

# *Inhaltsverzeichnis*

---

<b>Teil I:</b>	<b>Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>Vorbemerkung</b>	<b>13</b>
1.1	Die BMBF-Initiative zur Förderung von Demonstrationsprojekten	14
1.2	Ziele der BMBF-Initiative	14
1.3	Ziele des Beratungsprojekts	15
1.4	Wesentliche Ergebnisse des Projekts	16
<b>Teil II:</b>	<b>Allgemeine Grundlagen</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der WLAN-Technik</b>	<b>19</b>
2.1	Was ist WLAN-Technologie?	19
2.2	WLAN-Komponenten	20
2.2.1	Access Point	21
2.2.2	WLAN-Karten	24
2.2.3	Externe Antennen	24
2.2.4	ISA-PCMCIA-Adapter, PCI-PCMCIA-Adapter	25
2.2.5	Funk-Bridge	25
2.2.6	Media-Konverter	25
2.2.7	Weitere Komponenten zum Aufbau von WLAN-Netzen	26
2.2.8	Software	26
2.3	Standards und Standardisierungsgremien	27
2.4	Spezielle Zusammenschlüsse der Hersteller	29
2.5	WLAN-Übertragungstechniken	30
2.5.1	Allgemeines über Spread-Spectrum-Funkübertragungen	30
2.5.2	Mediumzugriffsverfahren in WLANs: Das IEEE 802.11 MAC-Protokoll	34
2.5.3	Das Backoff-Verfahren	36
2.5.4	Das RTS/CTS-Zugriffsverfahren	37

---

2.6	WLAN-Hersteller	38
2.7	WLAN-Netzwerktopologien	38
2.7.1	Ad-hoc-Netzwerk	38
2.7.2	Isoliertes Funknetz	39
2.7.3	Verbundene WLAN-Funkzellen	39
2.7.4	Richtfunkstrecke	40
2.7.5	Hybride Netzwerkstruktur	41
2.7.6	Komplett drahtlose Netzwerkinfrastruktur	41
2.7.7	Funknetz-Backbone im Außenbereich	42
2.8	Charakteristika von WLAN-Systemen	43
2.8.1	Funk-Reichweite	43
2.8.2	Kanalaufteilung	44
2.8.3	Funktechnische Vermessung	46
2.9	Organisatorische und Sicherheits-Aspekte	50
2.9.1	Strukturierung von Nutzergruppen	50
2.9.2	Technische Möglichkeiten	50
2.9.3	Organisatorische Maßnahmen	53
2.10	Aspekte für die Planung von WLAN-Netzwerken	54
2.11	Ausblick auf zukünftige Technologien	55

### **Teil III: Wireless Infrastructure for Students and Staff (WISS) 57**

<b>3</b>	<b>Das WISS-Projekt an der Universität Rostock</b>	<b>57</b>
3.1	Basis-Netzwerkinfrastruktur an der Universität Rostock	57
3.2	WISS - Konzeption und realisierte drahtlose Infrastruktur	58
3.3	Der Installationsverlauf an der Universität Rostock	59
3.4	Betrieb, Management und Nutzung	62
3.5	Aktuelle und zukünftige Anwendungsszenarien	64
3.5.1	Einsatz in der Lehre	65
3.5.2	Anwendung in der Forschung	66
3.5.3	Erweiterung der Netzwerkinfrastruktur	67
3.6	WLAN - Empfehlungen für den bundesweiten Einsatz	69

