



Universität Stuttgart

Fakultät Informatik, Elektrotechnik
und Informationstechnik

NEXUS

Fachstudie Nr. 85

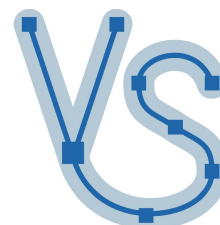
**Hardwareplattformen und
Systemsoftware
für drahtlose vermaschte
Kommunikationsnetze**

Alexander Egorenkov
Sergey Telezhnikov
Valeri Schneider

Studiengang:	Softwaretechnik
Prüfer:	Prof. Dr. Kurt Rothermel
Betreuer:	Dipl.-Inf. Lars Geiger
begonnen am:	November 2007
beendet am:	Januar 2008
CR-Nummer:	C.2.1, C.2.2, C.2.3, C.3



Institut für Parallele
und Verteilte Systeme
Abteilung Verteilte Systeme
Universitätsstraße 38
D-70569 Stuttgart



Abstract

Mesh-Netze (engl. Wireless Mesh Network, WMN) sind drahtlose Ad-Hoc-Netze, bestehend aus stationären Mesh-Routern, die einen Routing-Backbone bilden, und mobilen oder stationären Mesh-Clients. Die Mesh-Clients kommunizieren über den Backbone mit anderen Mesh-Clients oder erlangen über den Backbone Zugang zum Internet. Mesh-Netze können dabei auch größere Bereiche, beispielsweise ganze Städte abdecken (entsprechende Stadtnetze werden aktuell z.B. durch Google installiert).

Ein entsprechendes Mesh-Netz soll für die Forschungszwecke für den Sonderforschungsbereich (SFB) Nexus an der Universität Stuttgart eingerichtet werden.

Diese Fachstudie befasst sich mit der Ausarbeitung einer Empfehlung für die Beschaffung entsprechender Geräte (Hardwareplattformen und Systemsoftware) für den Aufbau eines WMN.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Grundlagen von WMNs	1
1.1.1	Motivation	1
1.1.2	Drahtloses Ad-Hoc Netzwerk	1
1.1.3	WMN	2
1.1.4	IEEE 802.11 Standards	4
1.1.4.1	IEEE 802.11a	4
1.1.4.2	IEEE 802.11b	4
1.1.4.3	IEEE 802.11g	5
1.1.4.4	IEEE 802.11n	5
1.1.4.5	IEEE 802.11s	5
1.1.5	Ad-Hoc Routing-Protokolle	6
1.1.5.1	Positionsbasierte Routingverfahren	6
1.1.5.2	Topologiebasierte Routingverfahren	6
1.1.5.3	Proaktive Verfahren	7
1.1.5.4	Reaktive Verfahren	7
1.1.5.5	Hybride Verfahren	7
1.1.5.6	OLSR	7
1.1.5.7	B.A.T.M.A.N.	8
1.2	Existierende Lösungen und Projekte	9
2	Aufgabenstellung	10
3	Anforderungen	10
4	Hardware-Lösungen für den Aufbau eines Mesh-Netzes	12
4.1	PCs + WLAN-Karten	12
4.1.1	PCI WLAN-Karten	13
4.1.1.1	Linksys WMP55AG	15
4.1.1.2	Netgear WAG311	17
4.1.1.3	D-Link DWL-A520	19
4.1.1.4	Gigabyte GN-WPEAG	21
4.1.1.5	D-Link DWL-G550	23
4.1.1.6	D-Link DWL-AG530	25
4.1.1.7	Intel PRO/Wireless 5000	27
4.1.2	MiniPCI(e) WLAN-Karten	29
4.1.2.1	Wistron CM9 Atheros AR5213A	30
4.1.2.2	Intel PRO/Wireless 3945	32
4.1.2.3	Intel PRO/Wireless 2915	34
4.1.2.4	Intel Wireless WiFi Link 4965AGN	36
4.1.3	PCMCIA WLAN-Karten	38
4.1.3.1	Proxim Orinoco Gold 8480-WD	39

4.1.3.2	Netgear WAG511	41
4.1.3.3	SMC 2536W-AG	43
4.1.3.4	Linksys WPC55AG	45
4.1.3.5	Andere PCMCIA-WLAN-Karten	46
4.2	WLAN-Router	48
4.2.1	SoHO-Router	48
4.2.1.1	Linksys WRT54G v1.0	50
4.2.1.2	Linksys WRT55AG	52
4.2.1.3	Asus WL500G/GP	54
4.2.2	Professionelle Router	56
4.2.3	Access Points	56
4.3	Mesh-Clients - PDAs und Handys	58
5	Systemsoftware für Mesh-Netz	59
5.1	Linux MadWiFi-Treiber	59
5.2	Open-Source Firmware für SoHO WLAN-Router	60
5.2.1	OpenWRT	60
5.2.2	DD-WRT	60
5.2.3	FreeWRT	61
5.3	Mesh-Routing Software	61
5.3.1	olsr.org OLSR daemon	61
5.3.2	Open-Mesh B.A.T.M.A.N. daemon	62
5.3.3	Meshcom Driver	63
6	Test	64
6.1	Hardware	64
6.2	Software	65
6.2.1	Betriebssystem	65
6.2.2	Treiber für WLAN-Karten	65
6.2.3	olsrd	66
6.2.4	Visualisierung	68
6.2.5	dhcpcd	68
6.2.6	Firewall	69
6.3	Inbetriebnahme	70
6.4	Ergebnisse	70
6.4.1	Topologie	70
6.4.2	Routing-Tabelle	72
7	Fazit	73
7.1	Übersicht und Bewertung analysierter Hardware	73
7.2	Übersicht und Bewertung analysierter Routing-Software	75
7.3	Empfehlung für Hardware und Software	75
7.3.1	Empfehlung für Hardware für Mesh-Router	76
7.3.2	Empfehlung für Routing-Software	77

7.3.3	Aufbau von WMN	78
8	Anhang	79
8.1	olsrd.conf	79
8.2	olsrd Startup-Skript	86
8.3	topology.pl	88
9	Erklärung	92

Abbildungsverzeichnis

1	Mesh-Routern und Mesh-Clients in einem WMN	3
2	Linksys WMP55AG	15
3	Netgear WAG311	17
4	D-Link DWL-A520	19
5	Gigabyte GN-WPEAG	21
6	D-Link DWL-G550	23
7	D-Link DWL-AG530	25
8	Intel PRO/Wireless 5000	27
9	Wistron CM9 Atheros AR5213A	30
10	Intel PRO/Wireless 3945	32
11	Intel PRO/Wireless 2915	34
12	Intel Wireless WiFi Link 4965AGN	36
13	Proxim Orinoco Gold 8480-WD	39
14	Netgear WAG511	41
15	SMC 2536W-AG	43
16	Linksys WPC55AG	45
17	Linksys WRT54G v1.0	50
18	Linksys WRT55AG	52
19	Asus WL500G/GP	54
20	Topologie	64
21	Topologie dargestellt mit dem olsr.org Plugin dot_draw	71
22	Routing-Tabelle eines Knotens dargestellt mit dem olsr.org Plugin httpinfo	72
23	Mögliche Plazierung von Mesh-Routern im Informatik Gebäude	78

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht und Bewertung analysierter Hardware	74
2	Übersicht und Bewertung analysierter Routing-Software	75

Abkürzungsverzeichnis

B.A.T.M.A.N.	<u>B</u> etter <u>A</u> pproach <u>T</u> o <u>M</u> obile <u>A</u> dhoc <u>N</u> etworking
CCK	<u>C</u> omplementary <u>C</u> ode <u>K</u> eying
DHCP	<u>D</u> ynamic <u>H</u> ost <u>C</u> onfiguration <u>P</u> rotocol
ETSI	<u>E</u> uropean <u>T</u> elecommunications <u>S</u> tandards <u>I</u> nstitute
GPS	<u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
HAL	<u>H</u> ardware <u>A</u> bstraction <u>L</u> ayer
HTTP	<u>H</u> ypertext <u>T</u> ransfer <u>P</u> rotocol
IEEE	<u>I</u> nstitute of <u>E</u> lectrical and <u>E</u> lectronics Engineers
IP	<u>I</u> nternet <u>P</u> rotocol
MANET	<u>M</u> obile <u>A</u> d <u>H</u> oc <u>N</u> etwork
MIMO	<u>M</u> ultiple <u>I</u> nput <u>M</u> ultiple <u>O</u> utput
NAT	<u>N</u> etwork <u>A</u> ddress <u>T</u> ranslation
OLSR	<u>O</u> ptimized <u>L</u> ink <u>S</u> tate <u>R</u> outing
OSI	<u>O</u> pen <u>S</u> ystem <u>I</u> nterconnection
PCI	<u>P</u> eripheral <u>C</u> omponent <u>I</u> nterconnect
PCMCIA	<u>P</u> ersonal <u>C</u> omputer <u>M</u> emory <u>C</u> ard <u>I</u> nternational <u>A</u> ssociation
PDA	<u>P</u> ersonal <u>D</u> igital <u>A</u> ssistant
PPPoA	<u>P</u> oint-to- <u>P</u> oint <u>P</u> rotocol over <u>A</u> TM
PPPoE	<u>P</u> oint-to- <u>P</u> oint <u>P</u> rotocol over <u>E</u> thernet
RegTP	<u>R</u> egulierungsbehörde für <u>T</u> elekommunikation und <u>P</u> ost
SBC	<u>S</u> ingle <u>B</u> oard <u>C</u> omputer
SoHO	<u>S</u> mall or <u>H</u> ome <u>O</u> ffice
WAN	<u>W</u> ide <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
WEP	<u>W</u> ired <u>E</u> quivalent <u>P</u> rivacy
WLAN	<u>W</u> ireless <u>L</u> ocal <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
WMN	<u>W</u> ireless <u>M</u> esh <u>N</u> etwork
WPA	<u>W</u> i-Fi <u>P</u> rotected <u>A</u> ccess
WSN	<u>W</u> ireless <u>S</u> ensor <u>N</u> etwork

1 Einleitung

In diesem Abschnitt werden einige wichtige Begriffe, die im Laufe des Dokuments auftauchen werden, erläutert und beschrieben.

1.1 Grundlagen von WMNs

1.1.1 Motivation

Ein drahtloses vermaschtes Netz (engl. Wireless Mesh Network, WMN) besteht aus einer Menge von Knoten, die über drahtlose Kommunikationstechniken wie beispielsweise IEEE 802.11 (1.1.4) Nachrichten austauschen. Die Vermaschung der Knoten ermöglicht dabei nicht nur den Austausch von Nachrichten zwischen unmittelbar benachbarten Knoten, sondern auch die Vermittlung von Nachrichten an entfernte Knoten über mehrere Knoten hinweg. Die Vermittlungsfunktionalität wird dabei oft von dedizierten Vermittlungsknoten (engl. Mesh-Router) bereitgestellt, die somit eine drahtlose Kommunikationsinfrastruktur für die Klienten (engl. Mesh-Client) bilden. Durch den Einsatz vergleichsweise kostengünstiger Hardwarekomponenten und die Vermaschung der Knoten ermöglichen WMNs die kostengünstige Vernetzung auch größerer Gebiete. Entsprechende Netze werden beispielsweise von Community-Projekten wie dem Freifunk-Projekt (1.2) oder Firmen wie Google (1.2) bereits heute in der Praxis für den Aufbau größerer Netze eingesetzt, um beispielsweise kostengünstige Internetzugänge für Stadtteile oder ganze Städte zu realisieren.

WMNs sind auch für den Sonderforschungsbereich (SFB) Nexus an der Universität Stuttgart [1] von großem Interesse. Im Zentrum der Forschungen des SFB stehen Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme. Umgebungsmodelle sind digitale Abbilder der physischen Welt, die von kontextbezogenen Systemen genutzt werden, um sich selbständig an die physische Umgebung des Benutzers anzupassen. Ein einfaches Beispiel sind ortsbezogene Anwendungen, die beispielsweise aufgrund der aktuellen geographischen Position eines Geräts automatisch Informationen über nahe Restaurants, Sehenswürdigkeiten, usw. selektieren können. Zur Kommunikation, insbesondere mit mobilen Geräten, werden dabei hybride Systeme betrachtet, in denen sowohl eine infrastrukturbasierte Kommunikation als auch die direkte Ad-hoc-Kommunikation zwischen mobilen Endsystemen möglich ist. Hierbei spielen WMNs als eine spezielle Ausprägung eines hybriden Kommunikationssystems eine wesentliche Rolle.

1.1.2 Drahtloses Ad-Hoc Netzwerk

Ein drahtloses Ad-Hoc Netzwerk ist ein dezentralisiertes drahtloses Netzwerk. Das Netzwerk heißt Ad-Hoc, weil jeder Knoten im Netzwerk Daten von anderen Knoten im Netzwerk

weiterleiten kann, und so wird die Entscheidung, welcher Knoten die Weiterleitung von Daten eines Knotens übernimmt, dynamisch auf der Grundlage der Netzwerkkonnektivität getroffen. Das Weiterleiten von Paketen in einem Netzwerk nennt man Routing. Und im Gegensatz zu Ad-Hoc Netzwerken übernehmen diese Aufgabe in einem verdrahteten Netzwerk, wie z.B. das Internet, nur spezielle Knoten, so genannte Router. Auch in drahtlosen Netzwerken mit Infrastruktur übernehmen diese Aufgabe spezielle Knoten, so genannte Access Points, die die Kommunikation zwischen drahtlosen Knoten verwalten, da in solchen drahtlosen Netzwerken drahtlose Knoten ~~direkt nicht~~ kommunizieren [2].

Der dezentralisierte Charakter der drahtlosen Ad-Hoc Netzwerken macht sie für verschiedene Anwendungen geeignet, wo man sich auf zentralisierte Knoten nicht verlassen kann. Ausserdem verbessert diese Eigenschaft die Skalierbarkeit der drahtlosen Ad-Hoc Netzen im Vergleich zu drahtlosen Netzwerken mit Infrastruktur [2].

Minimale Konfiguration und schnelle Verteilung machen drahtlose Ad-Hoc Netzwerke geeignet für Not-situationen, wie z.B. Naturkatastrophen oder militärische Konflikte. Der Einsatz eines dynamischen und adaptiven Routing-Protokolls macht es möglich, diese Art von Netzwerken schnell zu installieren [2].

Drahtlose Ad-Hoc Netzwerke können in 3 Gruppen unterteilt werden:

- Mobile Ad-Hoc Networks (MANETs)
- Wireless Mesh Networks (WMNs)
- Wireless Sensor Networks (WSNs)

Unsere Fachstudie konzentriert sich nur auf WMNs. Deswegen werden diese Netzwerke im folgenden detaillierter erläutert.

1.1.3 WMN

Ein drahtloses vermaschtes Netzwerk ist ein drahtloses Ad-Hoc Netzwerk, in dem zumindest zwei unterschiedliche Kommunikationspfade zu jedem Knoten in diesem Netzwerk existieren. Dieser Typ von drahtlosen Ad-Hoc Netzwerken ist sehr zuverlässig und hat einen sehr hohen Grad an Redundanz.

WMNs bestehen aus Mesh-Routern und Mesh-Clients (Abb. 1). Mesh-Router haben zusätzliche Routing-Funktionalität, um das Mesh-Netz zu realisieren. Um die Flexibilität des WMNs zu erhöhen, werden Mesh-Router meistens mit mehreren drahtlosen Kommunikationsgeräten ausgestattet. Man unterscheidet zwei Arten von Mesh-Clients: Typ 1 und Typ 2. Mesh-Clients von Typ 1 sind mit einer äquivalenten Funktionalität ausgestattet wie auch Mesh-Router. Mesh-Clients von Typ 2 sind Knoten mit einer einfacheren Funktionalität als Mesh-Router ~~ausgestattet~~ [2].

