

Intergration einer Funkstrecke
nach IEEE 802.11b
mit 10 Mbit/s-Ethernet-Schnittstelle
in ein bestehendes LAN

Patrick C. F. Ernzer

18. September 2000

Erklärung

Hiermit versichere ich, daß ich meine Diplomarbeit selbstständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Kaiserslautern, den 18. September 2000

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine Punkt-zu-Punkt Funkstrecke nach IEEE 802.11b implementiert. Mit dieser Funkstrecke ist das Gebäude 7 auf dem Universitätskampus nahtlos in das bestehende *RHRL-LAN* eingefügt. Die Lösung bietet eine Durchsatzrate von etwa 3 Mbit/s. Die Konfiguration der Hardware wird beschrieben. Punkt-zu-Punkt Funkstrecken nach IEEE 802.11b werden als kostengünstiger Ersatz für 2 Mbit/s Mietleitungen empfohlen.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	II
1 Einleitung	1
2 Problemstellung	2
2.1 Umfeld	2
2.2 Motivation	5
3 Theoretischer Hintergrund	6
3.1 Richtfunk	6
3.2 Maxwellgleichungen	7
3.3 Elementarwellen	8
3.4 Freiheit der 1. Fresnelzone	8
3.5 Frequenzbereich	9
3.6 Protokolle, Codierung und Normen	10
3.7 Router	11
4 Operationalisierung	12
4.1 Hardware	12
4.2 Software	14
4.3 Visualisierung	16
5 Durchführung	17
5.1 Wissensakquisition	17
5.2 Aufbau einer Installation	23
5.3 Konfiguration der Router	26
5.4 Tests	36
6 Ergebnis	42
6.1 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	42
6.2 Vorschlag einer Standardlösung	43

7	Ausblick	44
7.1	Betrieb über die Grenzen des Universitätscampus hinweg	44
7.2	Ersatz von Kabelstrecken	44
7.3	in-house Verwendbarkeit	44
A	Glossar	50
B	Verwendete Shell Skripte	51
B.1	diplomarbeit	51
B.2	getsnr	51
B.3	linktest-holen-und-plotten	52
B.4	logsnr	52
B.5	mrtg	53
B.6	plotdata	53
C	gnuplot Konfigurationsdateien	54
C.1	plotdata.cfg	54
C.2	plotlinktest.cfg	55
C.3	plotdata-eps.cfg	56
C.4	plotlinktest-eps-0.cfg	56
C.5	plotlinktest-eps-1.cfg	56
C.6	plotlinktest-eps-2.cfg	56
D	mrtg Konfigurationsdatei	58
D.1	mrtg.cfg	58
E	Tabellen	61
E.1	Elektromagnetische Wellen	61
E.2	WaveLAN/Orinoco IEEE802.11 Frequenzkanäle	62
E.3	Lucent Outdoor Router	63
E.4	Genutzte Switchports	64
F	Lucent OR Manager Logdateien	65
G	Bilder	67

Kapitel 1

Einleitung

In dieser Diplomarbeit soll erörtert werden, ob Funkstrecken einen Ersatz für Mietleitungen darstellen können. Eine Beispielinstallation ist aufzubauen. Es soll eine IEEE 802.11b Lösung zum Einsatz kommen, ein Standard, der erst kurz vor Beginn dieser Arbeit verabschiedet wurde.

In Kapitel 2 wird das Umfeld vorgestellt, die Randbedingungen abgesteckt und die Problemstellung formal beschrieben.

In Kapitel 3 werden der theoretische Hintergrund von Funkstrecken und die damit auftretenden Probleme vorgestellt. Weiterhin werden zu beachtende Besonderheiten von IEEE 802.11b gegenüber seinen Vorgängern erläutert. Am Ende des Kapitels wird die Funktion eines Routers erklärt.

In Kapitel 4 werden die genutzte Hard- und Software, sowie Eigenentwicklungen beschrieben.

In Kapitel 5 wird am Anfang die Vorarbeit erläutert, danach der Aufbau und die Konfiguration der Router. Zuletzt werden Tests an der Funkstrecke durchgeführt und ihre Ergebnisse vorgelegt.

In Kapitel 6 werden die Ergebnisse diskutiert, die Kosten einer Punkt zu Punkt-Lösung (Point-to-Point, P-to-P) denen einer Mietleitung gegenübergestellt und eine Standardlösung vorgeschlagen.

In Kapitel ?? werden zukünftige Nutzungsmöglichkeiten vorgestellt.

Kapitel 2

Problemstellung

In diesem Kapitel wird das Umfeld, in dem die Arbeit erstellt wurde vorgestellt und die Randbedingungen abgesteckt. Sowohl die logische, als auch die physikalische Struktur des *RHRK-LAN* werden erläutert. Die Teststrecke wird in diesem Umfeld eingeordnet. Am Ende des Kapitels ist die Motivation dargelegt.

2.1 Umfeld

Die im folgenden beschriebene Teststrecke wurde zwischen Gebäude 14 und Gebäude 7 ("Sommerhaus"¹) realisiert. In Anhang G sind einige Bilder zusammengetragen, die die Umgebung darstellen. Diese Strecke wurde ausgewählt, weil Gebäude 7 bisher keinen Anschluß an das *RHRK-LAN* besaß. Dort wird der Netzanschluß nicht für kritische Dienste genutzt, sondern nur, um den Speiseplan der "Begegnungsstätte Sommerhaus" auf einen WWW-Server der Universität zur Verfügung zu stellen. Ein Ausfall der Teststrecke stellt somit keine Behinderung des Universitätsbetriebs dar. Dadurch eignet sich diese Strecke gut für einen Testbetrieb.

2.1.1 Netztechnisches Umfeld

Bei dem *RHRK-LAN* handelt es sich um ein TCP-IP Netz mit knapp 10 000 Adressen. Es stützt sich im Sommer 2000 intern im wesentlichen auf einen ATM-Backbone. Die gesamte Verkabelung ist als "strukturierte Verkabelung" ausgelegt (Siehe Abschnitte 2.1.2.1 und 2.1.2.2). Der Übergang zum WAN (Internet) ist ein 155Mbit/s ATM-Uplink in das Breitband-Wissenschaftsnetz (B-WIN). Zukünftig wird dies ein GigabitEthernet Zugang zum

¹Gebäude 7 wird an der Universität Kaiserslautern generell als "Sommerhaus" bezeichnet. Zur Zeit beherbergt es die Begegnungsstätte der Universität Kaiserslautern. Die Namensgebung ist auf den Vorbesitzer, Herrn Sommer, zurückzuführen der bis Mitte der 90er Jahre dort gewohnt hat. Heute wird unter diesem Namen das Restaurant betrieben.

Gigabit-Wissenschaftsnetz² (G-WIN) sein mit *IP over SDH*. Zur Ergänzung dieses leitungsbasierten LAN kann man sich den Einsatz von Funkstrecken für folgende Betriebsarten vorstellen:

- Zugangspunkte (Access Point, AP) für Zugriffe von Freiflächen auf dem Campus.
- AP für Zugriffe aus öffentlich zugänglichen Räumen innerhalb der Universitätsgebäude.
- Als Punkt zu Punkt (Point-to-Point, P-to-P) Verbindung zu abgesetzten Teilnetzen, die nicht über Kabel erreichbar sind.

Außenstellen der Universität Kaiserslautern und assoziierte Einrichtungen sind zur Zeit über Mietleitungen der Telekom und anderer Carrier mit dem Intranet verbunden. Auch hier ist zu prüfen, ob sich im einen oder anderen Fall der Einsatz von Funkstrecken anbietet.

2.1.2 Organisatorisches Umfeld

2.1.2.1 Verkabelungsebenen

Das *RHRK-LAN* ist ein hierarchisch strukturiertes Netz. Auf der Verkabelungsebene (OSI-Schicht 1) bedeutet dies, daß zu den einzelnen Gebäuden mehrere Glasfaserstrecken zu verschiedenen DFÜ-Räumen die Primärebene darstellen. In diesen Räumen nehmen Switches die von den Datensteckdosen in den Benutzerräumen herkommenden PIMF-Kabel (Cat 6) der Tertiärebene auf und verbinden sie mit den Lichtwellenleitern (LWL) der Primärebene. Hierbei sind eventuell *Edge Devices* (siehe Abschnitt 2.1.2.2) zwischenschalten. Durch diese Konstruktion wird die bei der klassisch strukturierten Verkabelung bekannte Sekundärebene im Steigbereich der Gebäude eingespart. Dies ist als ein Entgegenkommen an die flache Struktur eines ATM-Netzes zu verstehen.

In Anhang G ist in Abbildung G.3 und Abbildung G.4 ein Ausschnitt der internen Dokumentation des *RHRK-LAN* abgebildet. Hier ist sowohl die Primär-, wie auch die Tertiärebene von Gebäude 14 zu sehen.

2.1.2.2 Logische Einteilung

Vor dem Einzug der strukturierten Verkabelung war jedes Gebäude über einen Router mit dem damaligen FDDI-Backbone verbunden. Von diesen Router ging für jedes Stockwerk ein 10Base-5 Kabel aus. Bei dem Übergang zu der strukturierten Verkabelung wurden die 10Base-5 Strecken durch

²Ähnlich dem *Internet2* in den USA.

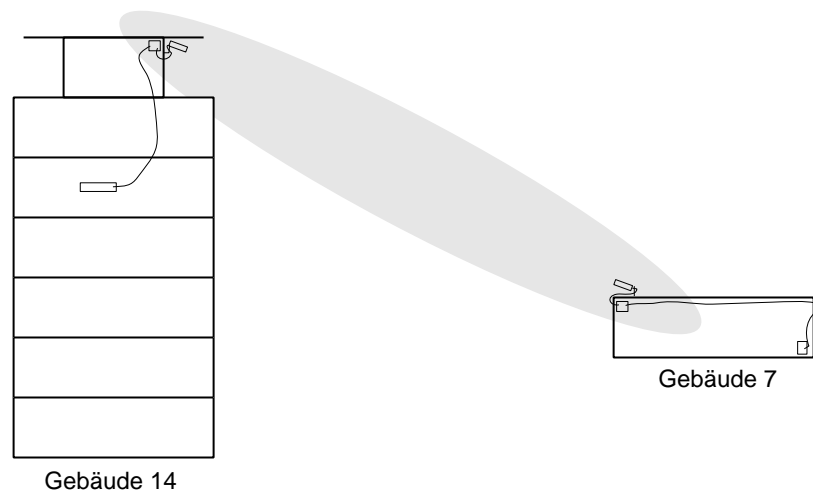


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des Aufbaus

einen oder mehrere FastEthernet-Switches ersetzt. Auf diesen Switches erfolgt eine VLAN-Bildung. Den Übergang zum heutigen ATM-Backbone besorgen Edge Devices. Auf der ATM-Ebene kommen LANE, MPOA und virtuelle Router zum Einsatz. Von einer tiefergehenden Beschreibung wird hier abgesehen, da die Struktur und Entwicklung des LAN nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

Es sei noch bemerkt, daß abgesetzte Subnetze über P-to-P Verbindungen zwischen einem Local Router und einem Remote Router an das eigentliche LAN herangeführt werden. Die Versuchsstrecke entspricht netztechnisch und organisatorisch der Verbindung zu einem solchen abgesetzten Subnetz. Allerdings wurde in dieser Arbeit eine ad-hoc Einbindung gewählt, die im folgenden Abschnitt erläutert wird.

2.1.2.3 Die Teststrecke in diesem Umfeld

Da in Gebäude 7 in Zukunft nur ein einziger Rechner zur Verfügung steht, wird das Gebäude nicht mit einem eigenen Subnetz ausgestattet, sondern logisch in das *lan53* (Gebäude 14, 4. OG) eingegliedert. Sollten später jedoch mehrere Rechner in Gebäude 7 angeschlossen werden, so sind die Router vom Betrieb als transparente Bridges auf routing umzustellen. Die von uns näher untersuchte Funkstrecke ist der Ersatz für eine Mietleitung/Kabelstrecke. (Siehe Abbildung 2.1)

2.2 Motivation

An der Universität Kaiserslautern sollte erprobt werden, ob Außenstellen mittels Funktechnik angebunden werden können, um die monatlichen Kosten für Standleitungen zu vermeiden. Desweiteren gibt es einige wenige Gebäude an der Universität, welche nicht mit unterirdischen Versorgungskanälen erreicht werden können. Bei diesen Gebäuden könnte eine Funkstrecke die Kosten für Erdarbeiten ersparen.

Die auszuwählende Lösung soll eine Bandbreite von mindestens 10 Mbit/s zur Verfügung stellen, ferner sollte sie dem IEEE 802.11 Standard entsprechen, um eine Interoperabilität von Produkten verschiedener Hersteller zu garantieren.

Kapitel 3

Theoretischer Hintergrund

Da es sich bei dieser Arbeit um die Implementierung einer Punkt-zu-Punkt Verbindung handelt, werden hier schwerpunktmäßig die dafür relevanten theoretischen Grundlagen behandelt.

3.1 Richtfunk

Definition:

Richtfunkverbindungen bestehen aus Sende- und Empfangsanlagen mit stark bündelnden Antennen. Zwischen Sende- und Empfangsantenne ist im Normalfall quasi-optische Sicht erforderlich.

Digitale Nachrichtenübertragung, Siemens AG [1]

Im unteren Frequenzbereich antennenbedingt und im oberen Bereich durch die Dämpfung durch Niederschlag begrenzt, ist Richtfunk im Frequenzbereich von 400 MHz bis 40 GHz angesiedelt.

In Europa sind die Regelungen des *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) maßgeblich. Sie sorgen sowohl für Interoperabilität zwischen Herstellern, die auf dem europäischen Markt auftreten, wie auch für Minimierung der Störungen zwischen den Nutzern diverser Funktechniken.

3.2 Maxwellgleichungen

Die theoretische Grundlage von Funkverbindungen stellt die Maxwellsche Theorie der elektromagnetischen Wellen dar, die hier kurz angesprochen werden soll.

Die Maxwellgleichungen bei Abwesenheit geleiteter elektrischer Ströme und freier elektrischer Ladungen lauten:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (3.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (3.2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\delta \vec{E}}{\delta t} \quad (3.3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\delta \vec{H}}{\delta t} \quad (3.4)$$

Unter Verwendung der Äquivalenz

$$\Delta \vec{v} = \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{v}) - \vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{v}) \quad (3.5)$$

\vec{v} beliebiges Vektorfeld
 Δ Laplace-Operator

ergeben sich daraus die Wellengleichungen

$$\Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \vec{E}}{\delta t^2} \quad (3.6)$$

$$\Delta \vec{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\delta^2 \vec{H}}{\delta t^2} \quad (3.7)$$

die transversale Wellen beschreiben, bei denen \vec{H} und \vec{E} , in einer zur Ausbreitungsrichtung senkrechten Ebene, jeweils aufeinander senkrecht stehen. [8]

Diese Wellengleichungen entsprechen denen des Lichtes. In der Maxwell'schen Theorie sind Funkwellen als äquivalent zu Lichtwellen unter dem Begriff "elektromagnetische Wellen" zusammengefaßt. Aus diesem Grund können die von den Physikern Huygens und Fresnel bei der Untersuchung von Lichtwellen angestellten Betrachtungen auch auf eine Funkstrecke angewendet werden. Insbesondere die Fresnel'sche Theorie hat dabei Auswirkungen auf die Planung der Funkstrecke. Bevor wir darauf eingehen, soll zuerst das Konzept der Elementarwellen erläutert werden.

3.3 Elementarwellen

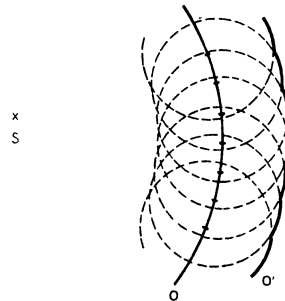


Abbildung 3.1: Wellenausbreitung von Quelle S

Christiaan Huygens (1629-1695), der Entdecker der Wellennatur des Lichtes, entwickelte die Vorstellung der Elementarwellen. Hiernach breiten sich Wellen im freien Raum kugelförmig um das Erregerzentrum aus. In jedem Raumpunkt, den die Welle durchsetzt, werden Schwingungen hervorgerufen, wodurch jeder dieser Punkte seinerseits als Ausgangspunkt einer neuen, sich kugelförmig um ihn herum ausbreitenden Elementarwelle aufgefaßt werden kann. In Abbildung 3.1 ist die Ausbreitung von der Quelle S zur Kugelfront O und die weitere Ausbreitung von O aus zur fortschreitenden Wellenfront O' zu sehen.

Im Raum hinter der Wellenfront interferieren die einzelnen Elementarwellen miteinander und löschen sich bei ungünstiger Phasenlage aus oder verstärken sich bei günstiger Phasenlage. Betrachtungen zu dieser Interferenz führen uns zu der Theorie von *Augustin Jean Fresnel*.

3.4 Freiheit der 1. Fresnelzone

Grundsätzlich wird für eine Funkstrecke eine Abwesenheit von Hindernissen (also Sichtkontakt) zwischen beiden Antennen gefordert. Da die Funkwellen eine gewisse Ausdehnung haben, ist zu klären, welcher Durchmesser das Sichtfenster mindestens haben muß.

A. J. Fresnel (1788-1827) hat zu seiner Zeit das Interferenzverhalten des Lichtes beim Auftreffen auf Hindernisse untersucht. Hierzu teilte er den Lichtstrahl (entsprechendes gilt für die Richtfunkkeule) in verschiedene Zonen ein.

