Fakultät II – Informatik, Wirtschaft und Rechtswissenschaften
Department für Informatik
Abteilung Rechnernetze und Telekommunikation

Diplomarbeit

Analyse eines Freifunknetzwerkes

Oldenburg, den 21.12.06

Bearbeitet von

Stefan Hosbach

Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Kowalk und Dipl. Inf. Stefan Brunhorn

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

1.1 Hintergrund und Motivation ... 1

1.2 Ziel der Diplomarbeit ... 2

1.3 Aufbau der Arbeit ... 3

2 Grundlagen ... 4

2.1 Mesh Netzwerk ... 4

2.1.1 Vermaschtes Netz ... 4

2.1.2 Vermaschte Funknetze ... 5

2.1.3 Routing in Mesh Netzwerken ... 6

2.2 OLSR ... 9

2.2.1 Link State Routing ... 9

2.2.2 Optimierungen für Funknetze ... 13

2.3 Freifunk ... 16

2.3.1 Das Projekt ... 17

2.3.2 Pico Peering Agreement ... 17

2.3.3 Rechtslage ... 19

2.3.4 Freifunkknoten ... 20

2.4 Funkübertragung ... 23

2.4.1 ISM Band ... 24

2.4.2 Sendeleistung ... 24

2.4.3 Störquellen ... 25

2.4.4 Strahlenbelastung ... 29

3 Analyse ... 31

3.1 Freifunk in Hannover ... 31

3.1.1 Das Projekt ... 31

3.1.2 Topologie des Netzes ... 32

3.1.3 Installation des Knotens ... 33

3.2 Vorhandene Software ... 36

3.2.1 Darstellung mit Google Maps ... 37

3.2.2 OLSR-Viz ... 38

3.2.3 Freifunk-Statistics ... 39

3.2.4 Vergleich ... 40

3.2.5 Gewonnene Erkenntnisse ... 42

3.3 Daten für die Analyse ... 43

3.3.1 Relevante Daten ... 43

3.3.2 Absolute Luftfeuchtigkeit ... 47

3.3.3 Störung durch benachbarte Funknetze ... 49

4 Entwicklung der Software ... 56

4.1 Ausgangssituation ... 56

4.2 Anforderungsdefinition ... 56

4.2.1 Einordnung der Arbeit ... 56

4.2.2 Einsatzbereich der Software ... 57

4.2.3 Funktionale Anforderungen ... 57

4.2.4 Nichtfunktionale Anforderungen ... 59

4.2.5 Benutzerschnittstellen ... 59

4.2.6 Fehlerverhalten ... 59

4.3 Entwurf ... 60

4.3.1 Technologiewahl ... 60

4.3.2 Architektur ... 62

4.3.3 Entwurf der Datenhaltung ... 63

4.3.4 Entwurf des Datensammlers ... 67

4.3.5 Entwurf des Web-Frontends ... 69

4.4 Implementierung und Test ... 74

4.4.1 Implementierung des Datensammlers ... 74

4.4.2 Implementierung der Datenbank ... 75

4.4.3 Implementierung des Web-Frontends ... 76

4.4.4 Test ... 77

4.5 Datenanalyse ... 78

4.5.1 Freifunkverbindungen ... 78

4.5.2 Benachbarte Funknetze ... 82

4.5.3 Wetterdaten ... 84

4.5.4 Konfiguration der Router ... 86

5 Abschließende Überlegungen ... 88

5.1 Gewonnene Erkenntnisse ... 88

5.2 Fazit ... 88

5.3 Ausblick ... 90

5.3.1 Verbesserte Datenerfassung ... 90

5.3.2 Genauere Wetterdaten ... 91

5.3.3 Bestimmung der WLAN Topographie ... 92

5.3.4 Einbindung der Wettervorhersage ... 94

Glossar ... 96

Literatur ... 100

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands wurde in den 90er Jahren in Ostdeutschland mit OPAL ein modernes Telefonnetz basierend auf Glasfasertechnik aufgebaut. Erst Ende des Jahrzehnts stellte sich heraus, dass die erste Generation der bezahlbaren Breitbandanschlüsse für den Privatanwender - das ADSL - nur auf Kupferkabel eingesetzt werden kann. Aber nicht nur OPAL, sondern auch die ökonomisch orientierten Ausbaupläne der Telekom bezüglich ihres DSL Netzes waren unter anderem der erste Anstoß für die Entstehung von Funknetzen, die über die Grenzen der Grundstücke hinausgingen, um das Internet an Menschen zu bringen, die ansonsten keinen Zugang zu Breitband-Internetanschlüssen hatten. Das OPAL Netz im Osten von Berlin war einer der Auslöser für die Entstehung des ersten Freifunknetzwerkes in Deutschland. In den folgenden Jahren sind Bürger in vielen Städten und Gemeinden dem Vorbild der Berliner Freifunker gefolgt und haben mit der gewonnen Erfahrung und bewährten Technik eigenständige Netze aufgebaut. Inzwischen ist nicht mehr alleine die Verbreitung von kostenlosen Internetzugängen das Hauptziel der Freifunkgemeinschaft, sondern die Entstehung eines eigenen Netzes, das entgegen dem Trend des Internets nicht reglementiert und kontrolliert werden soll.

Bereits kurz nach dem Beginn des Freifunknetzwerkes in Hannover trat der Autor dieser Arbeit der stetig wachsenden Gemeinschaft der Freifunker bei. Aus diesem persönlichen Interesse für die Materie und der Tatsache, dass das Thema Freifunk bislang kaum wissenschaftlich untersucht wurde, begründet sich die Wahl für dieses Thema als Diplomarbeit. [MEA] [FF5] [CT1]

1.2 Ziel der Diplomarbeit

Im Rahmen der Diplomarbeit „Analyse eines Freifunknetzwerkes“ sollen zunächst die Grundlagen der dem Freifunk zugrunde liegenden Techniken und Protokolle beschrieben werden. Darüber hinaus soll die Arbeit vermitteln, was sich hinter dem Freifunkprojekt verbirgt. Um überhaupt praktische Aussagen über das Freifunknetzwerk treffen zu können, soll zunächst eine Anbindung an dieses erfolgen. Die dabei gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse werden ebenfalls in die Arbeit einfließen.

Da eine fundierte Analyse des Freifunknetzwerkes ohne größeres Datenmaterial nur begrenzt möglich ist, wird eine Software entwickelt, die in der Lage sein soll Daten zu sammeln und zu analysieren. Dabei ist sowohl der praktische Nutzen in Form von Fehlerdiagnostik, als auch der wissenschaftliche Aspekt, wie zum Beispiel durch die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Wetterverhältnissen und Stabilität des Freifunknetzwerkes, das Hauptziel der Entwicklung. So soll die Software aber auch eine zentrale Anlaufstelle bieten, die dem Anwender alle wichtigen Daten des Freifunknetzwerkes verfügbar macht.

Um einen Überblick über bereits vorhandene Analysesoftware zu gewinnen, ist es geplant, dass verschiedene Anwendungen aus diesem Bereich getestet, beschrieben und miteinander verglichen werden, um auf diesem Weg Erkenntnisse für die selbstständige Entwicklung gewinnen zu können.