### **Teil IV: Beratungstätigkeit innerhalb der BMBF-Förderinitiative 71**

<b>4</b>	<b>Die Beratungstätigkeit der Universität Rostock innerhalb der BMBF-Förderinitiative</b>	<b>71</b>
4.1	Auswertung der an die Universität Rostock herangetragenen Fragestellungen	71
4.2	Rechtliche Fragen der WLAN-Anwendung	75
4.3	Gesetzliche Bestimmungen für Wireless-LAN-Systeme	76
4.4	Regelungen zum Betrieb von Wireless LANs	76
4.4.1	Gesetzliche Bestimmungen für Wireless LANs	77
4.4.2	Grundstücksbegrenzte und -übergreifende Nutzung	77
4.4.3	Lizenzpflichtige Dienste und Nutzungsszenarien	78
4.5	Informationsveranstaltungen im Rahmen des Projekts	78
4.5.1	Veranstaltung in Frankfurt	79
4.5.2	Tag der offenen Tür in Rostock	80
4.5.3	Veranstaltung in Berlin	81

4.5.4	Ergebnisse der abschließenden Teilnehmerbefragung	82
<b>Teil V:</b>	<b>Interoperabilitätstests aktueller WLAN-Systeme</b>	<b>89</b>
<b>5</b>	<b>Interoperabilitätstests aktueller WLAN-Systeme</b>	<b>89</b>
5.1	Aufgabenstellung / Problemstellung	89
5.2	Die Durchführung der Interoperabilitätstests	90
5.2.1	Getestete Geräte	90
5.2.2	Beschreibung und Ergebnisse der Tests	91
5.3	Vergleich mit den anderen Untersuchungen	98
5.4	Schlussbemerkung und Empfehlungen	99
<b>Teil VI:</b>	<b>Performance-Tests aktueller WLAN-Systeme</b>	<b>101</b>
<b>6</b>	<b>Performance-Tests aktueller WLAN-Systeme</b>	<b>101</b>
6.1	Untersuchung des Systemdurchsatzes in verschiedenen Betriebsmodi	103
6.2	Durchsatzänderung in Abhängigkeit von der Nutzeranzahl	105
6.3	Durchsatzänderung in Abhängigkeit von der Entfernung	107
6.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen	108
<b>Teil VII:</b>	<b>Optimierung durch Simulation</b>	<b>111</b>
<b>7</b>	<b>Ein Simulationssystem für Entwurf und Optimierung von WLANs</b>	<b>111</b>
7.1	Einleitung, Aufgabenstellung und Zielsetzung	111
7.2	Übersicht über aktuelle Methoden	112
7.3	Multifarben-Tintenfleck-Modell	114
7.3.1	Das Umgebungsmodell	115
7.3.2	Access Point Modell	116
7.4	Zusammenfassung und Ausblick	118
<b>Teil VIII:</b>	<b>Schluss</b>	<b>121</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussbemerkung</b>	<b>121</b>
<b>Teil IX:</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>123</b>
<b>Teil X:</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>127</b>
<b>Teil XI:</b>	<b>Anhang</b>	<b>131</b>

# Abbildungsverzeichnis

---

Abb. 1:	WLAN-Komponenten: Access Point mit WLAN-PCMCIA-Karte und externer Zimmerantenne sowie Notebook mit WLAN-Karte (am Bsp. der Fa. Enterasys) ....	20
Abb. 2:	WLAN-Basiskomponenten (am Beispiel der Fa. Enterasys).....	20
Abb. 3:	Trägerfrequenzwechsel während verschiedener FHSS -Übertragungen (Prinzip) ....	32
Abb. 4:	Signalspreizung durch 11-bit-Chipping Code.....	33
Abb. 5:	Unterschied der spektralen Leistungsdichte bei schmal- und breitbandiger Übertragung.....	33
Abb. 6:	Basiszugriffsmethode bei IEEE 802.11 (vereinfachte Darstellung ohne Backoff-Algorithmus) .....	35
Abb. 7:	WLAN Datenübertragung mittels RTS/CTS-Protokoll .....	37
Abb. 8:	Ad-hoc-Netzwerk ohne Access Point .....	38
Abb. 9:	Isolierte WLAN-Zelle .....	39
Abb. 10:	Verbundene WLAN-Funkzellen.....	40
Abb. 11:	Richtfunkstrecke.....	41
Abb. 12:	Hybride Netzwerkstruktur.....	42
Abb. 13:	Komplett drahtlose Netzwerkinfrastruktur.....	42
Abb. 14:	Funknetz-Backbone im Außenbereich.....	43
Abb. 15:	Funkreichweite eines Access Points (Enterasys) .....	44
Abb. 16:	DSSS-Kanalbelegung .....	44
Abb. 17:	Kanalaufteilung für flächendeckende Installation eines WLAN .....	45
Abb. 18:	Oberfläche eines Messtools (Enterasys) .....	48
Abb. 19:	Zeitverlauf der SNR-Werte einer Verbindung (Enterasys).....	48
Abb. 20:	Funkvermessung einer Etage (1).....	49
Abb. 21:	Funkvermessung einer Etage (2).....	49

