt das Steuergerät selbst bzw. das dort befindliche verkehrabhängige Steuerverfahren die Signalprogrammabarbeitung und die damit verbundenen komplexen Berechnungsschritte in Abhängigkeit von der aktuellen lokalen Verkehrslage. Die *teilzentrale* Steuerung stellt eine Mischform zwischen zentraler und dezentraler Steuerung dar. Das Projekt SIGNOS beschäftigte sich vornehmlich mit der dezentralen Steuerungsform, so dass sich alle weiteren Betrachtungen und Ausführungen darauf beziehen.

1.2 Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Steuergerät bei dezentraler Steuerung

Die Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Steuergerät erfolgt bidirektional. Der Verkehrsrechner möchte im Wesentlichen

- den Status des Steuergerätes abfragen (Überwachung)
- Befehle zum Wechsel des Signalprogramms, zum Ein- und Ausschalten der LSA oder der Verkehrsabhängigkeit geben,
- bestimmte nicht sicherheitsrelevante Versorgungsdaten senden sowie

- anfallende Prozessdaten, wie die tatsächlich geschalteten Signale, aufgezeichnete Detektorbelegungen und weitere vielfach auch anlagenspezifische Prozessdaten, abfragen.

Das Steuergerät benutzt die Verbindung zum Verkehrsrechner u. a. zur Uhrzeitsynchronisation, wenn ein mit benachbarten Lichtsignalanlagen koordinierter Betrieb zur Schaltung von grünen Wellen realisiert werden soll.

In der Regel sind die Verkehrsrechner mit den Steuergeräten über verdrehte zweiadrige Kupferkabel, wie sie auch für das analoge Telefonnetz verwendet werden, verbunden. Man spricht dabei von einer Sternverkabelung, da der Verkehrsrechner mit allen zugehörigen Steuergeräten verbunden ist, die Steuergeräte untereinander jedoch keine Verbindung besitzen. Die Kommunikation über dieses Netz erfolgt bislang in der Regel mit Hilfe von Modems. Zwischen Verkehrsrechnern werden bisweilen auch Glasfaserkabel verwendet.

1.3 Der OCIT-Standard

Technische Normen, Richtlinien, Empfehlungen und Merkblätter existieren in der Straßenverkehrstechnik schon seit längerem, wenngleich sich diese überwiegend mit straßenbaulichen Aspekten befassen. Bestrebungen zur Vereinheitlichung von Schnittstellen und Datenstrukturen in rechnergestützten Verkehrssteuerungssystemen gibt es dagegen erst seit Ende der 1990er Jahre mit der Initiative OCIT (Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems / Offene Schnittstellen für die Straßenverkehrstechnik). Die Gründer dieser Initiative sind die bereits erwähnten Dambach Werke GmbH, Siemens AG, Signalbau Huber AG, STOYE GmbH und Stührenberg GmbH, welche seit 1999 in der OCIT Developer Group (ODG) organisiert sind. OCIT ist eine geschützte Marke dieser Firmen. Die Verwendung von bestimmten Teilen des OCIT-Standards (z. B. OCIT-Outstations) in eigenen Produkten setzt die Zahlung einer Lizenzgebühr in fünfstelliger Höhe an die ODG voraus, weshalb OCIT nur eingeschränkt als offener Standard bezeichnet werden kann. Seit 1999 sind weitere Interessenverbände, wie die OCA und die OTEC, zur OCIT-Initiative hinzu gestoßen. Ausführlichere Informationen hierzu finden sich ebenfalls im Bericht zum Verbund.

Vor OCIT wurden in der Regel alle Komponenten eines Verkehrssteuerungssystems, angefangen bei der Signaltechnik über die Steuergeräte bis hin zu den zentralenseitigen Komponenten, von einem Hersteller geliefert. Aufgrund fehlender Standards konnten einzelne Komponenten nur von dem jeweiligen Hersteller, nicht aber von anderen Anbietern ersetzt werden. Leidtragende dieser Herstellerbindung waren häufig die städtischen Betreiber, die Leistungen zu nicht marktgerechten Preisen bezahlen mussten. Die Schnittstellenstandardisierung in der Straßenverkehrstechnik als Voraussetzung für herstellergemischte Systeme wird daher insbesondere von den städtischen Betreibern als eine wichtige Aufgabe angesehen, da hierdurch Wettbewerb auch nach der Vergabe des Auftrags zur Erstinstallation zwischen den Anbietern ermöglicht wird. Es ist absehbar, dass sich damit eine Entlastung der kommunalen Haushalte hinsichtlich zukünftiger Investitionen und Kosten im Lebenszyklus der Anlagen ergibt. Für Dritte wie die im Projekt vertretenen KMU bedeutet die Standardisierung eine Stärkung im Wettbewerb, da neue Produkte und Dienstleistungen im Verkehrstechnikmarkt platziert werden können.

1.3.1 Das OCIT-System

Die Basis der offenen Systemarchitektur von OCIT bilden die Schnittstellen. Sie konzentrieren sich auf standardisierte Verbindungen zwischen verteilten zentralen und dezentralen Komponenten, wie Teilsystemen, Werkzeugen und Feldgeräten. Mit der Nutzung von Hard- und Softwaretechniken aus dem Bereich des Internets ermöglichen sie den Aufbau von Verkehrsmanagementsystemen und systemweiten Netzwerken, die Feldgeräte und Zentralen umfassen. In den OCIT-Definitionen werden die Systemarchitektur, Regeln, Funktionen und Übertragungsprotokolle festgelegt.

Bisher wurden drei Schnittstellenbereiche im Gesamtsystem der Verkehrssteuerung identifiziert und spezifiziert (siehe Bild 2):

- **OCIT-Instations** sind standardisierte Schnittstellen zwischen zentralenseitigen Komponenten und Systemen. Charakteristisch für diese Schnittstellen ist die Übernahme von Datensätzen (Archivdaten, archivierte Messwerte, Versorgungsdaten etc.) und deren zeitlich entkoppelte Verarbeitung.
- **OCIT-Outstations** sind standardisierte Schnittstellen zwischen Zentrale und Feldgeräten. Sie dienen zur Steuerung, Überwachung und Datensammlung. Die O-

CIT-Feldgeräte sind Single-Master-Geräte, daher ist ihre Gegenstelle logisch gesehen immer eine einzelne Zentrale (Verkehrsrechner) bzw. eine Komponente oder ein Servicetool in der Zentrale.

- **OCIT-LED** ist eine elektrische Schnittstelle zwischen Lichtsignalsteuergerät und LED-Signalgebermodulen in 40 V-Technik.

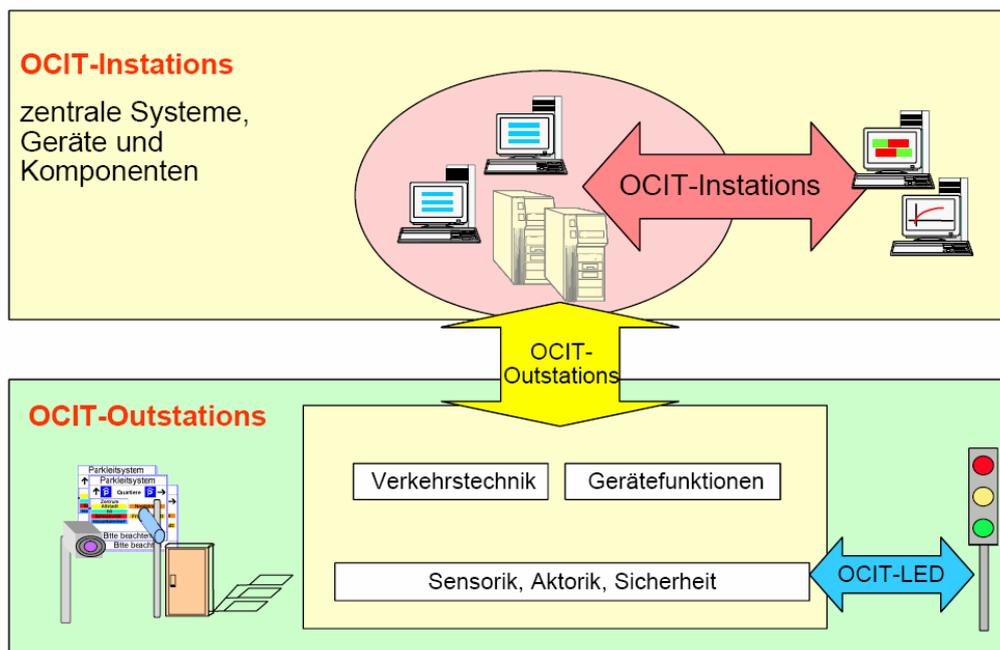


Bild 2: Die Schnittstellenbereiche des OCIT-Systems [URL:OCIT]

1.3.2 OCIT-Outstations

Die OCIT-Outstations-Schnittstelle zwischen zentralenseitigen Systemen und Feldgeräten ist vorrangig für LSA-Steuergeräte konzipiert. Über diese Schnittstelle werden die in Abschnitt 1.2 erwähnten Daten ausgetauscht. Eine besondere Bedeutung hat das für OCIT-Outstations entwickelte Übertragungsprotokoll BTPPL (Basis Transport Paket Protokoll Layer), welches auf den Internetprotokollen TCP (Transmission Control Protocol) und UDP (User Datagram Protocol) aufsetzt. Die Lage von BTPPL innerhalb des ISO-OSI-Referenzmodells zeigt Bild 3.

OCIT-Outstations ist nicht auf ein bestimmtes Kommunikationsmedium festgelegt. Die möglichen Kommunikationsmedien erstrecken sich von vorhandenen, in ihrer Übertragungsrates eingeschränkten Zweidrahtleitungen (analoges Telefonkabel) über Funkverbindungen bis hin zu LAN/WAN. Zeitkritische Steuerungsaufgaben werden in

den Feldgeräten wahrgenommen und nicht zwischen Zentrale und Gerät über die OCIT-Outstations-Schnittstelle abgewickelt. Die OCIT-Outstations-Feldgeräte besitzen daher Prozessoren, die komplexe Abläufe lokal beherrschen und entsprechende Verarbeitungen durchführen können.

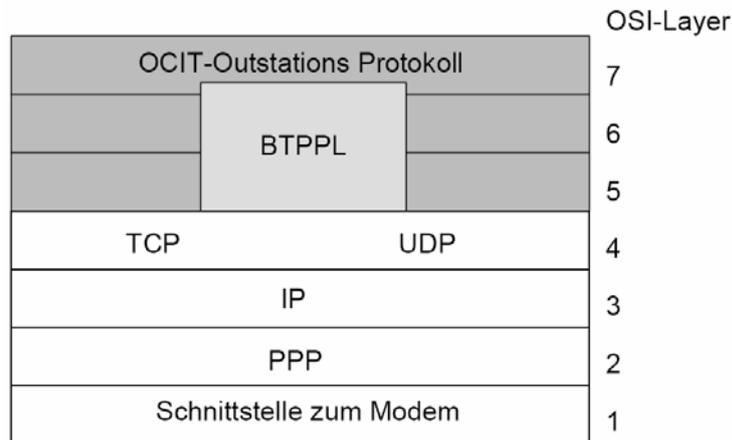


Bild 3: Lage des Protokolls BTPPL innerhalb des ISO-OSI-Schichtenmodells [OCIT-O]

OCIT-Outstations verwendet zur Strukturierung der verfügbaren Funktionen ein Objektmodell. Darin sind jedes Objekt und jede Funktion über eine Nummer identifizierbar. Die Spezifikation der OCIT-Outstations-Objekte ist in den OCIT-Dokumenten [URL:OCIT] zu finden.

Die Datenübertragungssysteme, über welche die Feldgeräte mit der Zentrale kommunizieren, werden in OCIT-Outstations über so genannte Übertragungsprofile definiert. Die darin getroffenen Festlegungen betreffen Übertragungswege, Übertragungsprotokolle und Übertragungsgeräte. In OCIT-Outstations gibt es derzeit zwei Übertragungsprofile. Profil 1 „Übertragungsprofil für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen auf fest geschalteten Übertragungswegen“ regelt eine analoge Übertragung mit Modems nach CCITT V.34 mit Übertragungsraten bis 28.000 Bit/s. Das Profil 2 „Übertragungsprofil für Wählverbindungen im Festnetz und GSM-Mobilfunknetz“ trifft Festlegungen zur Datenübertragung mit ISDN und GSM (Global System for mobile Communications), wobei die in Bild 4 abgebildeten Kombinationen möglich sind.