In Abbildung 3.2 ist Fresnels Einteilung in Zonen zu sehen. Die innerste Zone befindet sich um die Achse S-E bis zum Punkt P_1 , die zweite Zone zwischen P_1 und P_2 , etc. Die Zonen sind so bemessen, daß der Wegunterschied bei einer Verbindung von S und E über den Zonenrand genau um

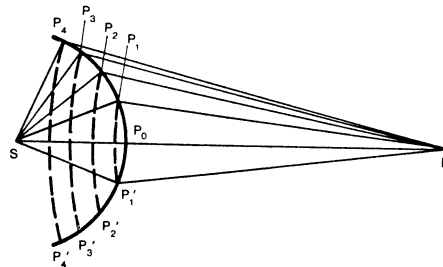


Abbildung 3.2: Beiträge zur Empfangsenergie in E

ein ganzzahliges Vielfaches einer halben Wellenlänge größer ist als die direkte Verbindung SP_0E . Es gilt also:

$$\begin{aligned} SP_1E &= SP_0E + 1\frac{\lambda}{2} \\ SP_2E &= SP_0E + 2\frac{\lambda}{2} \\ SP_3E &= SP_0E + 3\frac{\lambda}{2} \\ &\vdots \end{aligned}$$

Jede Elementarwelle bewirkt eine bestimmte Empfangsenergie e beim Empfänger. Bei zunehmender Ordnungszahl der Fresnelzonen nimmt die der Zone zugerechnete Empfangsenergie ab. In jeder Zone invertiert die Phasenlage, dies bedeutet, daß die erste, dritte, fünfte, ... Zone zur Verstärkung und die zweite, vierte, sechste, ... Zone zur Abschwächung des Empfangssignals führen. Optimal wäre es, wenn die Gegebenheiten der Strecke nur die erste Fresnelzone freiließen.

Die Überlagerung der Funkkeule des Senders und der durch den Empfangswinkel des Empfängers definierten Zone führt zum Fresnelellipsoid (Siehe Abbildungen 2.1 und 5.1) und damit zu dem benötigten Freiraum.

3.5 Frequenzbereich

Der verwendete Frequenzbereich liegt im Bereich von 2412 MHz bis 2472 MHz. Dieser Frequenzbereich ist durch die ETSI Regelungen festgelegt. Die Zuordnung von Frequenz zu Kanalidentifikation (*Channel ID*) ist in Anhang E in Tabelle E.2 auf Seite 62 nachzulesen. In der Tabelle ist auch zu sehen, daß nicht alle Länder über die gleiche Anzahl an Kanälen verfügen und die Geräte aus Japan nicht mit dem Rest der Welt kompatibel sind, da es keine gemeinsam genutzten Frequenzen gibt.

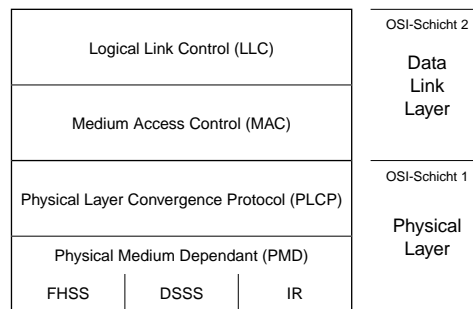


Abbildung 3.3: Die unteren zwei OSI Schichten bei IEEE 802.11

Dieser Frequenzbereich ist, bei der in dieser Arbeit betrachteten Strecke, besonders problematisch, denn in diesem Frequenzbereich ist die Energieabsorption durch Wasser besonders hoch. Blätter gehören zu den wasserhaltigsten Hindernissen, die auf einer Richtfunkstrecke vorkommen können.

3.6 Protokolle, Codierung und Normen

Hier soll nur der für diese Arbeit relevante Teil von IEEE 802.11 erläutert werden, für tiefergehende Erklärungen wird auf die Diplomarbeit von S. Eiffes [2] verwiesen.

IEEE 802.11 definiert den Standard zur drahtlosen Datenübermittlung. Es existieren drei abwärtskompatible Implementierungen: IEEE 802.11 mit Übertragungsraten von 2 Mbit/s [3], IEEE 802.11a mit Übertragungsraten bis 5 Mbit/s [4] und IEEE 802.11b (auch IEEE 802.11 High Rate (HR) genannt) mit Übertragungsraten bis 11 Mbit/s [5].

3.6.1 Coding

Die OSI Schicht 1 ist bei IEEE 802.11 in zwei Teile unterteilt (Siehe Abbildung 3.3). Im folgenden soll die unterste Schicht erläutert werden, da die unterschiedlichen Codierungen nicht untereinander kompatibel sind. Sie regelt das Übertragungsverfahren auf dem *Wireless Medium* (WM). Es gibt drei Arten von Übertragungen: *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) und *Infrarot* (IR). IR eignet sich nur für in-house Verwendungen und wird hier nicht weiter behandelt.

Die beiden Spreiztechniken (Spread Spectrum) haben gemeinsam, daß zur Erhöhung der Übertragungssicherheit die Übertragungsbandbreite höher ist, als die den höheren Schichten zur Verfügung gestellte Bandbreite. Schmalbandige Störeinflüsse können somit kompensiert werden.

3.6.1.1 FHSS

Frequency-Hopping spread spectrum minimiert den Einfluss von Störfaktoren durch ständige (pseudozufällige) Wechsel der verwendeten Frequenz in dem Frequenzband von 2 400–2 483,5 MHz. FHSS taucht in IEEE 802.11a und IEEE 802.11b nicht mehr auf [3], [4] und [5]. Dadurch ist die maximale Übertragungsgeschwindigkeit auf 2Mbit/s (mit IEEE 802.11) begrenzt, die Verlässlichkeit ist jedoch hoch.

3.6.1.2 DSSS

Direct sequence spread spectrum ist das bei IEEE 802.11b zur Verwendung kommende Verfahren. DSSS multipliziert die zu sendenden Datenbytes mit Fundamentalimpulsen, somit wird das Signal in der Bandbreite gespreizt. Beim Empfänger wird die Multiplikation ein zweites Mal durchgeführt, dadurch wird das Signal wieder zu seiner ursprünglichen Form gerafft. Etwaige Störungen durchlaufen die Multiplikation jetzt zum ersten Mal und werden somit gespreizt. Durch einen Tiefpass wird jetzt nur der geraffte (schmalbandige) Teil des Signals ausgefiltert.

3.7 Router

Die Funktionalität eines Router wird als bekannt vorausgesetzt. Es sei hier nocheinmal darauf hingewiesen, daß ein Router *Interconnection* durch den Wechsel des Ebene 2 Protokolls erlaubt. Dadurch wird es erst möglich, eine Funkstrecke transparent in ein bestehendes, kabelgebundenes, Ethernet LAN einzubinden.

Die beiden hier eingesetzten Router dienen nur dem zweimaligen Wechsel des Protokolls (Ethernet/10Base-T ↔ IEEE 802.11b/Funkstrecke ↔ Ethernet/10Base-T). Ansonsten wird nur Bridging der Ethernetframes angewandt. Dies ist aber lediglich so lange zulässig, wie sich nur ein Rechner in Gebäude 7 befindet. Die Zuordnung der IP-Adresse in Gebäude 7 zu dem Subnetz 53 in Gebäude 14 ist aufzulösen und ein eigenes Subnetz für Gebäude 7 einzurichten, sobald dort mehrere Rechner angeschlossen werden. Dazu ist in den Routern die Routing-Funktionalität einzuschalten.

Kapitel 4

Operationalisierung

In diesem Kapitel ist dargelegt welche Werkzeuge zur Erstellung dieser Arbeit verwendet wurden. Es sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, daß *Lucent* den Namen *WaveLAN* in *Orinoco* umgeändert hat (In Anhang G, Abbildung G.17 ist das Logo für die Übergangszeit zu sehen).

4.1 Hardware

4.1.1 Router



Abbildung 4.1: Lucent WaveACCESS Outdoor Router und Yagi Antenne

Es wurden zwei *WaveACCESS Office Router* (Siehe Abbildung 4.1) angeschafft. Mittlerweile werden diese von *Lucent* unter dem Namen *Orinoco Outdoor Router* vertrieben. Diese Router bieten zwei *PC Card* Einschübe, einen 10Base-2 und einen 10Base-T Netzwerkanschluß.

Diese Router können auch als *Access Point (AP)* betrieben werden. Hierzu ist lediglich eine andere Software von *Lucent* in den Flash Speicher zu schreiben. Es ist allerdings nicht möglich günstigere APs zu kaufen und

diese mit der *Outdoor Router* Funktionalität auszustatten, da diese einen *License Key* benötigt (Siehe Abschnitt E.3 auf Seite 63).

4.1.2 WaveLAN PC Karten



Abbildung 4.2: Lucent Orinoco 11Mbit Silver

Es kommen zwei *WaveLAN/IEEE Turbo 11 Mb Silver PC Cards* zum Einsatz (Siehe Abbildung 4.2). Diese Karten bieten eine 64 bit Verschlüsselung. Alternativ können die Modelle *Bronze* (ohne Verschlüsselung) oder *Gold* (mit 128 bit Verschlüsselung, zum Zeitpunkt der Arbeit waren diese Karten jedoch nicht in Deutschland erhältlich) eingesetzt werden. Die Karten können auch in dem *PC Card* Einschub eines Rechners mit geeigneten Treibern genutzt werden. Mittlerweile sind die Karten, wie die gesamte Produktreihe, von *Lucent* umbenannt worden; *WaveLAN* ist durch *Orinoco* ersetzt worden (Siehe Abbildung G.17 in Anhang G).

4.1.3 Antennen

Als Antennen dienen Yagi Richtfunkantennen der Firma *Lucent* (Siehe Abbildung 4.1). Sie werden an den Antennenanschluß der PC Karten angeschlossen. Alle anderen Antennen im Lieferprogramm von *Lucent* sind omnidirektional. Die Yagi Antennen haben einen Gewinn von 14 dBi.

4.1.4 Testrechner

Als Testrechner wird ein ausgesonderter Pentium der Netzwerkabteilung eingesetzt. Er wird ohne Monitor und Tastatur unter *RedHat Linux 6.2* betrieben und zur Durchsatzmessung genutzt. Die Administration erfolgt über das Netzwerk mittels einer *secure shell* (*ssh*).

4.1.5 Medienkonverter

Als LWL ↔ TP Medienkonverter werden zwei *Allied Telesyn AT-MC13* verwendet. Sie bieten einen 10Base-T Anschluss und einen duplex ST Lichtwellenleiter (LWL) Anschluss. Als LWL wird ein multi-mode (50/125 μm) Lichtwellenleiter eingesetzt.

4.2 Software

Sofern nicht anders erwähnt, wird Software auf dem Rechner *sushi* der *Unix AG der Universität Kaiserslautern* ausgeführt. *sushi* ist ein Dual-Pentium-Pro Rechner der unter Linux betrieben wird.

4.2.1 Multi Router Traffic Grapher

Der *Multi Router Traffic Grapher*[18] ist ein Programm, welches per SNMP die Schnittstellenauslastung von Routern abfragt und daraus WWW-Seiten generiert. Es wird per *cron* aufgerufen.

4.2.2 gnuplot

gnuplot wurde zur Erstellung aller Graphiken auf den generierten Logdateien benutzt. Es bietet sowohl eine interaktive Benutzerführung, wie auch das Ansteuern per Konfigurationsdateien. In Abschnitt 4.2.6 sind die benutzten Dateien erläutert.

4.2.3 netperf

netperf[16] ist ein Werkzeug von *HP* mit dem kommandozeilenbasiert Durchsatztests durchgeführt werden. Es sind hierzu zwei Rechner notwendig, ein Serverrechner auf dem das Programm *netserver* läuft und ein Clientrechner auf dem das Programm *netperf* gestartet wird [17]. Da das Programm über Kommandozeile angesprochen wird ist es einfach per *cron* aufrufbar.

4.2.4 ssh

ssh ist ein Programm, welches es erlaubt sich auf einem Rechner anzumelden und Programme auf diesem Rechner auszuführen. Es ersetzt *rlogin* und *rsh* und verschlüsselt die Verbindung zwischen zwei Rechnern. *X11*-Verbindungen, sowie jeder beliebige TCP/IP port können durch einen sicheren Kanal getunnelt werden. Mit *ssh* wird auch *scp*, zum Ersatz von *rcp*, ausgeliefert.

4.2.5 Eigene Shell Skripte

Alle shell skripte sind im Anhang B gesammelt, hier soll nur deren Funktionalität erläutert werden.

diplomarbeit Dieses Skript wird von `cron` alle 5 Minuten aufgerufen. Es dient als zentrale Sammelstelle für alle Skripte die in diesem Rhythmus aufgerufen werden sollen.

getsnr Dieses Skript liest per SNMP die SNR-Werte der Router aus. Es ist zwingend notwendig, auf einem Windows Rechner das *Lucent OR Manager* Programm im `link test` Modus laufen zu lassen, da sonst die SNMP Variablen, die die SNR Werte enthalten mit Null oder dem letzten ermittelten Wert beschrieben sind. Leider hat es *Lucent* nicht für nötig gehalten, das Ermitteln der SNR Werte zu dokumentieren.

linktest-holen-und-plotten Dieses Skript holt per `scp` die Logdatei der Durchsatzmessung von dem Testrechner, generiert daraus eine Grafik und stellt die Grafik in das WWW-Verzeichnis. Da der Test nur einmal pro Stunde gefahren wird, wird dieses Skript per `cron` aufgerufen, da das `diplomarbeit` Skript alle 5 Minuten läuft.

logsnr Dieses Skript ermittelt die SNR Werte und schreibt jeden in eine eigene Datei. Desweiteren kopiert es die Logdateien in ein CGI Verzeichnis, um einen Zugriff auf die Informationen über WWW zu ermöglichen (Erstellen von Graphiken über spezifizierte Zeiträume).

mrtg Dieses Skript ruft den *Multi Router Traffic Grapher*[18] mit der Konfigurationsdatei `mrtg.csf` (Siehe Anhang D) auf, um eine Webseite mit Statistiken über die Auslastung der Interfaces der Router zu generieren.

plotdata Dieses Skript generiert aus den Logdateien mittels `gnuplot` Graphiken und kopiert diese dann in ein, dem WWW-Server der *Unix-AG der Universität Kaiserslautern* zugängliches, Verzeichnis [19].

4.2.6 gnuplot Konfigurationsdateien

In Anhang C sind die Konfigurationsdateien, die zum erstellen der Graphiken mittels `gnuplot` dienen wiedergegeben. Hier soll nur deren Funktionalität erläutert werden.

plotdata.cfg Dient zur Erstellung der Graphiken, die per WWW einsehbar sind. Wird von `plotdata` benötigt.

plotlinktest.cfg Mit Hilfe dieser Datei wird die Graphik zum Durchsatztest (auch per WWW verfügbar) erstellt. Wird von `linktest-holen-und-plotten` benötigt.

plotdata-eps.cfg Hiermit wurde die Graphik 5.21 auf Seite 37 erstellt.

plotlinktest-eps-0.cfg Hiermit wurde die Graphik 5.22 auf Seite 38 erstellt.

plotlinktest-eps-1.cfg Hiermit wurde die Graphik 5.23 auf Seite 39 erstellt.

plotlinktest-eps-2.cfg Hiermit wurde die Graphik 5.24 auf Seite 40 erstellt.

4.2.7 mrtg Konfigurationsdatei

In Anhang D ist die Konfigurationsdatei, die von `mrtg` zur Erstellung der Auslastungsgraphiken benötigt wird, wiedergegeben. Sie wurde mit `cfg-maker`, ein mit `mrtg` ausgeliefertes Tool, erstellt. Die Kommandozeilenparameter, die bei der Erstellung genutzt wurden, sind in der Konfigurationsdatei in den ersten Zeilen wiedergegeben.

4.3 Visualisierung

Zur Visualisierung wird der WWW-Server der *Unix-AG der Universität Kaiserslautern* genutzt [19]. Auf der dieser Arbeit beiliegenden CD-ROM ist ein snapshot der Seiten zu finden.

Kapitel 5

Durchführung

Diese Arbeit soll, wie jede größere Arbeit am RHRK, in ihrer Durchführung folgende Schritte durchlaufen:

1. Wissensakquisition
2. Aufbau einer Installation
3. Test (Messungen an der Installation)
4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse
5. Vorschlag einer Standardlösung

5.1 Wissensakquisition

Wissensakquisition besteht im Betrieb generell aus folgenden Punkten:

- Literaturstudium
- Messebesuche, Firmenbesuche
- Vorträge von Anbietern und Anwendern
- Besichtigung von Referenzinstallationen

Da es sich bei den IEEE 802.11b Punkt-zu-Punkt (P-to-P) Lösungen um eine relativ neue Technik handelt, spielt das Internet eine nicht vernachlässigbare Rolle bei der Wissensakquisition. Insbesondere das Studium von Erfahrungsberichten und Diskussionsforen, jedoch auch der einfache Vergleich verschiedener Herstellerlösungen ist eine wertvolle Ergänzung und Erweiterung zu dem Kontakt mit dem Vertrieb unterschiedlicher Firmen und anderer Benutzer.