---

Abb. 22:	Logische Struktur des RUN .....	58
Abb. 23:	Prinzip des Rostocker Universitätsnetzes mit WLAN.....	59
Abb. 24:	WLAN-Messprotokoll (Daten).....	60
Abb. 25:	WLAN Messprotokoll (Skizze).....	60
Abb. 26:	Access Point mit externer Antenne, Stromversorgung über LAN-Kabel möglich....	61
Abb. 27:	Roam About Access Point Manager .....	62
Abb. 28:	Antragsformular zur WLAN-Nutzung.....	63
Abb. 29:	Probleme mit der Konzeption .....	83
Abb. 30:	Unterstützung durch die Lieferanten.....	84
Abb. 31:	Betrieb des WLAN-Systems .....	85
Abb. 32:	WLAN-Funkkarten für die Studenten.....	86
Abb. 33:	Waren die WWW-Seiten nützlich? .....	87
Abb. 34:	Teilnahme an den Informationsveranstaltungen .....	88
Abb. 35:	Ad-hoc-Vernetzung .....	92
Abb. 36:	Infrastrukturmodus.....	94
Abb. 37:	Roamingtest (Erstkonfiguration).....	96
Abb. 38:	Roamingtest (abschließende Konfiguration) .....	96
Abb. 39:	Allgemeine Testkonfiguration.....	102
Abb. 40:	Grafik Normalbetrieb .....	104
Abb. 41:	Grafik Verschlüsselungsmodus .....	104
Abb. 42:	Grafik Energiesparmodus .....	105
Abb. 43:	Durchschnittlicher Durchsatz eines Clients in Abhängigkeit von der Anzahl der Nutzer beim Daten-Download (hoher „Gleichzeitigkeitsfaktor“) .....	106
Abb. 44:	Durchschnittlicher Durchsatz eines Clients in Abhängigkeit von der Anzahl der Nutzer beim Daten-Upload (hoher „Gleichzeitigkeitsfaktor“) .....	106
Abb. 45:	Konfiguration der Testumgebung .....	107
Abb. 46:	Reichweitentest - Download Performance.....	108
Abb. 47:	Reichweitentest - Upload Performance.....	108
Abb. 48:	Arbeitszyklus der WLAN-Systeminstallation .....	112
Abb. 49:	Verbreitung des Tintenfleckes.....	117

# *Tabellenverzeichnis*

---

Tab. 1:	Kanalaufteilungsmatrix für flächendeckende WLANs .....	45
Tab. 2:	Durch das BMBF geförderte Hochschulen .....	82
Tab. 3:	Gewählte Hersteller .....	84
Tab. 4:	Zusammenfassung Testergebnisse .....	93
Tab. 5:	Zusammenfassung Testergebnisse 2 .....	93
Tab. 6:	Test ohne WEP-Verschlüsselung .....	94
Tab. 7:	Test mit 40-Bit WEP-Verschlüsselung .....	95
Tab. 8:	Test mit 128-Bit WEP-Verschlüsselung .....	95
Tab. 9:	Test ohne WEP-Verschlüsselung .....	97

---