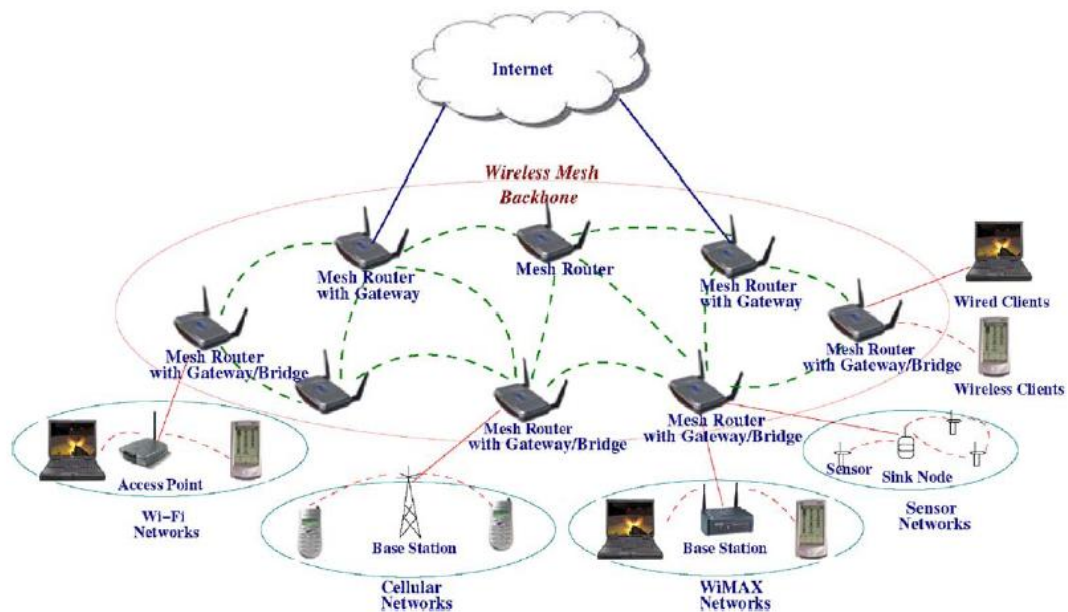


Abbildung 1: Mesh-Routern und Mesh-Clients in einem WMN

Abhängig von unterschiedlicher Funktionalität von Mesh-Routern und Mesh-Clients, kann man folgende Architekturen von WMNs unterscheiden [2]:

- flache
- hierarchische
- hybride

Flache WMNs unterstützen nur Mesh-Clients von Typ 1, so dass die Funktionen des WMN wie Routing-, Verwaltung- und Sicherheit-Protokolle für beide Mesh-Router und Mesh-Clients gleich sind.

Hierarchische WMNs unterstützen nur Mesh-Clients von Typ 2. Deswegen sind die Funktionen von Mesh-Routern und Mesh-Clients sehr unterschiedlich. Da Mesh-Clients von Typ 2 einige notwendige Funktionen von Mesh-Routern fehlen, müssen Mesh-Router um bestimmte Funktionalität erweitert werden, damit Mesh-Router die Mesh-Clients von Typ 2 unterstützen können.

Hybride WMNs sind verallgemeinerte WMNs und unterstützen Mesh-Clients sowohl von Typ 1 als auch von Typ 2. Und wiederum müssen Mesh-Router um bestimmte Funktionen erweitert werden, damit sie die Mesh-Clients von Typ 2 unterstützen können und ihnen einen Zugriffsmechanismus auf das WMN zur Verfügung stellen können.

Die wichtigsten Eigenschaften von WMNs sind [2]:

- Multi-Hop drahtloses Netzwerk
- Hohe Zuverlässigkeit
- Hoher Grad an Redundanz
- Fähigkeit, sich selbst aufzubauen, zu reparieren und zu verwalten
- Kompatibilität zu anderen drahtlosen Netzwerken und Integrierbarkeit mit ihnen

1.1.4 IEEE 802.11 Standards

IEEE 802.11 ist eine Familie von Standards für drahtlose Netzwerke.

Im folgenden werden einige für die Fachstudie wichtige Standards erläutert.

1.1.4.1 IEEE 802.11a

IEEE 802.11a spezifiziert eine Variante der physikalischen Schicht, die im 5 GHz Frequenzband arbeitet und Übertragungsraten bis zu 54 MBit/s ermöglicht.

Durch die Verwendung des 5 GHz Frequenzbereiches kann es zu Störeinflüssen durch andere Geräte, die diese Frequenz benutzen kommen, z.B. Radargeräte und Satellitenübertragungsgeräte. Deswegen wird der 5 GHz Frequenzbereich in Europa stärker als der 2.4 GHz Frequenzbereich reguliert.

Es werden 8 nicht überlappende Kanäle im 5 GHz Frequenzbereich zur Verfügung gestellt. Nicht überlappende Funkkanäle in einem 802.11a WLAN lassen ca. 3 mal so viele Access Points auf engen Raum zu wie der 802.11b Standard.

Die zugelassene Sendeleistung durch die ETSI für den 802.11a Standard in Europa beträgt 30mW. Dieser Frequenzbereich ist von der RegTP für Lokale Funknetze am 13. November 2002 gebührenfrei freigegeben worden. Die in Deutschland ist die Nutzung dieser Norm nur auf den Einsatz im Indoorbereich beschränkt.

1.1.4.2 IEEE 802.11b

IEEE 802.11b ist ebenfalls eine alternative Spezifikation der physikalischen Schicht, die mit dem bisher genutzten 2.4 GHz Frequenzband auskommt und Übertragungsraten bis zu 11 MBit/s ermöglicht.

Eine Kompatibilität zwischen dem 802.11a und 802.11b besteht wegen unterschiedlicher Übertragungsfrequenzen nicht.

Es werden nur 3 nicht überlagernde Kanäle zur Verfügung gestellt, wodurch es bei einer größeren Flächendeckung mit 802.11b Access Points zu Interferenzen mit anderen Access Points, die auf den selben Kanälen senden.

Das 2.4 GHz Frequenzband teilen sich unter anderem z.B. Mikrowellenherde und Bluetooth-Geräte, welche ebenfalls eventuelle Störungen hervorrufen könnten. Geräte mit dieser Norm dürfen in Deutschland für den Indoor- sowie Outdoorbereich genutzt werden.

1.1.4.3 IEEE 802.11g

IEEE 802.11g spezifiziert eine Variante der physikalischen Schicht, die im 2.4 GHz Frequenzband arbeitet und Übertragungsraten bis zu 54 MBit/s ermöglicht.

Zwischen dem 802.11b und 802.11g Standard besteht völlige Abwärtskompatibilität durch Verwendung der CCK-Modulation.

Die Nutzung von Geräten mit dieser Norm ist für den Indoor- und Outdoorbereich von der RegTP genehmigt worden.

1.1.4.4 IEEE 802.11n

IEEE 802.11n spezifiziert eine Variante der physikalischen Schicht, die vorzugsweise im 5 GHz Frequenzband arbeitet, MIMO-Technologie einsetzt und Übertragungsraten bis zu 500 MBit/s ermöglicht.

MIMO sendet mit mehreren Antennen in verschiedene Richtungen und Wege. Der MIMO Empfänger besitzt ebenfalls mehrere Antennen, um die Signale wieder zu empfangen und durch eine digitale Signalaufbereitung wieder zu entschlüsseln. Bei MIMO steigt der Datendurchsatz linear zur verwendeten Antennenanzahl an.

IEEE 802.11n befindet sich noch in Entwicklung.

1.1.4.5 IEEE 802.11s

IEEE 802.11s ist ein Standard für drahtlose vermaschte Netzwerke. Der Standard spezifiziert WMNs auf der Sicherungsschicht (Layer 2).

IEEE 802.11s Standard basiert auf IEEE 802.11a/b/g Standards und ist kompatibel mit diesen Standards.

1.1.5 Ad-Hoc Routing-Protokolle

Ein Ad-Hoc Netzwerk, beispielsweise ein Sensornetzwerk, besteht aus einer großen Anzahl von Knoten, die sich typischerweise spontan vernetzen müssen. Über Funk können diese Knoten miteinander kommunizieren. Knoten können aber wegen der Leistungsfähigkeit, des Energieverbrauches und auch der Mobilität nicht mit allen anderen Knoten kommunizieren. Routing-Verfahren bieten die Möglichkeit, Kommunikation zwischen zwei Knoten mit Hilfe der anderen Knoten auszuführen, wenn beide Knoten miteinander nicht direkt kommunizieren können. Mit anderen Worten; erlaubt Routing indirekte Kommunikation zwischen Knoten in einem Netzwerk [2].

Es gibt mehr als 70 konkurrierende Entwürfe für das Routing der Pakete durch ein Mobiles Ad-Hoc/Maschennetzwerk. Eine Klassifikation der Routingprotokolle kann durch die Anzahl der Empfänger getroffen werden:

- unicast Routing - Ziel der Datenübertragung ist ein einzelner Knoten
- multicast Routing - Ziel sind mehrere Knoten
- geocast Routing - Ziel sind alle Knoten in einem bestimmten geografischen Bereich
- broadcast Forwarding - Ziel sind alle Knoten in der Reichweite des Senders

Eine andere Möglichkeit der Klassifikation besteht in der Einteilung der Protokolle hinsichtlich des grundsätzlichen Ansatzes. Diese Ansätze werden im Folgenden vorgestellt.

1.1.5.1 Positionsbasierte Routingverfahren

Positionsbasierte Routingverfahren nutzen geodätische Informationen über die genauen Positionen der Knoten. Diese Informationen werden z.-B. über GPS-Empfänger gewonnen. Anhand dieser Ortsinformationen lässt sich der kürzeste oder der beste Pfad zwischen Quell- und Zielknoten bestimmen. Ein Beispiel für ein positionsbasiertes Routingprotokoll ist Location Aide Routing (LAR) [2].

1.1.5.2 Topologiebasierte Routingverfahren

Die topologiebasierten Routingverfahren kommen ohne geodätische Informationen über die Positionen der Knoten des mobilen Ad-hoc-Netzes aus. Ihnen genügen logische Informationen über die Nachbarschaftsbeziehungen der Knoten, also welche Knoten eine direkte Verbindung haben oder über einen oder mehrere Zwischenknoten (hop) in Verbindung treten können. Diese Nachbarknoten können miteinander kommunizieren. Die topologischen Informationen werden meistens durch den Versand so genannter HELLO-Pakete gewonnen. Je nach Zeitpunkt des Aufbaus der Topologiedatenbasis handelt es sich

um proaktives oder reaktives Routing. Ein Beispiel für ein Protokoll aus dieser Klasse ist das Neighbourhood Discovery Protocol (NHDP), das Elemente des Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) verwendet [2].

1.1.5.3 Proaktive Verfahren

Proaktive Routingverfahren bestimmen die zu verwendenden Pfade zwischen zwei Knoten bereits, bevor diese für die Übertragung von Nutzdaten benötigt werden. Sollen dann Nutzdaten verschickt werden, so muss nicht auf die Bestimmung des Pfads zum Zielknoten gewartet werden. Nachteilig ist dafür jedoch, dass diese Verfahren auch ohne Verkehr von Nutzdaten viele Kontrollpakete verschicken, um Pfade zu bestimmen, die womöglich später nicht benötigt werden. Ein Beispiel für ein Protokoll aus dieser Klasse ist OLSR [2].

1.1.5.4 Reaktive Verfahren

Im Gegensatz zu den proaktiven Verfahren bestimmen reaktive Routingverfahren die benötigten Pfade zwischen zwei Knoten erst, wenn Nutzdaten übertragen werden sollen. Daraus ergibt sich, dass das erste Datenpaket einer Verbindung erst mit Verzögerung versendet werden kann, da zunächst auf den Abschluss der Routenbestimmung gewartet werden muss. Dafür werden allerdings auch nur Kontrollpakete versendet, wenn Nutzdaten verschickt werden und dies zur Routenbestimmung notwendig ist. Dies schlägt sich positiv im Energieverbrauch der Knoten nieder. Das Protokoll Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ist ein Beispiel für ein Protokoll dieser Kategorie [2].

1.1.5.5 Hybride Verfahren

Hybride Verfahren kombinieren proaktive und reaktive Routingverfahren. Dabei soll das Ziel erreicht werden, die Vorteile der beiden Ansätze in einem neuen Routingprotokoll zusammenzufassen. Beispielsweise kann in einem lokal beschränkten Bereich ein proaktives Verfahren eingesetzt werden, während für weiter entfernte Ziele ein reaktives Verfahren eingesetzt wird. Dies vermindert die Belastung des Netzes durch Kontrollpakete, die bei einem rein proaktiven Verfahren über das gesamte Netz versendet würden. Trotzdem stehen für lokale Ziele sofort Pfade zur Verfügung, ohne dass auf deren Bestimmung wie bei einem rein reaktiven Verfahren gewartet werden müsste. Zone Routing Protocol (ZRP) ist ein Routingprotokoll, das diesen Ansatz umsetzt [2].

1.1.5.6 OLSR



Optimized Link State Routing, kurz OLSR, ist ein Routingprotokoll für mobile Ad-hoc-Netze, das eine an die Anforderungen eines mobilen drahtlosen LANs angepasste Version des Link State Routing darstellt. Es wurde von der IETF mit dem RFC 3626 standardisiert. Bei diesem verteilten flexiblen Routingverfahren ist allen Routern die vollständige Netztopologie bekannt, sodass sie von Fall zu Fall den kürzesten Weg zum Ziel festlegen können. Als proaktives Routingprotokoll hält es die dafür benötigten Informationen jederzeit bereit. Ein in Mesh-Netzen bekannter Vertreter von LSR ist OLSR von olsr.org. Inzwischen existieren für OLSR spezielle Erweiterungen. Mit der ETX-Erweiterung wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Links asymmetrisch sein können. Mit dem Fisheye-Algorithmus ist OLSR auch für größere Netzwerke brauchbar geworden, da Routen zu weiter entfernten Knoten weniger häufig neu berechnet werden. Der entscheidende Nachteil ist aber der trotz Fisheye-Algorithmus noch recht hohe Rechenaufwand von OLSR Routing-Daemon, sobald die Anzahl an Knoten ein gewisses Maß übersteigt.

1.1.5.7 B.A.T.M.A.N.



B.A.T.M.A.N., Better Approach To Mobile Adhoc Networking, ist ein Routing-Protokoll für mobile Ad-Hoc Netzwerke. B.A.T.M.A.N. wird von der Gemeinde des FreiFunk-Projektes entwickelt. Dieses neue Routing-Protokoll soll das OLSR-Protokoll ablösen, das zur Zeit im FreiFunk-Netzwerk verwendet wird. Das FreiFunk-Netzwerk ist inzwischen so groß geworden, dass das FreiFunk-Projekt auf Skalierbarkeitsprobleme wegen der Schwächen von OLSR-Protokoll gestossen worden ist. B.A.T.M.A.N. berechnet im Gegensatz zu OLSR Routing-Protokoll keine Routen im voraus und es werden keine Routing-Information wie bei OLSR im ganzen Netzwerk geflutet. Jeder Knoten im Netzwerk kennt nur seine direkten Nachbar. B.A.T.M.A.N. soll das Skalierbarkeitsproblem

von OLSR lösen und OLSR-Protokoll im FreiFunk-Netzwerk ablösen [3, 4].

1.2 Existierende Lösungen und Projekte

FreiFunk hat zum Ziel, freie, unabhängige und nichtkommerzielle Computer-Funknetze zu etablieren. Es bildet eine Plattform für Menschen, die an einer offenen Netzwerk-Infrastruktur interessiert sind.