5.1.1 Literaturstudium

Als Ausgangspunkt aller Recherchen dient der Report *Drahtlose Netze* in der *c't* 6/1999 [25]. Zum Zeitpunkt des Erscheinens war der IEEE 802.11b noch nicht verabschiedet, so daß zu den 11Mbit/s Lösungen kein neutraler Bericht zur Verfügung stand. Die Dokumentationen aller Hersteller sind natürlich von den eigenen Lösungen geprägt.

Es blieb deshalb nichts anderes übrig, als durch umfangreiche Recherchen in Newsgruppen und WWW-Seiten, also sich durch Einholen vieler verschiedener Meinungen ein eigenes Bild zu machen. Es blieben viele Fragen offen, die nur durch den Einsatz einer Testinstallation geklärt werden konnten. Diese Methode ist am *RHRK* seit langem üblich (siehe oben).

5.1.2 Messebesuche

Zu dem Bearbeitungszeitpunkt der Diplomarbeit fand keine relevante Messe statt, jedoch wurden ganz allgemein bei einem Besuch der *Expo Net* in einem früheren Praxissemester bereits Eindrücke über die in Deutschland verfügbaren Funk-LAN Lösungen gesammelt.

5.1.3 Gespräch mit Saarbrücken

Die Universität Saarbrücken hatte einige Wohnheime mit P-to-P Verbindungen angebunden. Die Lösung brachte jedoch so viele Probleme mit sich, daß die Funkstrecken mittlerweile durch Kabelstrecken ersetzt worden sind. Das Plädoyer des zuständigen Mitarbeiters geht dort in Richtung ADSL.

5.1.4 Referenzinstallation an der Universität Mainz

Die Besichtigung von Funkstrecken an der Universität Mainz, die freundlicherweise mit der Unterstützung des dortigen Rechenzentrums durchgeführt werden konnte, erbrachte folgende Erfahrungen:

- Hier laufen mehrere Funkstrecken völlig problemlos.
- Antennen werden mit Halterungen für TV-Satellitenschüsseln aus dem örtlichen Baumarkt an einer Gebäudewand angebracht.
- Wanddurchbrüche sollten von innen nach außen abfallend gebohrt werden, um ein Eindringen von Wasser zu vermeiden.
- Elektronik und Antenne sollten mit möglichst kurzen Kabeln verbunden werden ($< 15m$)
- Die Verbindung zwischen Antenne und Elektronik sollte mit hochwertigen Heliak-Kabeln realisiert werden.

- Heliak-Kabel sind am wirtschaftlichsten selbst zu konfektionieren.
- Die Stationen benutzen eine verschlüsselte Verbindung, welche über einen ASCII-String an den Stationen eingestellt wird.
- Die Elektronik ist in abgeschlossenen Schränken unterzubringen, um Manipulationen zu unterbinden.
- Antennen können mit Hilfe eines Feldstechers ausgerichtet werden, da sie relativ breite Sendekulen haben.
- Lieferant der Komponenten bei der Universität Mainz ist die Firma *CompuLAN*

5.1.5 In Frage kommende Hersteller

Es steht außer Frage, eine herstellerspezifische Lösung zu wählen, insbesondere da der IEEE 802.11b Standard erst kürzlich verabschiedet worden ist und die meisten der Funk-LAN-Anbieter sich auch zur Unterstützung dieses Standards entschieden haben. Aus diesem Grund sind folgende Hersteller in die nähere Auswahl gekommen:

- Lucent Technologies
- Aironet
- RadioLAN

5.1.6 Einholen von Angeboten

Es wurden bei zugelassenen Distributoren Angebote für Lösungen aller oben genannten Hersteller angefordert. Die Firma *CompuLAN* hat zusätzlich noch ein Angebot des Herstellers *BreezeNet* erstellt. Die Produkte von *BreezeNet* waren zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht für den Betrieb in Deutschland zugelassen.

Randbedingungen und Anforderungen waren:

- IEEE 802.11 Kompatibilität auf Funkseite
- Transparent für den IEEE 802.3 Ethernet 10Base-T Anschluß
- Point-To-Point Verbindung
- 11MBit/s Datendurchsatz
- Strecke < 1km

Der letzte Punkt ist bei der Wahl der Antennen wichtig. Einige Hersteller bieten unterschiedliche Richtfunkantennen in Abhängigkeit von der zu überbrückenden Distanz an. Auch muß der Rest der Installation auf den Gewinn der Antenne abgestimmt sein. Einerseits kann es dazu führen, daß die Leistung zu gering ist, die Reichweite entspricht dann nicht den erreichbaren Werten. Andererseits kann bei fehlender Abstimmung auch die Sendeleistung die Grenzen der Zertifizierung der Anlage überschreiten. Ist dies der Fall, verfällt das Zertifikat der Anlage, und sie darf nicht betrieben werden. Rundstrahler scheiden für eine Punkt-zu-Punkt Verbindung aus.

5.1.7 Auswerten der Angebote

Die eingegangenen Angebote werden in diesem Abschnitt gegenübergestellt:

Händler	Hersteller	Produkt	802.11	Preis
CompuLAN	RadioLAN	RL-CL347	nein	8 504 DM
CompuLAN	Lucent	LU-WA-ROR-KIT	ja	7 386 DM
CompuLAN	BreezeNET	DS11	ja	8 427 DM
RDN	Lucent	WaveLAN PTP Kit	ja	9 173 DM
K&K	aironet/ARtem	BR 4811-E/P-2km	ja	11 142 DM

Alle Preise sind Nettopreise für **zwei** Stationen mit Antenne.

Aufgrund der positiven Erfahrungen der Universität Mainz mit der Firma CompuLAN und der Modularität der Lösung von *Lucent* bot sich an, das *LU-WA-ROR-KIT*, das zudem das preisgünstigste Angebot darstellt, zu beschaffen.

5.1.8 Auswahl des Antennenstandortes für Gebäude 14

In Absprache mit der *Zentralen Betriebstechnik der Universität Kaiserslautern* (ZBT) und dem *Fachbereich Hochfrequenztechnik* (FB HFT) ist der Antennenstandort ausgewählt worden. Die Antenne ist an der Außenwand des Aufbaus an Gebäude 14 neben der Tür angebracht (Siehe Abbildung G.5 in Anhang G). Dieser Standort bietet sowohl einen Wetterschutz durch den Aufbau (Siehe Abbildung G.6), als auch kurze Kabelwege nach innen durch die Nutzung eines vorhandenen Mauerdurchbruchs (Siehe Abbildung G.7).

5.1.9 Auswahl des Antennenstandortes für Gebäude 7

In Absprache mit dem Nutzer und dem Architekten des "Sommerhauses" war die Antenne auf dem Dach anzubringen. Die Westwand schied aus esthetischen Gründen aus. Weiterhin bietet das Dach Schutz vor Vandalismus. (Siehe Abbildungen G.10, G.11 und G.12 in Anhang G). Der Router wird in der Garage angebracht.

5.1.10 Kabellegung in Gebäude 7

Da der Arbeitsraum sich am anderen Endes des Gebäudes befindet ist es notwendig die Garage mit dem Arbeitsraum über ein TwistedPair Kabel zu verbinden. Das Netzwirkabel, welches vom Router ausgeht, ist in einem geerdeten Stahlpanzerrohr in einem Kabelkanal an der Außenwand des Hauses zum Arbeitsraum geführt. Das geerdete Stahlrohr ist zwingend notwendig, da der Kabelkanal zusätzlich von einer 220V Verkabelung genutzt wird.

5.1.11 Ermitteln der zu überbrückenden Distanz

Mit Hilfe des Bereichs Vermessung (Fachbereich ARUBI der Universität Kaiserslautern) ist die Distanz zwischen Gebäude 14 und Gebäude 7 ermittelt worden. Dazu diente ein Vermessungsgerät, wie es aus dem Straßenbau bekannt ist. Die Strecke zwischen den Gebäuden beträgt 104 m.

5.1.12 Ermitteln der ersten Fresnelzone

Die hier betrachtete Strecke führt durch die Blätter einiger Bäume (siehe Photos im Anhang G). Es ist daher anzunehmen, daß nur die Freiheit der 1. Fresnelzone erreicht werden kann.

Die kleine Halbachse des 1. Fresnel-Ellipsoids b ist abhängig von der Distanz d zwischen Sender und Empfänger und der Wellenlänge λ . Es ist bekannt

$$f(\text{Hz}) \cdot \lambda(\text{m}) = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5.1)$$

$$\lambda(\text{m}) = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{f(\text{Hz})} \quad (5.2)$$

$$f = 2,4 \text{ GHz}$$

$$d = 104 \text{ m}$$

$$b(\text{m}) = \frac{1}{2} \sqrt{d(\text{m}) \cdot \lambda(\text{m})}$$

$$b(\text{m}) = \frac{1}{2} \sqrt{d(\text{m}) \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{f(\text{Hz})}}$$

$$b(\text{m}) = \frac{1}{2} \sqrt{104\text{m} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,4 \cdot 10^9 \text{Hz}}}$$

$$b(\text{m}) = 1,8\text{m}$$

Da die Fresnelzonen Kreise auf einer zur Funkstrahlausbreitung senkrechten Fläche darstellen (siehe Abbildung 5.2) und sich die Bäume auf

etwa halber Strecke befinden, ergibt sich daraus, daß theoretisch eine Öffnung von 1,8 m in der Blätterfront (siehe Abbildung G.9 im Anhang G ab Seite 67) notwendig ist.

Bei augenscheinlicher Abschätzung scheint der Freiraum, den die Bäume bieten gerade ausreichend zu sein. Sollte er sich als zu gering erweisen, so sind einige Äste zu stutzen. Bäume müssen auf keinen Fall gefällt werden, da die Funkstrecke in etwa dem Verlauf des Fußweges zwischen Gebäude 14 und Gebäude 7 folgt (Siehe Abbildung G.9 und Abbildung G.16 in Anhang G) und dieser mindestens 1,8 m breit ist.

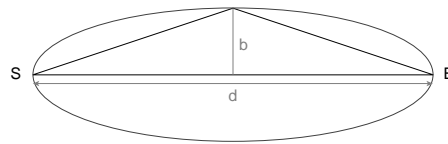


Abbildung 5.1: Erstes Fresnel-Ellipsoid zwischen Sender (S) und Empfänger (E)

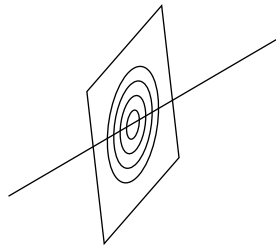


Abbildung 5.2: Die Fresnel Zonen als Kreise auf einer zur Funkstrahlausbreitungsrichtung senkrechten Fläche

5.2 Aufbau einer Installation

5.2.1 Anfertigung der Halterungen

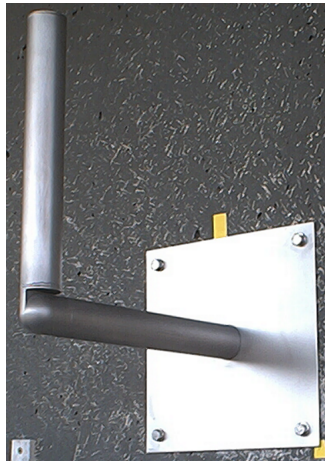


Abbildung 5.3: Der Antennenhalter an Gebäude 14

Halterungen für die Antennen wurden in der Metallwerkstatt der Universität in Auftrag gegeben. Die Halterungen bestehen aus einer 25×25 cm Platte auf der ein Metallrohr befestigt ist. Die obere Hälfte des Metallrohrs kann durch ein Gelenk in ihre Neigung angepaßt werden. Die Halterung ist dadurch sowohl horizontal, als auch vertikal einsetzbar. In Abbildung 5.3 ist die Halterung an Gebäude 14 zu sehen.

5.2.2 Netzwerkanschluss im 6. OG von Gebäude 14

Da der Raum, der den Router beherbergen soll, nicht mit einer Netzwerkanschlusung ausgestattet war, wurde ein Lichtwellenleiter zum Datenschränk im 4. OG gelegt. An beiden Enden des LWL ist jeweils ein LWL-TP Medienkonverter angebracht. Im Anhang G ist in Abbildung G.8 ein solcher Medienkonverter an dem Router zu sehen.

Der Raum, der den Router beherbergt, wird von dem Fachbereich Hochfrequenztechnik bei Messungen auf der Meßplattform (Siehe Abbildung G.6 in Anhang G) als Rechnerraum genutzt. Im Rahmen der guten Beziehungen innerhalb der Universität wurde bei der Verlegung des LWL zusätzlich ein TwistedPair Kabel für den Steuerrechner gelegt.

5.2.3 Blitzschutz an Gebäude 14

In Absprache mit der ZBT wurde beschlossen, die Antennenhalterung mit dem vorhandenen Blitzschutz zu koppeln. Im Fall eines Blitzschlags soll

ein aufgebautes Potential ungehindert durch den Blitzschutz abfließen können.

Durch den LWL ist auf jeden Fall sichergestellt, daß sich kein elektrischer Einfluß der Testinstallation über die aktive Komponente zum Netzwerk im 4. OG des Gebäudes 14 ausbreiten kann. Die Kosten für zwei Medienkonverter und LWL sind, im Vergleich zu einem 24-Port FastEthernet *Fore 2810* Switch und 22 angeschlossenen Datensteckdosen mit jeweils einem Rechner oder mehreren Rechnern, vernachlässigbar.

5.2.4 Anbringen der Antenne an Gebäude 14

Die Antenne ist mit einem von der Metallwerkstatt der Universität Kaiserslautern gefertigten Träger an der Außenwand des Gebäudes unterhalb der Meßplattform für Hochfrequenztechnik angebracht worden. Da das Bohren von Löchern in einer tragenden Wand nur der ZBT gestattet ist, hat diese die Arbeiten durchgeführt.

5.2.5 Blitzschutz an Gebäude 7

Zum Blitzschutz ist ein Blitzfangstab in der Nähe der Antenne auf dem Dach angebracht. Die Antenne befindet sich in der 45° Schutzzone des Fangstabs. Bei nur einem angeschlossenen Rechner ist hier der Einsatz von LWL und Medienkonvertern, im Gegensatz zu Gebäude 14, nicht zu rechtfertigen. Eine Schutzmaßnahme sollte sich preislich nicht in der gleichen Größenordnung bewegen, wie das zu schützende Objekt.

5.2.6 Anbringen der Antenne an Gebäude 7

Die Antenne ist mittels eines Betonsockels auf dem Dach des Gebäudes aufgestellt. Da es nicht sinnvoll ist, die Abdichtung durch geteerte Plane mit Bohrlöchern zu beschädigen, mußte sowohl für die Standfestigkeit der Antenne, als auch den Schutz der geteerten Plane gesorgt werden. Auf das Dach wurde zum Schutz eine 1 m × 1 m Edelstahlplatte gelegt. Darauf eine Styroporplatte, dann wieder eine Stahlplatte. Über die Antennenhalterung wurde ein handelsüblicher Schirmständer aus dem Baumark gestülpt. Der Schirmständer an sich ist mit vier 50 cm × 50 cm Gehwegplatten beschwert (Siehe Abbildung G.13 und G.14 in Anhang G).

5.2.7 Kabelführung Gebäude 7

Am 29.08.2000 ist die letzte Verkabelungsmaßnahme abgeschlossen worden. An Gebäude 7 ist ein Kabelkanal an der Außenwand befestigt worden, um von dem Router zum Arbeitszimmer zu gelangen. Knapp 50m Kabel ist direkt von der Rolle in das Stahlpanzerrohr eingezogen worden und danach mit Steckern versehen worden.

5.2.8 Ausrichten der Antennen

Unter Verwendung eines Laserpointers an jeder Antenne, sind die Antennen bei Dunkelheit ausgerichtet worden. Hierzu sind eine zweite Person an der Gegenstelle und Kommunikationsmittel erforderlich.

5.3 Konfiguration der Router

Die Konfiguration der Router ist mittels des *Lucent OR Manager* und eines gekreuzten Ethernetkabels vor Ort vorgenommen worden. Es wäre auch möglich gewesen, die Einstellungen per SNMP vorzunehmen. Allerdings beschränkt sich die Dokumentation von *Lucent* zu den SNMP Variablen, die der Router kennt, auf die Auslieferung einer MIB. Bei der Konfiguration ist es sinnvoller, ein Werkzeug zu nutzen, welches alle Einstellungen gebündelt präsentiert.

5.3.1 Gebäude 14

5.3.1.1 General Setup

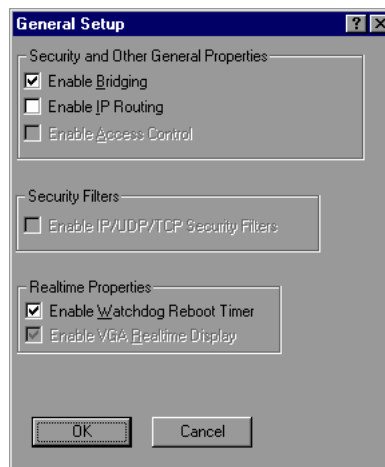


Abbildung 5.4: General Setup

Die Geräte erlauben sowohl Bridging als auch Routing.

In dem hier behandelten Fall wurde kein zusätzliches Subnetz eingerichtet. Der Rechner in Gebäude 7 wird dem Subnetz 131.246.53.0/24 (Gebäude 14, 4. OG) zugerechnet. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, daß die Router transparent aus diesem Netz zu Gebäude 7 als Bridge arbeiten (Siehe Abbildung 5.4).