Kombinati- on	Zentrale	Feldgerät
1	ISDN	GSM
2	GSM	GSM
3	GSM	ISDN
4	ISDN	ISDN

Bild 4: Kombinationsmöglichkeiten im Übertragungsprofil 2 [OCIT-O]

Die Kombinationen 1-3 erlauben eine Übertragungsrate von 9.600 Bit/s; bei Kombination 4 ist Übertragungsrate von 64.000 Bit/s möglich. Zum Austausch der eigentlichen Anwendungsdaten kommt unabhängig vom eingesetzten Profil das bereits erwähnte Protokoll BTPPL zum Einsatz. BTPPL wurde für die relativ geringen Datenübertragungsraten von Profil 1 und Profil 2 optimiert.

Unabhängig von den bisher veröffentlichten Profilen 1 und 2 können auch andere Datenübertragungssysteme mit eigenen Kommunikationsmedien und Protokollen verwendet werden. Die einem Profil entsprechenden Regelungen sind dann jeweils projektspezifisch festzulegen.

1.4 Aufgabenstellung

Im Zuge der rasanten Ausbreitung des Internets und der damit verbundenen technischen Entwicklungen der letzten Jahre, wie beispielsweise neuartiger Kommunikationsverfahren, die Datenübertragungsraten von mehreren MBit/s ermöglichen, der Datenbeschreibungssprache XML (eXtended Markup Language) und der Bedienung von Systemen über Webbrowser, haben sich auch für den Verkehrssteuerungsbereich in verschiedener Hinsicht neue Möglichkeiten eröffnet. Diese betreffen insbesondere die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Bedienerfreundlichkeit der vorhandenen Teilkomponenten. Gerade letzteres vereinfacht häufig die Handhabung komplexer Vorgänge.

Weitere denkbare Neuerungen für die Zukunft könnten beispielsweise Videotechnik zur Lösung von bestimmten Verkehrsmanagementaufgaben und Anzeigetafeln für aktuelle Verkehrslageinformationen sein. In beiden genannten Fällen wäre es wünschenswert, den bereits vorhandenen Kommunikationsweg von der Zentrale zum Feldgerät mitzunutzen. Es ist offensichtlich, dass die Übertragungsraten der Profile 1

und 2 für viele zukünftige Anwendungen, die über die reine „Ampelsteuerung“ hinausgehen, nicht ausreichen.

Das Teilvorhaben *Netzwerktechniken für OTS-Infrastrukturpunkt* hat sich zum Ziel gesetzt, moderne Datenübertragungstechniken, die bislang noch außerhalb des OCIT-Standards stehen, auf ihre Eignung für den Einsatz in Verkehrssteuerungssystemen zu untersuchen und schließlich ein flexibles Hardwaremodul, mit dem die geeigneten Datenübertragungstechniken für LSA-Steuergeräte mit OCIT-Outstations-Schnittstelle erschlossen werden, prototypisch aufzubauen. Eine Prinzipskizze dieser Idee ist in Bild 5 dargestellt.

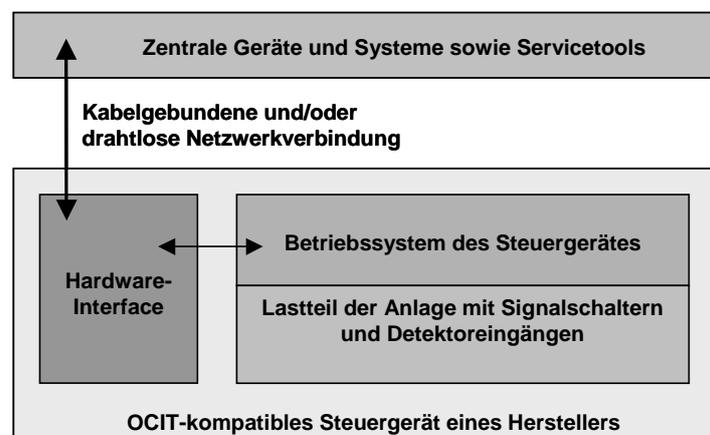


Bild 5: Hardware-Schnittstelle für Netzwerkanbindung an OCIT-kompatible Steuergeräte

Darüber hinaus bestehen insbesondere aus dem Teilprojekt *OTS-Control* weitere Anforderungen, die im folgenden Kapitel ausführlich erläutert werden.

2 Anforderungen

2.1 Verbesserung der Erreichbarkeit von LSA-Steuergeräten mit OCIT-Outstations-Schnittstelle

Die zentrale Aufgabe des Teilvorhabens liegt in der Verbesserung der kommunikationstechnischen Erreichbarkeit von LSA-Steuergeräten mit OCIT-Outstations-Schnittstelle. Dies soll sowohl die Erhöhung der Datenübertragungsrate als auch eine flexible Wahlmöglichkeit der einzusetzenden kabelgebundenen oder kabellosen Übertragungstechnik umfassen. Da konkrete Anwendungsszenarios bisher noch fehlen, sind beide Aspekte gleichermaßen wichtig einzustufen.

Aus dem Gesamtkontext des Projektes ergeben sich eine Reihe weiterer Anforderungen, die im Folgenden beschrieben werden.

2.2 Plattform für die verkehrsabhängigen Steuerverfahren

Im Teilprojekt OTS-Control wird eine Softwareschnittstelle entwickelt, welche es der Steuergerätesoftware erlaubt, unterschiedliche verkehrsabhängige Steuerverfahren einheitlich ansprechen zu können. Ein Teil der Schnittstelle wird dabei von der Steuergerätesoftware implementiert, der andere Teil vom verkehrsabhängigen Steuerverfahren. Sowohl die Steuergerätesoftware als auch das verkehrsabhängige Steuerverfahren werden auf der Steuergerätehardware ausgeführt.

Um diese Schnittstelle über die Spezifikation hinaus auch praktisch umsetzen zu können, wird zumindest ein prototypisches Steuergerät bestehend aus Hard- und Software benötigt. Da offene Steuergeräte mit der Möglichkeit, deren Software an eigene Bedürfnisse anpassen zu können, nicht am Markt verfügbar sind, wurde im Konsortium die Entscheidung getroffen, beides von Grund auf neu zu entwickeln. Dieser Ansatz versprach für die KMU im Gegensatz zur Situation vor Projektstart die Möglichkeit, auf Basis dieses Systems eigene innovative Produkte entwickeln und direkt am Markt anbieten zu können, ohne auf die Zusammenarbeit mit einem Steuergerätehersteller angewiesen zu sein.

Um die eventuelle spätere Portierung der Software auf andere Hardwareplattformen zu erleichtern und nicht zuletzt, um die Beschaffbarkeit in ausreichend großen Stückzahlen gewährleisten zu können, wurde der Einsatz einer Standardhardware mit

Standardbetriebssystem beschlossen. Für die Auswahl sind vor allem die Anforderungen der verkehrsabhängigen Steuerverfahren an CPU-Leistung und Speicher sowie das grundlegende Verhalten maßgeblich. So müssen die aktuellen Detektorbelegungen alle 100 ms abgefragt, aufbereitet und bereitgestellt werden. Des Weiteren müssen die Berechnungen des verkehrsabhängigen Steuerverfahrens stets kürzer als 1 s sein, um den sekundlichen Schaltzeitpunkt sicher einzuhalten.

Die verkehrsabhängigen Steuerverfahren verfügen über die Möglichkeit, den Fahrzeugen des ÖPNV (Öffentlicher Personennahverkehr) gegenüber dem MIV (Motorisierter Individualverkehr) eine Bevorrechtigung einzuräumen. Hierzu müssen sich die ÖPNV-Fahrzeuge beim Steuergerät anmelden. Dies kann einerseits über Detektoren und andererseits durch Funktelegramme [VÖV-90] geschehen, wobei die empfangenen Funktelegramme von einem entsprechenden Empfangsgerät entgegengenommen und von diesem dann über die serielle Schnittstelle (RS-232) nach außen gegeben werden. Damit die verkehrsabhängigen Steuerverfahren die ÖPNV-Bevorrechtigung auch für die Anmeldung der ÖPNV-Fahrzeuge über Funktelegramme abdecken können, muss die SIGNOS-Steuergeräte-Hardware in jedem Fall mit einer seriellen Schnittstelle zum Anschluss des Empfangsgerätes ausgerüstet sein.

2.3 Anbindung weiterer Geräte

Um die genannten zukünftigen Anwendungen wie beispielsweise Videotechnik und Anzeigen verwirklichen zu können, ist die Ansteuerung der entsprechenden Komponenten Videokamera, Anzeigetafel und evtl. auch Umweltmessgerät durch das LSA-Steuergerät erforderlich. Übliche Schnittstellen zum Anschluss solcher Komponenten und Geräte sind serielle sowie Ethernet-Schnittstellen. Der Begriff *Infrastrukturpunkt* leitet sich aus einem solchen Aufbau her, wobei hinzugefügt werden muss, dass es sich nicht um einen allgemein etablierten Begriff handelt.

Zu berücksichtigen ist auch, dass alle zusätzlich angeschlossenen Geräte von der Zentrale mit Informationen zur Konfiguration etc. versorgt bzw. die vor Ort aufgenommenen Daten an die Zentrale gesendet werden müssen. Es ist sinnvoll, wenn möglich alle diese Daten über dieselbe Leitung zu übertragen, die auch für die OCIT-Outstations-Daten genutzt wird.

Eine nähere Befragung einiger Mitglieder der OCA zu den noch unscharf definierten zukünftigen Anwendungen ergab kein einheitliches Meinungsbild. Konkrete Anforderungen konnten zumindest während der Projektlaufzeit nicht ermittelt werden.

Da aber aus Teilen der OCA ein Interesse signalisiert wurde, die Entwicklungsarbeiten zum Infrastrukturpunkt ggf. in den OTS-Standard aufnehmen zu wollen, trägt das Teilprojekt anstelle des Namens *Netzwerktechniken für OCIT-Outstations* den Namen *Netzwerktechniken für OTS-Infrastrukturpunkt*. Wie schon bei der Schnittstelle OTS-Control muss auch hier beachtet werden, dass es sich bei OCIT um eine geschützte Marke handelt, die nicht ohne weiteres für eigene Produktnamen verwendet werden darf.

2.4 Aufrüstung von Altanlagen

Eine Vielzahl der in Deutschland installierten Lichtsignalanlagen erfüllt derzeit nicht den OCIT-Standard. Es wäre wünschenswert, eine Aufrüstung dieser Anlagen mit Hilfe eines zusätzlichen Hardwaremoduls vornehmen zu können, das das jeweilige Gerät zum Einen OCIT-Outstations-fähig macht und zum Anderen die bestehende Steuerung durch eine verbesserte ersetzt. Ein preiswertes Modul könnte so den kompletten Austausch des Altgerätes überflüssig machen und damit den Zeitaufwand sowie die damit verbundenen Kosten deutlich reduzieren.

2.5 Konfiguration und Bedienung

Jedes Steuergerät muss sowohl aus der Ferne (z. B. über OCIT-Outstations) aber vor allem auch vor Ort durch einen Servicetechniker bedient und konfiguriert werden können. Insbesondere sicherheitsrelevante Daten dürfen ausschließlich über den lokalen Zugang geändert werden. Der Servicetechniker soll dazu sein Notebook über ein so genanntes Crossover-Kabel (Ethernetkabel, mit dem zwei Rechner direkt gekoppelt werden können) mit der SIGNOS-Steuergeräte-Hardware verbinden und die erforderlichen Aufgaben über eine geeignete Benutzeroberfläche auslösen. Anstatt eine spezielle Software zu verwenden, die auf den Notebooks für den Außendienst installiert und aktuell gehalten werden muss, ist die Verwendung eines Standardwebrowsers, der für alle gängigen Betriebssysteme verfügbar ist, als flexiblere Lösung vorzuziehen.

2.6 Zu berücksichtigende Umwelteinflüsse

Ein Steuergerät steht üblicherweise an dem zu signalisierenden Knotenpunkt, wo vor allem durch schwere Fahrzeuge wie Lkws und Schwerlasttransporte aber auch durch Bauarbeiten mit Erschütterungen gerechnet werden muss, die im schlimmsten Fall zu Stromausfällen führen. Das Steuergerät muss seinen Betrieb nach einem solchen Ereignis wieder selbstständig aufnehmen können.