<http://wiki.freifunk.net/Hauptseite>

OpenNet hat sich zur Aufgabe gemacht, freie und offene Kommunikationsinfrastrukturen zu fördern. Dabei setzen die Vereinsmitglieder auf WLAN-Technik und die Vernetzung von Dach zu Dach und Haus zu Haus.

<http://wiki.opennet-initiative.de/index.php/Hauptseite>

UMIC-Mesh ist ein hybrides Testbed für WMNs. Das Projekt verfolgt 2 Ziele, einerseits ein großes und skalierbares Ad-Hoc Mesh-Netz für Forschung bereitzustellen und andererseits allen Studenten und Mitarbeiter der **Computer Science Abteilung** einen breitbandigen Zugang zum Netzwerk der Abteilung zur Verfügung zu stellen.

<http://umic-mesh.net/>

Google WiFi ist ein freies WMN, das von Google finanziert wird und zur Zeit in Mountain View in Kalifornien eingesetzt wird.

<http://wifi.google.com/>

2 Aufgabenstellung

Für Forschungszwecke soll innerhalb des SFB Nexus [1] ein WMN installiert werden.

Dieses WMN dient

- einerseits Nexus-Anwendungen, insbesondere Anwendungen auf mobilen Geräten, als *Kommunikationsmedium*.
- andererseits auch als *Testbed* zur Erforschung verschiedener Erweiterungen von WMNs.

Dieses WMN soll beispielsweise der Untersuchung neuartiger kontextbezogener Kommunikationsmechanismen, der Erforschung von Publish/Subscribe-Diensten für WMNs oder der Verwaltung von Umgebungsmodellen innerhalb eines hybriden Systems wie es ein WMN darstellt, dienen.

Ziel dieser Fachstudie ist die Ausarbeitung einer Empfehlung für die Beschaffung entsprechender Geräte (*Hardwareplattformen und Systemsoftware*) für den Aufbau eines WMN.

Das Vorgehen umfasst im einzelnen:

- Einarbeitung in grundlegende WMN-Technologien
- Analyse der Anforderungen des Nexus-Projektes an ein WMN
- Erstellung einer Übersicht über aktuelle verfügbare Hardwareplattformen und Systemsoftware für WMN
- Bewertung der analysierten Systeme hinsichtlich der ermittelten Anforderungen
- Ausarbeitung einer Empfehlung für eines geeigneten WMN hinsichtlich Hardwareplattform und Systemsoftware

3 Anforderungen

Nach der Einarbeitung in WMN-Technologien und Analyse der Anforderungen des Nexus-Projektes an ein WMN wurde folgendes festgehalten:

Anforderungen an Hardware (Mesh-Router):

- Mesh-Router müssen den Standard IEEE 802.11a unterstützen, denn im 2.4 GHz Frequenzband gibt es keine freie Kanäle mehr, der 2.4 GHz Frequenzbereich ist übersättigt und die Folge davon sind hohe Signalstörungen.

- Mesh-Router müssen im Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband arbeiten können.
- Mesh-Router müssen mindestens eine LAN-Schnittstelle haben, damit man sie nicht nur über WLAN erreichen kann. Die LAN-Schnittstelle soll hauptsächlich zur Konfiguration und zur Verwaltung von Mesh-Routern dienen.
- Mesh-Router müssen mindestens 2 WLAN-Schnittstellen haben, damit sie auf verschiedenen Kanälen gleichzeitig arbeiten können, um den Durchsatz zu erhöhen.
- Es wäre vorteilhaft, wenn Mesh-Router auch den Standard IEEE 802.11n unterstützen.

Anforderungen an Software (Betriebssystem, Treiber, Routing-Software und Firmware):

- Betriebssystem für Mesh-Router ist nicht vorgeschrieben (Linux, UNIX oder Windows). Betriebssystem ist ein Ergebnis der Fachstudie.
- Routing-Protokoll, ~~der~~ im WMN verwendet wird, ist auch nicht vorgeschrieben und ist ein Ergebnis der Fachstudie. Routing-Protokoll muss aber später austauschbar sein. Routing-Protokoll soll flexibel und konfigurierbar sein.
- Routing-Protokoll muss die Erfassung von Topologie unterstützen.

Zusätzliche Anforderungen:

- WMN muss das ganze Gebäude auf Universitätsstraße 38 abdecken.
- Der Aufwand für den Aufbau des WMN darf ~~nicht~~ 25.000 Euro ~~überschreiten~~.
- WMN muss mit dem Uni-Netzwerk über ein Gateway verbunden werden und Kommunikation aus dem WMN nach ~~außen~~ soll nur über dieses Gateway stattfinden.

4 Hardware-Lösungen für den Aufbau eines Mesh-Netzes

Es gibt verschiedene Möglichkeiten ein Mesh-Netz aufzubauen. Im Weiteren werden einige davon im Detail beschrieben. Die Vorteile und Nachteile von einzelnen Möglichkeiten werden ebenfalls erläutert.

4.1 PCs + WLAN-Karten

Die einfachste Möglichkeit wäre ~~die~~ herkömmlichen PCs mit WLAN-Karten zu einem Mesh-Router einzurichten. Man nimmt dabei einfach die WLAN-Karten (PCI, MiniPCI(e) oder PCMCIA) und baut diese in PCs oder in Laptops ein. Man installiert dann auf diesen Rechnern entsprechende Treiber, die WLAN-Karten im Ad-Hoc Modus betreiben können und Routing-Software, z.B. OLSR-Protokoll.

Es besteht aber das Problem, dass heutige WLAN-Karten den Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband gar nicht oder sehr schlecht unterstützen. Das liegt daran, dass der Ad-Hoc Modus viel komplizierter als Infrastruktur Modus ist und in den meisten Fällen werden WLAN-Karten ~~sowieso~~ nur im Infrastruktur Modus eingesetzt.

Es gibt aber WLAN-Karten, bei denen der Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband sehr gut unterstützt wird. Das sind WLAN-Karten von Intel und WLAN-Karten, die auf Atheros Chipsätzen basieren. Diese WLAN-Karten werden in folgenden Abschnitten detaillierter beschrieben und analysiert.

Die Hardware für Mesh-Router auf PC-Basis kann man in 3 Gruppen unterteilen:

- PCI WLAN-Karten
- MiniPCI(e) WLAN-Karten
- PCMCIA WLAN-Karten

Für den Einsatz in Mesh-Routern kommen eigentlich nur PCI und MiniPCI(e) WLAN-Karten in Frage. PCMCIA WLAN-Karten sind eher für Mesh-Clients geeignet, obwohl sie auch in Mesh-Routern ohne Probleme eingesetzt werden können. Die meisten PCs haben nämlich keinen PCMCIA Bus.

Im folgenden werden Vorteile und Nachteile von Mesh-Routern auf PC-Basis erwähnt.

Vorteile:

- PCs sind nicht teuer, flexibel und leicht erweiterbar
- Hardware kann später für andere Zwecke eingesetzt werden

- Installation und Konfiguration von Hardware und Software ist einfacher im Vergleich zu SoHO-Routern
- Sehr große Menge an verschiedener Software vorhanden
- Mehrere WLAN- und Ethernet-Schnittstellen möglich

Nachteile:

- PCs sind groß und stationär
- Brauchen mehr Strom im Vergleich zu SoHO-Routern
- Ohne externe Antennen schlechte Sende- und Empfangqualität, da sich die Antennen im elektromagnetischen Störfeld des PCs befindet

4.1.1 PCI WLAN-Karten

Der PCI-Bus ist heutzutage immer noch der am meisten verbreitete Bus für Peripheriegeräte, auch für WLAN-Karten. PCI WLAN-Karten werden in einen freien PCI-Steckplatz des Mainboards gesteckt. Die meisten PCI WLAN-Karten besitzen eine abschraubbare Antenne, die gegen eine externe Antenne ersetzt werden kann. Zu beachten ist, dass die mitgelieferte Antenne üblicherweise direkt hinten an der Karte angebracht ist und somit in unmittelbarer Nähe zum PC-Gehäuse ist. Dies kann jedoch negative Auswirkungen auf die Reichweite oder den Datendurchsatz haben. Deshalb kann es für eine bessere Verbindung notwendig sein, die Antenne mit einem Koaxialkabel vom Rechnergehäuse zu entfernen.

Im folgenden sind Vorteile und Nachteile von PCI WLAN-Karten erläutert.

Vorteile:

- PCI WLAN-Karten haben meistens eine abschraubbare Antenne, die gegen eine externe Antenne ersetzt werden kann
- Verschwinden im Gehäuse, Platz wird nicht verschwendet
- Sehr gute Treiber-Unterstützung unter Linux und Windows
- Leicht austauschbar

Nachteile:

- Oft recht schlechte Empfangs/Sendeleistung, weil die kleine Antenne direkt hinten am Rechner sitzt (Lösung: zusätzliche Antenne)

In diesem Abschnitt werden PCI WLAN-Karten beschrieben, die den Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband unterstützen und die für den Einsatz in Mesh-Routern in Frage kommen könnten. Diese WLAN-Karten sind entweder Intel WLAN-Karten oder WLAN-Karten, die auf Atheros Chipsätzen basieren.

4.1.1.1 Linksys WMP55AG



Abbildung 2: Linksys WMP55AG

Chipsatz:

- Atheros AR5213A

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA

Treiber:

- Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme. Windows-Treiber werden von Linksys bereitgestellt.

Preis:

- ca. 90 Euro

Installation:

- Lasst sich leicht sowohl unter Windows als auch unter Linux (MadWifi-Treiber) installieren.

<http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Linksys>
- <http://forums.fedoraforum.org/showthread.php?t=91165>
- http://www.pcworld.com/product/specs/prtprdid,704176/wireless_ag_54mbps_pci_adptr_80211a80211b80211g_compatible.html

4.1.1.2 Netgear WAG311



Abbildung 3: Netgear WAG311

Chipsatz:

- Atheros AR5212

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA

Treiber:

- Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme.

Preis:

- ca. 50-60 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>
http://www.packetpro.com/~peterson/linux-netgear_wg311t_pci.html

Weitere Informationen:

- Externe Antenne, die mit der WLAN-PCI-Karte durch langes Kabel verbunden ist. Das Kabel lässt sich nicht von der PCI-Karte trennen.

Links:

- <http://www.netgear.com/Products/Adapters/AGDualBandWirelessAdapters/WAG311.aspx>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Netgear>
- http://www.packetpro.com/~peterson/linux-netgear_wg311t_pci.html
- http://www.netgear.com/upload/product/wag311/enus_ds_wag311.pdf

4.1.1.3 D-Link DWL-A520



Abbildung 4: D-Link DWL-A520

Chipsatz:

- Atheros AR5210

IEEE Standards:

- 802.11a

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)

Treiber:

- Von D-Link werden nur Treiber für Windows bereitgestellt. Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme.

Preis:

- ca. 70-80 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Weitere Informationen:

- Antenne ist nicht abschraubbar.

Links:

- <http://support.dlink.com/products/print.asp?productid=DWL-A520>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/D-Link>

4.1.1.4 Gigabyte GN-WPEAG

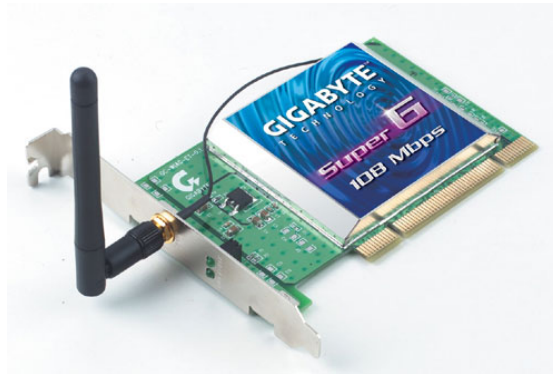


Abbildung 5: Gigabyte GN-WPEAG

Chipsatz:

- Atheros AR5212

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Von Gigabyte werden nur Treiber für Windows bereitgestellt.
http://www.gigabyte.com.tw/Support/Communication/Driver_Model.aspx?ProductID=952
Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme.
<http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Preis:

- ca. 70-80 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Weitere Informationen:

- Abschraubbare Antenne mit reversed SMA. Eigentlich ist das eine MiniPCI WLAN-Karte mit PCI-Adapter.

Links:

- http://www.gigabyte.com.tw/Products/Communication/Products_Spec.aspx?ProductID=952
- http://www.gigabyte.com.tw/Support/Communication/Driver_Model.aspx?ProductID=952
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Gigabyte>

4.1.1.5 D-Link DWL-G550



Abbildung 6: D-Link DWL-G550

Chipsatz:

- Atheros AR5212

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40- and 104-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Von D-Link werden nur Treiber für Windows bereitgestellt. Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme.

Preis:

- ca. 60 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Weitere Informationen:

- Die Karte hat eine externe abschraubbare Antenne.

Links:

- <http://www.dlink.com/products/?pid=414>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/D-Link>

4.1.1.6 D-Link DWL-AG530



Abbildung 7: D-Link DWL-AG530

Chipsatz:

- Atheros AR5212 oder AR5213

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104 and 128-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Von D-Link werden nur Treiber für Windows bereitgestellt. Sehr gute Linux-Unterstützung, MadWifi-Treiber funktioniert mit dieser WLAN PCI-Karte ohne Probleme.

Preis:

- ca. 80 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Weitere Informationen:

- Die Karte hat eine externe abschraubbare Antenne.

Links:

- <http://www.dlink.com/products/?pid=306>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/D-Link>

4.1.1.7 Intel PRO/Wireless 5000



Abbildung 8: Intel PRO/Wireless 5000

Chipsatz:

- Intel

IEEE Standards:

- 802.11a

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40- and 104-bit)

Treiber:

- Von Intel werden nur Treiber für Windows bereitgestellt. Zur Zeit existiert kein Linux-Treiber für diese Karte.

Preis:

- ca. 200 Euro

Installation:

- <http://support.intel.com/support/wireless/wlan/pro5000/pciadapter/>

Links:

- <http://support.intel.com/support/wireless/wlan/pro5000/pciadapter>

- ftp://download.intel.com/support/wireless/wlan/pro5000/PR05000_INFO.pdf

4.1.2 MiniPCI(e) WLAN-Karten

MiniPCI(e) ist eine vor allem für die Nutzung in Notebooks und Laptops miniaturisierte Version des PCI Steckplatzes, wie er in allen Desktop PCs vorkommt. Die Abmessungen einer MiniPCI Karte betragen 6,0 x 4,6 x 0,5 cm. Die Abmessungen einer MiniPCIe Karte betragen 3 cm x 5 cm x 0,4 cm.

MiniPCI(e) WLAN-Karten sind ursprünglich für Laptops gedacht, können aber mit entsprechenden Adaptern (MiniPCI(e)-to-PCI) und externen Antennen auch in normalen PCs verwendet werden.

Im folgenden werden Vorteile und Nachteile von MiniPCI(e) WLAN-Karten erläutert.

Vorteile:

- Können mit Hilfe eines Adapters zu einer PCI WLAN-Karte umgebaut werden
- Leicht austauschbar
- Sehr gute Treiber-Unterstützung unter Linux und Windows

Nachteile:

- Brauchen einen PCI-Adapter für den PCI-Bus
- Haben keine Antenne (extra Kosten)

Es wurden nur zwei MiniPCI und zwei MiniPCIe WLAN-Karten gefunden, die den Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband unterstützen. Diese WLAN-Karten basieren entweder auf Intel Chipsätzen oder Atheros Chipsätzen.

4.1.2.1 Wistron CM9 Atheros AR5213A



Abbildung 9: Wistron CM9 Atheros AR5213A

Chipsatz:

- Atheros AR5213A

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Hervorragende Unterstützung von MadWifi-Treiber [5], auch Ad-Hoc-Modus.