Der Router wird so eingestellt, daß er sich selbst neu starten kann, falls er keine Zustandsänderung mehr erfährt. Im Normalbetrieb wird in regelmäßigen Abständen ein Zähler inkrementiert. Bleibt dies für eine gewisse Zeit aus, so wird angenommen daß der Router 'hängt' und er wird neu gestartet. Dies geschieht durch ein von der Routersoftware unabhängiges Modul welches *Watchdog* genannt wird.

5.3.1.2 Interface Setup

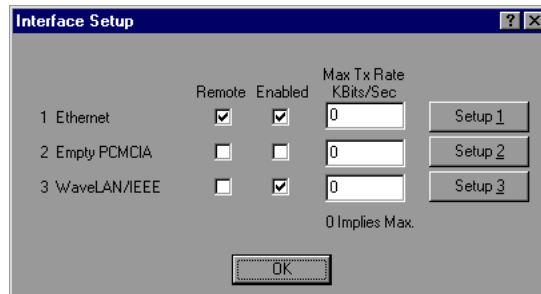


Abbildung 5.5: Interface Setup

Im *Interface Setup* Dialog (Abbildung 5.5) werden die Schnittstellen des Routers an- und abgeschaltet. Hier wurde das Ethernet Interface als Außenverbindung (remote) bezeichnet und die Karte im PCMCIA Slot 3 aktiviert.

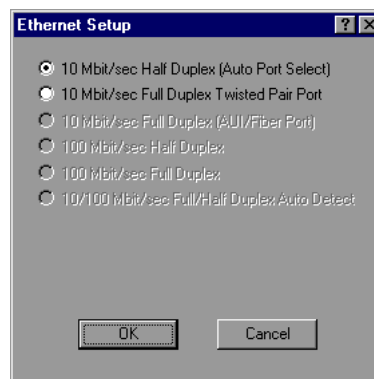


Abbildung 5.6: Konfiguration des Ethernet Interface

Das Ethernet Interface (Abbildung 5.6) wird auf Auto Port Select eingestellt. Full-duplex Betrieb ist nur möglich, falls der Medienkonverter auch im full-duplex-Modus läuft, was wiederum davon abhängig ist, daß der zweite Medienkonverter auch so eingestellt ist[20]. Dazu muß der Port am Switch (siehe Tabelle E.4 fest auf full-duplex Betrieb eingestellt werden. Da diese Ansammlung von voneinander abhängigen Bedingungen sehr fehleranfällig ist und im Anbetracht der zu erwartenden Durchsatzleistung, wird eine 10 Mbit Halbduplexverbindung gewählt.

Die IEEE 802.11b Schnittstelle (Abbildung 5.7) wird als Master für den P-to-P-Betrieb eingestellt. Es ist im P-to-P Betrieb zwingend notwendig einen

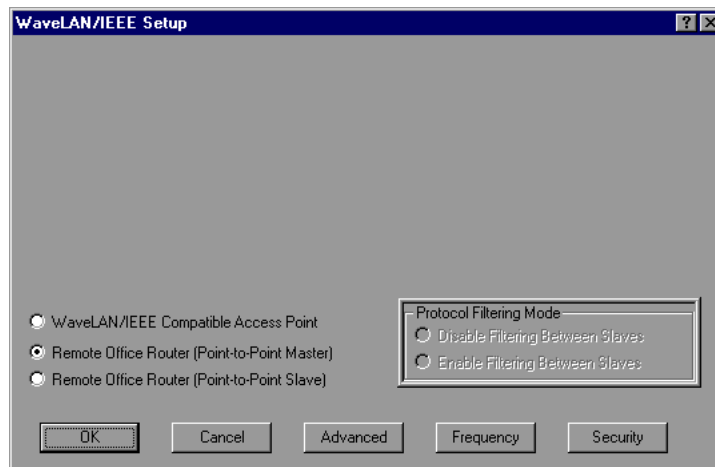


Abbildung 5.7: Konfiguration des IEEE 802.11b Interface in Gebäude 14

Master und einen Slave zu haben. Die Wahl des Routers in Gebäude 14 als Master ist willkürlich.

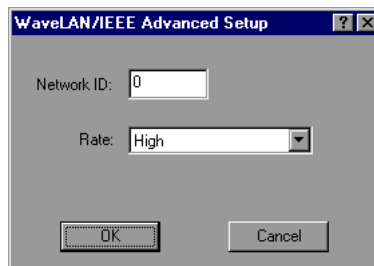


Abbildung 5.8: Advanced Setup

Im *Advanced Setup* (Abbildung 5.8) wird die Übertragungsrate auf 11Mbit/s (high) gestellt. Bisher erlauben die Router im P-to-P Betrieb es nicht, die Geschwindigkeit bei Übertragungsproblemen zu drosseln. Die *Network ID* muß an beiden Router identisch sein. Sie dient dazu, verschiedene Netze auseinander zu halten, etwa im Bürobetrieb mit mehreren APs.

Die Frequenz wird auf den Voreinstellungen belassen (Abbildung 5.9). Sollte es zu Interferenzen mit anderen Geräten im 2,4 GHz Band (etwa DECT Telefonen oder BlueTooth Geräten) kommen, so ist eine andere Frequenz zu wählen.

Um die Exklusivität der Datennutzung über die Funkstrecke hinweg zu garantieren, wird die Verschlüsselung der Funkverbindung aktiviert. Außerhalb der USA wird nur eine Schlüssellänge von 64-bit angeboten. Diese Verschlüsselung soll äquivalent zur Abhörsicherheit einer Kabelstrecke

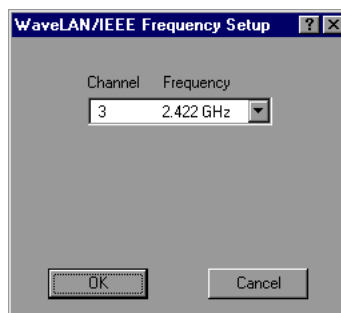


Abbildung 5.9: Konfiguration der Frequenz

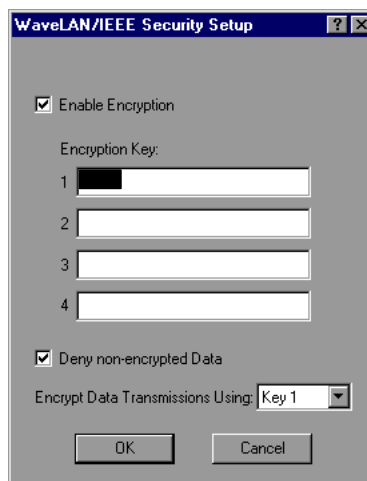


Abbildung 5.10: Sicherheitseinstellungen des Routers in Gebäude 14

sein und heißt dementsprechend *Wired Equivalency Privacy* (WEP).

Nicht verschlüsselte Daten werden von den Routern nicht angenommen (Abbildung 5.10).

5.3.1.3 Bridge Setup

Da die Router als transparente Bridges arbeiten sollen, wird keine Einschränkung bezüglich der Protokolle und der Adressen vorgenommen (Abbildung 5.11).

Die *Advanced features bridge setup* Einstellungen werden in der Dokumentation von *Lucent* nicht erwähnt. Folglich sind diese Einstellungen unverändert übernommen worden (Abbildung 5.12).

Die *Storm Thresholds* dienen zur Begrenzung der Anzahl an Broadcast und Multicast Paketen, die von einem Port pro Sekunde weitergeleitet wer-

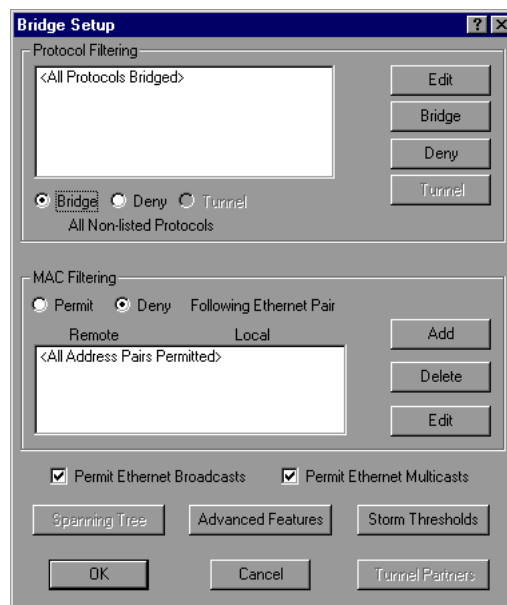


Abbildung 5.11: Einstellungen für die bridge Funktionalität

den. Damit wird sichergestellt, daß sie sich nicht über den Router hinweg ausbreiten können. Es werden die Standardwerte übernommen.

5.3.1.4 IP Setup

Im *RHRK-LAN* wird aus hier nicht näher darzulegenden Gründen kein DHCP genutzt, demzufolge werden für beide Router Adressen im DNS eingetragen (Abbildung 5.14).

DNS Name	outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de
IP Adresse	131.246.53.3
Netzmaske	255.255.255.0
Default Router	131.246.53.254

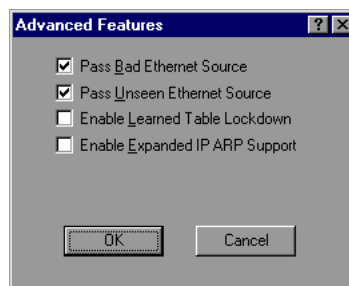


Abbildung 5.12: Advanced features bridge setup

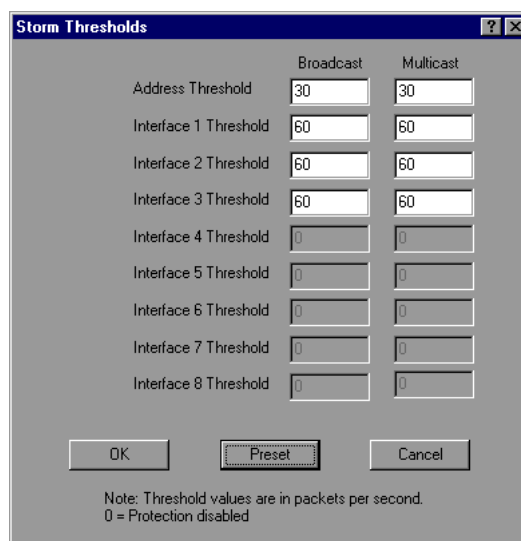


Abbildung 5.13: Storm Thresholds

5.3.1.5 SNMP Setup

Da SNMP Zugriffe an der Grenze des *RHRK-LAN* gefiltert werden ist der Lesezugriff mit dem Standardpasswort versehen. Für den Schreibzugriff ist das Standardpasswort für SNMP vom RHRK gesetzt. Als Kontaktperson ist der Abteilungsleiter der Abteilung Netze und Kommunikation eingetragen. Als Name ist "Outdoor Router 14" eingetragen. Der Standort wurde eingetragen. Es werden keine SNMP Traps weitergeleitet. Es gibt keine Beschränkung der möglichen SNMP-Zugriffe auf bestimmte Rechner (Siehe Abbildung 5.15).

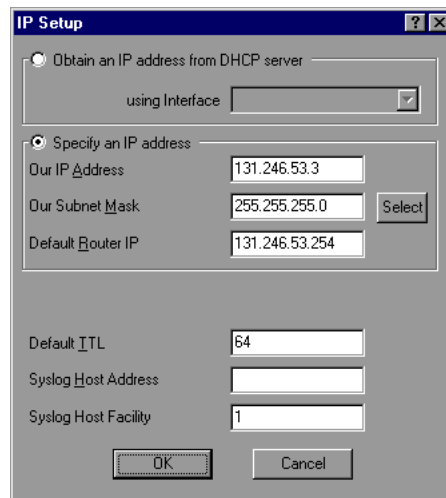


Abbildung 5.14: IP-Daten des Routers 14

5.3.1.6 System Access Pass Phrase

Als zusätzliche Sicherheit wird ein Passwort gesetzt, das alle Stationen kennen müssen, die auf das Wireless Medium (WM) zugreifen wollen (Abbildung 5.16). Für alle anderen Stationen bleibt das WM unsichtbar.

5.3.2 Gebäude 7

Es soll hier nur auf die Einstellungen eingegangen werden, die sich von denen des Routers in Gebäude 14 unterscheiden.

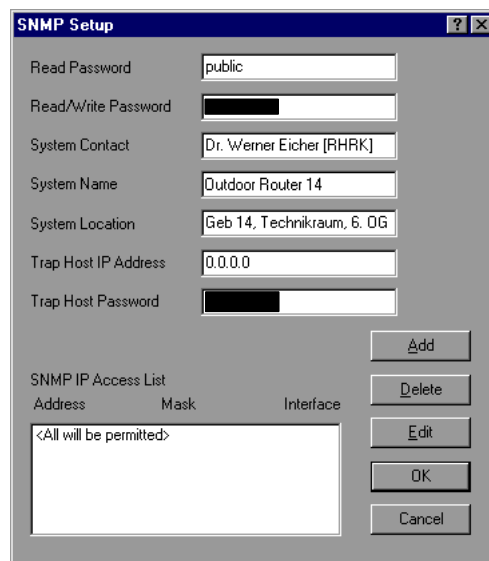
5.3.2.1 Interface Setup

Da der Router in Gebäude 14 als Master eingestellt wird, ist es zwingend notwendig, den Router in Gebäude 7 als Slave einzustellen (Abbildung 5.17).

5.3.2.2 IP Setup

Der Router in Gebäude 7 hat genau wie der in Gebäude 14 einen DNS Eintrag. Er ist mit folgenden Werten konfiguriert (Abbildung 5.18).

DNS Name	outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de
IP Adresse	131.246.53.4
Netzmaske	255.255.255.0
Default Router	131.246.53.254

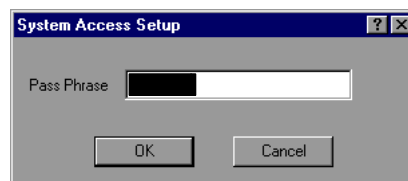


The image shows a 'SNMP Setup' dialog box with the following fields and values:

- Read Password: public
- Read/Write Password: [Redacted]
- System Contact: Dr. Werner Eicher [RHRK]
- System Name: Outdoor Router 14
- System Location: Geb 14, Technikraum, 6. OG
- Trap Host IP Address: 0.0.0.0
- Trap Host Password: [Redacted]

Below the fields is an 'SNMP IP Access List' table with columns for Address, Mask, and Interface. The table contains one entry: '<All will be permitted>'. To the right of the table are buttons for Add, Delete, Edit, OK, and Cancel.

Abbildung 5.15: SNMP Daten des Routers 14



The image shows a 'System Access Setup' dialog box with a single field for 'Pass Phrase' which is redacted. Below the field are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Abbildung 5.16: System Access Passwort

5.3.2.3 SNMP Setup

Auch die SNMP Daten des Routers in Gebäude 7 sind identisch zu denen des Routers in Gebäude 14, lediglich der Name und der Standort sind den örtlichen Gegebenheiten angepasst (Siehe Abbildung 5.19).

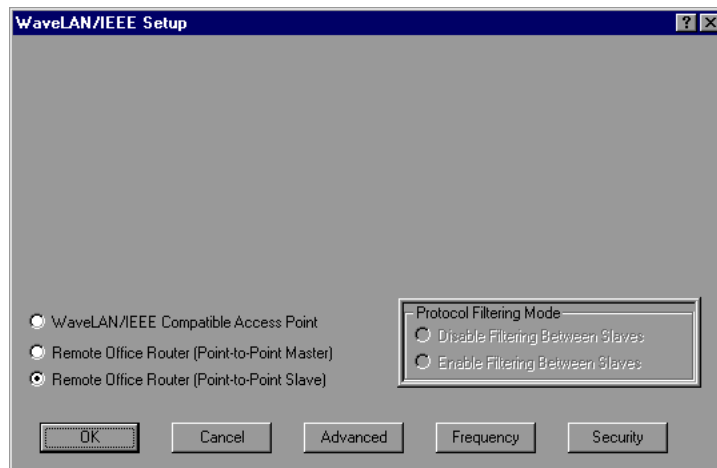


Abbildung 5.17: Konfiguration des IEEE 802.11b Interface in Gebäude 7

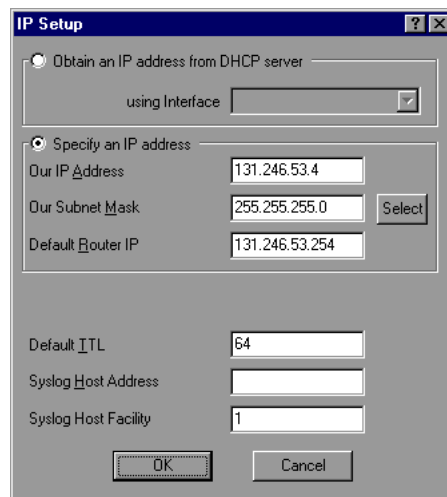


Abbildung 5.18: IP-Daten des Routers 7

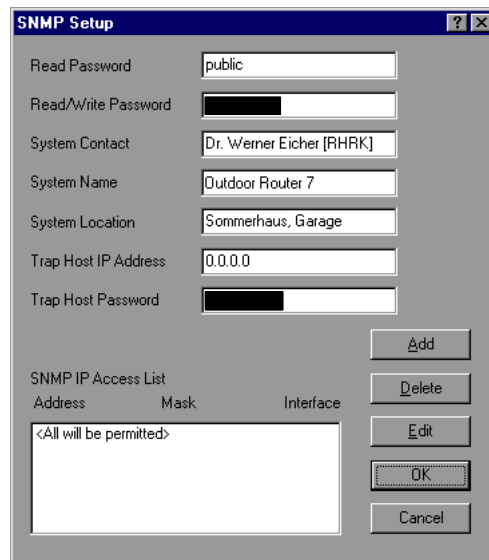


Abbildung 5.19: SNMP Daten des Routers 7

5.4 Tests

Hier soll beschrieben werden wie die Tests der Funkstrecke durchgeführt worden sind. Bevor ein Rechner in Gebäude 7 zur Verfügung stand wurde die Qualität der Strecke anhand der SNR Werte ermittelt. Am Anfang mit dem *Lucent OR Manager* unter *Windows*, dann unter *UNIX* mit den in Abschnitt 4.2.5 ab Seite 15 beschriebenen Skripten. Nachdem ein Testrechner zur Verfügung stand, sind Durchsatzwerte ermittelt worden. Diese sind wesentlich aussagekräftiger.