Des Weiteren sind die jahreszeitlich bedingten Temperaturunterschiede beim Systementwurf zu berücksichtigen.

2.7 Zusammenfassung

Die in den vorangegangenen Abschnitten erläuterten wesentlichen Anforderungen sollen abschließend noch einmal kurz zusammengefasst werden:

- Um die kommunikationstechnische Erreichbarkeit von LSA-Steuergeräten mit OCIT-Outstations-Schnittstelle zu verbessern, soll ein flexibles Hardwaremodul entwickelt werden, mit dem diejenigen geeigneten Kommunikationstechniken erschlossen werden, die bisher noch außerhalb des OCIT-Standards stehen.
- Es soll eine Steuergeräte-Hardware aufgebaut werden, die als Basis für die Steuergerätesoftware und das verkehrsabhängige Steuerverfahren dient.
- Es soll die Möglichkeit geben, zusätzliche Geräte, wie beispielsweise Anzeigen, Videokameras, zusätzliche Detektoren und Umweltmessgeräte, an das Steuergerät anzuschließen (Infrastrukturpunkt).
- Das zu entwickelnde Steuergerät soll über einen Webbrowser bedient und konfiguriert werden können.
- Es müssen verschiedene Umwelteinflüsse berücksichtigt werden.
- Es soll die Möglichkeit geben, evtl. auch Altanlagen nachzurüsten.

3 Konzeption

Nach der Beschreibung der vielfältigen Anforderungen sollen nun Aspekte der Umsetzung diskutiert werden. Es stellt sich die Frage, inwieweit es nach dem heutigen Stand der Wissenschaft und Technik eine Lösung geben kann, die möglichst allen Anforderungen gerecht wird.

3.1 Evaluierung von Netzwerktechniken

In den letzten Jahren sind nicht zuletzt durch die starke Ausbreitung des Internet und des Mobilfunks sowie anderer damit einhergehender Entwicklungen verschiedene neue Techniken zur Datenübertragung entstanden. Die Daten werden dabei entweder über Kabel (Lichtwellenleiter, DSL, Ethernet) oder Funk (WLAN, GPRS, UMTS, Bluetooth) übertragen. Im Weiteren sollen nun ausgewählte Techniken im Detail erläutert und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für OCIT-Outstations im Besonderen und den Verkehrsbereich allgemein diskutiert werden. Dabei sind neben der zu erreichenden Datenübertragungsrate auch die benötigte Infrastruktur, Kosten für deren Installation sowie laufende Kosten und Fragen der Sicherheit zu bedenken. Ziel ist es, positiv evaluierte Kommunikationstechniken für OCIT-Outstations-kompatible LSA-Steuergeräte nutzbar zu machen und so die Erreichbarkeit von LSA-Steuergeräten zu verbessern.

Welche Datenübertragungsrate tatsächlich benötigt wird, hängt ausschließlich von der jeweiligen Anwendung ab. OCIT-Outstations ist mit seinem für niedrige Datenübertragungsraten optimierten Protokoll BTPPL nicht auf mehr als die in Übertragungsprofil 1 festgelegten maximalen 28 KBit/s angewiesen und stellt zudem keine Echtzeitanforderungen an die Datenübertragung. Zukünftige Anwendungen wurden bisher nur vage über die Schlagwörter Videotechnik, Anzeigen und Umweltmessgeräte formuliert bzw. basieren auf der Idee, über eine höhere Datenübertragungsrate die Einfachheit und Flexibilität zu befördern. Ein Beispiel hierfür ist die direkte Übertragung einer Anwenderversorgung im XML-Format vom Verkehrsrechner an das Steuergerät im Gegensatz zur Übertragung in OCIT-Outstations. Da bisher noch keine konkreten zukünftigen Anwendungen bekannt sind, gibt es auch keine Vorgaben hinsichtlich einer zu erreichenden Mindestdatenübertragungsrate. Die maximalen Datenübertragungsraten der verschiedenen Netzwerktechniken können aber zumin-

dest Auskunft über die grundsätzliche Eignung für einen konkrete Anwendung geben.

Die Sicherheitsanforderungen von Verkehrssteuerungssystemen wie Lichtsignalanlagen sind aufgrund der gravierenden Folgen im Falle einer Fehlfunktion sehr hoch. Man unterscheidet hier zwischen der *funktionellen Sicherheit* und der *Datensicherheit*. Die funktionelle Sicherheit (engl. Safety) bezieht sich auf die Sicherheit für den Verkehrsteilnehmer als Benutzer des Systems. Die Daten- oder Informationssicherheit (engl. Security) meint die Sicherheit des informationstechnischen Systems Lichtsignalanlage gegenüber mutwilligen Angriffen mit Hilfe von Computersystemen und wird im Zusammenhang mit den im Folgenden zu evaluierenden Kommunikationstechniken beurteilt.

3.1.1 Voraussetzungen

Die LSA-Steuergeräte sind in der Regel über verdrehte Zweidrahtleitungen aus Kupfer, wie sie auch für das analoge Telefon verwendet werden, mit einem Verkehrsrechner verbunden. Unter den LSA-Steuergeräten besteht keine Verbindung. Man spricht dabei von einer sternförmigen Topologie. Die Entfernung zwischen einem Verkehrsrechner und einem Steuergerät kann mehrere Kilometer betragen. Zwischen den Verkehrsrechnern selbst werden bisweilen auch Lichtwellenleiter eingesetzt.

Bei OCIT-Outstations werden die Datenübertragungssysteme, über welche die Feldgeräte mit der Zentrale kommunizieren, über so genannte Übertragungsprofile definiert. Derzeit gibt es das Übertragungsprofil 1, welches sich auf Modemverbindungen mit einer maximalen Übertragungsrates von 28 KBit/s bezieht, und das Übertragungsprofil 2 für GSM- oder ISDN-Verbindungen mit maximal 9,6 KBit/s bzw. 64 KBit/s. Projektspezifisch können jedoch auch andere Datenübertragungssysteme mit den entsprechenden Festlegungen eingesetzt werden.

OCIT-Outstations verwendet zur Datenübertragung das Protokoll BTPPL, welches sich im ISO-OSI-Referenzmodells (siehe Bild 3) oberhalb der Transportschicht mit seinen bekannten Protokollen TCP (verbindungsorientiert) und UDP (verbindungslos) befindet. Beide Protokolle bieten bereits die Möglichkeit, Informationen – genauer gesagt Pakete – unterschiedlicher Anwendungen über dasselbe Kommunikations-

medium zu übertragen. Die Frage, ob neben OCIT-Outstations auch andere Informationen über ein und dieselbe Leitung übertragen werden können, ist damit im positiven Sinne beantwortet. Nichtsdestotrotz sind die erforderlichen Datenübertragungsraten im Vergleich mit den maximal möglichen für jeden konkreten Anwendungsfall separat zu prüfen.

Bei OCIT-Outstations werden keine sicherheitskritischen Daten an das Steuergerät übertragen, die mutwillig manipuliert oder nicht korrekt empfangen die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer beispielsweise durch eine gleichzeitige Freigabeerteilung feindlicher Verkehrsströme gefährden könnten. Unabhängig davon sollen bösartige Angriffe durch Hacker selbstverständlich trotzdem verhindert werden. Dazu wird bei OCIT-Outstations der Verschlüsselungsalgorithmus SHA-1 eingesetzt.

3.1.2 Ethernet-LAN, -MAN und -WAN

Lokale Netze (LANs, engl. Local Area Network) sind private Netze innerhalb eines Gebäudes oder Komplexes mit einer Reichweite von ein paar Kilometern. Sie werden zur Verbindung von PCs in Unternehmen eingesetzt, um Informationen auszutauschen und Ressourcen (z. B. Drucker) gemeinsam zu nutzen. Der Standard IEEE 802.3 mit der populären Bezeichnung Ethernet ist ein auf Bus basiertes Broadcast-Netz (siehe Bild 6) mit einer Übertragungsrate von 10-100 MBit/s bzw. in neueren Varianten auch bis 10 GBit/s [URL:LAN]. Rechner, die an dem Ethernet-LAN hängen, können senden, wann sie wollen. Stoßen zwei oder mehr Pakete zusammen, wartet jeder Rechner eine zufallsgesteuerte Zeit, dann versucht er es später wieder [Tanenbaum-98]. Diese Art des Zugriffsverfahrens trägt den Namen CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Neben der Bus-Topologie sind auch Stern- und Ring-Topologien möglich.

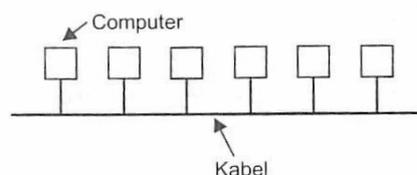


Bild 6: Broadcast-Netz in Bus-Topologie [Tanenbaum-98]

Das ursprüngliche Ethernet nutzte ein Koaxialkabel als Übertragungsmedium. Später ersetzte dann ein Twisted-Pair-Kabel – ein achtadriges Kupferkabel, deren Adern jeweils paarweise verdreht sind (im Vergleich: das analoge Telefonkabel besitzt zwei verdrehte Adern) – das Koaxialkabel. Bei einigen Varianten des Standards IEEE 802.3 kommen auch Glasfaserkabel (Lichtwellenleiter) zum Einsatz.

Ohne Verstärkung erreicht das Twisted-Pair-Kabel eine Reichweite von 100 m. Mit Hilfe von Signalregeneratoren (Repeater) kann diese jedoch erhöht werden. Die maximale Reichweite eines Glasfaserkabels beträgt je nach Kabeltyp mehrere Kilometer.

Ein Stadtnetz (Metropolitan Area Network – MAN) ist praktisch eine größere Ausgabe eines LAN und nutzt normalerweise eine ähnliche Technik [Tanenbaum-98]. Ein MAN kann eine Ausdehnung von bis zu 100 km haben.

Ein WAN (Wide Area Network) erstreckt sich über einen großen geografischen Bereich, meist ein Land oder einen Kontinent. Es fasst üblicherweise mehrere LANs zusammen. Jeder Rechner in einem LAN wird als Host bezeichnet. An jedem LAN gibt es einen Router, der mit anderen Routern kommuniziert. Bei den meisten WANs umfasst das Netz zahlreiche Kabel oder Telefonleitungen, die jeweils ein Router-Paar verbinden. Pakete von einem Host zu einem anderen Host werden über mehrere Router übertragen. Wird ein Paket von einem Router zu einem anderen Router geschickt, wird es vollständig an jedem zwischengeschalteten Router empfangen, dort abgelegt, bis die benötigte Ausgangsleitung frei ist, und dann zugestellt.

Inzwischen ist die Rechnervernetzung über Ethernet so weit etabliert, dass es nur eine Frage der Zeit zu sein scheint, bis selbst die in der Automatisierungstechnik bislang vorherrschenden Feldbussysteme (siehe Abschnitt 3.1.3) davon abgelöst werden. Vor diesem Hintergrund bietet sich auch die Vernetzung von Steuergeräten und Verkehrsrechnern mit Hilfe dieser standardisierten Technik an. Insbesondere die hohen Datenübertragungsraten eröffnen viele Möglichkeiten für neue Anwendungen. Allerdings sind die derzeit für die Verbindung von LSA-Steuergeräten und Verkehrsrechnern verwendeten analogen zweiadrigen Kupferkabel nicht für die beschriebene Ethernet-Technik geeignet. Es wäre daher erforderlich, die bestehende Infrastruktur durch eine neue, am besten auf Glasfasertechnik aufbauende zu ersetzen. Eine Alternative könnte möglicherweise die zum Teil bereits vorhandene Infrastruktur der

Telefongesellschaften bieten, wobei dann allerdings laufende Kosten für die Nutzung anfallen würden.

Die Datensicherheit von Ethernet ist wie bei allen kabelgebundenen Übertragungsmedien gewährleistet. Ein Eindringen von Hackern in das Netz ist nur über einen von außen, d. h. über das Internet, zugänglichen Rechner möglich. Dieser ist entsprechend durch Firewalls, Verschlüsselung, Passwortschutz und andere Techniken zu schützen.