Preis:

- ca. 40 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- <http://www.alix-board.de/produkte/wistroncm9.html>
- <http://www.pcengines.ch/cm9.htm>
- <http://forum.openwrt.org/viewtopic.php?pid=10213>
- <http://madwifi.org/ticket/1209>

4.1.2.2 Intel PRO/Wireless 3945



Abbildung 10: Intel PRO/Wireless 3945

Chipsatz:

- Intel

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Es werden von Intel Treiber sowohl für Windows als auch für Linux bereitgestellt.

http://downloadcenter.intel.com/Product_Filter.aspx?ProductID=2259

Von Intel wurde ein Projekt für die Unterstützung von Intel PRO/Wireless 3945 erstellt.

<http://ipw3945.sourceforge.net>

Der ipw3945-Treiber funktioniert auch im Ad-Hoc-Modus, aber nicht sehr stabil, es kommt oft zu Verbindungsabbrüchen.

Preis:



- ca. 20-30 Euro

Installation:

- Im Gegensatz zu den „klassischen“ Intel Wireless-Chipsätzen 2100- und 2200BG-Chipsätzen ist der Treiber für den 3945ABG noch nicht im Kernel verfügbar. Um auch damit kabellos ins Internet zu gehen, sind ein paar Handgriffe notwendig.

<http://ipw3945.sourceforge.net/README.ipw3945>

<http://ipw3945.sourceforge.net/INSTALL>

Links:

- http://www.intel.com/network/connectivity/products/wireless/prowireless_mobile.htm
- http://downloadcenter.intel.com/Product_Filter.aspx?ProductID=2259
- <http://ipw3945.sourceforge.net/>
- <http://ipw3945.sourceforge.net/README.ipw3945>
- <http://ipw3945.sourceforge.net/INSTALL>

4.1.2.3 Intel PRO/Wireless 2915



Abbildung 11: Intel PRO/Wireless 2915

Chipsatz:

- Intel

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Es werden von Intel Treiber sowohl für Windows als auch für Linux bereitgestellt.

http://downloadcenter.intel.com/Product_Filter.aspx?ProductID=1847

Von Intel wurde ein Projekt für die Unterstützung von Intel PRO/Wireless 2915 erstellt.

<http://ipw2200.sourceforge.net>

Der ipw2200-Treiber funktioniert auch im Ad-Hoc-Modus, aber nicht sehr stabil, es kommt oft zu Verbindungsabbrüchen. Der ipw2200-Treiber ist im

Kernel 2.6 enthalten, kann aber auch separat als Modul kompiliert werden.
Der im Kernel enthaltene Treiber unterstützt den Monitor-Modus nicht.

Preis:

- ca. 30 Euro

Installation:

- <http://ipw2200.sourceforge.net/README.ipw2200>
<http://ipw2200.sourceforge.net/INSTALL>

Links:

- <http://support.intel.com/support/wireless/wlan/pro2915abg>
- http://download.intel.com/support/wireless/wlan/pro2915abg/sb/303330002us_channel.pdf
- <http://ipw2200.sourceforge.net/>
- <http://www.intel.com/cd/personal/computing/emea/deu/234998.htm>
- http://downloadcenter.intel.com/Product_Filter.aspx?ProductID=1847

4.1.2.4 Intel Wireless WiFi Link 4965AGN



Abbildung 12: Intel Wireless WiFi Link 4965AGN

Chipsatz:

- Intel

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g/n(draft)

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- <http://www.intellinuxwireless.org/>

Preis:

- ca. 30 Euro

Installation:

- <http://www.intellinuxwireless.org/>

Links:

- http://www.intel.com/network/connectivity/products/wireless/wireless_n/overview.htm
- <http://www.intellinuxwireless.org/>
- http://downloadcenter.intel.com/filter_results.aspx?strTypes=all&ProductID=2753&OSFullName=Linux*&lang=eng&strOSs=39&submit=Go%21

4.1.3 PCMCIA WLAN-Karten

Diese WLAN-Karten sind für Notebooks gedacht. Heutzutage ist es jedoch üblich, dass die Notebooks schon ein integriertes WLAN-Modul (MiniPCI oder MiniPCIe) eingebaut haben. Damit ist die Notwendigkeit dieser Module nur noch für Notebooks älterer Generationen notwendig. Die PCMCIA WLAN-Karten spielen für die Zwecke der Fachstudie keine besonders große Rolle und werden hier nur wegen eines möglichen Einsatzes in mobilen Clients des Mesh-Netzes betrachtet.

Im folgenden werden die Vorteile und Nachteile der PCMCIA WLAN-Karten aufgelistet.

Vorteile:

- Leichte Installation
- Leicht austauschbar
- Sehr gute Unterstützung durch Treiber sowohl unter Linux als auch Windows
- Hervorragend geeignet für mobile Clients des Mesh-Netzes

Nachteile:

- Sie sind veraltet und deswegen schwer zu finden
- Selten ein Anschluss für eine externe Antenne vorhanden
- Relativ teuer im Vergleich zu MiniPCI und MiniPCIe Karten

4.1.3.1 Proxim Orinoco Gold 8480-WD



Abbildung 13: Proxim Orinoco Gold 8480-WD

Chipsatz:

- Atheros AR5212

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Unter Linux hervorragende Unterstützung von MadWifi-Treiber [5], auch Ad-Hoc-Modus.

Preis:

- ca. 80 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- <http://www.proxim.com/products/wifi/client/abgcard/index.html>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Proxim>

4.1.3.2 Netgear WAG511



Abbildung 14: Netgear WAG511

Chipsatz:

- Atheros AR5001X+

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA
- WPA2
- PTP, P2TP, IPSec, VPN pass-through

Treiber:

- Von Netgear werden nur Windows Treiber angeboten.
<http://www.netgear.de/de/Support/download.html?func=Detail&id=10676>
Unter Linux hervorragende Unterstützung von MadWifi-Treiber, auch Ad-Hoc-Modus.
<http://madwifi.org/>

Preis:

- ca. 50-60 Euro

Installation:

- http://www.lrz-muenchen.de/services/netz/mobil/funklan-installation/installation/windowsxp_wg511/flan-instwpx.html
<http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- <http://www.netgear.com/Products/Adapters/AGDualBandWirelessAdapters/WAG511.aspx>
- <http://www.netgear.de/de/Support/download.html?func=Detail&id=10676>
- <http://www.netgear.de/Produkte/Wireless/DualBand/WAG511/index.html>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Netgear>

4.1.3.3 SMC 2536W-AG



Abbildung 15: SMC 2536W-AG

Chipsatz:

- Atheros AR5001

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Von SMC werden nur Treiber für Windows angeboten.
http://www.smc.com/index.cfm?event=downloads.searchResultsDetail&localeCode=EN_USA&productCategory=9&partNumber=2916&modelName=348&knowsPartNumber=false&userPartNumber=&docId=3103

Unter Linux hervorragende Unterstützung von MadWifi-Treiber [5], auch Ad-Hoc-Modus.

Preis:

- ca. 80 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- <http://www.smc.com/index.cfm?event=viewProduct&cid=9&scid=49&localeCode=EN%5FUSA&pid=348>
- http://www.smc.com/files/AC/2536Wag_Ds_ww.pdf
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/SMC>
- <http://forums.fedoraforum.org/archive/index.php/t-101517.html>

4.1.3.4 Linksys WPC55AG



Abbildung 16: Linksys WPC55AG

Chipsatz:

- Atheros AR5212 oder AR5006X

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Verschlüsselungsalgorithmen:

- WEP (40-, 104-, 128-bit)
- WPA
- WPA2

Treiber:

- Von Linksys werden nur Treiber für Windows bereitgestellt.
http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L_Product_C2&childpagename=US%2FLayout&cid=1115416827328&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper
 Auch hier kann man Treiber für Windows finden:
<http://www.phoenixnetworks.net/atheros.php>
 Unter Linux hervorragende Unterstützung von MadWifi-Treiber [5], auch Ad-Hoc-Modus.

Preis:

- ca. 50-60 Euro

Installation:

- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/FirstTimeHowTo>

Links:

- http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L_Product_C2&childpagename=US%2FLayout&cid=1115416827328&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper
- <http://www.phoenixnetworks.net/atheros.php>
- <http://madwifi.org/>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Linksys>
- http://reviews.cnet.com/adapters-nics/linksys-wpc55ag-dual-band/4505-3380_7-21128291.html
- <http://www.google.de/search?q=Linksys+WPC55AG>
- <http://lists.funkfeuer.at/pipermail/discuss/2006-September/001592.html>
- <http://www.uk-surplus.com/manuals/brochures/linksyswpc55duser.pdf>

4.1.3.5 Andere PCMCIA-WLAN-Karten

Hier werden noch einige andere PCMCIA WLAN-Karten aufgelistet, die analysiert wurden. Da PCMCIA WLAN-Karten sowieso für den Einsatz in Mesh-Routern nicht geeignet sind, werden sie hier nur kurz beschrieben. Es gibt noch viel mehr PCMCIA WLAN-Karten, die im Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband arbeiten, als hier aufgelistet sind. Sie haben sehr ähnliche Eigenschaften und die meisten verwenden Atheros Chipsätze und somit funktionieren unter Linux mit MadWifi-Treiber. Windows-Treiber werden von allen Herstellern bereitgestellt.

- Intel PRO/Wireless 5000
Chipsatz Intel, 802.11a WLAN PCMCIA-Karte, unterstützt Ad-Hoc- und Infrastruktur-Modus, Treiber von Intel nur für Windows vorhanden, für Linux werden keine Treiber entwickelt, kostet ca. 150 Euro
<http://www.intel.com/support/wireless/wlan/pro5000/lancardbus>
- Netgear WAB501 Chipsatz Atheros AR5211, 802.11a/b WLAN-Karte, MadWifi-Treiber Unterstützung
<http://kbserver.netgear.com/products/WAB501.asp>
<http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Netgear>

- Netgear WG511U
Chipsatz Atheros AR5004X, 802.11a/g WLAN-Karte, MadWifi-Treiber Unterstützung
<http://www.netgear.com/Products/Adapters/AGDualBandWirelessAdapters/WG511U.aspx>
<http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Netgear>
- Proxim Orinoco Silver 8481-WD
Chipsatz Atheros AR5001X+, 802.11a/b/g WLAN-Karte, MadWifi-Treiber Unterstützung, kostet ca 80-90 Euro
<http://www.proxim.com/products/wifi/client/abgcard/index.html>
<http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Proxim>
- Cisco Aironet CB21AG
Chipsatz Atheros 5212, 802.11a/b/g WLAN-Karte, Madwifi-Treiber Unterstützung, kostet ca 100 Euro
<http://madwifi.org/wiki/Compatibility/Cisco>

4.2 WLAN-Router

Die Kombination aus Access Point und Router wird häufig als WLAN-Router bezeichnet. Das ist solange korrekt, soweit es einen WAN-Port gibt. Das Routing findet dann zwischen WLAN, LAN und WAN statt. Fehlt dieser WAN-Port, handelt es sich hier lediglich um Marketing-Begriffe, da reine Access Points auf OSI-Ebene 2 arbeiten und somit Bridges und keine Router sind. Oft sind das aber keine vollständigen Router, da diese Geräte ausschließlich als Internetzugangs-Systeme dienen und nur mit aktiviertem PPPoE (oder PPPoA) sowie NAT-Routing (oder IP-Masquerading) eingesetzt werden können.

In diesem Abschnitt werden sogenannte stand-alone WLAN-Router betrachtet, die als Mesh-Router in einem WMN in Frage kommen. Alle solche WLAN-Router kann man in 2 Gruppen unterteilen:

- SoHO-Router
- Professionelle Router

In folgenden Abschnitten werden die beide Gruppen von WLAN-Routern genauer betrachtet.

4.2.1 SoHO-Router

Man kann herkömmliche WLAN-Router für Heimanwender (SoHO-Router - Small or Home Office) kaufen, die sich mit alternativer Firmware (spezielle Linux-Software) zu einem Mesh-Router umrüsten lassen. Ein WLAN-Router ist die Kombination eines normalen Router (Kabelrouter) mit einem Accesspoint. Es gibt solche mit eingebautem Modem und andere mit einem Anschluss (WAN-Port) dafür (für Modems mit LAN-Anschluss). Die meisten SoHO WLAN-Router unterstützen den Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband gar nicht, sie arbeiten nur im Infrastruktur Modus. Deswegen muss bei diesen WLAN-Routern zuerst eine neue WLAN-Karte eingebaut werden, die den Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband unterstützt, und dann muss noch alternative Firmware auf Routern installiert werden, die diese Router im Ad-Hoc Modus betreiben kann.

Die hier betrachteten SoHO WLAN-Router haben deswegen mindestens einen MiniPCI-Slot vorhanden. In diesen Slot kann z.B. eine Atheros MiniPCI WLAN-Karte (siehe [4.1.2.1](#)) eingebaut werden.

Die meisten Hersteller legen den Quellcode des Betriebssystems, das in ihren SoHO WLAN-Routern eingesetzt wird, nicht frei. Aber es gibt mehrere freie Firmwares für SoHO WLAN-Router (siehe [5.2](#)).

Im folgenden sind Vorteile und Nachteile von SoHO WLAN-Routern erläutert.

Vorteile:

- Klein und handlich
- Mobil und flexibel
- Sehr günstig
- Gute Reichweite
- Wenig Stromverbrauch im Vergleich zu PCs

Nachteile:

- Eingeschränkte Software-Unterstützung
- Open-Source Firmware schwer zu finden
- Durch das Öffnen von Geräten und das Einspielen von fremder Firmware erlischt die Garantie des Herstellers
- Eingeschränkter Funktionsumfang
- Schwierige Konfiguration und Installation

4.2.1.1 Linksys WRT54G v1.0



Abbildung 17: Linksys WRT54G v1.0

IEEE Standards:

- 802.11b/g
- 802.11a/b/g (wenn man die mitgelieferte MiniPCI WLAN-Karte durch z.B. Atheros 802.11a/b/g WLAN-Karte austauscht)

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Firmware:

- Es gibt mehrere fremde frei verfügbare Firmware für dieses Gerät. Alle unten aufgeführten Firmware sind Open-Source Projekte:

OpenWRT

<http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Linksys/WRT54G>

DD-WRT

http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/Linksys_WRT54G/GL/GS/GX

Preis:

- ca. 40-50 Euro

Installation:

- Die mitgelieferte MiniPCI WLAN-Karte durch z.B. Atheros 802.11a MiniPCI austauschen und oben erwähnte frei verfügbare Firmware installieren (siehe oben Firmware).

Weitere Informationen:

- Ein MiniPCI Slot ist für eine WLAN-Karte vorhanden.

Links:

- <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Linksys/WRT54G>
- http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/Linksys_WRT54G/GL/GS/GX
- <http://www.linksysinfo.org/forums/showthread.php?t=47124>

4.2.1.2 Linksys WRT55AG



Abbildung 18: Linksys WRT55AG

IEEE Standards:

- 802.11a/b/g

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Firmware:

- Open-Source Firmware befindet sich noch in Entwicklung:
Modifizierte Version von OpenWRT Kamikaze
<http://legacy.not404.com/cgi-bin/trac.fcgi/wiki/OpenWRT/Atheros/Linksys/WRT55AGv2#KamikazeKernelonWRT55AGv2>
OpenWRT
<http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Linksys/WRT55AG>

Preis:

- ca. 70-80 Euro

Weitere Informationen:

- 2 Slots sind für MiniPCI WLAN-Karten vorhanden.