Darüber hinaus muss untersucht werden, welche Daten für die softwaregestützte Analyse relevant sind. In diesem Rahmen können weitere Untersuchungen bezüglich bestimmter Aspekte nötig sein. Die zu entwickelnde Software soll aus zwei eigenständigen Programmen bestehen. Bei diesen handelt es sich um einen Datensammler, der alle relevanten Informationen abruft und in eine Datenbank ablegt. Auf Basis dieser Informationen operiert die zweite Anwendung. Diese soll dem Anwender nicht nur Zugriff auf die gesammelten Informationen bieten, sondern diese auch auswerten können.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der strukturelle Aufbau der Arbeit lässt sich grob in vier Teile gliedern. Der erste Teil umfasst das Kapitel 2 und stellt zunächst die Grundlagen für das Verständnis von Freifunknetzwerken vor.

Der zweite Teil dieser Arbeit umfasst Kapitel 3 und beschäftigt sich mit der Analyse des Freifunknetzwerkes.

Kapitel 4, der dritte Teil dieser Arbeit, beschreibt in Anlehnung an das Wasserfallmodell, den gesamten Entwurf der zu entwickelnden Software. Abschließend werden am Ende dieses Kapitels die gesammelten Ergebnisse ausgewertet.

Der vierte und letzte Teil besteht mit Kapitel 5 aus den abschließenden Überlegungen. Nach der Betrachtung von allgemeinen Erkenntnissen, gefolgt von einem Fazit, schließt der Abschnitt Ausblick sowohl das Kapitel als auch die Arbeit ab.

2 Grundlagen

Das folgende Kapitel setzt sich mit den Grundlagen dieser Arbeit auseinander. Zunächst wird in Abschnitt 2.1 auf das Mesh Netzwerk eingegangen. Beginnend mit der Vermittlung des OLSR Protokolls in Abschnitt 2.2 und gefolgt von einer Beschreibung der Bereiche des Freifunkprojekts in Abschnitt 2.3, schließt das Kapitel mit Abschnitt 2.4 ab, welcher die notwendigen Grundlagen im Bereich Funkübertragung beschreibt.

2.1 Mesh Netzwerk

In diesem Abschnitt wird zunächst das vermaschte Netz vorgestellt. Im Anschluss daran erfolgt die Hervorhebung der Besonderheiten in vermaschten Funknetzen. Zum Ende des Abschnittes wird das Routing in Mesh Netzwerken erläutert.

2.1.1 Vermaschtes Netz

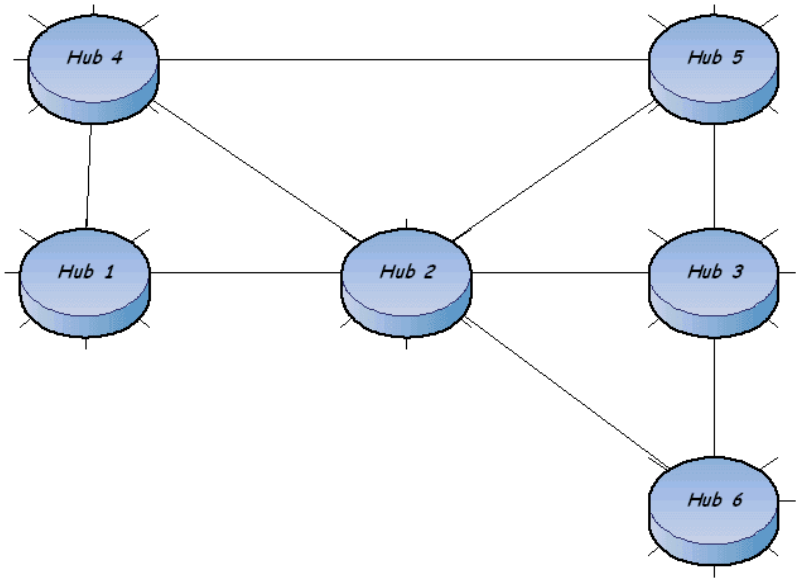


Abbildung 1 - Vermaschtes Netzwerk [FHA]

Bei dem vermaschten Netz (eng. Mesh Network) handelt es sich um eine Netzwerktopologie bei der alle Knoten mit einem oder mehreren anderen Knoten des Netzwerkes verbunden sind. Somit ist ein Knoten in der Lage jeden beliebigen Knoten des Netzwerkes direkt oder indirekt über seine Nachbarknoten zu erreichen. Ein solches Netzwerk ist auf Abbildung 1 dargestellt. Sind alle Knoten direkt miteinander verbunden, so handelt es sich um ein vollvermaschtes Netz. [KES]

2.1.2 Vermaschte Funknetze

Die meisten Funk Netzwerke arbeiten in dem auf Abbildung 2 gezeigten „Infrastrukturmodus“ und basieren somit auf einem funkgestützten Access Point. In dem dabei entstehenden Netzwerk übernimmt der Access Point die Funktion eines kabellosen Switches und erzeugt damit eine Stern Topologie. Verbindet man die Access Points über Ethernet so entsteht eine Zelltopologie. Eine Möglichkeit die Abdeckung eines WLANs zu erhöhen ist das Wireless Distribution System (WDS). Bei diesem handelt es sich um einen nicht standardisierten Modus, der in der Lage ist Access Points auf OSI Schicht 2 drahtlos zu verbinden. Da die Informationen zwischen den Access Points auf dem gleichen Kanal übertragen werden auf der auch die Kommunikation mit den Clients läuft, wird die zur Verfügung stehende Bandbreite halbiert.

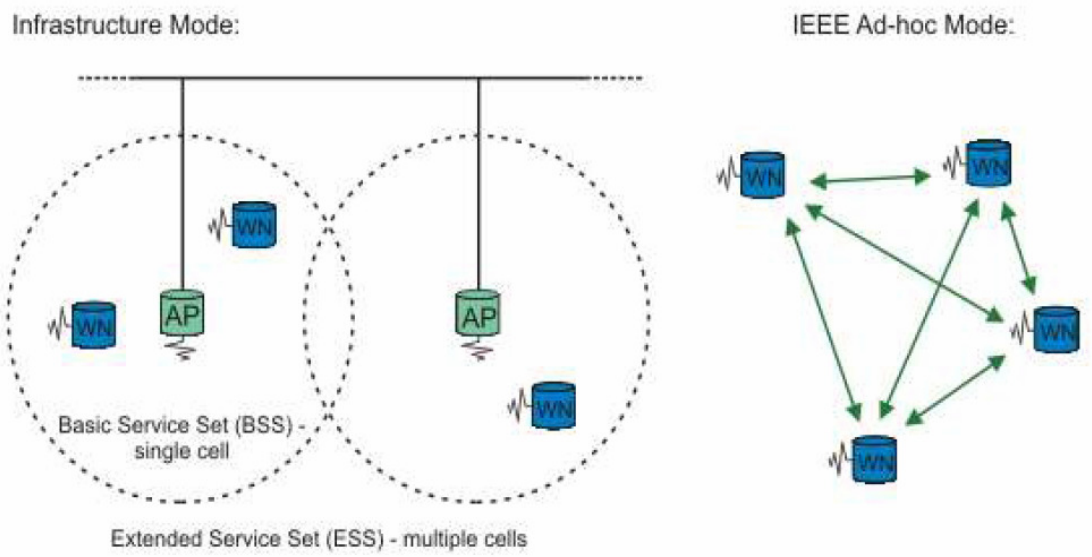


Abbildung 2 - Infrastructure und Ad-Hoc [OL1]