3.1.3 Feldbus

Ein Feldbus ist ein industrielles Kommunikationssystem, das eine Vielzahl von Feldgeräten wie Messfühler (Sensoren), Stellglieder und Antriebe (Aktoren) mit einem Steuerungsgerät verbindet. Die Feldbustechnik wurde in den 80er Jahren entwickelt, um die bis dahin übliche Parallelverdrahtung binärer Signale sowie die analoge Signalübertragung durch digitale Übertragungstechnik zu ersetzen. Heute sind ca. 50 unterschiedliche Feldbussysteme mit unterschiedlichen Eigenschaften am Markt etabliert, wie z. B. ControlNet, Fieldbus Foundation, CAN, INTERBUS, MIL-Bus, PROFIBUS, SafetyBUS p oder Spacewire. Seit 1999 werden Feldbusse in der Norm IEC 61158 ("Digital data communication for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems") weltweit standardisiert [URL:Wikipedia/Feldbus]. Als Übertragungsmedium werden Koaxialkabel, verdrehte Kupferkabel (Twisted-Pair) und Lichtwellenleiter eingesetzt. Die maximale Datenübertragungsrate ist stark von der zu erreichenden Entfernung abhängig. Bei Profibus können für eine Reichweite von 100 m 12 MBit/s erzielt werden; bei einer Reichweite von 1200 m sind es nur noch 9,6 KBit/s [URL:Feldbus].

Ein wichtiger Unterschied zwischen Ethernet und Feldbussystemen ist die Art des Zugriffsverfahrens. Dürfen bei Ethernet alle Teilnehmer gleichzeitig senden, was durch die möglichen Kollisionen der Datenpakete ein nicht deterministisches Zeitverhalten zur Folge hat, so kommen bei Feldbussystemen kollisionsfrei arbeitende und damit zeitdeterministische Verfahren zum Einsatz.

Die Kosten für Komponenten von Feldbussystemen sind im Vergleich Ethernetkomponenten aufgrund des weitaus geringeren Stückbedarfs wesentlich höher. Nicht zuletzt dadurch gibt es seit einigen Jahren verstärkte Anstrengungen, Kommunikati-

onssysteme auf der Basis von Ethernet mit Echtzeiterweiterungen zu entwickeln und zu etablieren. Einige Beispiele hierfür sind PROFINET und ETHERNET/IP. Es ist davon auszugehen, dass die ethernetbasierten Kommunikationssysteme zukünftig die bisherigen Feldbussysteme ablösen werden [URL:Wikipedia/Feldbus]. Vor diesem Hintergrund sollen Feldbussysteme für den hier zu untersuchenden Anwendungsbereich nicht weiter in Betracht gezogen werden.

3.1.4 DSL

DSL steht für Digital Subscriber Line und ist der Oberbegriff für eine Übertragungstechnik, die Datenübertragungsraten im Bereich mehrerer MBit/s über das analoge Telefonnetz ermöglicht. Technisch betrachtet geschieht dies, indem für den Datenverkehr höhere Frequenzbereiche der Telefonkabel genutzt werden als zur Übertragung der Sprachinformationen, welche die Frequenzen bis 4 KHz belegt. Die eigentlich moderneren Glasfaserkabel, die zum Beispiel bei der Erneuerung des Telefonnetzes in den neuen Bundesländern eingesetzt wurden, können für DSL nicht verwendet werden. Um die digitalen Daten in übertragbare analoge Signale bzw. umgekehrt die empfangenen analogen Signale in digitale Daten umzuwandeln, wird ein spezielles DSL-Modem benötigt. DSL ist nicht notwendigerweise an die Infrastruktur der Telefongesellschaften gebunden, sondern kann auch unabhängig vom Telefon auf eigenen Kabelwegen benutzt werden.

Die zurzeit am häufigsten eingesetzte DSL-Technik ist ADSL (Asymmetric DSL), eine Übertragungsart bei der die Datenübertragungsrate zum Nutzer (Downlink) wesentlich höher ist als in der Gegenrichtung (Uplink). Bei einem T-DSL 6000 Anschluss der Deutschen Telekom AG beträgt die Download-Rate beispielsweise 6016 KBit/s, die Upload-Rate hingegen nur 572 KBit/s. Die Reichweite zur Vermittlungsstelle ist dabei auf ca. 5 km begrenzt [URL:DSLWeb].

Im Gegensatz zu ADSL ist bei der Variante SDSL (Symmetric DSL) die Datenübertragungsrate in beide Richtungen gleich groß.

Erwähnt werden soll schließlich noch VDSL (Very High Data Rate DSL), welches zu Lasten einer deutlich geringeren Reichweite höhere Datenübertragungsraten als ADSL und SDSL ermöglicht. Voraussetzung für VDSL ist ein Hybridnetz, das aus Glasfaserkabeln und Kupferleitungen besteht. Die tatsächliche Höhe der Übertra-

gungsrates ist nicht nur von der Länge sondern auch von der Qualität des Kupferkabels abhängig. Ist die Leitungsqualität sehr gut, können auf 1000 Metern Entfernung bis zu 50 MBit/s erreicht werden [URL:DSL].

DSL bietet sich als Kommunikationstechnik zwischen Verkehrsrechner und Steuergeräten aufgrund der bereits vorhandenen Leitungsinfrastruktur an. Die erreichbaren Datenübertragungsrates sind um ein Vielfaches höher, als beispielsweise die des OCIT-Übertragungsprofils 1 über analoge Modems. Welche DSL-Technik für die Kommunikation konkret eingesetzt werden sollte, hängt neben den zu übertragenden Datenmengen und der Datenrichtung maßgeblich auch von den Leitungslängen zwischen dem Verkehrsrechner und den Steuergeräten ab. Hier sollte das Vorgehen im Einzelfall geprüft werden. Die Gewährleistung der Datensicherheit ist wie beim Ethernet mit der Frage verbunden, wie gut ein von außen erreichbarer Rechner des lokalen Netzes mit geeigneten Maßnahmen gegen eventuelle Attacken gesichert ist.

3.1.5 WLAN

WLAN (Wireless Local Area Network) bezeichnet ein funkbasiertes lokales Netzwerk nach dem Standard IEEE 802.11. Da WLAN auf der Sicherungsschicht (Schicht 2 im ISO-OSI-Referenzmodell) dieselbe Adressierung wie Ethernet verwendet, kann über einen Wireless Access Point mit Ethernet-Anschluss leicht eine Verbindung zu kabelgebundenen Netzen hergestellt werden. Eine Ethernet-Netzwerkkarte kann folglich nicht unterscheiden, ob sie mit einer anderen Ethernet-Netzwerkkarte oder (über einen Access Point) mit einer WLAN-Karte kommuniziert. Allerdings muss zwischen IEEE 802.11 (WLAN) und IEEE 802.3 (Ethernet) eine Konvertierung erfolgen [URL:Wikipedia/WLAN]. Heutige Notebooks sind standardmäßig mit einem WLAN-Chip bzw. einer WLAN-Karte ausgestattet [URL:WLAN]. WLAN arbeitet im Frequenzbereich von 2,4 GHz bzw. 5 GHz mit einer Sendeleistung von 0,1 W. Da Bluetooth (siehe Abschnitt 3.1.6) denselben Frequenzbereich verwendet, kann es bei der parallelen Nutzung beider Techniken zu gegenseitigen Störungen kommen.

Je nach Standard sind bei WLAN Datenübertragungsrates von 2 MBit/s (IEEE 802.11) und 11 MBit/s (IEEE 802.11b) bis hinzu 54 MBit/s (IEEE 802.11a) möglich. Die Reichweite beträgt innerhalb von Gebäuden je nach verwendetem Baustoff bis zu 50 m. Außerhalb von Gebäuden sind bei Sichtkontakt Reichweiten bis zu 550 m

möglich, beim Einsatz von speziellen Richtantennen auch mehrere Kilometer [URL:Wölfle].

Funkbasierte Übertragungstechniken sind gegenüber leitungsgebundenen hinsichtlich der Datensicherheit weniger gut geschützt, da einem Angreifer immer ein direkter Zugang zu dem Computersystem, in das er eindringen möchte, zur Verfügung steht. In [BSI-05] werden diverse Möglichkeiten und Maßnahmen beschrieben, ein WLAN sicher zu machen, wie zum Beispiel Einsatz von VPN (Virtual Private Network), Firewall, Authentifizierung und Verschlüsselung. Die Vergangenheit zeigt jedoch, dass erfolgreiche Attacken nie ganz auszuschließen sind. Eine absolute Sicherheit bietet nur ein von äußerem Zugang geschütztes Netz [URL:WLANUniKonstanz, URL:WLANVoip].

WLAN ist aus vielerlei Gründen sicherlich in den meisten Fällen nicht für die Kopplung von Verkehrsrechner und Steuergeräten geeignet. Die größten Probleme stellen Störungen (auch mutwillige) bei der Kommunikation (z. B. bei der gleichzeitigen Verwendung von Bluetooth) und die nicht vollständig zu gewährleistende Datensicherheit dar. Ob die erzielbare Reichweite ausreicht, müsste jeweils vor Ort geprüft werden.

Auch wenn die kommunikationstechnische Anbindung von Steuergeräten an einen Verkehrsrechner mit Hilfe von WLAN nicht empfehlenswert erscheint, ist doch der Einsatz für andere Anwendungen, wie beispielsweise Car-to-Infrastructure-Communication (C2I) zumindest Gegenstand aktueller Forschung [URL:AKTIV]. Nicht unpraktisch wäre ein WLAN-Access-Point am Steuergerät auch für den Servicetechniker, der das sonst benötigte Crossover-Kabel überflüssig machen würde.

3.1.6 Bluetooth

Bluetooth ist ein in den 1990er Jahren ursprünglich von Ericsson entwickelter Industriestandard mit der Bezeichnung IEEE 802.15.1 für die drahtlose (Funk-)Vernetzung von Geräten über kurze Distanz. Bluetooth bietet eine drahtlose Schnittstelle, über die sowohl mobile Kleingeräte wie Mobiltelefone und PDAs als auch Computer und Peripheriegeräte miteinander kommunizieren können. Ein solches Netzwerk wird auch als Wireless Personal Area Network (WPAN) bezeichnet. Hauptzweck von Bluetooth ist das Ersetzen von Kabelverbindungen zwischen Geräten [URL:Wiki-

pedia/Bluetooth]. Ein Sichtkontakt zwischen den Geräten ist bei Bluetooth nicht notwendig. Ein Bluetooth-Netzwerk kann bis zu 260 Teilnehmer umfassen, von denen allerdings nur acht gleichzeitig aktiv sein dürfen. Die maximale Datenübertragungsrate beträgt bei Bluetooth 1 MBit/s.

Bluetooth nutzt das für ISM-Anwendungen (Industrial, Scientific & Medical) reservierte Frequenzband um 2,4 GHz, das global verfügbar und weltweit identisch ist (2 GHz bis 2,48 GHz). Dieser Frequenzbereich wird auch von WLAN zur Datenübertragung benutzt. Mikrowellengeräte nutzen das gleiche Frequenzband zur Wärmeerzeugung, allerdings mit einer bis zu einer Million Mal höheren Leistung [URL:Bluetooth].

Die Sendeleistung von Bluetooth-Geräten hängt stark von der zu erzielenden Reichweite ab. Für eine Reichweite von ca. 100 m wird eine Sendeleistung von 100 mW benötigt, für 20 m eine Sendeleistung von 2,5 mW und für 10 m 1 mW [URL:Wikipedia/Bluetooth].

Die Gewährleistung der Datensicherheit stellt sich bei Bluetooth noch problematischer dar als bei WLAN. In [URL:BluetoothCT] und [URL:BluetoothHeiseNews] wird von verschiedenen Sicherheitslücken aufgrund fehlerhafter Implementierungen des Bluetooth-Stacks berichtet. Einfache Störungen können auch von WLAN-Netzen verursacht werden.

Aufgrund der zu geringen Reichweite sowie der noch vorhandenen Sicherheitsprobleme ist Bluetooth nicht für die Verbindung von Steuergeräten mit einem Verkehrsrechner geeignet. Allerdings ist die Anbindung zusätzlicher Geräte mit Hilfe von Bluetooth überlegenswert, da hierdurch eine flexible, weil kabellose Installation ermöglicht wird.