Links:

- <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Linksys/WRT55AG>
- http://www.tomsnetworking.de/content/tests/j2003a/test_linksys_wrt55ag/index.html
- http://reviews.cnet.com/routers/linksys-wrt55ag-wireless-a/4505-3319_7-21131921.html
- <http://legacy.not404.com/cgi-bin/trac.fcgi/wiki/OpenWRT/Atheros/Linksys/WRT55AGv2>

4.2.1.3 Asus WL500G/GP



Abbildung 19: Asus WL500G/GP

IEEE Standards:

- 802.11b/g
- 802.11a/b/g (wenn man die mitgelieferte MiniPCI WLAN-Karte durch z.B. Atheros 802.11a/b/g WLAN-Karte austauscht)

Betriebsart:

- Ad-Hoc
- Infrastruktur

Firmware:

- Es sind mehrere fremde frei verfügbare Firmware für dieses Gerät. Alle unten aufgeführten Firmware sind Open-Source Projekte:
 - OpenWRT
 - <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Asus/WL500G>
 - <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Asus/WL500GP>
 - FreeWRT
 - <http://www.freewrt.org/trac/wiki/Documentation/Hardware/AsusWL500G>
 - <http://www.freewrt.org/trac/wiki/Documentation/Hardware/AsusWL500GP>
 - Olegs custom firmware
 - <http://oleg.wl500g.info>

Preis:

- ca. 70-80 Euro

Installation:

- Die mitgelieferte MiniPCI WLAN-Karte durch z.B. Atheros 802.11a MiniPCI austauschen und oben erwähnte frei verfügbare Firmware installieren (siehe oben Firmware).

http://wiki.opennet-initiative.de/index.php/Mini-PCI_Umbau

Weitere Informationen:

- Ein MiniPCI Slot ist für eine WLAN-Karte vorhanden.

Links:

- <http://wiki.opennet-initiative.de/index.php/AP9>
- <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Asus/WL500G>
- <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Asus/WL500GP>
- <http://www.freewrt.org/trac/wiki/Documentation/Hardware/AsusWL500G>
- <http://www.freewrt.org/trac/wiki/Documentation/Hardware/AsusWL500GP>
- <http://wl500g.dyndns.org/>
- <http://oleg.wl500g.info/>
- <http://au.asus.com/products.aspx?l1=12&l2=43>
- http://www.freifunk-bno.de/component/option,com_smf/Itemid,88/topic,910.msg10357/
- http://www.cyber-wulf.de/a_wl500g.html
- <http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Hardware/Asus/WL500G>
- <http://forum.opennet-initiative.de/print.php?threadid=505&page=6&sid=460903353d70c65fad4960105ab76cdd>
- <http://forum.openwrt.org/viewtopic.php?pid=41756>
- <http://www.familie-prokop.de/asus-wl500gp/index.html>

4.2.2 Professionelle Router

In diesem Abschnitt werden sogenannte professionelle Mesh-Router betrachtet. Die Begriffe, die dafür oft als Synonyme verwendet werden, sind dabei:

- Routerboards
- Stand-alone Mesh-Router
- Minicomputers
- Single-Board-Computers (SBC)
- Access Points

Die meisten professionellen WLAN-Router sind sehr teuer und kommen deswegen für unsere Zwecke nicht in Frage. Viele dieser WLAN-Router verwenden auch proprietäre Routing-Protokolle und sind deswegen für Forschungszwecke ungeeignet. Zusätzlich sind diese professionellen WLAN-Router sehr leistungsstark und werden eher im Aussenbereich verwendet und sind für ein Gebäude ungeeignet. Ausserdem sind leistungsstarke professionelle WLAN-Router im 5GHz Frequenzband in Deutschland nicht zugelassen.

Es gibt allerdings auch SBCs, die sehr wohl als Mesh-Router in einem WMN eingesetzt werden können. Das Projekt UMIC-Mesh (<http://umic-mesh.net>) verwendet solche SBCs für WMNs. Die vom Projekt eingesetzten SBCs haben 2 MiniPCI Slots, 128 MB Speicher, 233 MHz AMD Geode SC1100 CPU, 100 MB/s LAN-Schnittstelle und einen seriellen Port. Diese SBCs könnten als alternative für Mesh-Router auf PC-Basis eingesetzt werden, allerdings sind sie nicht so flexibel und erweiterbar wie PCs.

Zusammengefasst sind professionelle WLAN-Router für den Aufbau eines WMN in einem Gebäude ungeeignet und werden deswegen hier nicht weiter betrachtet.

4.2.3 Access Points

Ein Access Point ist der Verbindungspunkt eines kabelbasierten Netzwerkes zu einem WLAN. Der Access Point ist eine Basisstation für alle WLAN-Clients, zu der sie eine drahtlose Verbindung aufbauen. Sendet ein WLAN-Client Daten, die für einen Empfänger im kabelbasierten Netzwerkteil bestimmt sind, so reicht der Access Point diese Daten über das Kabelnetz an den Empfänger weiter. Weiterhin kann ein Access Point auch mehrere WLAN-Clients untereinander verbinden. Somit ist der Access Point quasi ein kabelloser Switch.

Access Points kommen als Mesh-Router nicht in Frage, denn Access Points werden in der Regel nur im Infrastruktur Modus eingesetzt. Um ein Access Point auch im Ad-Hoc

Modus zu betreiben, wird eine alternative Firmware gebraucht, die den Access Point im Ad-Hoc Modus betreiben kann. Wir haben allerdings keine Access Points gefunden, für die es alternative Firmware mit Ad-Hoc Modus Unterstützung gibt.

Hier sind einige Access Points aufgelistet, die den Standard IEEE 802.11a unterstützen:

- Intel PRO/Wireless 5000
<http://support.intel.com/support/wireless/wlan/pro5000/accesspoint>
<http://www.pcmag.com/article2/0,1759,5524,00.asp>
- Linksys WAP55AG
http://www.tomsnetworking.de/content/aktuelles/news_beitrag/news/851/6/index.html
- NETGEAR WAB102
<http://kbserver.netgear.com/products/WAB102.asp>
http://reviews.cnet.com/wireless-access-points/netgear-wab102-802-11a/4505-3265_7-20708150.html
<http://archive.cert.uni-stuttgart.de/bugtraq/2003/12/msg00159.html>

4.3 Mesh-Clients - PDAs und Handys

PDAs und Handys sind typische Clients für ein WMN (siehe 1.1.3). Sie verbinden sich mit einem Mesh-Router und kommunizieren mit dem WMN über diesen Mesh-Router. Diese Mesh-Clients nehmen am Routing im WMN nicht teil. Sie schicken bzw. empfangen alle ihre Daten an bzw. vom assoziierten Mesh-Router.

Zur Zeit sind die WLAN-fähige PDAs und Handys sehr teuer und es gibt nur sehr wenige, die den Standard IEEE 802.11a unterstützen.

Hier sind einige WLAN-fähige PDAs und Handys:

- Apple iPhone Smartphone
IEEE 802.11b/g
<http://pocketpccentral.net/smartphone/apple/iphone.htm>
- RIM BlackBerry 8820 Smartphone
IEEE 802.11a/b/g
<http://www.blackberry8800series.com>
http://www.reghardware.co.uk/2007/08/14/review_blackberry_8820/
http://eu.blackberry.com/eng/devices/device-detail.jsp?navId=H0,C201,P563#tab_tab_overview
- Motorola Symbol MC70 Smartphone
IEEE 802.11a/b/g
http://www.handheld-loesungen.com/symbol_mc70.htm
- i-mate K-jam Smartphone
IEEE 802.11b/g
http://www.lordpercy.com/imate_kjam_review.htm
http://www.mobiletechreview.com/i-mate_K-JAM.htm
- Sony Ericsson G900 Smartphone
IEEE 802.11b/g
<http://www.sonyericsson.com/cws/corporate/press/pressreleases/pressreleasedetails/g700andg900global-20080210>
- OQO Model 02 UMPC
IEEE 802.11a/b/g
<http://www.worldofppc.com/HWTests/oqo02.htm>

5 Systemsoftware für Mesh-Netz

In Kapitel 4 haben wir mehrere Hardware-Lösungen für ein Mesh-Netz vorgestellt. Für alle im Kapitel 4 vorgestellten PCI-, MiniPCI- und PCMCIA-Karten werden vom Hersteller dieser WLAN-Karten Windows-Treiber bereitgestellt. Und nur wenige Hersteller (z.B. Intel) haben auch Linux-Treiber für ihre Karten implementiert. Glücklicherweise existiert für WLAN-Karten mit Atheros-Chipsatz der Open-Source Linux-Treiber MadWifi, der alle im Kapitel 4 aufgelisteten WLAN-Karten mit Atheros-Chipsatz unterstützt. Bei SoHO-Routern sieht die Situation etwas anders aus. Hier gibt es nicht so viele Möglichkeiten bei der Wahl nach einer Software. Die meisten Hersteller von SoHO-Routern stellen den Source-Code des Betriebssystems für SoHO-Router nicht bereit. Deswegen wird eine Open-Source Firmware gebraucht, mit der SoHO-Router im Ad-Hoc Modus betrieben werden können, denn die meisten SoHO-Router arbeiten nur im Infrastruktur Modus und den Ad-Hoc Modus nicht realisieren.

In diesem Kapitel wird verschiedene Treiber- und Routing-Software vorgestellt, die zusammen mit der Hardware aus Kapitel 4 die Realisierung von Ad-Hoc Mesh-Netzen ermöglicht.

5.1 Linux MadWiFi-Treiber

Linux MadWifi-Treiber [5] ist Linux Kernel Treiber für WLAN-Karten mit Atheros Chip-satz. Linux MadWifi-Treiber ist heutzutage einer der fortgeschrittensten Linux Treiber für WLAN-Karten. Der Treiber ist stabil und hat eine große Benutzergemeinschaft. Der MadWifi-Treiber selbst ist Open-Source, verwendet aber eine proprietäre Softwareschicht Hardware Abstraction Layer (HAL), die nur in binärer Form vorhanden ist.

Das Hardware Abstraction Layer (HAL) wird vom MadWifi-Treiber gebraucht, um die Atheros-Chips ansprechen zu können. Dafür wurde bisher ein Closed-Source-Modul verwendet. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass die Atheros-Chipsätze prinzipiell auf Frequenzen funken könnten, für die sie nicht zugelassen sind - beispielsweise weil diese vom Militär zur Kommunikation verwendet werden.

Durch das proprietäre Modul war der Madwifi-Treiber bisher jedoch von einer Aufnahme in den Linux-Kernel ausgeschlossen. Die Entwickler hatten außerdem das Problem, dass sie Fehler unter Umständen nicht beheben konnten, da sie nicht nachvollziehen konnten, wie der HAL-Baustein arbeitet.

MadWifi selbst wird daher ab sofort nicht weiterentwickelt. Stattdessen setzen die Programmierer auf OpenHAL, eine Linux-Portierung des HAL-Modules des in OpenBSD verfügbaren freien Atheros-Treibers. In der Vergangenheit wurde vom Software Freedom Law Center (SFLC) bestätigt, dass die durch Reverse Engineering entstandene Software keine Copyrights verletzt. Solche Behauptungen hatten die Entwicklung lange

ausgebremst.

Der neue Treiber „Ath5k“ wird MadWifi nun ersetzen und soll nicht nur die freie Komponente OpenHAL einsetzen, sondern auch mit dem neuen Linux-WLAN-System Mac80211 zusammenarbeiten, so dass der Treiber in den offiziellen Linux-Kernel gelangen kann. MadWifi soll jedoch weiter mit Fehlerkorrekturen und HAL-Updates versorgt werden.

Links:

- <http://madwifi.org/>
- <http://madwifi.org/wiki/About/ar5k>
- <http://madwifi.org/wiki/About/OpenHAL>
- <http://madwifi.org/wiki/UserDocs/GettingMadwifi>
- <http://madwifi.org/wiki/Compatibility>
- <http://www.intellinuxwireless.org/?p=mac80211>

5.2 Open-Source Firmware für SoHO WLAN-Router

In diesem Abschnitt werden mehrere Open-Source Firmwares für SoHO WLAN-Router vorgestellt. Diese Firmwares werden gebraucht, damit man SoHO WLAN-Router im Ad-Hoc Modus betreiben kann, denn die meisten SoHO WLAN-Router unterstützen nur WLAN Infrastruktur Modus. Alle unten erwähnten Firmwares basieren auf dem Quellcode des Betriebssystems des Linksys WRT54G SoHO WLAN-Routers.

5.2.1 OpenWRT

OpenWRT ist eine GNU/Linux-Distribution für WLAN-Router. OpenWRT läuft unter anderem auf Geräten der Firmen Linksys, ALLNET, ASUS, Belkin, Buffalo, Microsoft und Siemens [6].

5.2.2 DD-WRT

DD-WRT ist eine GNU/Linux-Distribution für WLAN-Router. DD-WRT unterstützt Geräte Firma Linksys, z.B. WRT54G und WRT54GS bis Version 4.x. Es werden aber inzwischen auch Geräte anderer Hersteller unterstützt (z. B. Buffalo, Siemens, Asus, Belkin) [7].

5.2.3 FreeWRT

FreeWRT ist eine GNU/Linux-Distribution für WLAN-Router. FreeWRT unterstützt nur Systeme mit Broadcom Geräten, z.B. Linksys WRT54GL, Asus WL500g Premium und Netgear WGT634u [8].

5.3 Mesh-Routing Software

In diesem Abschnitt werden Routing-Daemonen vorgestellt, die ein bestimmtes Routing-Protokoll implementieren und auf jedem Knoten in einem Mesh-Netz ausgeführt werden. Diese Daemonen tauschen Routing-Informationen aus und machen es möglich, Nachrichten von einem Knoten zu einem anderen Knoten im Mesh-Netz zu transportieren. Routing-Daemonen ermöglichen die Kommunikation zwischen 2 Knoten in einem Ad-Hoc Mesh-Netz, zwischen denen mehr als 1 Hop liegt.

5.3.1 olsr.org OLSR daemon



Der olsr.org OLSR daemon [9] ist eine Implementierung des Optimized Link State Routing Protokolls. OLSR ist ein Routing-Protokoll für mobile Ad-Hoc Netzwerke. Der Protokoll ist pro-aktiv, tabellengesteuert und nutzt die Technik Multipoint Relaying (MPR) zum Fluten von Nachrichten. olsrd implementiert ausserdem auch eine populäre Erweiterung Link Quality Extension. Zur Zeit ist die Implementierung von olsrd verfügbar für GNU/Linux, Windows, OS X, FreeBSD, OpenBSD and NetBSD. olsrd ist eine gut strukturierte und kodierte Implementierung, die leicht zu warten, zu erweitern und auf andere Plattformen zu portieren sein soll. Die Implementierung ist konform zu RFC3626 in Bezug auf die Kernfunktionalität und die zusätzlichen Funktionen. olsrd unterstützt das Konzept von ladbaren Plug-Ins. Mit diesen Plug-Ins kann man benutzerdefinierte Pakete mit Hilfe des OLSR MPR Flutens versenden und behandeln oder irgendeine andere zusätzliche Funktionalität bereitstellen.

Links:

- <http://ietf.org/rfc/rfc3626.txt>
- http://wiki.freifunk.net/OLSR_mit_Windows

- http://wireless.subsignal.org/index.php?title=Laptop_mit_OLSR
- <http://wiki.opennet-initiative.de/index.php/OLSR>

5.3.2 Open-Mesh B.A.T.M.A.N. daemon



Der B.A.T.M.A.N.-Daemon [4] steht bislang für Linux, FreeBSD und Macintosh OS-X zur Verfügung. Die Entwicklungsarbeit konzentriert sich jedoch in erster Linie auf Linux, weshalb es vorkommen kann, dass erweiterte Funktionen unter anderen Betriebssystemen erst mit einer gewissen Verzögerung zur Verfügung stehen.