Wird ein Funknetzwerk ohne Access Point betrieben, so steht nur der ebenfalls auf Abbildung 2 ersichtliche Ad-Hoc Modus zur Verfügung. Diese Netze werden auch als mobile Ad-hoc-Netze (MANet) bezeichnet. Hier sind die Teilnehmer in der Lage eine Verbindung zu allen Teilnehmern in ihrer Sende- und Empfangsreichweite aufzunehmen, die im selben Modus betrieben werden. Das dabei entstehende vermaschte Netz wird auch als Mesh Netzwerk oder „WLAN Wolke“ bezeichnet. In diesem kann ohne Routing Protokolle nur bei direkter Verbindung miteinander kommuniziert werden. Von einem vermaschten Netzwerk wird aber nicht nur im Zusammenhang mit drahtlosen Netzwerken geredet, sondern auch große Teile des Internets basieren auf dieser Topologie. [DCH] [THW] [NWR] [FF1] [FF7]

2.1.3 Routing in Mesh Netzwerken

Das Routing ist im ISO/OSI Modell eine der Hauptaufgaben der dritten Schicht, auch Vermittlungsschicht genannt. Die einfachste Art der Wegwahl ist das statische Routing, bei welchem es sich um ein nicht-adaptives Routingverfahren handelt. Das Routing ist statisch, da für jeden Knoten vor der Inbetriebnahme eine feste Tabelle angelegt wird, in der für alle zu erreichenden Ziele die optimalen Wege gespeichert werden. Anwendung findet das statische Routing vor allem bei Netzwerken mit einer festen Struktur und einer vermaschten Netzwerktopologie.

In großen dynamischen Mesh Netzwerken, wie unter anderem in großen Teilen des Internets, finden wir jedoch eine Umgebung vor, in der laufend neue Wege entstehen und alte wegfallen. Aufgrund der riesigen Menge an angeschlossenen Teilnehmern und ihren nicht vorhersagbaren Verhalten kann es in kürzester Zeit zu stark fluktuierenden Belastungen auf den einzelnen Knoten des Netzwerkes kommen. Um diesem Problem Rechnung zu tragen, bedarf es einer Lösung, die über eine statische Wegwahl hinausgeht. Die Klasse der adaptiven Verfahren bietet eine Reihe von Lösungen für dieses Problem, da sie in der Lage ist aufgrund von äußeren Einflüssen dynamisch die Wegwahl zu bestimmen.

Bei den adaptiven Routingprotokollen unterscheidet man zwischen zentralisierten, isolierten und verteilten Verfahren. Die zentralisierten Routingverfahren bestimmen die Übertragungsleitung zentral für das gesamte Netz auf einem Knoten, welcher auch Routing

Control Center (RCC) genannt wird. Bei den isolierten Routingverfahren übernimmt ein Knoten die Auswahl der Übertragungsleitung anhand von selbstständig gesammelten Informationen. Dieses Verhalten besitzen auch die verteilten Routingverfahren, darüber hinaus teilen sie jedoch ihre gesammelten Informationen mit ihren Nachbarn. [KOW]

Besonderheiten in MANets

Drahtlose Mesh Netzwerke benötigen aufgrund spezieller Anforderungen gegenüber kabelgebunden Mesh Netzwerken andere Routingprotokolle. Zu diesen speziellen Bedingungen zählen:

- Knoten haben kein Vorwissen über die Topologie des Netzwerkes, sie müssen diese selbst erkunden
- keine zentralen Instanzen zum Speichern von Routinginformationen
- Mobilität der Knoten und damit verbundener ständiger Topologiewechsel
- Wechselnde Metrik der Übertragungsstrecken (zum Beispiel durch Interferenzen)
- Beschränkte Ressourcen der Knoten (Systemleistung, Energieverbrauch)

In MANets werden überdies die Routingprotokolle in weitere Unterteilungsmöglichkeiten gegliedert. Während positionsbasierte und topologiebasierende Routingverfahren die Frage nach den Standorten der einzelnen Knoten stellen, beschäftigen sich proaktive, reaktive und hybride Routingverfahren mit den Zeitpunkten an denen die Routen bestimmt werden.

Die positionsbasierten Routingverfahren verwenden geographische Informationen über die einzelnen Knoten im Netzwerk. Jene können zum Beispiel dynamisch durch satellitengestützte Navigationssysteme, wie GPS oder Galileo, geliefert werden. Die daraus gewonnenen Informationen dienen der Bestimmung der optimalen Routen zwischen den Knoten. Die topologiebasierenden Routingverfahren haben keine Kenntnis über die jeweilige Position der Knoten. Es werden lediglich Informationen über die von den verschiedenen

Knoten zu erreichenden Nachbarknoten gesammelt. Sowohl proaktives, reaktives und als auch hybrides Routing gehört zu den topologiebasierten Routingverfahren.

Proaktive Routingprotokolle bestimmen kontinuierlich die optimalen Routen für die Datenpakete, so dass bei einer Datenübertragung die Pakete sofort verschickt werden können. Diesen Vorteil erkaufen sich jedoch proaktive Protokolle durch einen großen Overhead, welcher kontinuierlich durch das ständige Versenden von Kontrollpaketen erzeugt wird.

Im Gegensatz dazu bestimmen reaktive Routingprotokolle erst bei einem konkreten Übertragungswunsch eines Knotens die optimale Route. Dies führt zu einer gewissen Verzögerung der Übertragung, da zunächst ein Broadcast ins Netz gesendet wird. Somit fällt der Overhead an Kontrollpaketen geringer aus und konzentriert sich auf einen Zeitpunkt kurz vor der wirklichen Datenübermittlung.

Hybride Verfahren kombinieren das proaktive und das reaktive Routing, um somit die Vorteile beider zu vereinen, ohne dessen Nachteile zu übernehmen. So werden nahe Knoten mittels proaktivem Routing ständig kontaktiert und in eine feste Tabelle geschrieben, während die beste Verbindung für ferne Knoten nur bei Bedarf mit Hilfe des reaktiven Routing bestimmt wird. [FF1]

Ad-Hoc Modus nach IEEE 802.11

Selbstverständlich kann in funkgestützten Mesh Netzwerken auch nur der Ad-Hoc Modus nach IEEE 802.11 eingesetzt werden. Jedoch fehlt dann in dem entstehenden Netz jegliche Routing-Funktionalität. So sind Knoten, die in dem normalen Ad-Hoc Modus arbeiten, nur in der Lage mit Stationen in Übertragungsreichweite zu kommunizieren. In diesem Modus können Knoten, welche außerhalb ihrer gegenseitigen Sende- und Empfangsreichweite liegen, nicht einen gemeinsamen Nachbarknoten als Relais benutzen. Ein Mesh Netzwerk entsteht somit nur innerhalb der Übertragungsreichweite aller Knoten. Aus diesem Grund bedarf es in modernen Mesh Netzwerken, welche sich teilweise über ganzen Metropolen erstrecken, an Routing Protokollen, die in der Lage sind Informationen über eine beliebige Anzahl von Knoten zu übertragen. Diese auf Abbildung 3 dargestellte Funktionalität wird als Multihop bezeichnet und wird unter anderem durch das Routing Protokoll OLSR bereitgestellt. [LDP]