3.1.7 GPRS

Bei GPRS (General Packet Radio Service) handelt es sich um einen Dienst zur Übertragung von Daten über das GSM-Mobilfunknetz (Global System for Mobile Communications). Wie bei Ethernet und WLAN kommen auch hier die Internet-Protokolle TCP und UDP zum Einsatz. Für die Umwandlung der digitalen Daten in übertragungsfähige Signale wird ein GPRS-Modem benötigt. Die Nutzung von GPRS ist kostenpflichtig. Die Reichweite erstreckt sich über das komplette GSM-Mobilfunknetz. Die maximale Entfernung zur Basisstation ist stark von dem Gelände-

profil und der Bebauung abhängig. Im Freien sind bei Sichtkontakt teilweise bis zu 35 km möglich.

Ein GSM-Funkkanal ist in acht Zeitschlitzte unterteilt, von denen jeder eine Datenübertragungsrate von 9,6 KBit/s bietet. Bei einer normalen GSM-Datenübertragung belegt der Anwender während der kompletten Dauer seiner Verbindung einen Zeitschlitz und macht somit Gebrauch von den gesamten 9,6 KBit/s. Bei GPRS stehen die Zeitschlitzte mehreren Nutzern gleichzeitig zur Verfügung, wodurch die Kapazität des Netzwerks gezielter genutzt werden kann. Theoretisch beträgt die maximale Datenübertragungsrate somit 171,2 KBit/s, wenn alle acht Zeitschlitzte vollständig genutzt werden könnten. Diese theoretische Geschwindigkeit wird in der Praxis jedoch nicht erreicht. Derzeit werden Datenraten von ca. 50 KBit/s in allen vier deutschen Netzen erreicht. Auch das allgemeine Gesprächsaufkommen hat einen Einfluss auf die verfügbare Netzkapazität und damit auf die erreichbare Datenübertragungsrate [URL:GPRS].

Die Datensicherheit von GPRS basieren auf den Sicherheitsmechanismen von GSM mit einer starken Authentifizierung über SIM-Karten sowie einer Verschlüsselung der Luftschnittstelle. Ein über GPRS verbundener Rechner befindet sich direkt im öffentlichen Internet und muss entsprechend geschützt werden [Posegga-01].

GPRS bietet wie die GSM-Mobilfunkverbindung des OCIT-Übertragungsprofils 2 eine einfache Lösung zur Anbindung von Steuergeräten, die nicht an das Kabelnetz angeschlossen sind. Die Datenübertragungsrate ist dabei mit ca. 50 KBit/s etwa fünf Mal so hoch wie bei einer GSM-Datenverbindung mit 9,6 KBit/s. Eine Erweiterung des GPRS-Standards (E-GPRS) erlaubt mittlerweile Übertragungsraten von bis zu 384 KBit/s.

3.1.8 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) steht für den Mobilfunkstandard der dritten Generation (3G), der im Vergleich zu GSM und GPRS deutlich höhere Datenübertragungsraten ermöglicht. Der UMTS-Standard erlaubte zu Beginn eine maximale Datenübertragungsrate von 384 KBit/s. Durch ständig hinzukommende Erweiterungen wie beispielsweise HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) und HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) können mittlerweile Datenübertra-

gungsraten im Bereich mehrerer MBit/s erreicht werden. Für die Umwandlung der digitalen Daten in übertragungsfähige Signale wird wie auch bei GPRS ein Modem benötigt. UMTS ist kostenpflichtig.

Bei UMTS wird ein gegenüber GSM völlig unterschiedliches digitales Übertragungsverfahren eingesetzt, das Code Division Multiple Access-Verfahren (CDMA). Das ist ein Verfahren, bei welchem alle Teilnehmer eines Netzes auf der gleichen Frequenz arbeiten. Dabei wird die Trennung der einzelnen Kanäle mittels eines Codes durchgeführt, während dies im GSM-System durch unterschiedliche Frequenzen und Nutzung von verschiedenen Zeitschlitzten geschieht.

UMTS arbeitet in Deutschland in den Frequenzbändern 1920,3 MHz bis 1979,7 MHz (Uplink) sowie 2110,3 MHz bis 2169,7 MHz (Downlink). Die Sendeleistung der mobilen Geräte beträgt 0,125 W bis 0,25 W [URL:Wikipedia/UMTS]. Da für die Nutzung von UMTS eine entsprechende Infrastruktur durch die Netzbetreiber aufgebaut werden muss, ist UMTS derzeit vornehmlich in größeren Städten ab 100.000 Einwohnern verfügbar. Inwiefern zukünftig auch bevölkerungsschwächere Gegenden erschlossen werden, bleibt abzuwarten.

Da sich ein über UMTS verbundener Rechner direkt im öffentlichen Internet befindet, muss er durch entsprechende Sicherheitsvorkehrungen vor dem Missbrauch geschützt werden.

UMTS stellt ebenso wie GPRS eine einfache Lösung zur Anbindung von Steuergeräten, die nicht an das Kabelnetz angeschlossen sind, dar. Aufgrund der höheren Datenübertragungsrate ist UMTS unter Berücksichtigung der diesbezüglichen Anforderungen und der Kosten den anderen Mobilfunktechniken vorzuziehen.

3.1.9 Fazit

In der folgenden Tabelle sind alle besprochenen Netzwerktechniken noch einmal übersichtlich dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Netzwerktechniken

Merkmal / Übertragungstechnik	Ethernet-LAN/ -MAN/-WAN	Feldbus	DSL	WLAN	Bluetooth	GPRS	UMTS
Übertragungsmedium	Kabel	Kabel	Kabel	Funk	Funk	Funk	Funk
Reichweite	100 m (Twisted-Pair), mehrere km (Glasfaser)	100 m	5 km	50 m in Gebäuden, 550 m außerhalb	100 m	35 km bis Sendestation	35 km bis Sendestation
Übertragungsrate (maximal)	10 MBit/s, 100 MBit/s, 10 GBit/s	12 MBit/s	16 MBit/s	11 MBit/s	1 MBit/s	50 KBit/s, 384 KBit/s (E-GPRS)	384 KBit/s
Hardwarevoraussetzungen (Netzwerk ausgenommen)	Netzwerkkarte, evtl. Repeater, Router	Interface-Karte	DSL-Modem	Access-Point, WLAN-Karte oder WLAN-Chip	Bluetooth-Modul	GPRS-Modem	UMTS-Modem
Laufende Kosten	nein	nein	nein (eigenes Netz), ja (Vertrag)	nein	nein	ja (Vertrag)	ja (Vertrag)
Datensicherheit (Security)	Internet		Internet	Internet Access-Point	diverse Probleme	Internet	Internet
Störempfindlichkeit	unempfindlich	unempfindlich	unempfindlich	Störungen durch Bluetooth möglich	Störungen durch WLAN möglich	unempfindlich	unempfindlich
Sonstiges		bis 256 Teilnehmer			gleichzeitig nur 8 aktive Teilnehmer		

Bei vielen der vorgestellten Netzwerktechniken existiert derzeit eine Vielzahl von Standards, deren detaillierte Betrachtung jedoch aufgrund der noch fehlenden konkreten Anforderungen im Projekt SIGNOS nicht Ziel führend ist. Nichtsdestotrotz sollte der obige Vergleich einen guten Überblick zu den derzeit gängigsten Techniken geben und Entscheidungsträgern somit als Hilfestellung dienen.

Da die Verkehrsrechner in der Regel über eigene Leitungen aus zwei verdrehten Kupferadern mit den Steuergeräten verbunden sind, bietet die DSL-Technik die einfachste und kostengünstigste Möglichkeit, die Datenübertragungsrate bei Nutzung der vorhandenen Infrastruktur deutlich zu erhöhen. Wird dagegen eine Erneuerung der Infrastruktur in Erwägung gezogen, so sollte die Wahl auf Lichtwellenleiter fallen.

Bezahldienste – egal ob kabelgebunden (z. B. DSL) oder kabellos (z. B. GPRS, UMTS) – können bei Abwägung der Kosten, die ansonsten für die infrastrukturellen Baumaßnahmen erforderlich wären, eine Alternative sein. Dies muss in jedem Fall separat geprüft und entschieden werden. Kabellose Techniken stellen eine flexible Möglichkeit der Vernetzung dar, besitzen aber gegenüber den leitungsgebundenen Techniken Nachteile hinsichtlich der Datensicherheit.

Für die Vernetzung von Verkehrsrechnern mit Steuergeräten scheiden die Techniken Feldbus, Bluetooth und WLAN aus. Bluetooth und WLAN könnten jedoch evtl. für die Anbindung zusätzlicher Geräte (Bluetooth) oder für die Car-To-Infrastructure-Kommunikation (WLAN) eingesetzt werden.

Letztlich gilt es immer, die örtlichen Gegebenheiten und Ziele genau zu analysieren und dann die Vor- und Nachteile der in Frage kommenden Kommunikationstechniken gegeneinander abzuwägen.

3.2 Aufrüstung von Altanlagen

Die Lebensdauer einer Lichtsignalanlage beträgt in der Regel etwa 15-20 Jahre. Verglichen mit der Rechentechnik in Büros, die üblicherweise spätestens nach 5 Jahren ausgetauscht wird, ist das ein langer Zeitraum. Für ältere Generationen von Steuergeräten ist deshalb mitunter bei den Herstellern selbst nicht mehr das für die Wartung und Instandsetzung der Geräte erforderliche Wissen vorhanden, so dass im Notfall teilweise pensionierte Mitarbeiter aushelfen müssen. Verfügten die alten Generationen der Steuergeräte über wenig eigene Intelligenz – die Steuerung wurde

zentral vom Verkehrsrechner übernommen –, so kommen heutzutage dezentrale Steuerungskonzepte zur Anwendung. Probleme bei der Auf- und Umrüstung von Altanlagen und deren Lösung finden sich in [FGSV-01].

Da es sich bei älteren Steuergeräten nicht um offene oder standardisierte Systeme handelt, ist eine Erweiterung um den OCIT-Outstations-Standard unabhängig von der Art der Steuerung ein schwieriges bis unmögliches Unterfangen. Selbst wenn es ein Zusatzgerät gäbe, welches in irgendeiner Form den OCIT-Outstations-Standard bereitstellt, so wären doch in jedem Fall umfangreiche Spezialanpassungen am Steuergerät selbst erforderlich, die allerdings aufgrund der bestehenden Vielzahl an Steuergerätereihe und -typen aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll sind.

Die Idee der Aufrüstung von Altanlagen muss letztlich aus den genannten Gründen als nicht durchführbar verworfen werden. Die einzig praktikable Lösung besteht in dem vollständigen Austausch des Steuergerätes.

3.3 Entkopplung der Steuergerätefunktionen

Im Laufe der ersten Projektbesprechungen wurde die Idee entwickelt, die Aufgaben eines klassischen Steuergerätes auf zwei Hardwarekomponenten zu verteilen. Eine – aus Sicht der Verkehrssteuerung – „intelligente“ Komponente übernimmt die verkehrliche Steuerung. Sie arbeitet dabei Signalprogramme ab und wertet die Detektorbelegungen aus. Eine „dumme“ Komponente ist direkt mit den Signalgebern und den Detektoren verbunden. Sie nimmt vorrangig Sicherheitsaufgaben wahr und verhindert in diesem Sinne die gleichzeitige Freigabeerteilung für feindliche Verkehrsströme. Die „intelligente“ und die „dumme“ Komponente sind miteinander über ein Kabel verbunden und tauschen über ein festzulegendes Protokoll Informationen aus. Die „intelligente“ Komponente wird auch als *Infrastrukturpunkt* oder *SIGNOS-Komponente* bezeichnet, die „dumme“ Komponente als *Schaltgerät*. Die wichtigsten auszutauschenden Funktionen sind die neu berechneten Schaltbefehle, die das verkehrsabhängige Steuerverfahren an das Schaltgerät sendet, sowie die aktuellen Detektorbelegungen, die das Schaltgerät dem verkehrsabhängigen Steuerverfahren liefert.