5.4.1 Erste Inbetriebnahme der Funkstrecke

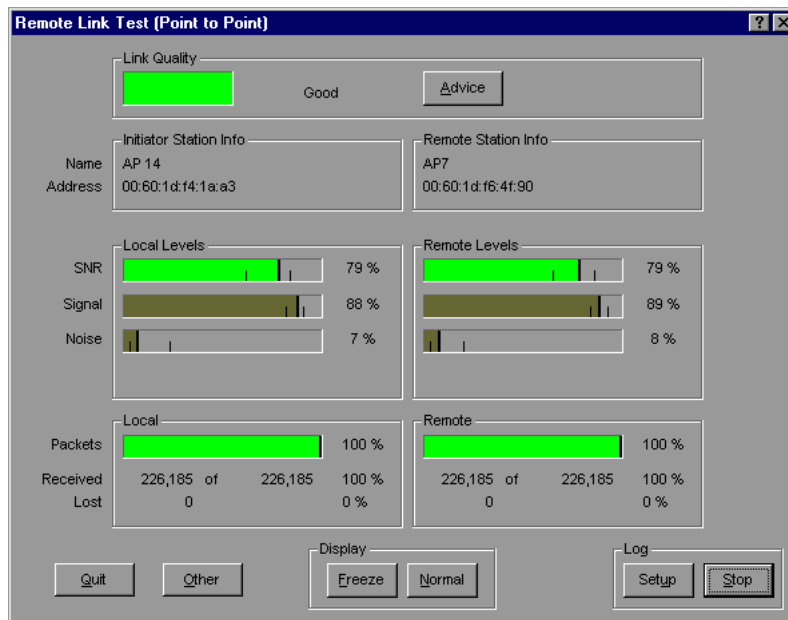


Abbildung 5.20: Erster Verbindungstest in der Nacht vom 09. August zum 10. August

In Abbildung 5.20 ist das Resultat der Tests der ersten Nacht zu sehen. Es wurde nur der SNR Wert an der Funkstrecke ermittelt. Die kleinen Markierungen an den Balken zeigen die Minima und Maxima. In einer Logdatei (Siehe Anhang F) kann man ablesen, daß in dem Zeitraum vom 09.08.2000 20:52 bis zum 10.08.2000 12:35 der lokale SNR sich im Bereich von 62% bis 84% und der entfernte SNR sich im Bereich von 65% bis 86% bewegte. Allerdings ist weder in der graphischen Oberfläche, noch in der Logdatei ersichtlich wie lange der Wert sich auf welchem Niveau befunden hat.

Da diese Ermittlung von Meßwerten unbefriedigend ist, wurde das Windows Utility von *Lucent* durch mehrere Shell Skripte ersetzt (Siehe Abschnitt 4.2.5). Die Router lassen sich problemlos per SNMP ansprechen. Dies ermöglicht das einfache Erstellen von Graphiken sowohl für diese Arbeit als auch für die Überwachung der Werte via WWW [19].

5.4.2 Testaufbau

Ein PC mit *RedHat Linux 6.2* ist im Arbeitsraum angeschlossen. Auf dem Rechner `sushi.unix-ag.uni-kl.de` läuft `netserver`, um dem Testrechner eine Gegenstelle bei den stündlichen Durchsatztests zu bieten. Die Resultate der Durchsatztests werden lokal in einer Logdatei gespeichert.

Weiterhin werden alle 5 Minuten die SNR-Werte per SNMP von `sushi` aus den beiden Router ausgelesen und in Logdateien geschrieben. Zusätzlich kopiert dieser Rechner mittels `scp` einmal pro Stunde die Logdatei der Durchsatzmessung vom Testrechner.

Der Rechner `sushi.unix-ag.uni-kl.de` befindet sich zwar netztechnisch gesehen nicht in der unmittelbaren Umgebung der Teststrecke, jedoch ist durch Aufstellen des Testrechners diesseits der Funkstrecke ermittelt worden, daß zwischen Gebäude 34 (Standort der Unix-AG) und Gebäude 14 auch bei belastetem *RHRK-LAN* nie weniger als 29Mbit/s zur Verfügung stehen. Somit ist ausgeschlossen, daß die Testresultate durch das *RHRK-LAN* beeinflusst werden.

5.4.3 Entwicklung des SNR

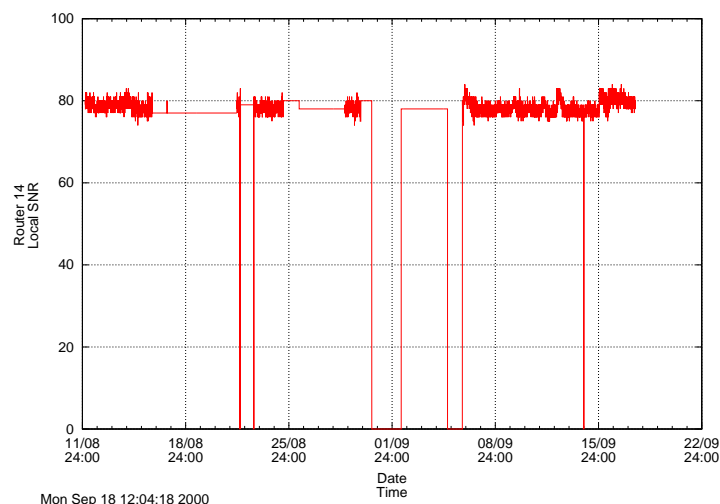


Abbildung 5.21: Entwicklung des SNR

In Abbildung 5.21 ist die Entwicklung des SNR zu sehen. Wenn die Werte Null oder über einen längeren Zeitraum unverändert sind liegt es daran, daß zum Zeitpunkt der Abfrage das Windows Utility nicht lief (Siehe Abschnitt 4.2.5).

Als genereller Trend ist erkennbar, daß die Leitungsqualität generell mit einem SNR um 80%, sehr gut ist. Das Wetter beeinflusst die Leitungsqualität nicht nennenswert.

5.4.4 Entwicklung der Durchsatzrate

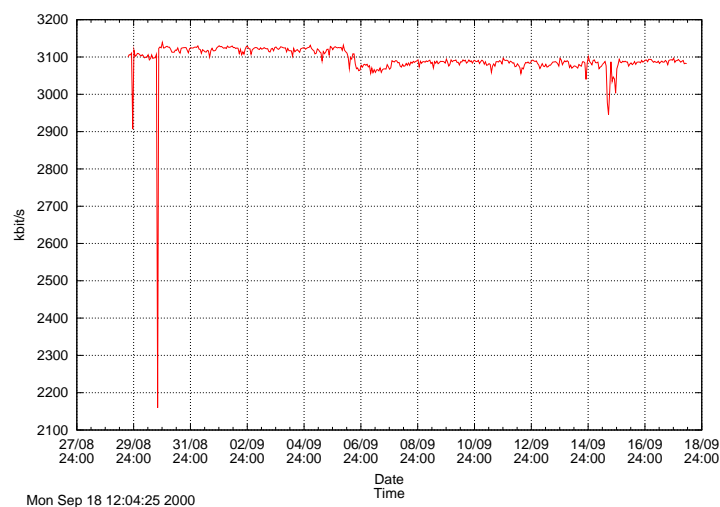


Abbildung 5.22: Entwicklung der Durchsatzrate

In Abbildung 5.22 ist die Entwicklung der Durchsatzrate zu sehen. Die zwei Ausreißer sind an Zeitpunkten angesiedelt, an denen die Funkstrecke parallel zu anderen Zwecken genutzt worden ist.

Trendmäßig ist eine leichte Verschlechterung ab der Nacht vom 5. auf den 6. September zu sehen. Diese Verschlechterung korreliert mit einem Wetterumschwung von heiß und trocken auf teilweise verregnetes Wetter.

Nach dem Löschen beider Ausreißer wurden folgende beiden Kommandos am 13.09.2000 ausgeführt.

```
$> cut -d ' ' -f 15 linktest.log | sort | uniq | head -1
3055.78
$> cut -d ' ' -f 15 linktest.log | sort | uniq | tail -1
3139.20
```

Hiermit soll klar gemacht werden, daß alle Meßwerte in einem sehr engen Fenster liegen.

5.4.5 Benutzeranschluss

Am 13. September ist in Gebäude 7 ein Hub installiert worden, um den parallelen Betrieb des Testrechners und des Arbeitsrechners des Betreibers vom Restaurant "Sommerhaus" aus zu ermöglichen.

5.4.6 Untersuchung des Einflusses verschiedener Parameter

5.4.6.1 Storm Thresholds

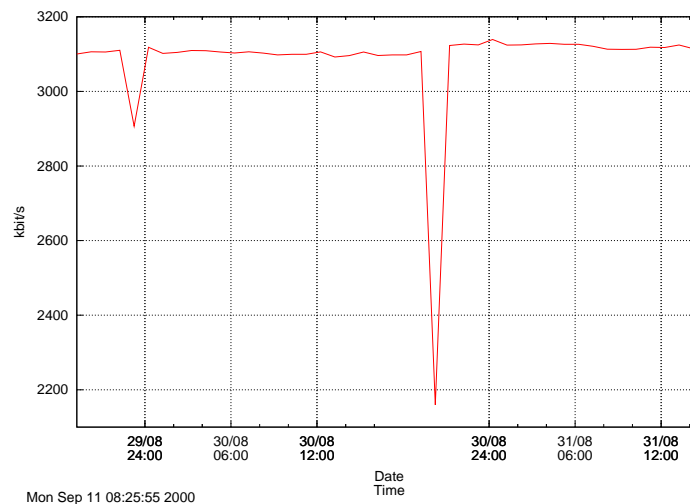


Abbildung 5.23: Resultate des ersten Durchsatztests mit netperf von Gebäude 7 zu dem Rechner `sushi.unix-ag.uni-kl.de`

Zum Test sind die *Storm Thresholds* (Siehe Abbildung 5.13 auf Seite 31) am 31. Oktober 2000 um 14:50 Uhr abgeschaltet worden. Am 01. September 2000 um 19:00 Uhr sind die Standardwerte wieder eingestellt worden. In dieser Zeit haben sich die Werte nicht verbessert (Siehe Bilder 5.23 und 5.24).

5.4.6.2 Verschlüsselung

Tests die den Durchsatzunterschied zwischen Verbindungen mit und Verbindungen ohne WEP-Verschlüsselung ermitteln, wurden in der Diplomarbeit von S. Eiffes [2] durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß die Verschlüsselung eine Performanceeinbuße von 1,75% mit sich bringt. Ein Wert der das Abschalten der Verschlüsselung zum Performancegewinn auf keinen Fall rechtfertigen kann. Auf eine Durchführung dieser Tests wird auf dieser Stelle verzichtet.

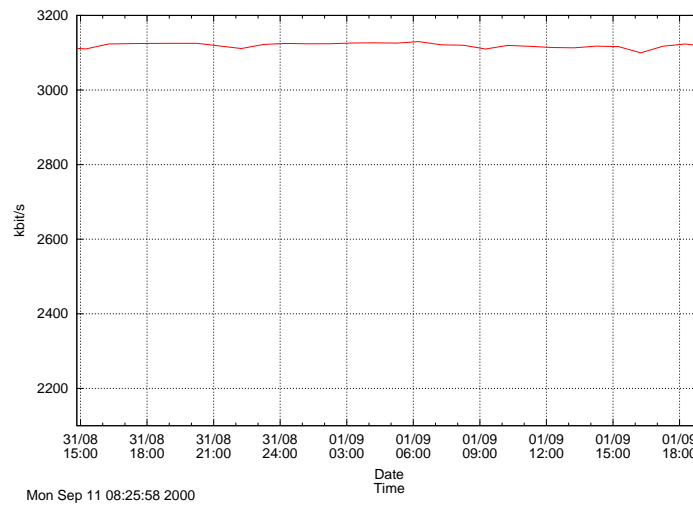


Abbildung 5.24: Resultate des Durchsatztests bei abgeschalteten Storm Thresholds mit netperf von Gebäude 7 zu dem Rechner `sushi.unix-ag.uni-kl.de`

5.4.6.3 Protokollfilter

Zum Test wurden am 14. September 2000 um 12:00 Uhr Filter für die Protokolle *Apollo Domain* und *HP Probe Control* an beiden Routern eingeschaltet. Am 17. September 2000 um 17:00 Uhr wurden die Filter wieder abgeschaltet. Abgesehen von den Performanceeinbrüchen, die durch die Nutzung der Funkstrecke mittels des Arbeitsrechners verursacht wurden, ist kein signifikanter Unterschied zu den Meßwerten in Zeiträumen ohne Protokollfilterung festzustellen (Siehe Abbildung 5.25).

5.4.6.4 Weitere Tests

Leider läßt der relativ kurze Bearbeitungszeitraum dieser Arbeit keine weiteren Tests zu. Weiterführend sollten noch der Einfluß von *MAC Filtering* und *Protocol Filtering* ermittelt werden. Da diese Filter momentan nicht genutzt werden, ist nur mit einer Verschlechterung der Werte zu rechnen.

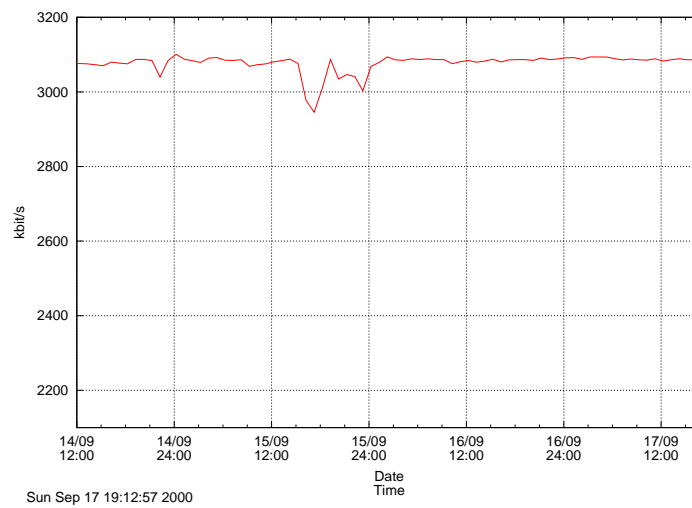


Abbildung 5.25: Resultate des Durchsatztests bei eingeschalteten Protokollfilter mit netperf von Gebäude 7 zu dem Rechner `sushi.unix-ag.uni-kl.de`

Kapitel 6

Ergebnis

6.1 Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Die Durchsatzrate entspricht mit etwa 3 Mbit/s der, die von S. Eiffes im P-to-P Betrieb zum Hohenstaufengymnasium festgestellt wurde [2]. In dem Dokument *Throughput Performance OR-system* von Lucent werden als maximale Durchsatzrate für FTP 3.61 Mbit/s angegeben. Daß dieser Wert etwa ein halbes Mbit/s besser ist als die hier ermittelten Werte, ist dadurch zu erklären, daß die hier durchgeführten Tests mit TCP Streams und nicht mit UDP Streams durchgeführt werden. Die TCP-Tests kommen dem Nutzungsverhalten, das User generell an den Tag legen, näher. Es wurde in der Arbeit von S. Eiffes [2] festgestellt, daß UDP generell leicht verbesserte Durchsatzraten gegenüber TCP hat, was auch nicht verwunderlich ist, da UDP-Pakete nicht quittiert werden.

Kosten der P-to-P-Lösung

Posten	Kosten
2 Lucent Outdoor Router mit Yagi Antennen	7 386,00 DM
2 Antennenhalterungen	55,26 DM
2 Stahlplatten	358,70 DM
1 Styroporplatte	10,00 DM
<i>Summe</i>	<i>7 809,96 DM</i>

Eine 2Mbit/s S0-Mietleitung der Telekom im Ortsbereich kostet pro Monat 1 600,00 DM¹. Alle vom RHRK genutzten Mietleitungen befinden sich im Ortsbereich.

¹Da die eventuell zu ersetzenden Mietleitungen bereits in Betrieb sind, werden die Kosten für bereits angeschaffte Hardware nicht aufgeführt.

Damit ist dieser Aufbau als Ersatz einer Mietleitung innerhalb von 5 Monaten rentabel².