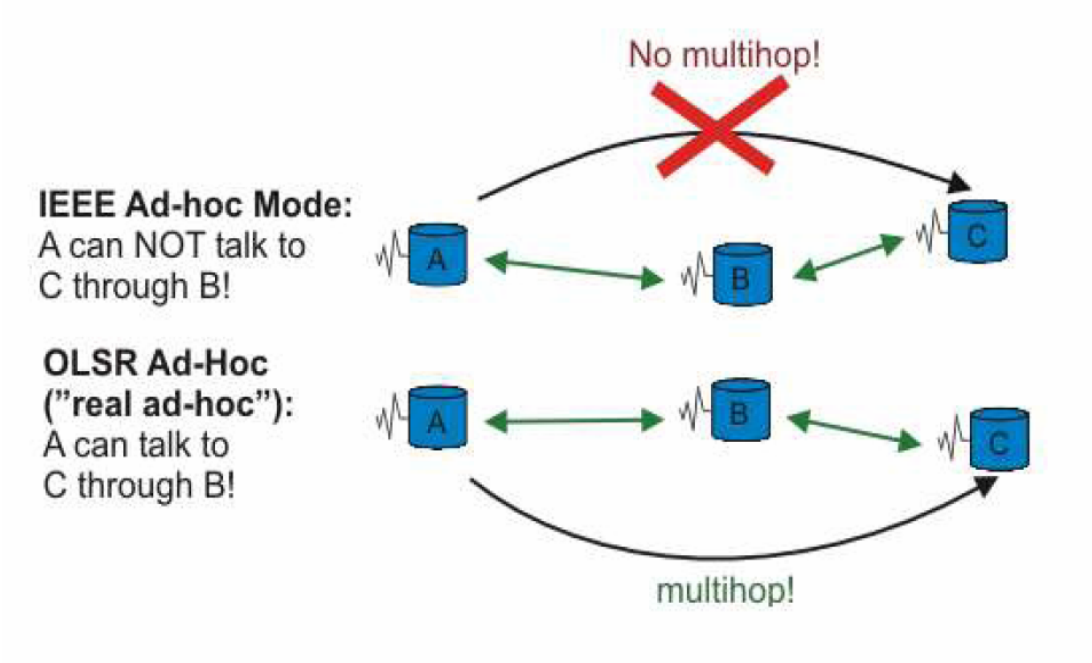


Abbildung 3 – Multihop am Beispiel OLSR [OL1]

2.2 OLSR

Der Abschnitt OLSR beschreibt zunächst das Protokoll Link State Routing. In Anschluss werden die Optimierungen für Funknetzwerke vorgestellt.

2.2.1 Link State Routing

Bei den verteilten proaktiven adaptiven Routing Protokollen existieren zwei große Klassen von Protokollen. Dies ist zum einem das Distanz Vektor Routing, bei welchem jeder Knoten Distanztabellen hält und diese mit seinen Nachbarn abgleicht. Die andere große Klasse umfasst die Protokolle, die den Link State Algorithmus nutzen. Dieser basiert auf dem Algorithmus von Dijkstra und zeichnet sich durch eine topologische Netzwerkkarte aus, über die jeder Knoten verfügt. In diesen als Matrizen gespeicherten Karten sind nicht nur die Knoten des Netzwerkes eingetragen, sondern auch die Gewichtung der Kanten. Es kann sich bei diesem Wert, der auch als Metrik bezeichnet wird, um unterschiedliche Bewertungen

handeln, wie beispielsweise die Wegstrecke oder die benötigte Übertragungszeit der jeweiligen Kante.

Wird das Netzwerk mit Link State Routing zum ersten Mal aktiviert, so besitzt jeder Knoten nur Informationen über seine direkten Nachbarn. Der Aufbau der LSR Matrizen erfolgt nun durch den Versand von Hello- und Update-Paketen. Mit Hilfe der Hello-Pakete informiert ein Knoten alle anderen Knoten im Netz mittels Fluten über die eigenen Verbindungen. Zudem fordert er durch diese eine möglichst vollständige LSR Matrix an. Die Update-Pakete werden von einem Knoten ebenfalls durch Fluten versendet. Dies ist der Fall, wenn ein Knoten eine Änderung festgestellt hat. Beide Pakete sorgen in der Regel für eine Änderung der LSR Matrizen, so dass diese erneut an alle Knoten verteilt werden müssen. Die Hello-Pakete werden ständig versendet, um den Ausfall eines Knotens rechtzeitig zu entdecken. Diese sorgen somit für einen kontinuierlichen Overhead im Netzwerk. [TTR] [GAE]

Algorithmus von Dijkstra

Der Algorithmus von Dijkstra dient zur Berechnung der kürzesten Wege von einem Startknoten zu allen anderen Knoten in einem kantengewichteten ungerichteten Graphen. Die grundsätzliche Arbeitsweise dieses Algorithmus lässt sich anhand einer Abfolge von Anweisungen gut verdeutlichen. Diese wurden in einer fiktiven Geschichte durch den Kaiser von China ausgegeben und sollten der Erfassung der kürzesten Route durch sein Reich dienen.

1. Es sollen sich in der Stadt, in der der Kaiser wohnt, so viele Leute, wie es Wege aus der Stadt heraus gibt, freiwillig melden, die sich guter Gesundheit erfreuen und einen Zeitmesser besitzen. Allen Teilnehmern erhalten ein Blatt Papier, auf dem als einzige Zeile der Name der Hauptstadt zu lesen ist.

2. Diese Leute sollen sich alle zur gleichen Zeit vom Mittelpunkt der Stadt aus auf den Weg machen, jeder in eine andere Richtung, hinaus aus der Stadt.

3. Wenn einer dieser Leute in der nächsten Stadt ankommt, so solle er sich die Zeit merken, die er für den ganzen Weg brauchte. Daraufhin meldet er sich beim Stadtverwalter.

4. Wenn der Ankommende der erste war, der mit diesem Auftrag vom Kaiser kam, so bittet er den Stadtverwalter, so schnell wie möglich wiederum so viele Leute aufzutreiben, wie es Wege aus der Stadt gibt. Sodann sollen diese Leute das gleiche machen, wie ab Punkt 2, wobei jeder von ihnen eine Kopie der Liste bekommt, die der Ankommende mitgebracht hat, und bei dem zuunterst der Name der Stadt hinzugefügt wurde. Der Ankommende selbst kann sich auf den Weg in die Hauptstadt machen, um dem Kaiser von seiner Reisezeit und dem Weg, den die Liste beschreibt zu berichten.

5. Wenn der Stadtverwalter dem Ankommenden berichten kann, dass vor ihm bereits jemand mit dem gleichen Auftrag da war, so soll er sich nach Hause begeben, sein Auftrag ist hiermit erledigt.

Das genaue Vorgehen soll nun anhand von Abbildung 4 gezeigt werden. Der Einfachheit halber werden Kanten, die längere Pfade bilden, während der Bestimmung entfernt. Zunächst ist bei a) der Ausgangsgraph mit seinen nummerierten Knoten, Kanten und deren Gewichtungen zu sehen.