Die beschriebene Trennung hat für die beteiligten KMU den Vorteil, sich nicht auch noch mit Haftungsfragen im Falle einer Fehlfunktion auseinandersetzen zu müssen,

sondern sich ausschließlich auf die Entwicklung einer klugen Steuerungsstrategie konzentrieren zu können. Da die Einhaltung der verkehrlichen Sicherheit an das Schaltgerät delegiert wird – es muss dementsprechend gemäß VDE-Norm 0832 „Straßenverkehrs-Signalanlagen“ zertifiziert sein – braucht die „intelligente“ Steuerkomponente keine weiteren besonderen Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Bei dem beschriebenen Konzept handelt es sich um einen neuartigen Ansatz, weshalb noch keine entsprechenden Schaltgeräte am Markt erhältlich sind. Um dennoch den Funktionsnachweis für das Gesamtsystem erbringen zu können, wurde der folgende Weg eingeschlagen: Die für die OCIT-Lizenz eingestellten Finanzmittel wurden für die Beauftragung eines Steuergeräteherstellers zur Entwicklung des gewünschten Schaltgerätes umgewidmet. Dieser Weg ist insofern sinnvoll, als dass die OCIT-Lizenz lediglich die Erlaubnis zur Verwendung umfasst, die notwendigen Implementierungsarbeiten im Rahmen des Projektes SIGNOS aber nicht geleistet werden können. Da OCIT außerhalb des deutschsprachigen europäischen Raumes derzeit noch keine Rolle spielt, ist die gewählte Variante auch im Hinblick auf eine spätere Vermarktung im Ausland die zielführendere. Letztlich sind aber bei einem späteren Einsatz des Systems in einer OCIT-Umgebung natürlich auch eine OCIT-Lizenz und OCIT-Implementierung erforderlich.

3.4 Steuersoftware

Die auf dem Infrastrukturpunkt laufende Steuersoftware besteht aus dem verkehrstechnischen Grundsystem *SIGNOS-OS* und dem jeweils eingesetzten verkehrsunabhängigen Steuerverfahren. Beide Module sind über die im Teilprojekt *OTS-Control* entwickelte Softwareschnittstelle miteinander verbunden. Die Entwicklung des verkehrstechnischen Grundsystems *SIGNOS-OS* ist Hauptgegenstand des Projektes *SIGNOS*.

3.5 Hardware des Infrastrukturpunktes

Entsprechend der ursprünglichen und zum Teil wenig konkreten Anforderungen und nach den Überlegungen der vorangegangenen Abschnitte war es bei der Konzeption der Hardware für den Infrastrukturpunkt vor allem geboten, ein System zu schaffen, mit dem flexibel auf zukünftige Anforderungen reagiert werden kann. Für diesen Zweck bietet sich der PC/104-Standard an.

PC/104 ist ein Standard der Elektronikindustrie für PC kompatible Module, die zusammengesteckt ein komplexes Rechensystem bilden können. Die erste Version wurde 1992 vom PC/104-Konsortium veröffentlicht. In diesem Standard sind sowohl die Modulgröße, die Lage möglicher Erweiterungs-Anschlüsse und die Bedeutung der Pins des ISA-kompatiblen PC/104-Steckers festgelegt. Die Module mit einer Leiterplattengröße von 90,17 mm x 95,89 mm werden dabei direkt übereinander gesteckt. Der Name ist von dem von IBM entwickelten System „Personal Computer“ (PC) und der Anzahl der Anschlusspins (104) des Modulsteckers hergeleitet. [URL:Wikipedia/PC104]

Im PC/104-Format sind neben Basismodulen wie Mainboards, CPUs und diversen Schnittstellen (z. B. USB, RS232) auch Ethernet-Netzwerkkarten, UMTS-, DSL- und GPRS-Modems sowie WLAN-Karten und Bluetoothmodule, also die gesamte Palette der evaluierten Netzwerktechniken, erhältlich. Außerdem gibt es alle Module in der Regel auch für den erweiterten Temperaturbereich von -20°C bis +85°C.

Aufgrund der möglicherweise auftretenden Erschütterungen ist eine herkömmliche Festplatte mit ihren mechanischen Komponenten weniger für die Datenspeicherung im Infrastrukturpunkt geeignet. Stattdessen bietet sich die Verwendung eines Flash-Speichers an. Dieser erlaubt zwar nur ca. 5000 Schreibvorgänge pro Sektor, allerdings ist im Controller des Flash-Speichers bereits ein Verfahren implementiert, welches dafür sorgt, dass bei Schreibzugriffen alle Sektoren reihum beschrieben werden. Auf diese Weise verlängert sich die Lebensdauer erheblich.

Um Videokameras, Anzeigen und Umweltmessgeräte ansteuern zu können, müssen natürlich generell entsprechende Anschlüsse vorgesehen sein. Für Anzeigen und Umweltmessgeräte sind serielle Schnittstellen (RS232) geeignet. Für Videokameras bieten sich Ethernet und USB an.

Konkret ergibt sich für die aufzubauende Infrastrukturpunkt-Hardware folgende minimale Konfiguration:

- Mainboard, CPU, 512 MByte RAM, 512 MByte FlashDisc und Energieversorgung
- Monitorausgang, Anschlüsse für Tastatur und Maus, 1x USB während der Entwicklungsphase

- 3x Ethernet für das Schaltgerät, den lokalen Servicezugang und den Verkehrsrechner
- 1x RS232 für den ÖV-Funkempfänger

3.6 Betriebssystem

Als Betriebssystem für das beschriebene Hardwarekonzept eignet sich das bekannte Betriebssystem Linux. Es ist kostenfrei und bietet die Möglichkeit, bei Bedarf selbst Anpassungen vornehmen zu können. Linux wird bereits auf einer Vielzahl von Rechnern und Geräten weltweit eingesetzt.

Das Betriebssystem muss aus Sicht der verkehrsabhängigen Steuerverfahren gewisse Echtzeitanforderungen erfüllen können. So müssen die neu berechneten Signalbilder sekundlich an das Schaltgerät übertragen werden. Gleichzeitig sind im Takt von 100 ms die aktuellen Detektorbelegungen von dort abzufragen. Da bei einer einzelnen Nichteinhaltung dieser Vorgaben keine Gefahr für Leib und Leben der Verkehrsteilnehmer besteht, spricht man auch von weichen Echtzeitanforderungen. Im Gegensatz dazu sind harte Echtzeitanforderungen mit ungleich gravierenderen Folgen verbunden. Unter diesen Gesichtspunkten wurde auf die Echtzeitvariante von Linux, dem RealTime-Linux (oder RTLinux) verzichtet, da sich die genannten Bedingungen in der Regel durch die Vergabe von höheren Prozessprioritäten erreichen lassen.

Zukünftig werden höchstwahrscheinlich auch Änderungen am Betriebssystem, wie z. B. die Aktualisierung auf eine neuere Version, erforderlich werden. Linux bietet eine elegante Möglichkeit, um die notwendigen Schritte auch vom Anwender selbst, der in der Regel nicht über das entsprechende Expertenwissen verfügt, ausführen zu können. Der Grundgedanke dabei ist, das komplette Betriebssystem in einer Datei zu halten und aus dieser beim Start in den RAM zu laden. Steht nun eine Änderung an, so werden die nötigen Arbeiten von einem Sachverständigen durchgeführt, der am Schluss die Datei mit dem geänderten Betriebssystem erstellt. Diese Datei kann beispielsweise auf einem FTP- oder HTTP-Server zum Download angeboten werden. Der Anwender muss dann schließlich mit Hilfe von ein paar einfachen Kommandozeilenbefehlen oder noch komfortabler über einen Webzugang die bisherige Betriebssystemdatei durch die neue ersetzen.

3.7 Konfiguration und Bedienung über Webbrowser

Die Konfiguration und Bedienung eines Systems gestaltet sich sehr einfach über einen Webbrowser, da dieser auf jedem modernen Rechner standardmäßig verfügbar ist und die Installation und Pflege spezieller Bediensoftware überflüssig macht. Die Möglichkeiten zur Darstellung und Bedienung sind hier zwar gegenüber eigenständigen Anwenderprogrammen etwas eingeschränkt bzw. nur über einen höheren Aufwand zu erreichen aber dennoch in den meisten Fällen völlig ausreichend. Ein klassischer Anwendungsfall sieht vor, dass ein Servicetechniker vor Ort sein Notebook über ein so genanntes Crossover-Kabel (ein gekreuztes Ethernetkabel) mit dem Infrastrukturpunkt verbindet, anschließend den Webbrowser startet und über die angebotenen HTML-Seiten die jeweils notwendigen Aufgaben ausführt.

Damit dies möglich ist, wird auf dem Infrastrukturpunkt erstens natürlich eine Buchse für das Crossover-Kabel und zweitens ein Webserver, der die angeforderten HTML-Seiten zurückliefert, vorausgesetzt. Für dieverkehrliche Bedienung, z. B. das Wechseln des Signalprogramms oder das Abfragen von Prozessdaten, muss außerdem ein Zugriff von den Webseiten auf die laufende Steuerungssoftware erfolgen können.

Das Betriebssystem Linux bringt von Hause aus einen Webserver (Monkey Webserver) mit. Die generelle Konfiguration des Systems, wie beispielsweise das Austauschen der Betriebssystemdatei, kann damit problemlos verwirklicht werden. Kritisch erweist sich dagegen das Unterfangen, von den Webseiten auf die laufende Steuerungssoftware zuzugreifen. Hier konnte keine geeignete Lösung gefunden werden, weshalb stattdessen folgender Weg gewählt wurde: Die Steuerungssoftware stellt selbst einen Webserver zur Verfügung, wie beispielsweise den Java Tiny Webserver [URL:JTWS]. Über Java-Servlets, die der Java Tiny Webserver ebenfalls verwalten kann (Servlet Container), ist dann der Zugriff auf die Steuerungssoftware leicht möglich.

4 Umsetzung und Ergebnisse

Abschließend sollen nun die im Teilprojekt *Netzwerktechniken für OTS-Infrastrukturpunkt* erreichten Ergebnisse dargestellt werden. Eine Beschreibung zum Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse findet sich im gemeinsamen Schlussbericht zum Verbund.

4.1 Infrastrukturpunkt

4.1.1 Hardwarekonfiguration

Die gewählte Hardwarekonfiguration für den Infrastrukturpunkt ist in Tabelle 2 abgebildet. Alle Komponenten sind für den erweiterten Temperaturbereich von -20°C bis +85°C ausgelegt und damit etwas teurer als herkömmliche Bauteile.

Komponente	Erläuterungen	Preis (Brutto), Stand Oktober 2006
speedMOPSIcdLX, 400 MHz, lüfterlos	PC104 Mainboard + CPU 1x Ethernet 2x USB 2.0 2x RS-232	297,00 EUR
chipDISK/512-IDE	Flash-Speicher 512MB unempfindlich gegen Erschütterung, Vibration, Stöße	89,00 EUR
SODIMM 512 MB	Arbeitsspeicher	66,00 EUR
Kabelset für MOPSIcdLX	Anschlüsse für VGA, USB, RS-232, Ethernet	59,00 EUR
SPIDERLAN-1P	Switch im PC104 Format 4 Ports inkl. Kabelsatz	260,00 EUR
OSCI-4MIX/D	4-fach RS232/RS485 Schnittstellenmodul inkl. Kabelsatz	261,00 EUR
Energieversorgungsmodul		143,00 EUR
Gehäuse	Hutschienengehäuse mit den Abmessungen 157 mm x 191 mm x 175 mm für PC104 Module	92,00 EUR
Gesamtpreis		1267,00 EUR

Tabelle 2: Hardwarezusammensetzung des Infrastrukturpunktes

Auf weitere Module für die Kommunikation wie z. B. DSL-Modem, WLAN-Karte etc. wurde aufgrund eines fehlenden konkreten Anwendungsfalls bewusst verzichtet. Da alle Kommunikationstechniken darüber hinaus in der Praxis etabliert sind, wurde zudem von einem entsprechenden Funktionsnachweis abgesehen. Sobald eine oder mehrere der evaluierten Kommunikationstechniken tatsächlich eingesetzt werden

sollen, muss die oben beschriebene Hardwarekonfiguration lediglich um das jeweilige PC104-Modul sowie evtl. um notwendige Treiber erweitert werden.

Bild 7 zeigt die Front- und Rückansicht des fertig aufgebauten Infrastrukturpunkts. Um dem Benutzer den Zugang zu den verschiedenen Schnittstellen zu ermöglichen, waren Fräsarbeiten am Gehäuse sowie die Fixierung der Buchsen und Stecker nötig.