Linux-Installationspakete des B.A.T.M.A.N.-Daemon batmand gibt es für Debian, OpenZaurus und OpenWRT. Zum Kompilieren aus dem Quelltext genügt ein einfaches make und make install im Sourcecodeverzeichnis. Als einzige Abhängigkeit wird die Bibliothek libpthread vorausgesetzt, die auf einem Linux-System, üblicherweise bereits installiert sein sollte.

Um über ein B.A.T.M.A.N.-Mesh ins Internet gehen zu können, muss außerdem unter Linux das Kernelmodul tun installiert sein. Es ist im Standardkernel der meisten Linuxdistributionen enthalten und wird beim ersten Start des B.A.T.M.A.N.-Daemons automatisch geladen. Wer einen selbstkompilierten Kernel einsetzt, findet es zum Beispiel in xconfig in der Abteilung Network Device Support unter der Bezeichnung Universal TUN/TAP device driver support.

Links:

- <https://www.open-mesh.net/Members/adagio/batman-install-howto-stichworte>
- <http://open-mesh.net/batman/doc/batmand-howto.pdf>
- https://www.opensourcepress.de/fileadmin/osp/pdf/mesh_leseprobe.pdf

5.3.3 Meshcom Driver



Der Meshcom Driver ~~klemt~~ klemmt sich zwischen den WLAN-Treiber und den TCP/IP-Stack. Anders als 802.11s funkt er im Ad-hoc-Modus von 802.11 und bezieht eine Ethernet-Schnittstelle automatisch in das vermaschte Netz ein, etwa für den Internet-Zugang. Meshcom stellt eine Beta-Version für privaten Einsatz und Forschungszwecke kostenlos zur Verfügung, die unter Windows XP oder Linux mit Kernel 2.6 läuft. Sie beherrscht allerdings einige wesentliche Features noch nicht, beispielsweise Authentifizierung und Verschlüsselung. Auch reaktives Routing fehlt noch, also das fallweise Bestimmen der Route an Stelle von vorab festgelegten Routing-Tabellen. Ausserdem verwendet der Meshcom Driver ~~einen~~ ein proprietären Routing-Protokoll. Aus diesen Gründen kommt diese Routing-Software für den Einsatz in einem Mesh-Router nicht in Frage.

Links:

- <http://www.meshcom.com/>

6 Test

Der Test, der hier detailliert beschrieben wird, wurde während der Fachstudie im Nexus-Labor mit der Test-Hardware durchgeführt.

6.1 Hardware

Zuerst wurde folgende Hardware für den Test im Nexus-Labor eingerichtet:

- Zwei Rechner (x86) mit jeweils einer **Wistron CM9 Atheros AR5213A** (siehe [4.1.2.1](#)) WLAN-Karte
- Ein Laptop (x86) mit einer **Intel Wireless WiFi Link 4965AGN** (siehe [4.1.2.4](#)) WLAN-Karte

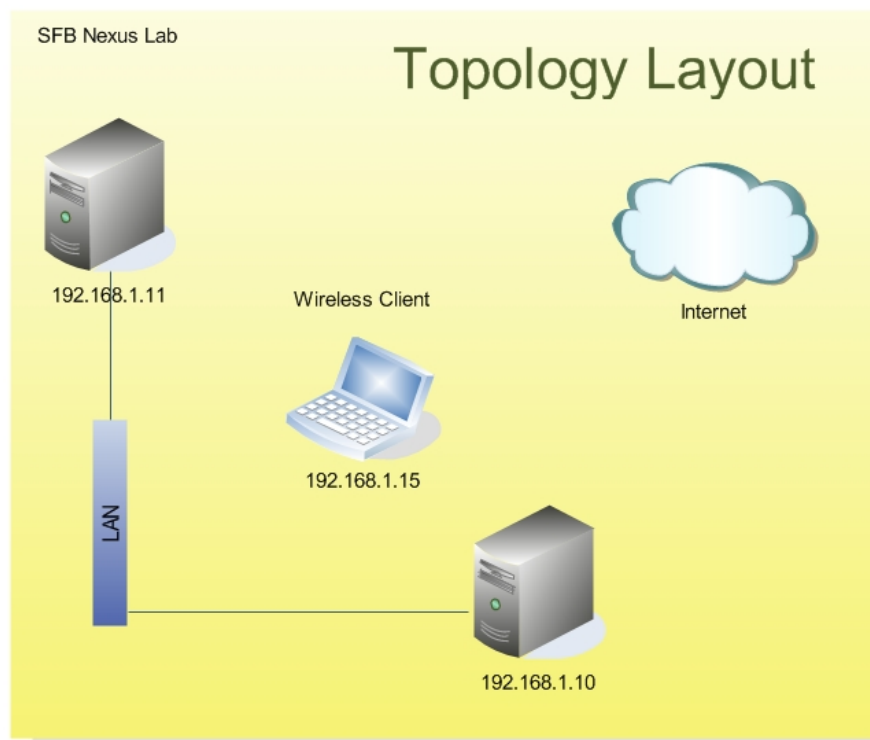


Abbildung 20: Topologie

6.2 Software

6.2.1 Betriebssystem

Auf den Rechnern mit der Wistron CM9 Atheros AR5213A WLAN-Karte wurde als Betriebssystem Fedora 6 mit Linux Kernel 2.6.18 und auf dem Laptop Windows XP verwendet.

6.2.2 Treiber für WLAN-Karten

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie man Treiber für WLAN-Karten auf den beiden Rechnern und Laptop installiert und die WLAN-Karten konfiguriert werden können.

Auf den Rechnern mit der Wistron CM9 Atheros AR5213A WLAN-Karte wurde die letzte Version des MadWifi-Treibers zuerst kompiliert und dann installiert.

Kompilieren des MadWifi-Treibers:

```
svn checkout http://svn.madwifi.org/madwifi/trunk madwifi
cd madwifi
make
```

Installieren des kompilierten MadWifi-Treibers (**root**-Rechte benötigt):

```
make install
```

Manuelles Laden des MadWifi-Treibers (**root**-Rechte benötigt):

```
modprobe ath_pci
```

Automatische Laden des MadWifi-Treibers beim Booten (**root**-Rechte benötigt):

```
mkdir /etc/modules.autoload.d/
echo ath_pci >> /etc/modules.autoload.d/kernel-2.6
```

Nachdem der MadWifi-Treiber geladen wurde (manuell oder automatisch), kann die WLAN-Karte konfiguriert werden. Die WLAN-Karte kann entweder manuell oder automatisch beim Booten konfiguriert werden.

Manuelles Konfigurieren der WLAN-Karte (**root**-Rechte benötigt):

```
ifconfig ath1 inet 192.168.2.1/24 # IP-Adresse
iwconfig ath1 essid mesh         # SSID="mesh"
iwconfig ath1 mode ad-hoc        # Ad-Hoc Modus einschalten
iwconfig ath1 channel 36         # 802.11a Kanal 36
iwconfig ath1 enc s:1234567890abc # 108 bit WEP-Passwort
```

```
# (13 Zeichen)
```

Damit die WLAN-Karte beim Booten von Fedora 6 automatisch konfiguriert werden kann, muss eine Konfigurationsdatei mit dem Namen **ifcfg-ath1** im Verzeichnis **/etc/sysconfig/network-scripts** angelegt werden.

Listing der Datei **/etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-ath1**:

```
cat /etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-ath1
DEVICE=ath1
ONBOOT=yes

BOOTPROTO=static
IPADDR=192.168.2.1
NETMASK=255.255.255.0

ESSID=mesh
MODE=ad-hoc
CHANNEL=36
KEY=s:1234567890abc
```

Nachdem die Datei **/etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-ath1** erstellt wurde, muss Init-Skript für Netzwerk-Dienste neugestartet werden (**root**-Rechte benötigt):

```
/etc/init.d/network restart
```

Den offiziellen Windows-Treiber für die Intel Wireless WiFi Link 4965AGN WLAN-Karte kann auf der Intel-Webpage heruntergeladen werden. Die Anleitung zur Installation und Konfiguration dieser WLAN-Karte findet man auch auf der selben Webpage (siehe [4.1.2.4](#)) und wird hier nicht weiter beschrieben.

6.2.3 olsrd

In diesem Abschnitt wird erklärt, wie man den olsr.org OLSR daemon kompiliert, installiert und konfiguriert. Außerdem wird hier auch gezeigt, wie man Plugins für den olsr.org OLSR daemon kompiliert und installiert.

Kompilieren des OLSR daemons:

```
cvs -d:pserver:anonymous@olsrd.cvs.sourceforge.net:\
    /cvsroot/olsrd login
cvs -z3 -d:pserver:anonymous@olsrd.cvs.sourceforge.net:\
    /cvsroot/olsrd co olsrd-current
cd olsrd-current
make
```

Installieren des OLSR daemons (**root**-Rechte benötigt):

```
make install
```

Im Folgenden wird demonstriert, wie man das HTTP Mini-Server Plugin **httpinfo** kompiliert und installiert. Das Plugin **httpinfo** ist ein kleiner und einfacher HTTP-Server und erlaubt es, z.B. die Routing-Tabelle eines Knotens in einem Mesh-Netz zu erfassen.

Damit die Topology eines Mesh-Netzes visualisiert werden kann, muss noch das Dot Data Generation Plugin **dot_draw** kompiliert und installiert werden. Das Plugin **dot_draw** ist auch ein kleiner Server. Wenn man eine TCP-Verbindung zu diesem Server aufbaut (z.B mit **netcat** oder **telnet**), dann bekommt man die aktuelle Topology des Mesh-Netzes in Form eines Dot-Graphes (siehe GrpahViz <http://www.graphviz.org> und [de.wikipedia.org/wiki/DOT_\(GraphViz\)](http://de.wikipedia.org/wiki/DOT_(GraphViz))). Dieser Dot-Graph ist eine einfache Textdatei und kann mit Hilfe des Programms **dot** zu einem Bild konvertiert werden.

Es gibt noch andere zahlreiche Plugins für den olsr.org OLSR daemon. Sie alle können auf dieselbe Weise kompiliert und installiert werden.

Kompilieren des HTTP Mini-Server Plugins **httpinfo**:

```
cd lib/httpinfo
make
```

Installieren des HTTP Mini-Server Plugins **httpinfo** (**root**-Rechte benötigt):

```
make install
chcon -t textrel_shlib_t /usr/lib/olsrd-httpinfo.so.0.1
```

Der olsr.org OLSR daemon wird über die Datei **/etc/olsrd.conf** konfiguriert. Das vollständige Listing der Datei **/etc/olsrd.conf** ist im Anhang angegeben (siehe 8.1). Es muss vor allem das Netzwerk-Interface und Plugins konfiguriert werden.

Starten des olsr.org OLSR daemons (**root**-Rechte benötigt):

```
olsrd
```

Der olsr.org OLSR daemon kann auch automatisch beim Starten des Betriebssystems gestartet werden. Dafür muss ein Startup-Skript **/etc/init.d/olsrd** erzeugt werden. Das Listing der Datei **/etc/init.d/olsrd** kann man hier betrachten 8.2.

Nachdem die Date erzeugt wurde, muss noch das System so konfiguriert werden, das das Startup-Skript **/etc/init.d/olsrd** beim Booten ausgeführt werden kann (**root**-Rechte benötigt):

```
chmod 755 /etc/init.d/olsrd
chkconfig --add olsrd
```

Das Kompilieren und Konfigurieren des olsr.org OLSR daemons für Windows XP wird hier nicht erklärt, weil es ziemlich kompliziert ist. Wir haben den olsr.org OLSR daemon und die GUI zu ihm für Windows XP selbst kompiliert und konfiguriert. Um den olsr.org OLSR daemon zu kompilieren, wird cygwin mit gcc benötigt. Um die GUI für den olsr.org OLSR daemon zu kompilieren, wird Microsoft Visual C++ 2005 benötigt.

6.2.4 Visualisierung

Das Dot Data Generation Plugin **dot_draw** für den olsr.org OLSR daemon stellt die Topology eines Mesh-Netzes in Form eines Dot-Graphes dar. Der Dot-Graph ist eine Textdatei und man kann aus dieser Datei die Topology nicht sofort sehen.

Um die aktuelle Topology mit einem Webbrowser online betrachten zu können, haben wir auf einem Linux-Rechner in unserem Mesh-Netz einen Apache HTTP-Server installiert und ein CGI-Skript (Perl-Skript) entwickelt, das die aktuelle Topology des Mesh-Netzes grafisch darstellt.

Installieren des Pache HTTP-Servers in Fedora 6 (**root**-Rechte benötigt):

```
yup install httpd
```

Das CGI-Skript, das die aktuelle Topology des Mesh-Netzes vom Dot Data Generation Plugin **dot_draw** ausliest, ins Bild konvertiert und in eine Webseite integriert, finden Sie hier [8.3](#). Das CGI-Skript muss im Verzeichnis **/var/httpd/cgi-bin/** abgelegt und ausführbar gemacht werden.

Das CGI-Skript **topology.pl** benötigt noch das Paket GraphViz, konkret wird das Programm **dot** aus diesem Paket benötigt, um Dot-Graphen zu Bildren konvertieren zu können.

Installieren des GraphViz-Pakets (**root**-Rechte benötigt):

```
yup install graphviz
```

6.2.5 dhcpd

In unserem Test haben wir jedem Knoten in unsrem kleinen Mesh-Netz IP-Adressen statisch vergeben. Mit 3 Knoten im Netzwerk ist der Aufwand dafür sehr gering. Wenn sich aber Knoten zum Mesh-Netz dynamisch verbinden und verschwinden können oder wenn die Anzahl der Knoten im Mesh-Netz sehr groß wird, dann kann man auf einem der Linux-Rechnern in unserem Mesh-Netz einen DHCP-Server installieren. Dieser Knoten mit DHCP-Server muss natürlich ständig im Mesh-Netz vorhanden sein.

Installieren des DHCP-Servers in Fedora 6 (**root**-Rechte benötigt):

```
yup install dhcp
```

Der DHCP-Server kann über die Datei `/etc/dhcpd.conf` konfiguriert werden.

Damit der DHCP-Server automatisch beim Booten gestartet werden kann, muss man folgendes Kommando ausführen (**root**-Rechte benötigt):

```
chkconfig dhcpd on
```

Manuelles Beziehen einer IP-Adresse vom DHCP-Server (**root**-Rechte benötigt):

```
dhclient ath1
```

6.2.6 Firewall

Damit der olsr.org OLSR daemon überhaupt korrekt funktionieren kann, müssen mehrere Ports in der Firewall von beiden Rechnern geöffnet werden.

Damit der OLSR-Protokoll funktionieren kann, muss der UDP-Port 698 für eingehende Pakete geöffnet werden (**root**-Rechte benötigt):

```
iptables -A RH-Firewall-1-INPUT -i ath1 -p udp \
    --sport 698 -j ACCEPT
```

Damit man auf den HTTP Mini-Server **httpinfo** eines Knotens zugreifen kann, muss der TCP-Port (hier 8080, kann in der `/etc/olsrd.conf` konfiguriert werden) des Servers für eingehende Pakete geöffnet werden (**root**-Rechte benötigt):

```
iptables -A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport 8080 \
    -m state --state NEW -j ACCEPT
```

Damit man auf den Dot Data Generation Server **dot_draw** eines Knotens zugreifen kann, muss der TCP-Port (hier 8081, kann in der `/etc/olsrd.conf` konfiguriert werden) des Servers für eingehende Pakete geöffnet werden (**root**-Rechte benötigt):

```
iptables -A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport 8081 \
    -m state --state NEW -j ACCEPT
```

Um die aktuelle Topology unseres Mesh-Netzes betrachten zu können, muss man den TCP-Port 80 für eingehende Verbindungen öffnen (**root**-Rechte benötigt):

```
iptables -A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport http \
    -m state --state NEW -j ACCEPT
```

Wenn im Mesh-Netz ein DHCP-Server verwendet werden soll, dann müssen auf jedem Knoten im Mesh-Netz die UDP-Ports 67 und 68 geöffnet werden (**root**-Rechte benötigt):

```
-A RH-Firewall-1-INPUT -i ath1 -p udp\
    --sport 67:68 --dport 67:68 -j ACCEPT
```

Damit alle diese Ports automatisch beim Starten des Betriebssystems geöffnet werden können, muss in Fedora 6 die Datei `/etc/sysconfig/iptables` erweitert werden (**root**-Rechte benötigt):

```
cat >> /etc/sysconfig/iptables << EOF
-A RH-Firewall-1-INPUT -i ath1 -p udp\
    --sport 698 -j ACCEPT
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport 8080\
    -m state --state NEW -j ACCEPT
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport 8081\
    -m state --state NEW -j ACCEPT
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport http\
    -m state --state NEW -j ACCEPT
EOF

/etc/init.d/iptables restart
```

Die Konfiguration der Windows-Firewall auf dem Laptop wird hier nicht erklärt, siehe entsprechende Literatur und Artikel im Internet.