Im nächsten Schritt b) wurde der Ausgangsknoten und der Zielknoten grün markiert. Der Ausgangsknoten wird als permanent gesetzt und erhält zudem die Gewichtung 0, da dieser ohne Zurücklegen einer Strecke zu erreichen ist. Nun werden alle Knoten, die mit dem Ausgangsknoten 0 verbunden sind als Arbeitsknoten definiert, was durch die blaue Markierung gezeigt wird. Zudem erhalten diese Knoten die Gewichtung der Kante, die sie mit dem Ausgangsknoten verbindet. In unserem Fall sind das die Knoten 1 und 2, welche die Gewichtungen 3 und 5 erhalten. Alle restlichen Knoten erhalten als Gewichtung den Wert unendlich (englisch: „infinity“ - durch „inf“ abgekürzt).

Bei Graph c) wurde Knoten 1 als permanent gesetzt, da dieser mit 3 die geringste Gewichtung aller direkt mit dem Ausgangsknoten 0 verbundenen Knoten hat. Knoten 2 wurde infolgedessen aktualisiert, da er über Knoten 1 mit einer kürzeren Strecke erreicht werden kann. Die alte Verbindung wird entfernt und er erhält die Gewichtung 4 (3+1). Knoten 3 und 4 werden zu Arbeitsknoten und bekommen die Gewichtung der jeweiligen Kante zu Knoten 1 addiert mit der Gewichtung von Knoten 1 zugewiesen.

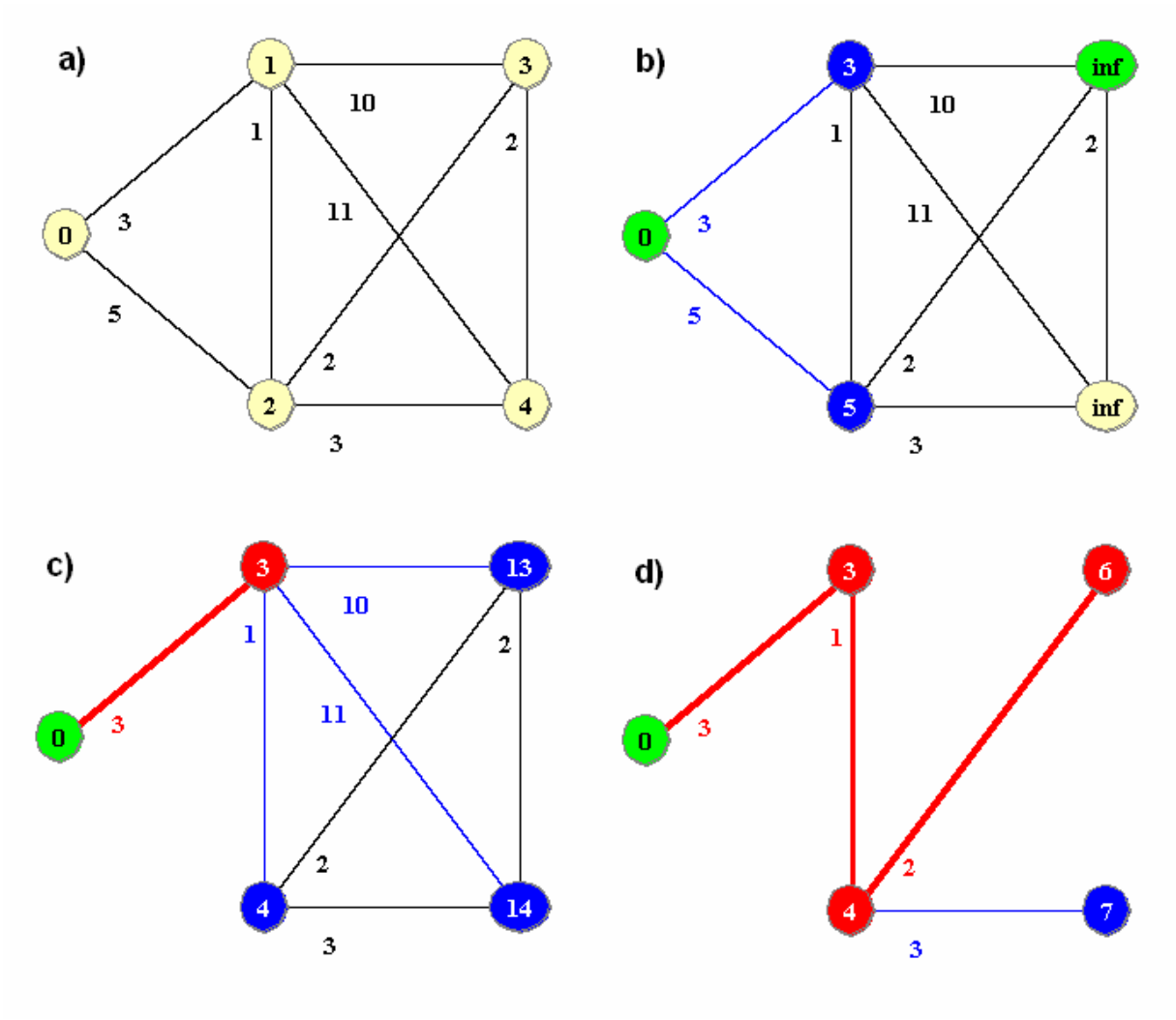


Abbildung 4 - Suche nach dem kürzesten Pfad nach Dijkstra

In Graph d) wurde zunächst Knoten 2 als permanent markiert, weil er nach Knoten 1 der Knoten ist, der dem Anfangsknoten am nächsten liegt. Da über Knoten 2 die Knoten 3 und 4 schneller erreicht werden können, wurden die alten Verbindungen eliminiert und die Knoten mit ihren neuen Gewichtungen beschriftet. Aufgrund der kleineren Gewichtung gegenüber Knoten 4, wurde dann Knoten 3 als permanent markiert. Da der Algorithmus somit am Zielknoten angekommen ist, terminiert er ordnungsgemäß. Die kürzeste Route von Knoten 0 zu Knoten 3 führt über die Knoten 1 und 2 und hat die Länge 6. [TUM] [BRM]

2.2.2 Optimierungen für Funknetze

Die Gründe für die Verwendung von unterschiedlichen Routingprotokollen in kabelgebunden und kabellosen Mesh Netzwerken wurden bereits verdeutlicht. Eines der bekanntesten Routing Protokolle für funkgestützte Mesh Netzwerke ist Optimized Link State Routing (OLSR). OLSR, das grundsätzlich auf LSR basiert, kommt aus dem akademischen Bereich und wurde erstmalig von Andreas Tønnesen im Rahmen seiner Master Arbeit implementiert. Wie der Name bereits suggeriert handelt es sich um das Link State Routing Protokoll, welches einigen Optimierung unterworfen wurde, um seine Eignung für Funknetze zu erhöhen. [OL2]