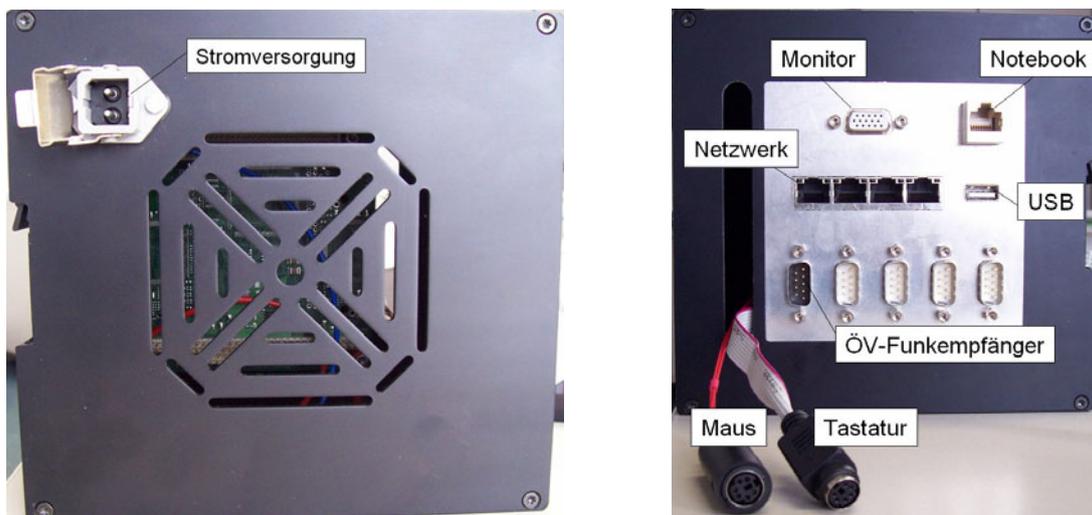


Bild 7: Hardwareansichten des Infrastrukturpunkts

Für die Energieversorgung benötigt der Infrastrukturpunkt eine Gleichspannungsquelle mit 24 V und 0,5 A Stromstärke. Der entsprechende Anschluss ist in Bild 7 links zu sehen. Auf der rechten Seite sind die verfügbaren Schnittstellen dargestellt. Der Monitorausgang sowie die Anschlüsse für Maus, Tastatur und USB sind vornehmlich während der Entwicklungsphase von Bedeutung. Für den späteren Regelbetrieb sind diese dann nicht mehr von Bedeutung. Der mit „Notebook“ gekennzeichnete Ethernet-Anschluss ist für die Verbindung mit dem Notebook eines Servicetechnikers reserviert; einer der mit „Netzwerk“ beschrifteten Ethernet-Anschlüsse dient der Kopplung mit dem Schaltgerät. Der Infrastrukturpunkt besitzt des Weiteren fünf serielle Schnittstellen (RS-232), von denen zunächst nur eine elektrisch angebunden ist. An diese wird das Gerät zum Empfang von ÖV-Funktelegrammen angeschlossen.

Das Mainboard besitzt wie jeder herkömmliche PC eine Echtzeituhr (engl. Real Time Clock, RTC). Ist diese Uhr mit einer Batterie bestückt, läuft die Uhr auch dann weiter, wenn das Gerät nicht in Betrieb ist. Da die Steuersoftware ihre Zeit beim Start vom

Verkehrsrechner oder einer Funkuhr bezieht und ansonsten die aktuelle Zeit nicht benötigt wird, wurde zunächst auf die Bereitstellung einer Batterie verzichtet. Im Bedarfsfall kann jedoch jederzeit eine passende Batterie aufgesteckt werden. Diese müsste dann durchschnittlich alle drei Jahre gewechselt werden.

4.1.2 Betriebssystem

Als Betriebssystem wird die kostenfreie Linux-Variante Damn Small Linux [URL:DamnSmallLinux] in der Version 3.3 (Linux Kernel Version 2.4) verwendet, die sich vor allem durch ihre geringen Speicherplatzanforderungen auszeichnet. In der minimalen Ausführung betragen diese in Form einer komprimierten Datei ca. 50 MByte auf dem Flash-Speicher. Beim Einschaltvorgang wird diese Datei mit Hilfe eines so genannten Bootloaders von dem Flash-Speicher in den RAM bzw. genauer gesagt in eine RAM-Disk entpackt, von wo aus dann der eigentliche Startvorgang des Betriebssystems ausgeführt wird. Das entpackte und initialisierte Betriebssystem beansprucht ca. 230 MByte des zur Verfügung stehenden RAM. Der restliche Teil des 512 MByte betragenden Hauptspeichers kann von der Steuersoftware oder anderen Anwendungen verwendet werden.

Das Betriebssystem wurde so konfiguriert, dass es sich nach dem Initialisieren im Systemzustand (engl. Runlevel) 2 befindet. Dieser ist u. a. dadurch gekennzeichnet, dass dem Anwender keine grafische Benutzeroberfläche zur Verfügung steht. Viele Betriebssysteme von Computern durchlaufen beim Start (Booten) mehrere abgestufte Systemzustände, die als Runlevel bezeichnet werden. Jedem Runlevel sind bestimmte System-Dienste zugeordnet, die beim Booten als Prozesse in wohldefinierter Reihenfolge innerhalb des Betriebssystems gestartet werden. Auf diese Weise werden Systemressourcen des Computers stufenweise in Betrieb genommen. Bei Beendigung des Betriebssystems (Shutdown) werden die Runlevel in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen [URL:Wikipedia/Runlevel].

Der Webserver (Monkey Webserver) ist bereits fester Bestandteil des Betriebssystems. Nachträglich installiert wurden folgende Programme:

- PHP 4 zur Generierung von Webseiten mit dynamischem Inhalt
- Java Laufzeitumgebung (engl. Java Runtime Environment, JRE), Version 1.6 für das verkehrstechnische Grundsystem SIGNOS-OS

- DHCP-Server (Dynamic Host Configuration Protocol), um dem Notebook des Servicetechnikers automatisch eine passende IP-Adresse zuzuweisen

Der Startvorgang des Betriebssystems wurde u. a. durch Skripte zur Erledigung folgender Aufgaben angepasst:

- Konfiguration der Ethernet-Anschlüsse
- Automatischer Start des Webservers

Schließlich wurden Webseiten zum Zwecke der allgemeinen Konfiguration des Infrastrukturpunktes erstellt. Mit diesen können beispielsweise die Betriebssystemdatei ersetzt und die IP-Adresse der Ethernet-Anschlüsse (siehe Bild 8) eingestellt werden.

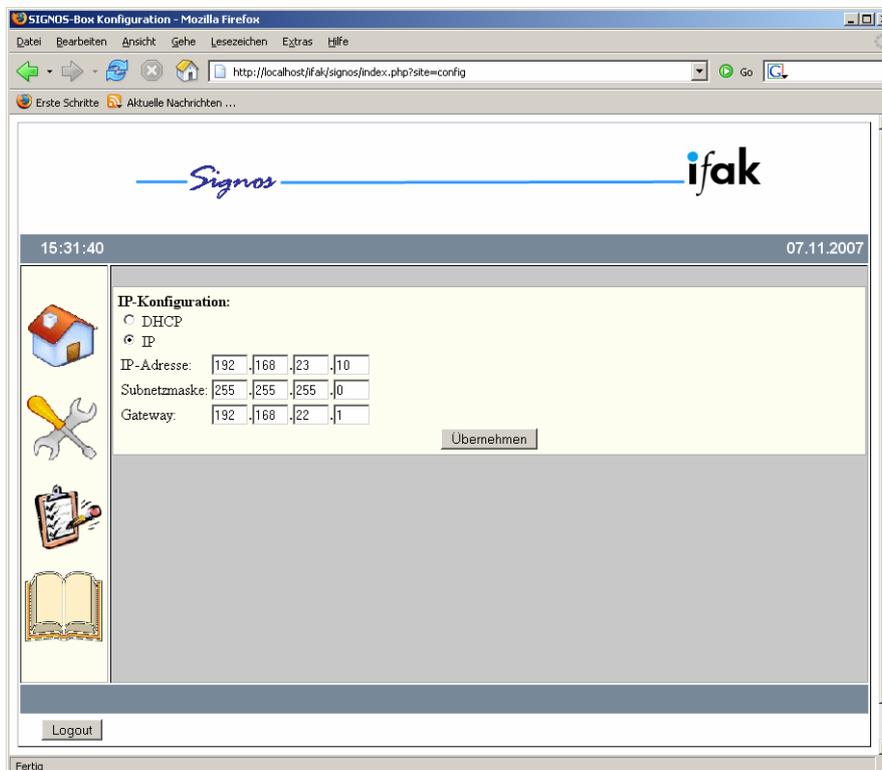


Bild 8: Webseiten zur Konfiguration des Infrastrukturpunktes

Für die verkehrliche Bedienung über einen Webbrowser erwies sich die Verwendung des vorhandenen Webservers als ungeeignet, da für den Zugriff auf die laufende Steuerungssoftware keine bzw. eine nur sehr umständliche Lösung gefunden werden konnte. Aus technischer Sicht als wesentlich eleganter kann daher die gewählte Variante bezeichnet werden, deren Grundprinzip folgendermaßen aussieht: Die Steuerungssoftware, d. h. das verkehrstechnische Grundsystem SIGNOS-OS, startet selbst ei-

nen eigenen Webserver, konkret den Tiny Java Webserver, der gleichzeitig Java-Servlets verwalten und ausführen kann. Bei Anfragen durch einen Client werden die zu liefernden HTML-Seiten durch verschiedene Java-Servlets erzeugt, die den vollen Zugriff auf die laufende Steuersoftware besitzen.

Beide Webserver nebeneinander zu betreiben, hat den Vorteil, die Hardware einschließlich des Betriebssystems auch für andere Anwendungen abseits von SIGNOS verwenden zu können.

4.2 Schaltgerät

Zur Entwicklung und Bereitstellung des Schaltgerätes wurde die Bergauer AG, Täferstrasse 16a, CH-5405 Baden-Dättwil beauftragt. Bei dem Schaltgerät handelt es sich um eine Komponente, an welche die Signalgeber, Detektoren und digitalen Ausgänge angeschlossen sind. Zudem besteht eine Ethernetverbindung zum Infrastrukturpunkt. Das Schaltgerät erfüllt folgende Aufgaben:

- Schalten der Signalbilder und digitalen Ausgänge entsprechend den Befehlen des SIGNOS-OS bzw. des verkehrsabhängigen Steuerverfahrens
- Überwachung der sicherungstechnischen Zwischenzeiten, Mindestzeiten, auch Fehlerstrom und Lampenausfall
- Lieferung der Detektorbelegungen an das SIGNOS-OS bzw. das verkehrsabhängige Steuerverfahren im Takt von 100 ms

Das Schaltgerät arbeitet selbst keine Signalprogramme ab. Verletzt ein Schaltbefehl des verkehrsabhängigen Steuerverfahrens eine sicherheitsrelevante Zwischenzeit, so wird das verkehrsabhängige Steuerverfahren abgeschaltet. Die Signalgeber gehen in einem solchen Fall in einen definierten Zustand wie beispielsweise Gelbblinker.

Das von der Bergauer AG gelieferte prototypische Schaltgerät besitzt noch nicht den Sicherheitsnachweis der Norm VDE-0832. Dieser wird erforderlich, sobald das Schaltgerät zusammen mit dem Infrastrukturpunkt die Signale an einem realen Knotenpunkt steuern soll. Bild 9 zeigt ein Foto des Schaltgerätes mit integriertem Infrastrukturpunkt.



Bild 9: Schaltgerät

Die Telegramme, über welche die Informationen zwischen der Steuersoftware auf dem Infrastrukturpunkt und dem Schaltgerät ausgetauscht werden, sind in dem Bericht zum Teilvorhaben OTS-Control beschrieben.

Die Bergauer AG ist im Besitz einer OCIT-Lizenz und hat die für LSA-Steuergeräte erforderliche Implementierung der OCIT-Outstations-Schnittstelle bereits vorgenommen. Diese Tatsache konnte genutzt werden, um zumindest eine rudimentäre aber in jedem Fall aufwandsarme Möglichkeit zum Anschluss des Infrastrukturpunktes an einen OCIT-Verkehrsrechner zu verwirklichen. Dazu wurde die Telegrammschnitt-

stelle zwischen Infrastrukturpunkt und Schaltgerät um die wichtigsten OCIT-Outstations-Funktionen, wie das Wechseln des Signalprogramms, das Ein- und Ausschalten des Knotens sowie die Uhrzeitabfrage, erweitert. Das Schaltgerät fungiert dabei quasi als Vermittler zwischen dem OCIT-Verkehrsrechner und dem Infrastrukturpunkt. Obwohl es sich hierbei um eine Übergangslösung handelt, erlaubt diese doch die Aufnahme von Feldversuchen.