6.3 Inbetriebnahme

Nachdem alle Treiber, der OLSR daemon und Plugins kompiliert und installiert wurden und entsprechende Ports in Firewall geöffnet wurden, kann auf jedem Knoten der OLSR daemon gestartet werden.

6.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden wir die Ergebnisse von unserem Test präsentieren.

6.4.1 Topologie

Auf dem Bild [21](#) kann man die Topologie des Mesh-Netzwerkes betrachten. Der Knoten mit der IP-Adresse 192.168.2.15 ist der Laptop und die anderen beiden sind Linux-Rechner. Der rechteckige Knoten auf dem Bild, ist der Knoten, der diese Topologie erzeugt hat. Die Zahlen neben den Kanten signalisieren die Qualität einer drahtlosen Verbindung.

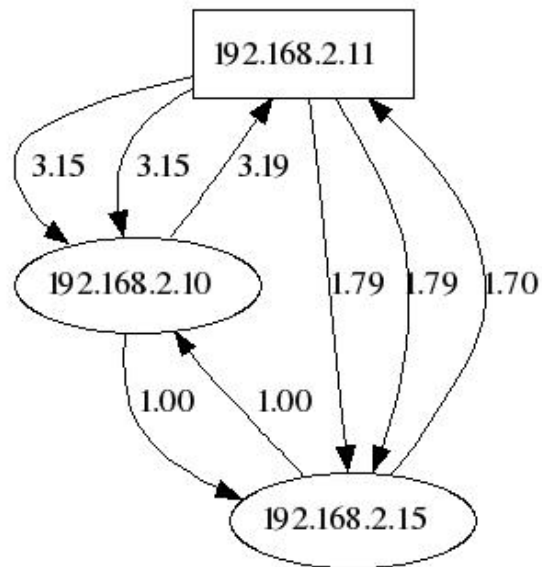



Abbildung 21: Topologie dargestellt mit dem olsr.org Plugin **dot_draw**

6.4.2 Routing-Tabelle

Auf dem Bild 22 kann man die Routing-Tabelle eines Linux-Rechners betrachten

olsr.org OLSR daemon 

Configuration Routes Links/Topology **All** About

Version: olsr.org - 0.5.5pre (built on 2007-10-29 14:42:12 on pcvs63.informatik.uni-stuttgart.de)
 OS: GNU/Linux
 System time: Mon, 19 Nov 2007 17:08:40
 Olsrd uptime: 20 day(s) 22 hours 04 minutes 43 seconds
 HTTP stats(ok/dyn/error/illegal): 748/0/0/0
 Click [here](#) to generate a configuration file for this node.

Variables			
Main address: 192.168.2.11	IP version: 4	Debug level: 0	FIB Metrics: flat
Pollrate: 0.05	TC redundancy: 2	MPR coverage: 7	
Fisheye: Enabled	TOS: 0x0010	RtTable: 0x00fe/254	Willingness: 7
LQ extension: Enabled	LQ level: 2	LQ winsize: 100	

Interfaces		
ath1		
IP: 192.168.2.11	MASK: 255.255.255.0	BCAST: 192.168.2.255
MTU: 1472	WLAN: Yes	STATUS: UP

Olsrd is configured to run even if no interfaces are available

Plugins	
Name	Parameters
olsrd_dot_draw.so.0.3	KEY, VALUE
olsrd_httpinfo.so.0.1	KEY, VALUE

Announced HNA entries					

OLSR Routes in Kernel					
Destination	Gateway	Metric	ETX	Interface	
192.168.2.10	192.168.2.15	2	2.449	ath1	
192.168.2.15	192.168.2.15	1	1.449	ath1	

Links							
Local IP	Remote IP	Hysteresis	LinkQuality	lost	total	NLQ	ETX
192.168.2.11	192.168.2.15	0.00		0.6832	100	1.00	1.47
192.168.2.11	192.168.2.10	0.00		0.5149	100	0.57	3.45

Neighbors					
IP Address	SYM	MPR	MPRS	Willingness	2 Hop Neighbors
192.168.2.10	YES	YES	YES	7	IP ADDRESS (1)
192.168.2.15	YES	YES	YES	3	IP ADDRESS (1)

Topology Entries				
Destination IP	Last Hop IP	LQ	ILQ	ETX
192.168.2.11	192.168.2.10	0.51	0.57	3.48
192.168.2.15	192.168.2.10	1.00	0.99	1.01
192.168.2.10	192.168.2.11	0.51	0.57	3.45
192.168.2.15	192.168.2.11	0.69	1.00	1.45
192.168.2.10	192.168.2.15	1.00	1.00	1.00
192.168.2.11	192.168.2.15	0.69	1.00	1.46

Abbildung 22: Routing-Tabelle eines Knotens dargestellt mit dem olsr.org Plugin **httpinfo**

7 Fazit

In diesem Kapitel wird die von uns analysierte Hardware und Software noch mal zusammengefasst, miteinander verglichen und bewertet. Basierend auf diesen Ergebnissen wird jeweils eine Empfehlung für Hardware und Software gegeben. Auf Basis dieser Empfehlungen soll es möglich sein, ein WMN aufzubauen, das alle wichtigen Anforderungen aus Kapitel 2 erfüllt.

7.1 Übersicht und Bewertung analysierter Hardware

In Tabelle 1 kann man von uns analysierte Hardware in tabellarischer Form noch mal betrachten. Alle bei der Analyse wichtige Eigenschaften der Hardware werden in der Tabelle zusammengefasst und bewertet.

Folgende Eigenschaften analysierter Hardware spielten bei der Bewertung eine wichtige Rolle:

- Unterstützung für IEEE 802.11a Standard
- Unterstützung für Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzbereich
- Vorhandensein von Treibern sowohl für Linux als auch Windows
- Vorhandensein von Open-Source Firmware für SoHO-Router
- Vorhandensein der LAN-Schnittstelle
- Unterstützung für Verschlüsselung
- Schwierigkeitsgrad der Installation
- Schwierigkeitsgrad der Konfiguration
- Vorhandensein von MiniPCI-Slots bei SoHO-Routern

Die analysierte Hardware wurde in 2 Kategorien aufgeteilt. Die Hardware aus der ersten Kategorie kann in PCs eingesetzt werden, ohne PCs ist diese Hardware als Mesh-Router nicht verwendbar. Die Hardware aus der zweiten Kategorie sind WLAN SoHO-Router, diese Hardware muss auch angepasst werden, denn die meisten SoHO-Router ~~den~~ ^{den} Standard IEEE 802.11a und Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband nicht ~~unterstützen~~. In Tabelle 1 wurde die analysierte Hardware ~~aber~~ ^{aber} in 3 Gruppen aufgeteilt: PCI WLAN-Karten, MiniPCI(e) WLAN-Karten und SoHO WLAN-Router. Die MiniPCI WLAN-Karten können in Mesh-Routern auf PC-Basis eingesetzt werden, müssen aber nicht. Manche SoHO WLAN-Router brauchen aber mindestens eine MiniPCI WLAN-Karte, die Ad-Hoc

	IEEE 802.11abgn	Ad-Hoc Modus	Treiber (Linux/Windows)	Open-Source Firmware	LAN-Anschluss	Sicherheit	Installation	Konfiguration	MiniPCI Slot
Linksys WMP55AG	++	+	++	-	++	++	++	+	-
Netgear WAG311	++	+	++	-	++	++	++	+	-
D-Link DWL-A520	+	+	++	-	++	+	++	+	-
Gigabyte GN-WPEAG	++	+	++	-	++	+++	++	+	-
Intel PRO/Wireless 5000	+	+	+	-	++	+	++	+	-
D-Link DWL-AG530	++	+	++	-	++	+++	++	+	-
D-Link DWL-G550	++	+	++	-	++	+++	++	+	-
Wistron CM9 Atheros AR5213A	++	+	++	-	++	+++	++	+	-
Intel PRO/Wireless 3945	++	+	++	-	++	+++	+	+	-
Intel PRO/Wireless 2915	++	+	++	-	++	+++	+	+	-
Intel Wireless WiFi Link 4965AGN	+++	+	++	-	++	+++	+	+	-
Linksys WRT54G v1.0	++	+	-	++	+	+++	-	+	+
Linksys WRT55AG	++	+	-	+	+	+	-	+	++
Asus WL500G/GP	++	+	-	+++	+	+++	-	+	+
Netgear HR314	+	-	-	-	+	+	-	+	-

Tabelle 1: Übersicht und Bewertung analysierter Hardware

	Betriebssysteme	Installation	Konfiguration	Visualisierung	Open-Source
OLSRD	+++	+	+	++	+
B.A.T.M.A.N.	+	+	+	-	+
Meshcom	+	+	-	+	-

Tabelle 2: Übersicht und Bewertung analysierter Routing-Software

Modus im 5 GHz Frequenzband unterstützt, denn die meisten von uns analysierten SoHO WLAN-Router können nur im 2.4 GHz Frequenzband funktionieren. Deswegen muss ihre alte MiniPCI WLAN-Karte gegen eine ersetzt werden, die auch im 5 GHz Frequenzband funktionieren kann.

7.2 Übersicht und Bewertung analysierter Routing-Software

In Tabelle 2 kann man von uns analysierte Routing-Software in tabellarischer Form noch mal betrachten. Alle bei der Analyse wichtige Eigenschaften der Routing-Software werden in der Tabelle zusammengefasst und bewertet.

Folgende Eigenschaften analysierter Routing-Software spielten bei der Bewertung eine wichtige Rolle:

- Unterstützung sowohl für Linux als auch für Windows
- Schwierigkeitsgrad der Installation
- Schwierigkeitsgrad der Konfiguration
- Unterstützung für Visualisierung von Topologie
- Frei verfügbarer Quellcode

7.3 Empfehlung für Hardware und Software

In diesem Abschnitt wird eine Empfehlung sowohl für Hardware als auch für Routing-Software gegeben. Diese Empfehlungen basieren auf unserer Analyse und Bewertung im vorherigen Abschnitt. Ausserdem werden genaue Gründe für unsere Empfehlungen genannt.

7.3.1 Empfehlung für Hardware für Mesh-Router

In diesem Abschnitt geben wir unsere Empfehlung für Hardware zum Einsatz in Mesh-Routern eines WMNs.

Als Hardwareplattform für Mesh-Router empfehlen wir den Einsatz von PCs mit mehreren PCI bzw. MiniPCI WLAN-Karten mit Atheros Chipsatz und einer LAN-Schnittstelle. Welche PCI oder MiniPCI WLAN-Karten dabei eingesetzt werden sollen, haben wir nicht entschieden, denn sie haben alle fast ähnliche Eigenschaften und alle analysierten WLAN-Karten mit Atheros Chipsatz werden hervorragend von MadWifi-Treiber unterstützt. Jede von uns analysierte PCI oder MiniPCI WLAN-Karte mit Atheros Chipsatz ist für den Einsatz in Mesh-Routern gut geeignet, wir empfehlen aber den Einsatz von Wistron CM9 Atheros AR5213A WLAN-Karte (siehe [4.1.2.1](#)), weil sie von uns persönlich im Labor erfolgreich mit MadWifi-Treibern getestet wurden. Ausserdem ist Wistron CM9 Atheros AR5213A MiniPCI WLAN-Karte auch in SoHO WLAN-Routern einsetzbar.

Als Betriebssystem für Mesh-Router empfehlen wir natürlich Linux. Für Linux existieren sehr viele Programme zur Analyse und Evaluierung von drahtlosen Netzwerken. Ausserdem bietet Linux einen sehr mächtigen Packet Filter iptables. Zusätzlich existieren dafür sehr viele Open-Source Programme wie HTTP-, SSH- und DHCP-Server, die man beim Aufbau eines WMN sehr gut gebrauchen kann, was wir auch bei unseren Tests gemacht haben. Wir haben z.B. Apache HTTP-Server für die Visualisierung der Topologie unseres kleinen WMN verwendet. Für Linux existiert eine Menge von Skript-Sprachen wie z.B. Perl, Python, die viele Verwaltungsaufgaben in einem WMN erleichtern können. Und schliesslich existiert für Linux sehr gute Dokumentation im Internet.

Aus folgenden Gründen haben wir uns für den Einsatz von PCs mit WLAN-Karten und nicht für den Einsatz von SoHO-Routern entschieden:

- PCs sind nicht sehr teuer, dafür aber sehr flexibel.
- PCs sind sehr flexibel, sie haben viel mehr Speicher als SoHO-Router und sind leicht erweiterbar. Man kann theoretisch unbegrenzt viele Software-Tools zur Verwaltung und zur Evaluierung von WMNs installieren.
- SoHO-Router müssen erstmal umgebaut werden, denn keiner von uns analysierten SoHO-Routern unterstützt Ad-Hoc Modus im 5 GHz Frequenzband.
- Auf SoHO-Routern muss eine Open-Source Firmware installiert werden.
- SoHO-Router haben sehr wenig Speicher zur Verfügung und machen den Einsatz mancher Software-Tools unmöglich.
- PCs sind nicht nur als Mesh-Router einsetzbar.
- Beliebige Linux-Distributionen können installiert werden.

7.3.2 Empfehlung für Routing-Software

In diesem Abschnitt geben wir unsere Empfehlung für Routing-Software zum Einsatz in Mesh-Routern eines WMNs.

Als Routing-Software, die in den Mesh-Routern eines WMNs zum Einsatz kommt, empfehlen wir den Einsatz von Routing-Daemon von olsr.org. Beim OLSR Routing-Daemon von olsr.org sollten keine Skalierbarkeitsprobleme auftreten, da abgeschätzte Anzahl von Mesh-Routern im WMN niedrig ist. Ausserdem unterstützt der Routing-Daemon von olsr.org Visualisierung von Topologie. Er unterstützt sowohl Linux als auch Windows und ist in beiden Betriebssystemen sehr leicht zu installieren und zu konfigurieren.

Vom Einsatz von B.A.T.M.A.N. raten wir ab, der Routing-Daemon von B.A.T.M.A.N. unterstützt noch keine Visualisierung von Topologie und das Routing-Protokoll B.A.T.M.A.N. befindet sich zur Zeit immer noch in Entwicklung. Ausserdem unterstützt der Routing-Daemon von B.A.T.M.A.N. das Betriebssystem Windows nicht.

Den Einsatz von Meshcom empfehlen wir auch nicht, denn sowohl das Protokoll als auch der Routing-Daemon sind nicht frei verfügbar. Der Routing-Daemon von Meshcom ist nicht kostenlos. Wir haben nur mit einem Demo-Programm getestet.