Routenbestimmung

Das regelmäßige Fluten des gesamten Netzwerkes durch alle Knoten, wie es vom Link State Routing praktiziert wird, stellt für ein Funknetz eine übermäßige Belastung dar. Aus diesem Grund wird bei OLSR nur durch die Multi Point Relays (MPRs) geflutet. Außerdem sind MPRs die einzigen Knoten, die Pakete weiterleiten dürfen. Die Auswahl der MPRs geschieht nicht zentral durch einen Knoten, sondern wird von jedem Knoten selbst durchgeführt. Die Summe der von allen Knoten gewählten MPRs bestimmt die Gesamtmenge der in einem Netz vorhanden MPRs. Die Auswahl geschieht anhand folgender Bedingung: „Alle Nachbarn zweiter Ordnung müssen erreicht werden können“. Daraufhin werden so viele Nachbarknoten als MPR gewählt, bis dieses Ziel erreicht ist. Bevorzugt werden hier Knoten, die möglichst viele der zwei Hops entfernten Knoten erreichen können. Doch ein Auswahlkriterium genießt noch höhere Priorität bei der MPR Bestimmung: der Willingness-Faktor des Knoten. Er bestimmt die Bereitschaft eines Knotens die ankommenden Daten weiterzuleiten. Eingeführt wurde er, um zum Beispiel einem Knoten mit autarker Stromversorgung bei Energieengpässen die Möglichkeit zu bieten, seine Netzlast und somit seinen Verbrauch zu senken.

In Abbildung 5 ist sowohl normales Fluten, als auch MPR Fluten bei einem für diese Zwecke optimalen Netz zu sehen. Während das normale Fluten 24 Weiterleitungen braucht um das gesamte Netz zu erreichen, kommt das MPR Fluten mit nur 11 Weiterleitungen aus.

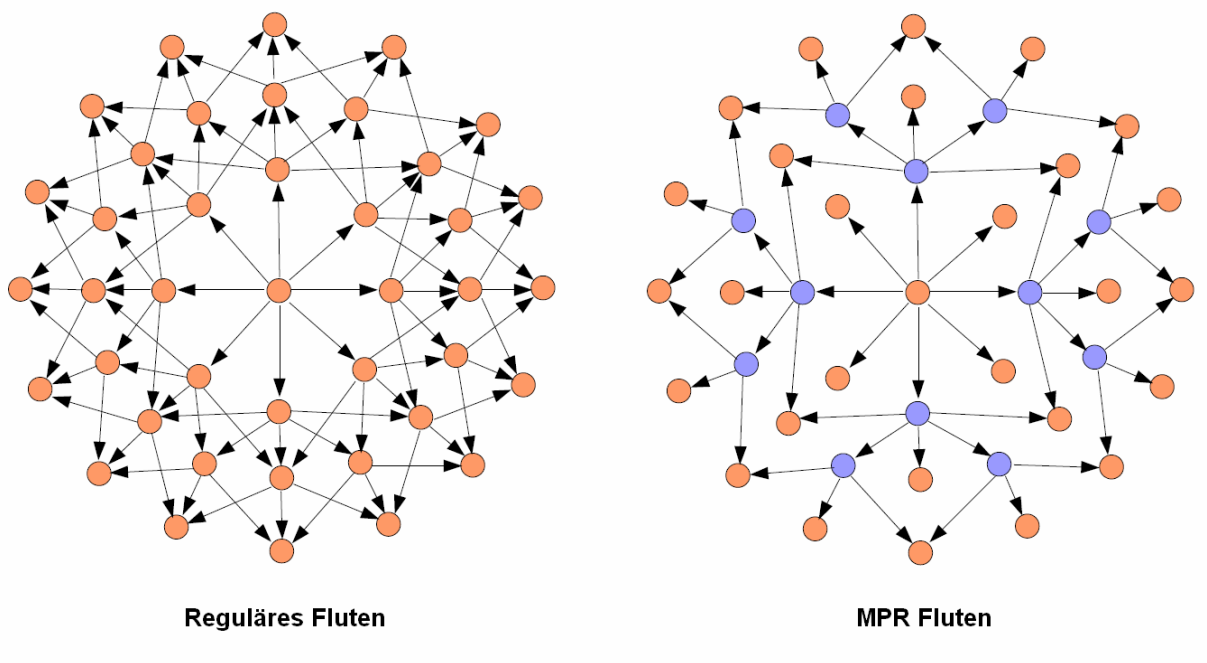


Abbildung 5 - Unterschiedliches Fluten [OL1]

Das Wissen über Netzwerktopologie entsteht anhand der Nachrichten, die die MPRs miteinander austauschen. So informiert jeder MPR seine Unterknoten mit der Hilfe von Topology Control (TC) Nachrichten über die gewonnen Erkenntnisse. Abschließend verfügt jeder Knoten über eine identische Topology Table. [KNI] [CT1]

Leitungsbewertung mit Hysterese und ETX

Die von Link State Routing als Metrik oft verwendeten Übertragungsdauern sind nur in kabelgebundenen Netzwerken sinnvoll. So ist es in Funknetzen wichtiger eine Route zu finden auf der die Daten mit hoher Wahrscheinlichkeit ihr Ziel erreichen, als eine Route, auf der sie das sehr wahrscheinlich nicht tun, auch wenn die Datenpakte dafür im Mittel schneller am Ziel sind. Denn durch die häufigen Wiederholungen von Übertragungen ist die vermeintlich langsamere Route mit dem geringen Paketverlust unterm Strich oft schneller, als die schnelle und instabile Verbindung.

Aus diesem Grund verwendet OLSR in seiner ursprünglichen Form eine Leitungsauswahl in Verbindung mit einer Hysterese. Eine Hysterese beschreibt für gewöhnlich den Wechsel zwischen zwei Zuständen. Dieser findet, wie in Abbildung 6 ersichtlich, nicht an einem festen

Punkt, sondern an zwei unterschiedlichen Punkten statt. An welchem der beiden Punkte ein Zustandswechsel passiert, hängt allein von dem vorherigen Zustand ab. Bei OLSR wurde ursprünglich nur darüber entschieden, ob eine Route verwendet wird. Somit hat jede Verbindung die Metrik 1 oder 0. Hatte eine Metrik den Wert 1, so musste erst die untere Grenze, welche standardmäßig den Wert 0,3 hat, unterschritten werden, um auf die Metrik 0 zu wechseln und somit die Route und vielleicht auch den Knoten zu verwerfen. Erst nach übersteigen der oberen Grenze, die standardmäßig bei 0,7 liegt, erhält die Route wieder die Metrik 1 und wird erneut verwendet.

Die Berechnung dieser Werte führt jeder Knoten selbstständig durch. Sie hängt von der Anzahl der verlorenen Pakete ab. Zunächst muss anhand einer Variablen die Sensibilität das Systems auf Paketverlust definiert werden. Da diese Variable zum Skalieren verwendet wird, reagiert das System mit der gleichen Intensität auf verlorene und auf erhaltene Pakete. Stellt ein Knoten anhand der Sequenznummer der erhaltenen Pakete ein Verlust fest, so verringert er seine Metrik anhand des vorher definierten Wertes. Im Gegenzug erhöht sich bei erhaltenen Paketen die Metrik.