Während des Bearbeitungszeitraums dieser Diplomarbeit hat sich die Wartung der Router als völlig problemlos erwiesen. Es ist zwar notwendig, einen Windows PC zur Konfiguration der Router zu nutzen, aber in einer heterogenen Umgebung, wie dem RHRK, stehen auch solche Rechner für die Konfiguration zur Verfügung. Dank SNMP ist die Überwachung der Funkstrecke mit *mrtg* unter UNIX nur mit einigen Minuten Aufwand, zur Erstellung der Konfigurationsdatei, verbunden.

6.2 Vorschlag einer Standardlösung

Obwohl die Durchsatzwerte bei Weitem nicht dem entsprechen, was die Hersteller verkünden, indem sie Meßwerte zwischen zwei Rechnern und nicht zwischen zwei Routern in ihren Produktbeschreibungen nutzen, ist eine IEEE 802.11b Lösung auf jeden Fall eine kostengünstigere und schnellere Anbindung, als eine angemietete 2Mbit/s Kabelstrecke. Auch der Aufwand für ein fall-back dial-up hält sich dank des Einsatzes von PPP in minimalen Grenzen. Eine Überlastung der Einwahlzugänge am RHRK ist, dank des *Uni@home* Projekts der Telekom, nicht zu erwarten. Die ausgetestete Funkstrecke kann deshalb unmittelbar als eine Standardlösung zum Ersatz von P-to-P Kabelverbindungen angesehen werden.

²Personalkosten werden an der Universität nicht abgerechnet. Deshalb tauchen in dieser Liste auch nur Hardwarekosten auf.

Kapitel 7

Ausblick

7.1 Betrieb über die Grenzen des Universitätscampus hinweg

IEEE 802.11 WLANs gelten als nicht öffentliche Anwendungen. Ist die eingesetzte Hardware vom Hersteller nach BAPT 222 ZV 126 für den Betrieb in Deutschland zugelassen, dürfen die Geräte ohne weitere Zulassung oder Gebühren betrieben werden. Wird eine solche Installation allerdings grundstückübergreifend eingesetzt, dann ist die Installation vor der Inbetriebnahme bei dem Bundesamt für Post und Telekommunikation (BAPT) anzumelden. Die Funkstrecke wird dann zentral registriert.

7.2 Ersatz von Kabelstrecken

Hier soll noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß bei einer Migration von Kabelstrecken zu Funkstrecken auf jeden Fall für eine Alternativenbindung zum RHRK-LAN gesorgt werden muß, auf die bei Problemen mit der Funkstrecke schnell und einfach umgeschaltet werden kann. Eine einfache ISDN Wählleitung sollte in den meisten Fällen als Notlösung ausreichen. Die Authentifizierung an den Einwahlpunkten erfolgt mit den Zugangskennungen der Rechner `aixd1.rhrk.uni-kl.de` und `aixd2`. Die aktuellen Parameter für PPP sind immer den WWW-Seiten des RHRK zu entnehmen.

7.3 in-house Verwendbarkeit

Das hier genutzte Frequenzband um 2,4 GHz arbeitet mit Dezimeterwellen (siehe Tabelle E.1 auf Seite 61). Dies führt in den Gebäuden zu starken Einschränkungen der Reichweite, da die Abstände der Metallstäbe in

dem Stahlbeton sich in der gleichen Größenordnung bewegen, wie die Wellenlänge¹.

7.3.1 Weitergehende Tests

Um die Verwendbarkeit von *IEEE 802.11b* Geräten innerhalb der Universitätsgebäude zu testen, wurde eine *Apple AirPort Base Station* angeschafft. Dies war zum Zeitpunkt der Beschaffung die billigste verfügbare *IEEE 802.11b* konforme Multipoint-Basisstation.

Zum Test der WM Qualität wurde die Funktionalität des *AirPort Admin Utility* auf einem *Apple iBook* mit einer *AirPort Karte* genutzt.

Die Basisstation wurde zum Test in folgenden Räumen aufgebaut:

- Gebäude 34, Raum 112
- Gebäude 34, Raum 210
- Gebäude 34, Maschensaal
- Gebäude 34, Raum 314
- Gebäude 34, Raum 401.4
- Gebäude 42, Foyer
- Gebäude 42, Raum 215
- Gebäude 48, Raum 210

Das Resultat war immer gleich; innerhalb der jeweiligen Räume wurden 70% – 100% erreicht. Das Verlassen des Raumes hat immer eine massive Qualitätseinbuße mit sich gebracht. Weiter als 20 m konnte man sich nicht von dem Raum entfernen. In den darüber- und darunterliegenden Stockwerken war nur eine mäßige Verbindung direkt über- oder unterhalb des Standortes der Basisstation zu erreichen.

7.3.2 Resultat

Die Nutzung von Basisstationen ist nur innerhalb eines Raumes sinnvoll. Die armierten Betonwände und -böden der Universität schirmen die Signale zu sehr ab, um über Raumgrenzen hinweg gehen zu können.

Innerhalb eines Raumes ist die Technik für einen kabellosen Netzanschluß sinnvoll einzusetzen, allerdings ist darauf zu achten, daß eine Zugangskontrolle zum WM mit der Software der Basisstation implementiert wird. Bei den Tests war ein WEP Passwort nötig, um auf das WM zugreifen zu können. Auch eine Zugangsbeschränkung mußte mittels der MAC Adresse des Testrechners überwunden werden.

¹±12, 5 cm (siehe Formel 5.2 auf Seite 21)

Danksagungen

Ich möchte mich bei den Herren Knerr, Adam und Dinkat von der ZBT und Dr. Trumpke vom Fachbereich ARUBI für ihre Zeit und Unterstützung, sowie bei Herrn Hermanns für seine Unterstützung beim Ausrichten der Antennen bedanken.

Literaturverzeichnis

- [1] Siemens AG *Digitale Nachrichtenübertragung, Teil 4. Richtfunk und Satellitenfunk*. Siemens-Aktiengesellschaft, ISBN 3-8009-7199-2, 1992
- [2] Serge Eiffes *Beschreibung und Untersuchung der Übertragungseigenschaften eines Wireless LAN Systems aufbauend auf dem Standard IEEE 802.11*. Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, 2000
- [3] International Standard ISO/IEC 8802-11 *Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., ISBN 0-7381-1658-0, 1999
- [4] International Standard ISO/IEC 8802-11 *Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band* The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., ISBN 0-7381-1809-5, 1999
- [5] International Standard ISO/IEC 8802-11 *Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band* The Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc., ISBN 0-7381-1811-7, 1999
- [6] Dipl.-Ing. Wolfgang Heinrich *Richtfunktechnik*. R. v. Decker's Verlag, G. Schenk, ISBN 3-7685-2087-0, 1988
- [7] Simon R. Saunders *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 0-471-98609-7, 1999

-
- [8] Paul A. Tipler *Physik*. Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 3-86025-122-8, 1991
- [9] Prof. Dr. Horst Stöcker *Taschenbuch der Physik*. Verlag Harri Deutsch, ISBN 3-8171-1556-3, 1998
- [10] Theodore S. Rappaport *Wireless Communications Principles and Practice*. Prentice Hall PTR, ISBN 0-13-375536-3, 1996
- [11] Dr. Kamilo Feher *Wireless Digital Communications Modulation & Spread Spectrum Applications* Prentice-Hall PTR, ISBN 0-13-098617-8, 1995
- [12] Hodayoun Nikookar *Wireless Channel Modeling and Code Division Multiple Access for Indoor Communications*. CIP-Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, 1995
- [13] H. Brodhage, W. Hormut *Planung und Berechnung von Richtfunkverbindungen*. Siemens AG, 1968
- [14] Helmut Carl *Richtfunkverbindungen*. Verlag Berliner Union GmbH Stuttgart, ISBN 3-408-53036-X, 1972
- [15] Physikalischen Institut der Universität Basel *Anfängerpraktikum Wintersemester 2000/2001*
- [16] <http://www.netperf.org/netperf/NetperfPage.html>
- [17] Information Networks Division Hewlett-Packard Company Netperf: A Network Performance Benchmark Revision 2.1. February 15, 1996
- [18] <http://ee-staff.ethz.ch/~oetiker/webtools/mrtg/mrtg.html>
Multi Router Traffic Grapher
- [19] <http://www.unix-ag.uni-kl.de/~pcfe/Diplomarbeit/>
- [20] Allied Telesyn *AT-MC1x Media Converters – User Guide* PN 613-10724-00 Rev B
- [21] Lucent Technologies *Quick Installation Guide – WaveLAN/IEEE Turbo 11 Mb PC Card*. 012459/A September 1999
- [22] Lucent Technologies *Quick Installation Guide – WavePONT-II Access Point*. 011908/A September 1999
- [23] Lucent Technologies *Outdoor Antenna Installation Guide – WaveACCESS Office Router*. 012706/A November 1999
- [24] Lucent Technologies *User's Guide – WaveMANAGER Office Router*. 012715/B April 2000

- [25] Report *Drahtlose Netze*. c't 6/1999 Seiten 216ff
- [26] Helmut Kopka, *L^AT_EX*Band 1 – *Einführung*. Addison-Wesley, ISBN 3-8273-1025-3, 1996
- [27] Jan Boer, Chair DS PHY *Direct Sequence Spread Spectrum – Physical Layer Specification – IEEE 802.11* Lucent Technologies WCND Utrecht
- [28] Naftali Chayat *Frequency Hopping Spread Spectrum PHY of the 802.11 Wireless LAN Standard* BreezeCom

Anhang A

Glossar

<i>AP</i>	Access Point
<i>ATM</i>	Asynchronous Transfer Mode
<i>BAPT</i>	Bundesamt für Post und Telekommunikation
<i>DECT</i>	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
<i>DFÜ</i>	Datenfernübertragung
<i>DHCP</i>	Dynamic Host Configuration Protocol
<i>FB HFT</i>	Fachbereich Hochfrequenztechnik
<i>FB ARUBI</i>	Fachbereich Architektur/Raum- und Umweltplanung/Bauingenieurwesen
<i>GWIN</i>	Gigabit Wissenschafts Netz
<i>ISDN</i>	Integrated Services Digital Network
<i>LAN</i>	Local Area Network
<i>LWL</i>	Lichtwellenleiter
<i>MIB</i>	Management Information Base
<i>OR</i>	Outdoor Router
<i>P-to-P</i>	Point-to-Point
<i>PIMF</i>	Paare In Metall Folie
<i>PPP</i>	Point-to-Point Protocol
<i>RHRK</i>	Regionales Hochschulrechenzentrum Kaiserslautern
<i>SDH</i>	Synchrone Digitale Hierarchie
<i>SNR</i>	Signal to Noise Ratio
<i>WAN</i>	Wide Area Network
<i>WEP</i>	Wired Equivalency Privacy
<i>WM</i>	Wireless Medium
<i>ZBT</i>	Zentrale Betriebstechnik der Universität Kaiserslautern

Anhang B

Verwendete Shell Skripte

B.1 diplomarbeit

```
#!/bin/bash
# pcfe 12.08.2000
#
# ruft alle jobs fuer die DA auf.
# Wird alle 5 min per cron gestartet.
#
/home/pcfe/bin/mrtg 2>/dev/null
/home/pcfe/bin/logsnr 2>/dev/null
/home/pcfe/bin/plotdata 2>/dev/null
```

B.2 getsnr

```
#!/bin/bash
# pcfe 12.08.2000
#
# retrieves SNR with snmpwalk
# 14l AP14 Local SNR
# 14r AP14 Remote SNR
# 7l AP14 Local SNR
# 7r AP14 Remote SNR

case "$1" in
  14l)
    snmpwalk 131.246.53.3 public enterprises.762.2.5.2.1.47 >/tmp/ap14lsnr.$$
    #snmpwalk ap14 public enterprises.762.2.5.2.1.47 >/tmp/ap14lsnr.$$
    echo -n `date +%d-%m-%Y-%H-%M`
    echo -n ' '
    cut -d ' ' -f 3 /tmp/ap14lsnr.$$
    rm /tmp/ap14lsnr.$$
    ;;
  14r)
    snmpwalk 131.246.53.3 public enterprises.762.2.5.2.1.51 >/tmp/ap14rsnr.$$
    #snmpwalk ap14 public enterprises.762.2.5.2.1.51 >/tmp/ap14rsnr.$$
    echo -n `date +%d-%m-%Y-%H-%M`
```

```

echo -n ' '
cut -d ' ' -f 3 /tmp/ap14rsnr.$$
rm /tmp/ap14rsnr.$$
;;
7l)
snmpwalk 131.246.53.4 public enterprises.762.2.5.2.1.47 >/tmp/ap7lsnr.$$
#snmpwalk ap7 public enterprises.762.2.5.2.1.47 >/tmp/ap7lsnr.$$
echo -n `date +%d-%m-%Y-%H-%M`
echo -n ' '
cut -d ' ' -f 3 /tmp/ap7lsnr.$$
rm /tmp/ap7lsnr.$$
;;
7r)
snmpwalk 131.246.53.4 public enterprises.762.2.5.2.1.51 >/tmp/ap7rsnr.$$
#snmpwalk ap7 public enterprises.762.2.5.2.1.51 >/tmp/ap7rsnr.$$
echo -n `date +%d-%m-%Y-%H-%M`
echo -n ' '
cut -d ' ' -f 3 /tmp/ap7rsnr.$$
rm /tmp/ap7rsnr.$$
;;
*)
echo "Usage: getsnr {14l|14r|7l|7r}"
echo " respectively for ap14 local, ap14 remote, ap7 local, ap7 remote"
echo "SNR"
echo "SNR will be prepended by the current date"
exit 1
esac

exit 0

```

B.3 linktest-holen-und-plotten

```

#!/bin/bash
#
# Holt den linktest vom testrechner und generiert eine graphik.
# Die Graphik wird dann in das www verzeichnis kopiert
# sollte einige minuten nach dem linktest aufgerufen werden.
#
# pcfe 06.09.2000
#
cd /home/pcfe/logs
/usr/bin/scp -q lan53-246:logs/linktest.log .
/usr/bin/gnuplot /home/pcfe/bin/plotlinktest.cfg
mv linktest.png /home/pcfe/.www/Diplomarbeit/linktest/

```

B.4 logsnr

```

#!/bin/bash
# pcfe 12.08.2000
#
# logs SNR values obtained by getsnr
# simple append to file at the moment

```

```
#
~/bin/getsnr 14l >> ~/logs/snr14l
~/bin/getsnr 14r >> ~/logs/snr14r
~/bin/getsnr 7l >> ~/logs/snr7l
~/bin/getsnr 7r >> ~/logs/snr7r

#
# copy to the CGI directory
#
cp ~/logs/snr* ~/.cgi-bin-sushi/
```

B.5 mrtg

```
#!/bin/bash
# pcfe 12.08.2000
#
# generiert Graphiken von den interface statistics
# der Lucent router in Bau 14 und 7.
#
cd /export/home/pcfe/share/mrtg-2.9.0pre23/bin
./mrtg /export/home/pcfe/lib/mrtg/mrtg.cfg
```

B.6 plotdata

```
#!/bin/bash
# pcfe 12.08.2000
#
# plots the data obtained by logsnr
#

cd /export/home/pcfe/logs
gnuplot /export/home/pcfe/bin/plotdata.cfg
mv snr*.png ~/.www/Diplomarbeit/snr/
```

Anhang C

gnuplot Konfigurationsdateien

Hier sind die Konfigurationsdateien, die zum generieren der Graphiken genutzt wurden aufgelistet.

C.1 plotdata.cfg

```
set terminal png small color
set grid
set time
set output "snr14l.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["12-08-2000-04-25":"12-08-2000-22-55"]
set ylabel "Router 14\nLocal SNR"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr14l" using 1:2 notitle with lines
```

```
set terminal png small color
set grid
set time
set output "snr14r.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["12-08-2000-04-25":"12-08-2000-22-55"]
set ylabel "Router 14\nRemote SNR"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr14r" using 1:2 notitle with lines
```

```
set terminal png small color
set grid
set time
set output "snr7l.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
```

```
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["12-08-2000-04-25":"12-08-2000-22-55"]
set ylabel "Router 7\nLocal SNR"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr7l" using 1:2 notitle with lines

set terminal png small color
set grid
set time
set output "snr7r.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["12-08-2000-04-25":"12-08-2000-22-55"]
set ylabel "Router 7\nRemote SNR"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr7r" using 1:2 notitle with lines

set terminal png small color
set grid
set time
set output "snr.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
set ylabel "SNR"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr14l" using 1:2 title "14 local" with lines, \
     "snr14r" using 1:2 title "14 remote" with lines, \
     "snr7l" using 1:2 title "7 local" with lines, \
     "snr7r" using 1:2 title "7 remote" with lines
```

C.2 plotlinktest.cfg

```
set terminal png small color
set grid
set time
set output "linktest.png"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
#set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["12-08-2000-04-25":"12-08-2000-22-55"]
set ylabel "Funkstrecke 14 <-> 7\nDurchsatz in kbit/s"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "linktest.log" using 1:6 notitle with lines
```

C.3 plotdata-eps.cfg

```
set terminal postscript eps color
set grid
set time
set output "/home/pcfef/Downloads/snr141-big.eps"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [0:100]
set xdata time
set xrange ["12-08-2000-04-25":"11-09-2000-08-05"]
set ylabel "Router 14\nLocal SNR" 0,1
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "snr141-big.log" using 1:2 notitle with lines
```

C.4 plotlinktest-eps-0.cfg

```
set term postscript eps color
set grid
set time
set output "/home/pcfef/Downloads/linktest-0.eps"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
#set yrange [0:100]
set xdata time
#set xrange ["30-08-2000-21-15":"11-09-2000-06-15"]
set ylabel "kbit/s"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "linktest.log" using 1:6 notitle with lines
```

C.5 plotlinktest-eps-1.cfg

```
set terminal postscript eps color
set grid
set time
set output "/home/pcfef/Downloads/linktest-1.eps"
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [2100:3200]
set xdata time
set xrange ["29-08-2000-19-15":"31-08-2000-14-50"]
set ylabel "kbit/s"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "linktest.log" using 1:6 notitle with lines
```

C.6 plotlinktest-eps-2.cfg

```
set terminal postscript eps color
set grid
set time
set output "/home/pcfef/Downloads/linktest-2.eps"
```

```
set xlabel "Date\nTime" 0,1
set timefmt "%d-%m-%Y-%H-%M"
set yrange [2100:3200]
set xdata time
set xrange ["31-08-2000-14-50":"01-09-2000-19-00"]
set ylabel "kbit/s"
set format x "%d/%m\n%H:%M"
plot "linktest.log" using 1:6 notitle with lines
```

Anhang D

mrtg Konfigurationsdatei

Diese Konfigurationsdatei wurde zum Generieren der Auslastungsgraphiken mit `mrtg` genutzt. Die Datei ist auch auf der CD-ROM, die der Diplomarbeit beiliegt, zu finden.