4.3 Virtuelle Entwicklungsumgebung

Zum Test ihrer verkehrsabhängigen Steuerverfahren im Zusammenspiel mit dem verkehrstechnischen Grundsystem SIGNOS-OS benötigen die KMU-Partner prinzipiell ein eigenes Hardwaresystem inklusive Betriebssystem. Um nicht von vornherein auf ein solches angewiesen zu sein, bietet sich zunächst die Verwendung einer *virtuellen Maschine* (VM) an. Als hilfreiches Werkzeug wurde daher mit der Software VMware Workstation eine virtuelle Maschine der Infrastrukturpunkthardware erstellt, welche die echte Hardware in Bezug auf Speicher, CPU-Taktfrequenz, Festplattengröße und Schnittstellen nachbildet. Mit Hilfe des kostenlosen Programms VMware-Player ist es dann möglich, diese virtuelle Maschine auszuführen. In Bild 9 ist exemplarisch dafür die in der virtuellen Maschine laufende Entwicklungsumgebung Eclipse dargestellt.

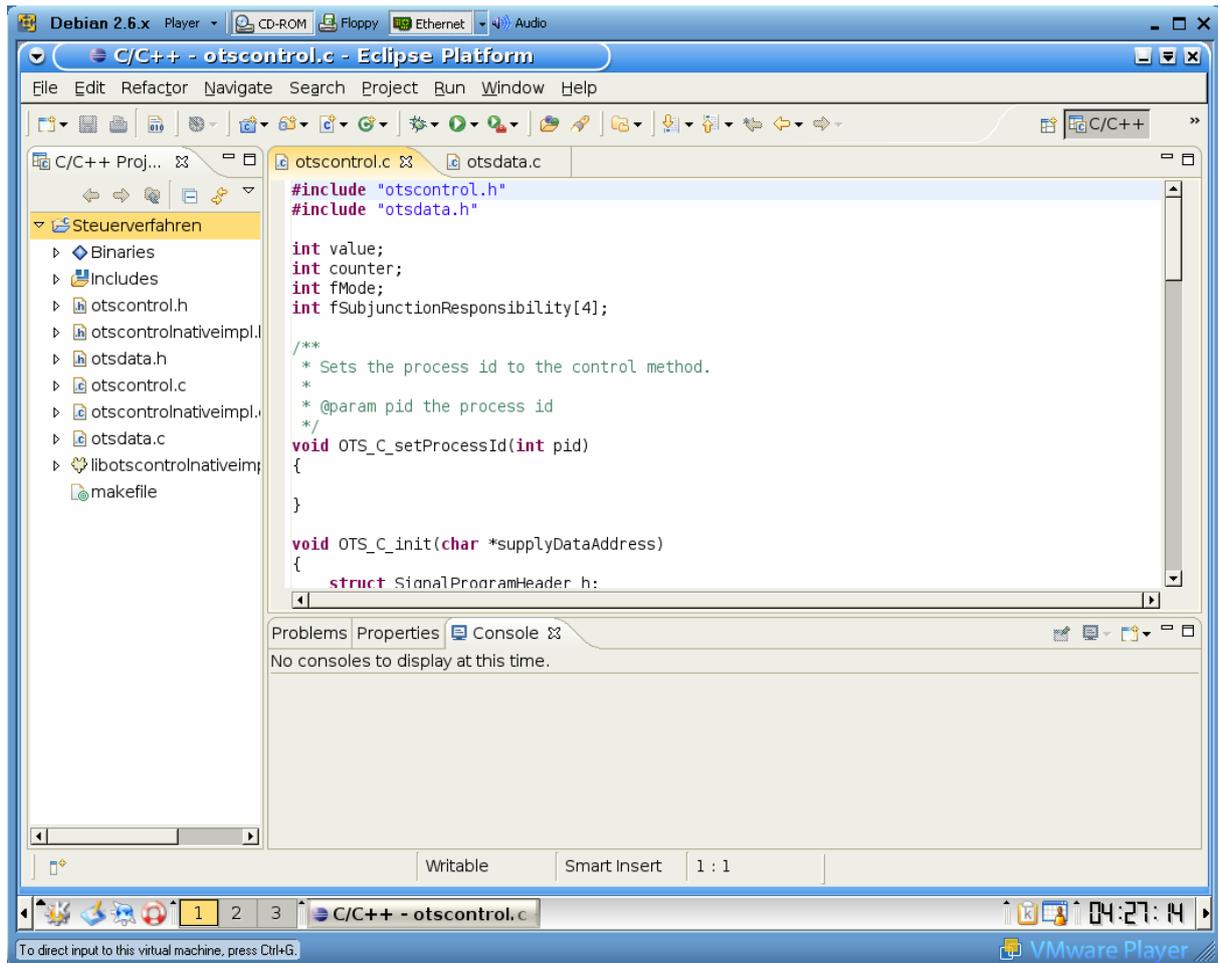


Bild 10: Softwareentwicklung auf der virtuelle Umgebung auf einem Windows-PC

4.4 Konformitäts- und Verträglichkeitsnachweise

4.4.1 Klimatest

Der PC/104-Module des Infrastrukturpunkts sind alle für den erweiterten Temperaturbereich von -20°C bis $+85^{\circ}\text{C}$ ausgelegt. Da die Hersteller dieser Module für die Funktionstüchtigkeit innerhalb des genannten Temperaturbereichs garantieren, wurde von einem Klimatest abgesehen.

4.4.2 EMV-Test

EMV bedeutet Elektromagnetische Verträglichkeit und behandelt die technischen und rechtlichen Grundlagen der wechselseitigen Beeinflussung elektrischer Geräte durch die von ihnen hervorgerufenen elektromagnetischen Felder in der Elektrotechnik. Die Nutzung elektrischer Energie bedeutet immer, dass die Energie elektromagnetischer Felder umgewandelt wird, z. B. in Strahlungsenergie (Glühlampe) oder me-

chanische Energie (Motor). Dabei bleiben die Felder nicht zwingend nur innerhalb der elektrischen Geräte, sondern können sich auch außerhalb davon ausbreiten. Felder, die sich frei ausbreiten, können in andere elektrische Geräte eindringen und deren Funktion beeinflussen. Besonders Geräte der Funkkommunikation, wie z. B. Mobiltelefone oder Radioempfangsgeräte, zeichnen sich durch gewollte Aussendung (Mobiltelefon) oder gewolltes Eindringen (Radioempfangsgeräte, Mobiltelefon) von Feldern aus. Das Thema Elektromagnetische Verträglichkeit umfasst alles, was sowohl mit ungewollten als auch gewollten Funktionsstörungen von elektrischen Geräten durch z. B. elektrische, magnetische oder elektromagnetische Felder und Vorgänge zusammenhängt [URL:Wikipedia/EMV].

Der im Projekt SIGNOS umgesetzte Prototyp wurde nach gängigen ingenieurtechnischen Standards entwickelt und im Laborbetrieb zusammen mit dem Schaltgerät auf elektromagnetische Verträglichkeit geprüft. Auf eine EMV-Zertifizierung des kontinuierlich weiterentwickelten Prototyps wurde im Projekt aus Zeit- und Kostengründen verzichtet. Für eine spätere Serienfertigung durch die Industriepartner ist eine solche Zertifizierung allerdings zwingend erforderlich.

4.4.3 CE-Konformität

Die CE-Kennzeichnung ist eine Kennzeichnung nach EU-Recht für bestimmte Produkte in Zusammenhang mit der Produktsicherheit. Die CE-Kennzeichnung wurde vorrangig geschaffen, um im freien Warenverkehr dem Endverbraucher sichere Produkte innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) und der darin befindlichen Europäischen Gemeinschaft (EG) zu gewährleisten.

Die CE-Kennzeichnung bestätigt die Einhaltung grundlegender (Sicherheits-) Anforderungen, die in den Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft konkret festgelegt sind. Produkte, auf die aufgrund ihrer Art oder Beschaffenheit eine der EG-Richtlinien angewendet werden kann, müssen mit der CE-Kennzeichnung versehen sein, bevor sie in den Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden dürfen. Die Hersteller eines technischen Produktes prüfen in eigener Verantwortung, welche EG-Richtlinien sie bei der Produktion anwenden müssen [URL:Wikipedia/CE].

Bei dem Infrastrukturpunkt handelt sich um eine prototypische Einzelanfertigung, für die bislang keine CE-Konformitätsprüfung vorgenommen wurde. Bei einer eventuel-

len Serienproduktion ist dann auf die Einhaltung der entsprechenden EG-Richtlinien und die nachfolgende Produktkennzeichnung zu achten.

5 Quellen

- [FGSV-01] *Hinweise zu Verkehrsrechnern als Bestandteil der innerörtlichen Lichtsignalsteuerung*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, Köln, Ausgabe 2001
- [MARZ-99] *Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechnerzentralen und Unterzentralen*, Bundesanstalt für Straßenwesen (bast), 1999.
- [RiLSA-92] *Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA)*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1992
- [Tanenbaum-98] Tanenbaum, Andrew S.: *Computernetzwerke*. Prentice Hall, 1998
- [VÖV-90] *Technische Anforderungen an rechnergesteuerte Betriebsleitsysteme - Übertragungsverfahren Datenfunk*, VÖV-Schrift 04.05.1, Ausgabe 06/1990, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV)
- [BSI-05] *Technische Richtlinie Sicheres Wireless LAN*, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2005]
- [Posegga-01] Joachim Posegga, Simon Vetter: *Wireless Internet Security*, <http://www.gi-ev.de/service/informatiklexikon/informatiklexikon-detailansicht/meldung/97>, Informatik Spektrum, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 2001
- [URL:AKTIV] Projekt AKTIV (Adaptive und Kooperative Technologien für den Intelligenten Verkehr), gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), <http://www.aktiv-online.org>
- [URL:Bluetooth] Forum-Mobilkommunikation, Fakten „Bluetooth-Technik“, <http://www.ai.ch/dl.php/de/20040712085506/FaktenblattBluetooth.pdf>
- [URL:BluetoothCT] <http://www.heise.de/ct/04/18/041/>

- [URL:BluetoothHeiseNews] <http://www.heise.de/newsticker/meldung/67855>
- [URL:DamnSmallLinux] <http://www.damnsmalllinux.org>
- [URL:DSL] <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0305237.htm>
- [URL:DSLWeb] <http://www.dslweb.de>
- [URL:Feldbus] <http://www.feldbusse.de/Vergleich/vergleich.htm>
- [URL:GPRS] <http://www.teltarif.de/i/gprs-technik.html>
- [URL:JTWS] <http://tjws.sourceforge.net>
- [URL:LAN] <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603201.htm>
- [URL:LSA] <http://www.info-lsa.de>
- [URL:OCIT] <http://www.ocit.org>
- [URL:OCIT-O] OCIT-Outstations Schnittstellen und Protokolle,
<http://www.ocit.org>
- [URL:PC104] <http://www.pc104.org>
- [URL:Wikipedia/Bluetooth] <http://de.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [URL:Wikipedia/CE] <http://de.wikipedia.org/wiki/CE-Kennzeichnung>
- [URL:Wikipedia/EMV] http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Vertr%C3%A4glichkeit
- [URL:Wikipedia/Feldbus] <http://de.wikipedia.org/wiki/Feldbus>
- [URL:Wikipedia/PC104] <http://de.wikipedia.org/wiki/PC104>
- [URL:Wikipedia/Runlevel] <http://de.wikipedia.org/wiki/Runlevel>

[URL:Wikipedia/UMTS]

http://de.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System

[URL:Wikipedia/WLAN]

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wlan>

[URL:WLAN]

<http://www.wireless-go.de/>

[URL:WLANUniKonstanz]

<http://wiki.uni-konstanz.de/wiki/bin/view/Wireless/WlanSicherheit>

[URL:WLANVoip]

<http://www.voip-information.de/sicherheit-wlan.html>

[URL:Wölfle]

<http://www.ralf-woelfle.de>

Hinweis: Die URLs entsprechen dem Stand von Oktober 2007.