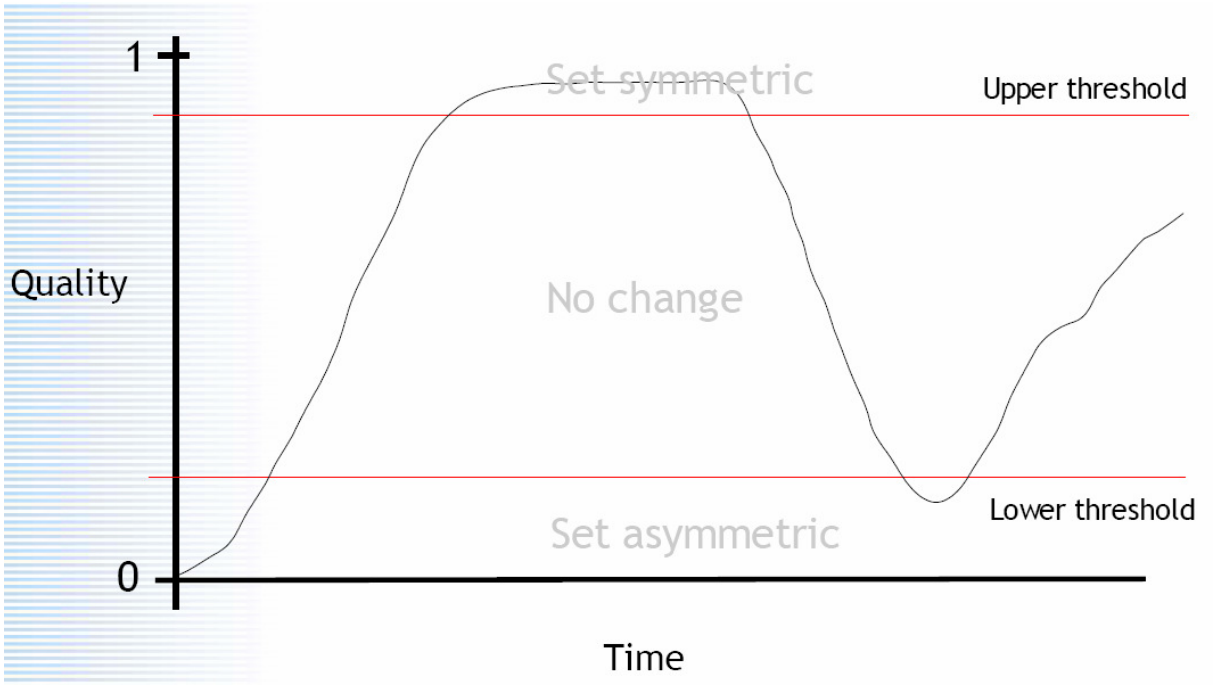


Abbildung 6 - Hysterese bei OLSR [OL1]

Was in der Theorie und im Netzwerksimulator gut funktionierte, erwies sich in der Praxis als extrem problematisch. Wurde die Variable zur Bestimmung der Empfindlichkeit zu groß

gewählt, so konnten nur wenige verlorene Pakete für den Ausfall eines ansonsten stabilen Knotens sorgen. Wurde der Wert zu klein gewählt, so konnte es zu lange dauern, bis ein Knoten wieder akzeptiert und in das Netz eingebunden wurde. Besonders große Probleme bereitete der Wegfall von Knoten, die als MPR fungierten. Dadurch brachen oft nicht nur ganze Teile des Netzes weg, sondern es mussten oft neue MPRs bestimmt werden.

Abweichend von RFC 3626 entschieden sich die Berliner Betreiber des Freifunknetzwerks an Stelle von Hysterese den am Massachusetts Institute of Technology entwickelten Expected Transmission Count (ETX) zur Bestimmung der Leitungsqualität zu verwenden. Dieser Wert gibt für jede Verbindung die zu erwartende Anzahl der Übertragungen an, um ein Paket fehlerfrei zu übermitteln. Im Idealfall liegt dieser Wert bei 1 und im schlechtesten Fall bei unendlich. Für jede einzelne Verbindung berechnen beide Endknoten zusammen einen ETX-Wert, der dann als Metrik für diese Kante dient. So lässt sich problemlos der ETX-Wert einer Route berechnen, da nur die ETX-Werte der einzelnen Teilverbindungen miteinander addiert werden müssen. Die genaue Berechnung findet anhand der Link Quality (LQ) und der LQ des Knotens am anderen Ende der Verbindung, welche beim jeweiligen anderen Knoten als Neighbor Link Quality (NLQ) bezeichnet wird, statt. So wird der ETX-Wert folgendermaßen berechnet [COR] [CT1] [IET] :

$$ETX = \frac{1}{LQ * NLQ}$$

2.3 Freifunk

Der erste Bereich dieses Abschnittes beschreibt zunächst das Freifunkprojekt. Anschließend wird das Pico Peering Agreement vorgestellt. Im darauf folgenden Abschnitt wird die aktuelle Rechtslage der Freifunknetzwerke beleuchtet. Zum Abschluss findet eine umfassende Betrachtung der Freifunkknoten statt.

2.3.1 Das Projekt

Im Herbst 2002 startete freifunk.net und die ersten Ideen für ein freies Netzwerk entstanden. Jedoch erwiesen sich die damaligen Meshing Protokolle als zu instabil und die nötige Hardware als zu teuer. Dies änderte sich erst im Jahr 2004, als Andreas Tønnesen im Vorfeld der „Wizards of Open Source 2004“ seine OLSR Implementierung vorstellte. Ab Herbst 2004 wurde in Berlin mit der Hilfe von softwareseitig manipulierten Linksys WRT54G Routern die ersten preiswerten Knoten in den Betrieb genommen. Von Berlin aus erreichte das Freifunkprojekt in den folgenden zwei Jahren weitere Städte und Dörfer in Deutschland. Aber auch in Europa entstanden auf der Basis von Freifunkprojekte zum Aufbau von freien vermaschten Netzen. [CT1] [FF5]

2.3.2 Pico Peering Agreement

Im April 2000 arbeiteten die beiden Londoner Projekte „consume“ und „free2air“ unabhängig voneinander an der Einrichtung von freien Netzen. In den Workshops, wurden Vereinbarungen getroffen und Regeln aufgestellt, die die Kommunikation untereinander regeln sollte. Diese Ideen und Vereinbarungen wurden als Pico Peering Agreement festgehalten. Inzwischen wurde die ursprüngliche Version mehrfach überarbeit und gekürzt. Die aktuelle Version, welche von fast allen freien Funkprojekten anerkannt wird, lautet wie folgt:

1. Freier Transit

- Der Eigentümer bestätigt, freien Transit über seine freie Netzwerkinfrastruktur anzubieten.
- Der Eigentümer bestätigt, die Daten, die seine freie Netzwerkinfrastruktur passieren, weder störend zu beeinträchtigen noch zu verändern.

2. Offene Kommunikation

- Der Eigentümer erklärt, alle Informationen zu veröffentlichen, die für die Verbindung mit seiner Netzwerkinfrastruktur notwendig sind.
- Diese Information soll (muss?) unter einer freien Lizenz (free licence) veröffentlicht werden.
- Der Eigentümer erklärt, erreichbar zu sein und wird dazu wenigstens eine E-Mail-Adresse bekannt geben.