D.1 mrtg.cfg

```
# Created by
# ./cfgmaker --global HtmlDir: /mount/www/www-unixag/wwwhome/pcf/Diplomarbeit/mrtg \
--global Imagedir: /mount/www/www-unixag/wwwhome/pcf/Diplomarbeit/mrtg/images \
--global Logdir: /home/pcf/logs \
--global LoadMIBs: /home/pcf/work/da/*.MIB \
--global Options[_]: bits,growth \
--global Icondir: images/icons \
--output=/home/pcf/lib/mrtg/new.cfg public@outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de public@outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de

HtmlDir: /mount/www/www-unixag/wwwhome/pcf/Diplomarbeit/mrtg
Imagedir: /mount/www/www-unixag/wwwhome/pcf/Diplomarbeit/mrtg/images
Logdir: /home/pcf/logs
LoadMIBs: /home/pcf/work/da/*.MIB
Options[_]: bits,growth
Icondir: images/icons

#####
# System: Outdoor Router 14
# Description: ORINOCO Outdoor Router V3.69 SN-00UT02200257 V3.20
# Contact: Dr. Werner Eicher [RHRK]
# Location: Geb 14, Technikraum, 6. OG
#####

### Interface 1 >> Descr: 'AMD PCNetPCI' | Name: '' | Ip: '131.246.53.3' | Eth: '00-60-1d-f4-1a-a3' ###
Target[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_1]: 1:public@outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de
MaxBytes[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_1]: 1250000
Title[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_1]: Traffic Analysis for 1 -- Outdoor Router 14
PageTop[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_1]: <H1>Traffic Analysis for 1 -- Outdoor Router 14</H1>
<TABLE>
  <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 14 in Geb 14, Technikraum, 6. OG</TD></TR>
  <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
  <TR><TD>Description:</TD><TD>AMD PCNetPCI </TD></TR>
  <TR><TD>ifType:</TD>      <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
  <TR><TD>ifName:</TD>     <TD></TD></TR>
  <TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>10.0 Mbits/s</TD></TR>
  <TR><TD>Ip:</TD>        <TD>131.246.53.3 (outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de)</TD></TR>
</TABLE>

### Interface 2 >> Descr: 'PCMCIA slot' | Name: '' | Ip: '' | Eth: '00-00-00-00-00-00' ###
### The following interface is commented out because:
### * it is Administratively DOWN
### * it is Operationally DOWN
### * has a speed of 0 which makes no sense
#
# Target[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_2]: 2:public@outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de
```

```
# MaxBytes[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_2]: 0
# Title[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_2]: Traffic Analysis for 2 -- Outdoor Router 14
# PageTop[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_2]: <H1>Traffic Analysis for 2 -- Outdoor Router 14</H1>
# <TABLE>
#   <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 14 in Geb 14, Technikraum, 6. OG</TD></TR>
#   <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
#   <TR><TD>Description:</TD><TD>PCMCIA slot </TD></TR>
#   <TR><TD>ifType:</TD>      <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
#   <TR><TD>ifName:</TD>     <TD></TD></TR>
#   <TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>0.0 bits/s</TD></TR>
# </TABLE>

### Interface 3 >> Descr: 'WaveLAN/IEEE' | Name: '' | Ip: '' | Eth: '00-60-1d-f6-4f-8d' ###

Target[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_3]: 3:public@outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de
MaxBytes[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_3]: 1375000
Title[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_3]: Traffic Analysis for 3 -- Outdoor Router 14
PageTop[outdoor-router-14.rhrk.uni-kl.de_3]: <H1>Traffic Analysis for 3 -- Outdoor Router 14</H1>
<TABLE>
  <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 14 in Geb 14, Technikraum, 6. OG</TD></TR>
  <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
  <TR><TD>Description:</TD><TD>WaveLAN/IEEE </TD></TR>
  <TR><TD>ifType:</TD>      <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
  <TR><TD>ifName:</TD>     <TD></TD></TR>
  <TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>11.0 Mbits/s</TD></TR>
</TABLE>

#####
# System: Outdoor Router 7
# Description: ORiNOCO Outdoor Router V3.69 SN-00UT02200197 V3.20
# Contact: Dr. Werner Eicher [RHRK]
# Location: Sommerhaus, Garage
#####

### Interface 1 >> Descr: 'AMD PCNetPCI' | Name: '' | Ip: '131.246.53.4' | Eth: '00-60-1d-f4-1a-67' ###

Target[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_1]: 1:public@outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de
MaxBytes[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_1]: 1250000
Title[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_1]: Traffic Analysis for 1 -- Outdoor Router 7
PageTop[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_1]: <H1>Traffic Analysis for 1 -- Outdoor Router 7</H1>
<TABLE>
  <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 7 in Sommerhaus, Garage</TD></TR>
  <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
  <TR><TD>Description:</TD><TD>AMD PCNetPCI </TD></TR>
  <TR><TD>ifType:</TD>      <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
  <TR><TD>ifName:</TD>     <TD></TD></TR>
  <TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>10.0 Mbits/s</TD></TR>
  <TR><TD>Ip:</TD>         <TD>131.246.53.4 (outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de)</TD></TR>
</TABLE>

### Interface 2 >> Descr: 'PCMCIA slot' | Name: '' | Ip: '' | Eth: '00-00-00-00-00-00' ###
### The following interface is commented out because:
### * it is Administratively DOWN
### * it is Operationally DOWN
### * has a speed of 0 which makes no sense
#
# Target[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_2]: 2:public@outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de
# MaxBytes[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_2]: 0
# Title[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_2]: Traffic Analysis for 2 -- Outdoor Router 7
# PageTop[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_2]: <H1>Traffic Analysis for 2 -- Outdoor Router 7</H1>
# <TABLE>
#   <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 7 in Sommerhaus, Garage</TD></TR>
#   <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
#   <TR><TD>Description:</TD><TD>PCMCIA slot </TD></TR>
#   <TR><TD>ifType:</TD>      <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
#   <TR><TD>ifName:</TD>     <TD></TD></TR>
#   <TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>0.0 bits/s</TD></TR>
# </TABLE>

### Interface 3 >> Descr: 'WaveLAN/IEEE' | Name: '' | Ip: '' | Eth: '00-60-1d-f6-4f-90' ###

Target[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_3]: 3:public@outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de
MaxBytes[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_3]: 1375000
Title[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_3]: Traffic Analysis for 3 -- Outdoor Router 7
PageTop[outdoor-router-7.rhrk.uni-kl.de_3]: <H1>Traffic Analysis for 3 -- Outdoor Router 7</H1>
<TABLE>
  <TR><TD>System:</TD>      <TD>Outdoor Router 7 in Sommerhaus, Garage</TD></TR>
  <TR><TD>Maintainer:</TD> <TD>Dr. Werner Eicher [RHRK]</TD></TR>
```

```
<TR><TD>Description:</TD><TD>WaveLAN/IEEE </TD></TR>
<TR><TD>ifType:</TD> <TD>ethernetCsmacd (6)</TD></TR>
<TR><TD>ifName:</TD> <TD></TD></TR>
<TR><TD>Max Speed:</TD> <TD>11.0 Mbits/s</TD></TR>
</TABLE>
```

Anhang E

Tabellen

E.1 Elektromagnetische Wellen

Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenz)

<i>Wellenlänge</i>	<i>Frequenz</i>	<i>Bezeichnung, Verwendung</i>
30 km ... 2 km	10 kHz ... 150 kHz	Längstwellen, VLF (Very Low Frequency) Unterwasserfunk
2000 m ... 600 m	150 kHz ... 500 kHz	Langwellen, LW Rundfunk
600 m ... 200 m	500 kHz ... 1,5 MHz	Mittelwellen, MW Rundfunk
100 m ... 10 m	3 MHz ... 30 MHz	Kurzwellen, KW Rundfunk, Amateurfunk
10 m ... 1 m	30 MHz ... 300 MHz	Ultrakurzwellen, UKW, VHF (Very High Frequency) Rundfunk, Fernsehfunk, Polizeifunk, Flugnavigation
1 m ... 10 cm	300 MHz ... 3 GHz	Dezimeterwellen, UHF (Ultra High Frequency) Fernsehfunk, Richtfunk
10 cm ... 1 cm	3 GHz ... 30 GHz	Zentimeterwellen Richtfunk, Radar
10 mm ... 1 mm	30 GHz ... 300 GHz	Millimeterwellen

Quelle: Stöcker, Taschenbuch der Physik, 3. Auflage [9]

E.2 WaveLAN/Orinoco IEEE802.11 Frequenzkanäle

Die im Werk eingestellten Kanäle sind in Fettschrift gedruckt.

Frequenzbereich: 2400 MHz – 2500 MHz

Channel ID	FCC	ETSI	France	Japan
1	2412	2412	-	-
2	2417	2417	-	-
3	2422	2422	-	-
4	2427	2427	-	-
5	2432	2432	-	-
6	2437	2437	-	-
7	2442	2442	-	-
8	2447	2447	-	-
9	2452	2452	-	-
10	2457	2457	2457	-
11	2462	2462	2462	-
12	-	2467	2467	-
13	-	2472	2472	-
14	-	-	-	2484

Quelle: Dokumentation von *Lucent* [21]

E.3 Lucent Outdoor Router

Zum upload der software ist, im *Lucent OR Manager* in dem beim Upload eventuell angezeigten Dialog, als *Serial Number Key* der *Feature Flag* in das kleine Feld und der *License Key* in das große Feld einzugeben.

Gebäude 14, Technikraum

Eth. MAC address:	00 60 1D F4 1A A3
T/N:	00 32 67 58
S/N:	00 UT 02 20 02 57
License Nr:	01 02 00 02 01 58 6G TG
Feature Flag Key:	0100
License Key:	1C-2D-DD-2E-40-23-A9-4A-48-E6
P/N:	01 27 62/A
Serial Number Key:	0100-1C-2D-DD-2E-40-23-A9-4A-48-E6

Gebäude 7, Garage

Eth. MAC address:	00 60 1D F4 1A 67
T/N:	00 32 68 66
S/N:	00 UT 02 20 01 97
License Nr:	01 02 00 02 01 5M M7 TJ
Feature Flag Key:	0100
License Key:	C5-4F-02-24-9E-84-24-5D-54-B3
P/N:	01 27 62/A
Serial Number Key:	0100-C5-4F-02-24-9E-84-24-5D-54-B3

E.4 Genutzte Switchports

Das Kabel "E-Techniker" ist das in 5.2.2 auf Seite 23 erwähnte Kabel. Diese Werte sind rein informativ. Die maßgeblichen Werte sind in den Dokumentationen der *Abteilung Netze und Kommunikation* des RHRK eingetragen.

Kabel	Switch	Port
E-Techniker	b14sw3	22
AP14.rhrk.uni-kl.de	b14sw5	23

Anhang F

Lucent OR Manager Logdateien

Hier sind exemplarisch einige Logdateien des *Lucent OR Manager* wiedergegeben.

9. August – 10. August

```
Bridge/Router Configuration Program
***WaveLAN/IEEE PTPDIAG - Automatic log"
"StartTime:", "08/09/00-20:52:36"
"EndTime:", "08/10/00-12:35:30"
"Total Sequences:", "113115"
"Total No response:", "0"
"Other Station:", "00:60:1d:f4:1a:a3", "AP 14"
"Initiator Station:", "00:60:1d:f6:4f:90", "AP7"
" CUR", " MIN", "MIN TIMESTAMP ", " MAX", "MAX TIMESTAMP ", "Value"
    79,    62, "08/09/00-21.07",    84, "08/09/00-21.07", "Local SNR"
    88,    82, "08/10/00-12.24",    91, "08/10/00-12.24", "Local Signal Level"
     6,     3, "08/09/00-21.04",    23, "08/09/00-21.04", "Local Noise Level"
    79,    65, "08/09/00-21.07",    86, "08/09/00-21.07", "Remote SNR"
    88,    84, "08/10/00-12.15",    93, "08/10/00-12.15", "Remote Signal Level"
     8,     3, "08/09/00-21.29",    20, "08/09/00-21.29", "Remote Noise Level"
```

29. August – 30. August

```
Bridge/Router Configuration Program
***WaveLAN/IEEE PTPDIAG - Automatic log"
"StartTime:", "08/29/00-19:51:19"
"EndTime:", "08/30/00-19:56:33"
"Total Sequences:", "148135"
"Total No response:", "0"
"Other Station:", "00:60:1d:f4:1a:a3", "AP 14"
```

```
"Initiator Station:",00:60:1d:f6:4f:90","AP 7"
" CUR"," MIN","MIN TIMESTAMP "," MAX","MAX TIMESTAMP ","Value"
 78,    72,"08/30/00-18.23",    83,"08/30/00-18.23","Local SNR"
 87,    84,"08/30/00-08.09",    91,"08/30/00-08.09","Local Signal Level"
  7,     3,"08/30/00-00.21",    12,"08/30/00-00.21","Local Noise Level"
 77,    74,"08/30/00-08.10",    84,"08/30/00-08.10","Remote SNR"
 86,    84,"08/30/00-08.10",    91,"08/30/00-08.10","Remote Signal Level"
  8,     2,"08/30/00-15.41",    11,"08/30/00-15.41","Remote Noise Level"
```

Anhang G

Bilder

Hier sollen einiger Bilder die örtlichen Gegebenheiten verständlicher machen.