7.3.3 Aufbau von WMN

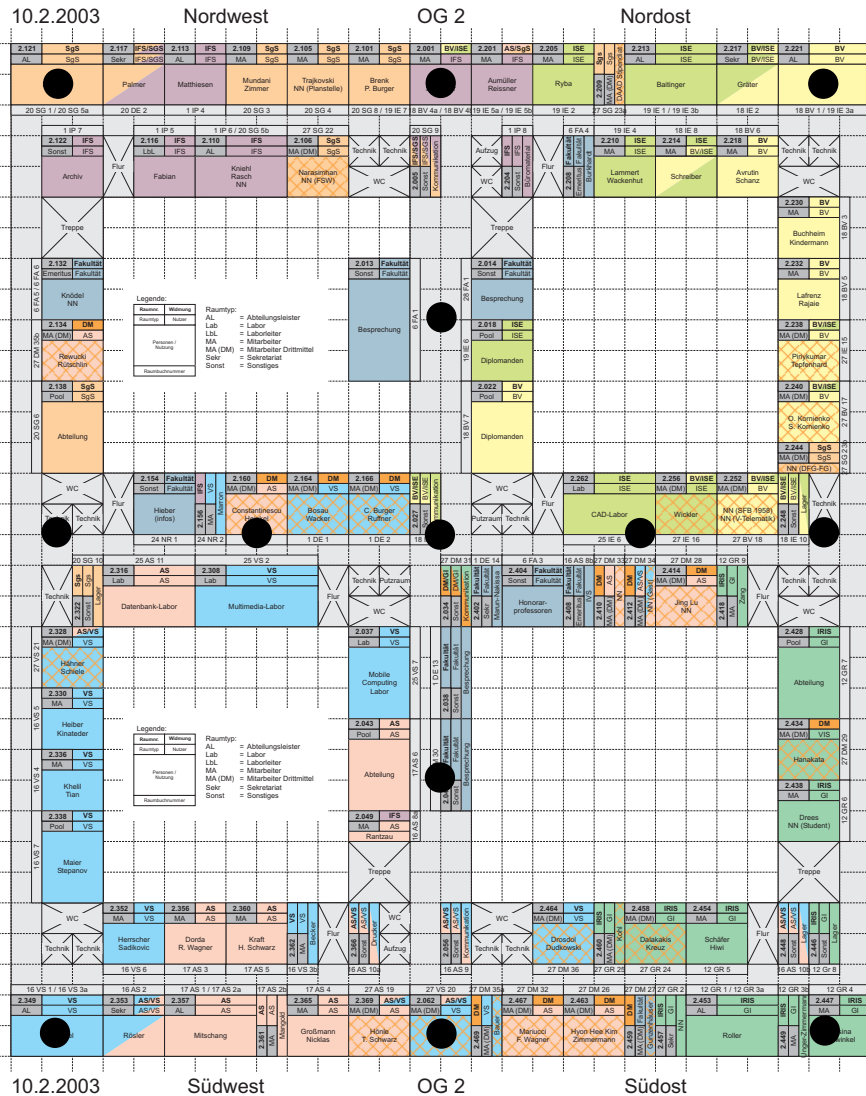


Abbildung 23: Mögliche Platzierung von Mesh-Routern im Informatik Gebäude

Um das ganze Informatikgebäude abzudecken, würden ca. 27-39 PCs reichen. Das heisst ca. 9-13 PCs pro Stock. Auf Abbildung 23 ist eine mögliche Platzierung von Mesh-Routern zu sehen. Kosten für die notwendige Hardware liegen damit unter der Budget-Grenze.

8 Anhang

8.1 olsrd.conf

Listing der Datei `/etc/olsrd.conf`:

```
#
# olsr.org OLSR daemon config file
#
# Lines starting with a # are discarded
#
# This file was shipped with olsrd 0.X.X
#

# This file is an example of a typical
# configuration for a mostly static
# network (regarding mobility) using
# the LQ extention

# Debug level (0-9)
# If set to 0 the daemon runs in the background

DebugLevel          0
LinkQualityFishEye 1
LinkQualityDijkstraLimit 2 6.0

# IP version to use (4 or 6)

IpVersion            4

# Clear the screen each time the internal state changes

ClearScreen          yes

# HNA IPv4 routes
# syntax: netaddr netmask
# Example Internet gateway:
# 0.0.0.0 0.0.0.0

Hna4
{
#   Internet gateway:
```

```

# 0.0.0.0      0.0.0.0
# more entries can be added:
# 192.168.1.0  255.255.255.0
}

# HNA IPv6 routes
# syntax: netaddr prefix
# Example Internet gateway:
Hna6
{
# Internet gateway:
# ::          0
# more entries can be added:
# fec0:2200:106:: 48
}

# Should olsrd keep on running even if there are
# no interfaces available? This is a good idea
# for a PCMCIA/USB hotswap environment.
# "yes" OR "no"

AllowNoInt      yes

# TOS(type of service) value for
# the IP header of control traffic.
# If not set it will default to 16

TosValue        16

# The fixed willingness to use(0-7)
# If not set willingness will be calculated
# dynamically based on battery/power status
# if such information is available

Willingness     7

# Allow processes like the GUI front-end
# to connect to the daemon.

IpcConnect
{
# Determines how many simultaneously
# IPC connections that will be allowed

```



```

# Setting this to 0 disables IPC

MaxConnections 2

# By default only 127.0.0.1 is allowed
# to connect. Here allowed hosts can
# be added

Host          127.0.0.1
#Host         10.0.0.5

# You can also specify entire net-ranges
# that are allowed to connect. Multiple
# entries are allowed

#Net          192.168.1.0 255.255.255.0
}

# Wether to use hysteresis or not
# Hysteresis adds more robustness to the
# link sensing but delays neighbor registration.
# Used by default. 'yes' or 'no'

UseHysteresis no

# Hysteresis parameters
# Do not alter these unless you know
# what you are doing!
# Set to auto by default. Allowed
# values are floating point values
# in the interval 0,1
# THRLow must always be lower than
# THR_High.

#HystScaling    0.50
#HystThrHigh    0.80
#HystThrLow     0.30

# Link quality level
# 0 = do not use link quality
# 1 = use link quality for MPR selection
# 2 = use link quality for MPR selection and routing
# Defaults to 0

```

```

LinkQualityLevel          2

# Link quality window size
# Defaults to 10

LinkQualityWinSize       100

# Polling rate in seconds(float).
# Default value 0.05 sec

Pollrate                  0.05

# Interval to poll network interfaces for configuration
# changes. Defaults to 2.5 seconds

NicChgsPollInt           3.0

# TC redundancy
# Specifies how much neighbor info should
# be sent in TC messages
# Possible values are:
# 0 - only send MPR selectors
# 1 - send MPR selectors and MPRs
# 2 - send all neighbors
#
# defaults to 0

TcRedundancy             2

#
# MPR coverage
# Specifies how many MPRs a node should
# try select to reach every 2 hop neighbor
#
# Can be set to any integer >0
#
# defaults to 1

MprCoverage              7

# Olsrd plugins to load

```

```

# This must be the absolute path to the file
# or the loader will use the following scheme:
# - Try the paths in the LD_LIBRARY_PATH
#   environment variable.
# - The list of libraries cached in /etc/ld.so.cache
# - /lib , followed by /usr/lib

# Example plugin entry with parameters:

#LoadPlugin "olsrd_dyn_gw.so.0.3"
#{
    # Here parameters are set to be sent to the
    # plugin. These are on the form "key" "value".
    # Parameters of cause, differs from plugin to plugin.
    # Consult the documentation of your plugin for details.

    # Example: dyn_gw params

    # how often to check for Internet connectivity
    # defaults to 5 secs
#   PlParam      "Interval"      "40"

    # if one or more IPv4 addresses are given, do a ping
    # on these in descending order to validate that there is
    # not only an entry in routing table, but also a real
    # internet connection. If any of these addresses could be
    # pinged successfully, the test was succesful, i.e.
    # if the ping on the 1st address was successful, the
    # 2nd won't be pinged
#   PlParam      "Ping"          "141.1.1.1"
#   PlParam      "Ping"          "194.25.2.129"
#}

LoadPlugin "olsrd_httpinfo.so.0.1"
{
    PlParam      "port"          "8080"
    PlParam      "Host"          "127.0.0.1"
    PlParam      "Net"           "129.69.210.0_255.255.255.0"
    PlParam      "Net"           "192.168.2.0_255.255.255.0"
}

LoadPlugin "olsrd_dot_draw.so.0.3"
{
    PlParam      "port"          "8081"

```

```

        PIParam          "accept" "127.0.0.1"
    }

# Interfaces and their rules
# Omitted options will be set to the
# default values. Multiple interfaces
# can be specified in the same block
# and multiple blocks can be set.

# !!CHANGE THE INTERFACE LABEL(s) TO MATCH YOUR INTERFACE(s)!!
# (eg. wlan0 or eth1):

Interface "ath1"
{
    # Olsrd can autodetect changes in NIC
    # configurations(IP address changes etc.).
    # This is Enabled by default and the interval
    # to poll for changes on is defined by
    # NicChgsPollInt.
    # This polling can be disabled pr. NIC by setting
    # AutoDetectChanges to no.

    AutoDetectChanges          yes

    # IPv4 broadcast address to use. The
    # one usefull example would be 255.255.255.255
    # If not defined the broadcastaddress
    # every card is configured with is used

    # Ip4Broadcast              255.255.255.255

    # IPv6 address scope to use.
    # Must be 'site-local' or 'global'

    # Ip6AddrType                site-local
    # IPv6 multicast address to use when
    # using site-local addresses.
    # If not defined, ff05::15 is used

    # Ip6MulticastSite           ff05::11

    # IPv6 multicast address to use when
    # using global addresses

```

```

# If not defined, ff0e::1 is used

# Ip6MulticastGlobal          ff0e::1

# Emission intervals.
# If not defined, RFC proposed values will
# be used in most cases.

# Hello interval in seconds(float)
HelloInterval      2.0

# HELLO validity time
HelloValidityTime  20.0

# TC interval in seconds(float)
TcInterval         5.0

# TC validity time
TcValidityTime     30.0

# MID interval in seconds(float)
MidInterval        5.0

# MID validity time
MidValidityTime    30.0

# HNA interval in seconds(float)
HnaInterval        5.0

# HNA validity time
HnaValidityTime    30.0

# When multiple links exist between hosts
# the weight of interface is used to determine
# the link to use. Normally the weight is
# automatically calculated by olsrd based
# on the characteristics of the interface,
# but here you can specify a fixed value.
# Olsrd will choose links with the lowest value.
# Note:
# Interface weight is used only when LinkQualityLevel is 0.
# For any other value of LinkQualityLevel, the interface

```

```

# ETX value is used instead.
# Weight 0

# If a certain route should be preferred
# or ignored by the mesh, the Link Quality
# value of a node can be multiplied with a factor
# entered here. In the example the route
# using 192.168.0.1 would rather be ignored.
# A multiplier of 0.5 will result in a small
# (bad) LinkQuality value and a high (bad)
# ETX value.
# Note:
# Link quality multiplier is used only when
# LinkQualityLevel is > 0.

# LinkQualityMult 192.168.0.1 0.5

# This multiplier applies to all other nodes
# LinkQualityMult default 0.8
}

```

8.2 olsrd Startup-Skript

Listing der Datei `/etc/init.d/olsrd`:

```

#!/bin/bash
#
# Startup script for the OLSR Daemon
#
# chkconfig: 235 16 84
# description: This script starts OLSRD
#              (Ad Hoc routing protocol)
#
# processname: olsrd
# config: %{_sysconfdir}/olsrd.conf
# pidfile: %{_localstatedir}/run/olsrd.pid

source /etc/init.d/functions
source /etc/sysconfig/network

# Check that networking is up.

```

```

[ ${NETWORKING} = "no" ] && exit 0

[ -x /usr/sbin/olsrd ] || exit 1
[ -r /etc/olsrd.conf ] || exit 1

RETVAL=0
prog="olsrd"
desc="Ad_Hoc_routing_protocol"

start() {
    echo -n "Starting_${desc}($prog):_"
    daemon $prog -d 0
    RETVAL=$?
    echo
    [ $RETVAL -eq 0 ] && touch /var/lock/subsys/$prog
    return $RETVAL
}

stop() {
    echo -n "Shutting_down_${desc}($prog):_"
    killproc $prog
    RETVAL=$?
    echo
    [ $RETVAL -eq 0 ] && rm -f /var/lock/subsys/$prog
    return $RETVAL
}

reload() {
    echo -n "Reloading_${desc}($prog):_"
    killproc $prog -HUP
    RETVAL=$?
    echo
    return $RETVAL
}

restart() {
    stop
    start
}

case "$1" in
    start)
        start

```

```

        ;;
stop)
    stop
    ;;
restart)
    restart
    ;;
reload)
    reload
    ;;
condrestart)
    [ -e /var/lock/subsys/$prog ] && restart
    RETVAL=$?
    ;;
status)
    status olsrd
    ;;
*)
    echo $"Usage: $0 {start|stop|restart|reload|\
condrestart|status}"
    RETVAL=1
esac

exit $RETVAL

```

8.3 topology.pl

Listing der Datei `/var/httpd/cgi-bin/topology.pl`:

```

#!/usr/bin/perl

use IO::Socket;

$TOP_PATH = "/var/www/html/topology";
$WWWPATH = "/topology";
$SERVER = "localhost";
$PORT = "8081";
$DOT_FILENAME = "topology.dot";
$IMAGE_TYPE = "png";
$IMAGE_FILENAME = "topology.$IMAGE_TYPE";
$IMAGE_BGCOLOR = "grey";
$IMAGE_SIZE = "35,20";

```



```

$remote = IO::Socket::INET->new(Proto => "tcp",
    PeerAddr => $SERVER, PeerPort => $PORT) ||
    die "couldn't connect to dot server\n";

open DOT_FILE, ">$TOP_PATH/$DOT_FILENAME" ||
    die "couldn't create_$DOT_FILENAME\n";

while ($line = <$remote>) {
    print DOT_FILE $line;

    if ($line =~ /}/i) {
        last;
    }
}

close DOT_FILE;

`dot -T$IMAGE_TYPE -Gsize=$IMAGE_SIZE -Gbgcolor=$IMAGE_BGCOLOR\
-o $TOP_PATH/$IMAGE_FILENAME $TOP_PATH/$DOT_FILENAME`;

$date = `date`;

print<<EOF
Content-type: text/html\r
\r

<HTML>
<HEAD>
<TITLE>Topology</TITLE>
</HEAD>
<BODY>

<CENTER>

<H1>Topology</H1>

<H2>$date</H2>

<IMG SRC="$WWW_PATH/$IMAGE_FILENAME">

<BR><BR>

<A HREF="http://pcvs63.informatik.uni-stuttgart.de:8080">
OLSRD-Seite von pcvs63

```

```
</A>  
</CENTER>  
</BODY>  
</HTML>  
EOF
```

Literaturverzeichnis

- [1] Nexus-Projekt. <http://www.nexus.uni-stuttgart.de>.
- [2] C.K. Toh. *Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems*. Prentice Hall, December 2001.
- [3] Corinna Elektra Aichele. *Mesh. Drahtlose Ad-hoc-Netze*. Open Source Press, Juli 2007.
- [4] B.A.T.M.A.N. <https://www.open-mesh.net/batman>.
- [5] MadWifi. <http://madwifi.org>.
- [6] OpenWRT. <http://openwrt.org>.
- [7] DD-WRT. <http://www.dd-wrt.com>.
- [8] FreeWRT. <http://freewrt.org/>.
- [9] olsr.org. <http://www.olsr.org>.

9 Erklärung

Wir versichern, dass wir diese Arbeit selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet haben.

Stuttgart, den _____

Alexander Egorenkov

Sergey Telezhnikov

Valeri Schneider