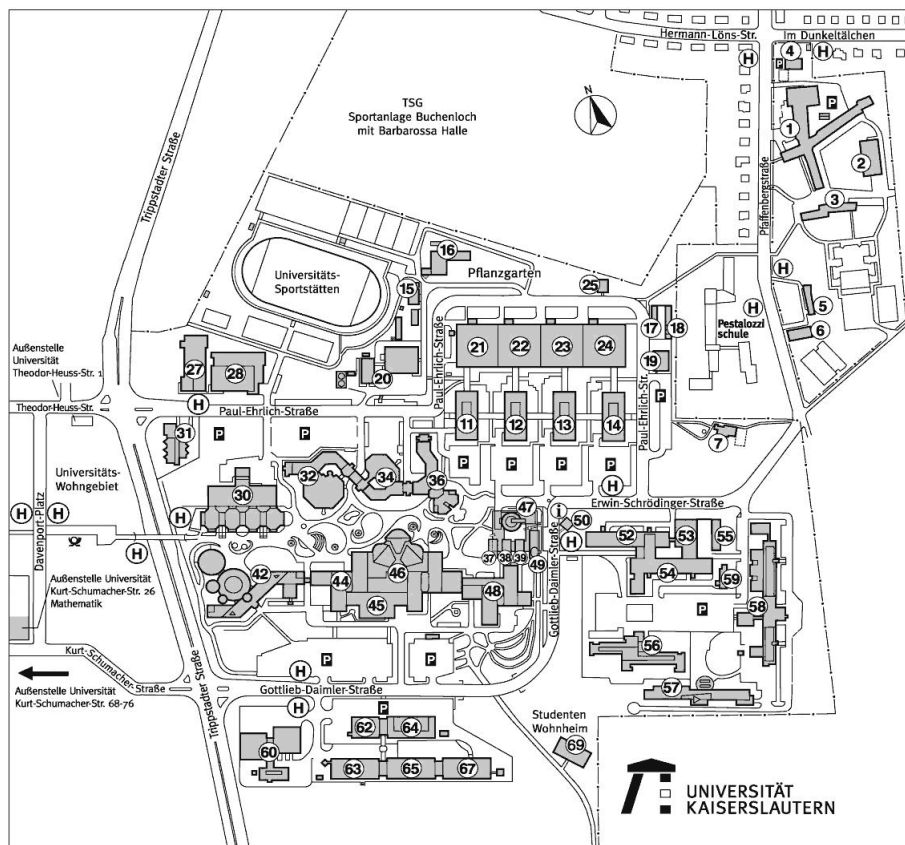


Abbildung G.1: Plan der Universität Kaiserslautern

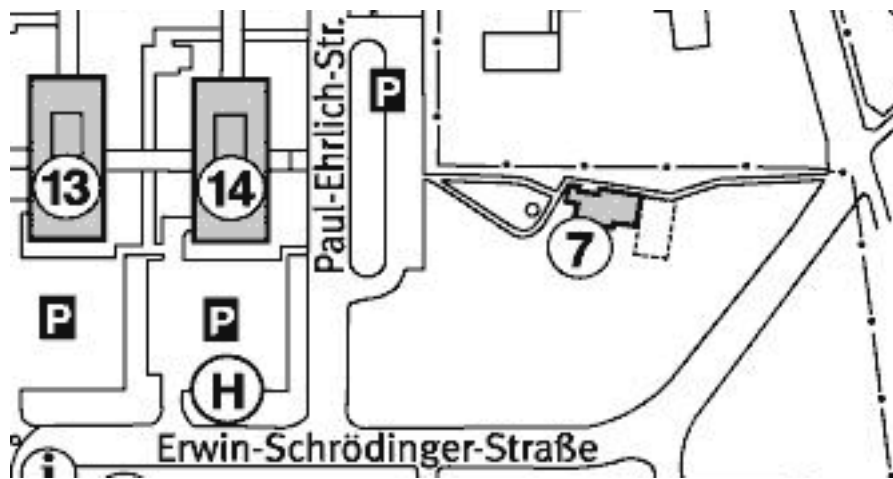


Abbildung G.2: Detail aus dem Plan der Universität Kaiserslautern

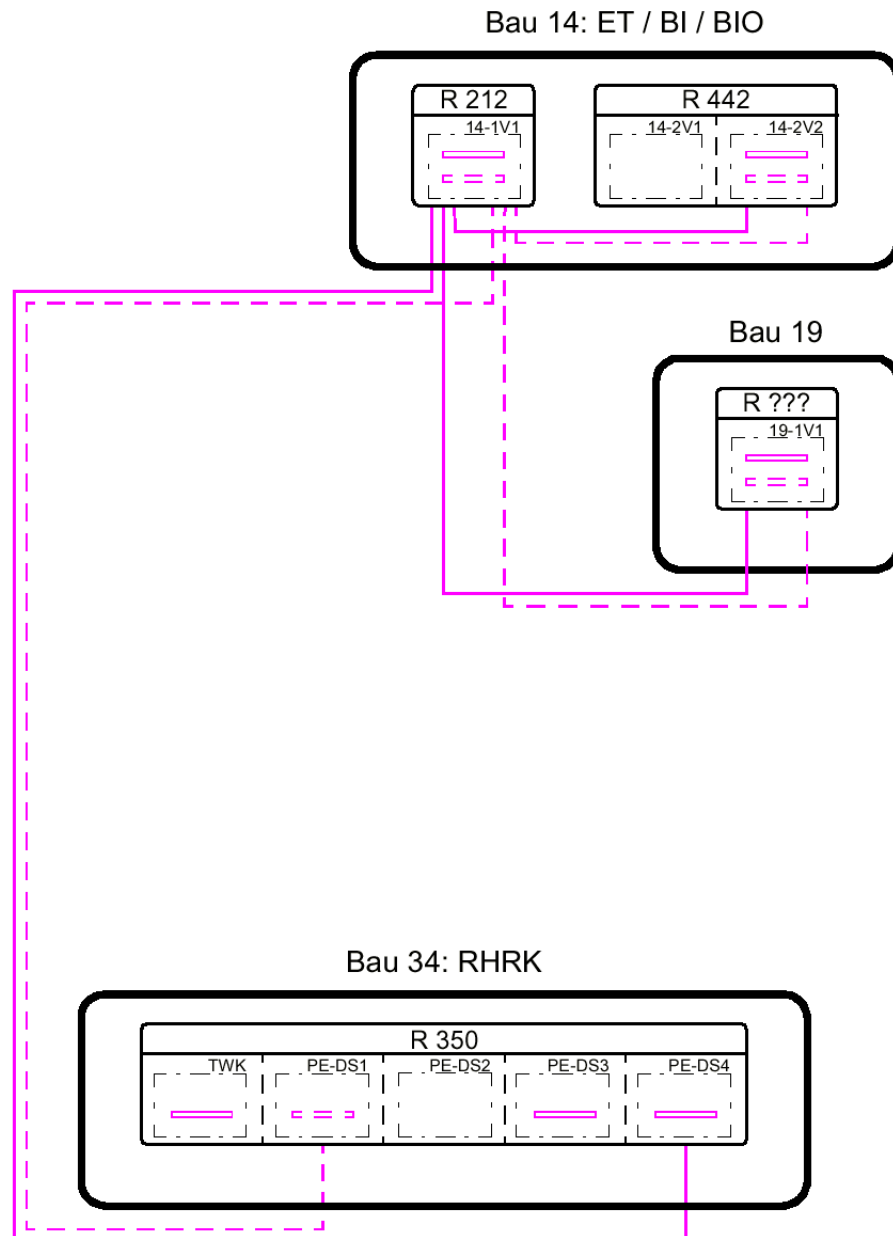
Primärebene: Bau 14 / 19 - RHRK

Abbildung G.3: Die Primärebene von Gebäude 14,
aus den internen Dokumentationen des RHRK

Tertiärebene: Bau 14 / 19

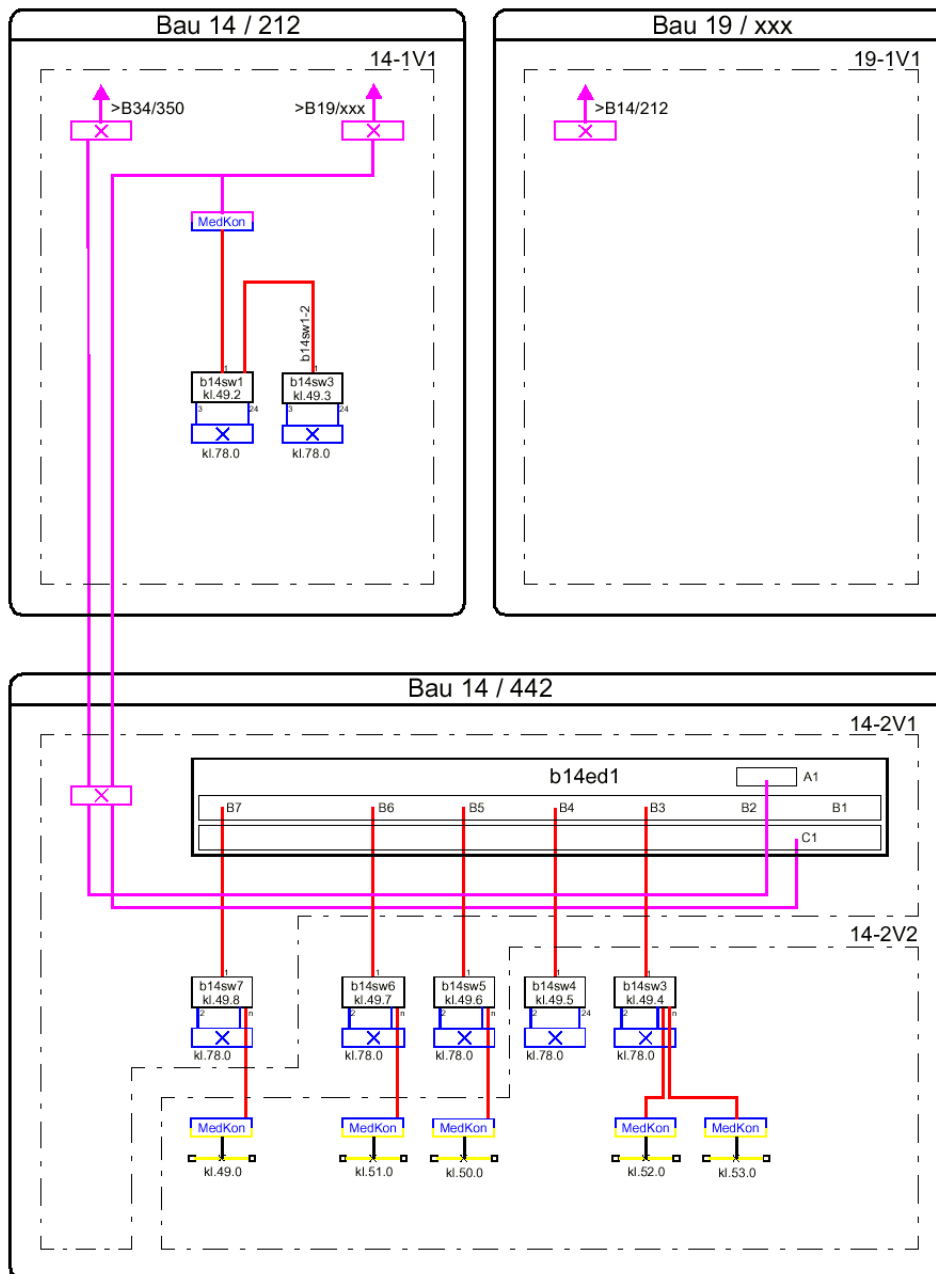


Abbildung G.4: Die Tertiärebene von Gebäude 14,
aus den internen Dokumentationen des RHRK



Abbildung G.5: Der Antennenstandort an Gebäude 14



Abbildung G.6: Meßplattform auf Gebäude 14



Abbildung G.7: Antenne an Gebäude 14



Abbildung G.8: Der Router in Gebäude14



Abbildung G.9: Von Gebäude 14 an der Strecke entlang zu Gebäude 7



Abbildung G.10: Westseite von Gebäude 7



Abbildung G.11: Nordseite von Gebäude 7



Abbildung G.12: Antenne an Gebäude 7



Abbildung G.13: Seitenansicht des Antennenhalters auf Gebäude 7

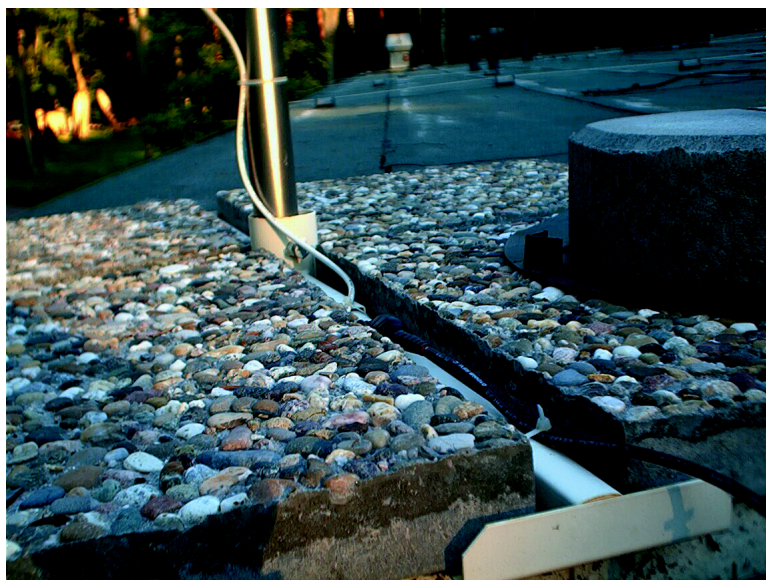


Abbildung G.14: Teilansicht des Antennenhalters auf Gebäude 7

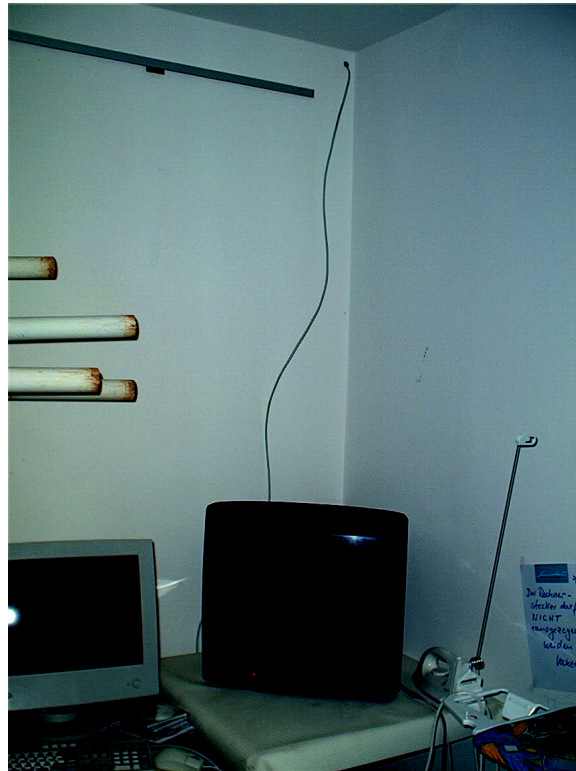


Abbildung G.15: Der Arbeitsraum in Gebäude 7



Abbildung G.16: Von Gebäude 7 an der Strecke entlang zu Gebäude 14



Abbildung G.17: Das Logo von Lucent um den Übergang von *WaveLAN* auf *Orinoco* zu zeigen

colophon

Dieses Dokument wurde in $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ auf einem *Apple iBook* mit \OzTeX erstellt. Es wurden folgende Pakete verwendet:

- `german`
- `babel`
- `palatino`
- `graphicx`
- `rotating`
- `makeidx`
- `fancyhdr`
- `verbatim`
- `caption`

Die Graphiken wurden mit `gnuplot` auf einem Linux Rechner der Unix-AG (`sushi.unix-ag.uni-kl.de`) erstellt. Die Bilder wurden mit *GraphicConverter* nach eps konvertiert. Die Skizzen wurde mit *Adobe Illustrator* erstellt. Zur Bedienung von \LaTeX diente das Buch von Helmut Kopka [26].

Index

- 10Base-5, 3
- Abstimmung, 20
- ad-hoc, 4
- ADSL, 18
- Advanced Setup, 28
- AirPort, 45
 - Admin Utility, 45
- Alternativanbindung, 44
- Angebote, 20
- Anmeldung, 44
- Antenne, 13
- Antennen
 - gewinn, 20
 - halterungen, 18, 23
 - standort, 20
 - ausrichten, 25
- ATM
 - Backbone, 2
 - Uplink, 2
- Bäume, 10, 21
- Blätter, *siehe* Bäume
- Blitzschutz, 23, 24
- BlueTooth, 28
- Bridge Setup, 29
- Channel ID, 9
- Coding, 10
- DECT, 28
- DHCP, 30
- Distanz, 21
- DSSS, 11
- Durchsatzrate, 38, 42
- Ebene
 - Primär-, 3
 - Sekundär-, 3
 - Tertiär-, 3
- Elementarwellen, *siehe* Wellen
- Empfangsenergie, 9
- Energieabsorption, 10
- ETSI, 9
- Expo Net, 18
- FDDI
 - Backbone, 3
- FHSS, 11
- Filter
 - Protokoll-, 40
- Frequenzbereich, 9
- Fresnel, 8
 - ellipsoid, 9
 - zone, 8
 - erste, 21
- full-duplex, 27
- Funkstrecke, 1
 - General Setup, 26
 - Gewinn, *siehe* Antenne
 - Glasfaserstrecke, 3
 - gnuplot, 14, 15
 - half-duplex, 27
 - Halterungen, *siehe* Antennenhalterungen
 - Hohenstauffengymnasium, 42
 - Hub, 39
 - Interconnection, 11
 - Interface Setup, 27, 32
 - Interferenzen, 28
 - IP Setup, 30, 32

-
- ISDN, 44
 - Kanalidentifikation, *siehe* Channel ID
 - LANE, 4
 - Laserpointer, 25
 - Linux
 - RedHat, 13, 37
 - LWL, 23, 24
 - Master, 27, 28
 - Maxwellgleichungen, 7
 - Medienkonverter, 14, 23
 - Mietleitung, 1
 - Motivation, 5
 - MPOA, 4
 - mrtg, 14, 16
 - netperf, 14, 37
 - netserver, *siehe* netperf
 - OR Manager, 26, 36
 - Orinoco, *siehe* WaveLAN
 - PIMF, 3
 - PPP, 44
 - Primärebene, *siehe* Ebene
 - Protokollfilter, *siehe* Filter
 - RedHat, *siehe* Linux
 - Referenzinstallation, 18
 - Richtfunk, 6
 - Router, 11, 12
 - virtuelle, 4
 - WaveACCESS, 12
 - Schirmständer, 24
 - scp, *siehe* ssh
 - Sekundärebene, *siehe* Ebene
 - Slave, 28
 - SNMP, 26, 43
 - Traps, 31
 - SNMP Setup, 31, 33
 - SNR, 36, 38
 - Sockel
 - Beton-, 24
 - Sommerhaus, 2
 - Speiseplan, 2
 - ssh, 13–15, 37
 - Stahlrohr
 - geerdet, 21
 - Storm Thresholds, 39
 - strukturiert, 3
 - System Access Pass Phrase, 32
 - Tertiärebene, *siehe* Ebene
 - Umfeld, 2
 - netztechnisch, 2
 - Verkabelungsebene, 3
 - Verschlüsselung, *siehe* WEP
 - Versorgungskanäle, 5
 - Visualisierung, 16
 - VLAN, 4
 - Wanddurchbrüche, 18
 - Watchdog, 26
 - WaveLAN, 12
 - PC Card, 13
 - Wellen
 - gleichungen, 7
 - elektromagnetische, 7
 - Elementar-, 8
 - Wellengleichungen, *siehe* Wellen
 - WEP, 28, 39
 - Wetter, 38
 - WIN
 - B-WIN, 2
 - G-WIN, 3
 - Wissenschaftsnetz
 - Breitband, *siehe* WIN
 - Gigabit, *siehe* WIN
 - Yagi, *siehe* Antenne
 - Zulassung, 44
-