3. Keine Garantie (Haftungsausschluss)

- Es wird keinerlei garantierter Dienst (Betrieb, Service) vereinbart. (Es gibt keine Garantie für die Verfügbarkeit / Qualität des Dienstes.)
- Der Dienst (Betrieb, Service) wird ohne Gewähr bereitgestellt, ohne Garantie oder Verpflichtung jedweder Art.
- Der Dienst (Betrieb, Service) kann jeder Zeit ohne weitere Erklärung beschränkt oder eingestellt werden.

4. Nutzungsbestimmungen

- Der Eigentümer ist berechtigt, eine akzeptierbare Benutzungsrichtlinie (use policy) zu formulieren.
- Diese kann Informationen über zusätzlich (neben den grundsätzlich) angebotene Dienste enthalten.
- Dem Eigentümer steht es frei, die Richtlinie selber zu formulieren, so lange diese nicht den Punkten 1 bis 3 dieser Vereinbarung widersprechen (siehe Punkt 5).

5. **Lokale (individuelle) Zusätze**

- Hier können vom Eigentümer selbst Ergänzungen zur Vertragsvereinbarung vorgenommen werden. [MEA]

2.3.3 Rechtslage

Relativ unklar ist die Haftungsfrage im Falle von Missbrauch einer von der Freifunkgemeinschaft bereitgestellten Internetverbindung. So ist aus der Sicht der Organisatoren von Freifunk Berlin nur der „Täter“ haftbar zu machen. Nach ihrer Ansicht tritt der Betreiber eines betroffenen Knotens mit Verbindung ins Internet selbst nur als Provider auf und diese sind nicht für die Daten verantwortlich, die sie übermitteln. Die Berliner Freifunker stützen sich dabei auf das 1998 überarbeitete Informations- und Kommunikationsdienste-Gesetz. In diesem finden sich zu diesem Thema die Paragraphen 6 TDG und 7 MDStV in denen es wortgleich heißt: „Diensteanbieter sind für fremde Informationen, die sie in einem Kommunikationsnetz übermitteln oder zu denen sie den Zugang zur Nutzung vermitteln, nicht verantwortlich [sofern sie die Übermittlung nicht selbst veranlasst haben usw.]“.

Bis vor kurzem existierten keine Fälle, die zeigten, ob auch die Judikative und Exekutive in Deutschland diese Sichtweise vertritt. Im September dieses Jahres wurde das Urteil eines Hamburger Gerichtes bekannt, welches besagt, dass der Betreiber eines Funknetzes Vorsorge vor widerrechtlichem Missbrauch treffen muss. Das Gericht bestätigte eine einstweilige Verfügung gegen die Betreiberin eines nicht verschlüsselten Funknetzes, über das mehrere Musikstücke in das Peer-to-Peer-Netzwerk Gnutella eingestellt worden waren. Die Betreiberin gab an, dass der Missbrauch ihrer Internetverbindung durch eine dritte Partei über das unverschlüsselte Funknetz zustande gekommen sei. Das Gericht folgte nicht der Ansicht der Beklagten und bewerte die Aussage als Schutzbehauptung. Darüber hinaus besagt das Urteil, dass die Betreiberin die Pflicht gehabt hätte ihr Netzwerk zu verschlüsseln, um somit einen Missbrauch zu verhindern.

Auch wenn das Freifunkprojekt sich von dem Vorwurf der Schutzbehauptung freisprechen kann, da das Netz absichtlich unverschlüsselt und einige Internetzugänge mit vollem Wissen der Betreiber freigeben werden, kann doch im Zusammenhang mit dieser Rechtsauslegung davon ausgegangen werden, dass ein Betreiber eines Freifunkgateways haftbar gemacht werden kann. Auch wenn diese Auslegung nicht auf das Freifunknetzwerk zutreffen sollte, so kann davon ausgegangen werden, dass die Polizei sich bei einem Rechtsverstoß aufgrund ihrer Informationslage zunächst an den Kunden des Providers wenden wird. Sollte die Polizei im Rahmen einer Hausdurchsuchung einen Zufallsfund machen, so kann dieser nach der aktuellen Rechtslage in Deutschland für eine Anklage verwendet werden. [FF2] [RFC]

2.3.4 Freifunkknoten

Das OLSR Protokoll wurde inzwischen für die Betriebssysteme Windows, Linux und OS X und unter Linux für die Prozessorarchitekturen MIPS, ARM und x86 umgesetzt. Da keine Router von Werk eine Unterstützung für OLSR besitzen und nicht jeder Knoten in Verbindung mit einem Heim-PC betrieben werden kann, wurden Router gesucht, die sowohl ausreichend freien Speicherplatz besitzen, als auch eine Firmware benutzen, deren Quellen offen liegen. Diese Anforderungen erfüllte Linksys, ein Tochterunternehmen von Cisco, mit ihrem Router WRT54G seit 2004. In diesem Jahr war unter Androhung von Rechtsmitteln der Quellcode der Firmware veröffentlicht worden, da dieser das unter GPL veröffentliche iptables verwendet. So entstanden unterschiedliche alternative Firmware Distributionen, wie OpenWRT, DD-WRT und HyperWRT. Zunächst musste eine dieser Distributionen auf dem WRT54G aufgesetzt werden, um anschließend OLSR installieren zu können. Der Prozess war jedoch recht umständlich und nur mit guten Linux-Kenntnissen zu bewerkstelligen. Aus diesem Grund wurde von Sven-Ola Tücke die Freifunkfirmware geschrieben, welche auf OpenWRT aufsetzt und bereits das OLSR Protokoll beherrscht. So muss der Nutzer heutzutage lediglich in einem Web Frontend einige grundlegende Einstellungen vornehmen. Inzwischen existieren unterschiedliche Revisionen des WRT54G auf dem sich die Freifunkfirmware aufspielen lässt. Seit einiger Zeit setzt Linksys anstelle von Linux auf VxWorks. Da dieses Betriebssystem deutlich kompakter ist, wurde bei den neuen Revisionen weniger Speicher verbaut. Dieser Umstand macht jedoch ein Aufspielen einer alternativen, auf Linux basierenden, Firmware unmöglich. Nach Protesten von Kunden reagiert Linksys

und stellt seit einiger Zeit mit dem WRT54GL weiterhin eine Version zur Verfügung, die auf Linux aufsetzt. [OL3] [FF3] [FH1] [CT1]

Broadcom Router

Neben den WRT54 existieren aber noch weitere Router, für die eine Freifunkfirmware bereit steht. Meistens basieren diese Router auf dem gleichen Chipsatz von Broadcom. Sehr populär in der Freifunkgemeinschaft ist aufgrund seines geringen Preises der SE505 von Siemens, welcher jedoch über eine nicht abnehmbare Antenne und nur über 4 MB Hauptspeicher verfügt. Es existiert auch eine ältere Revision des SE505 von Siemens, welche über 8 MB Speicher verfügt, dessen Broadcom Chip jedoch mit 125 MHz statt mit 200 MHz getaktet ist. Diese beiden Taktungen finden sich auch bei den unterschiedlichen Revisionen des WRT54G. Der Flash Speicher beträgt bei dem SE505 immer 4 MB, während bei dem WRT54G zudem auch Revisionen mit 8 und 2 MB existieren. Die Revision mit 2 MB ist für VxWorks gedacht und aufgrund des fehlenden Speicherplatzes nutzlos für Freifunk, da selbst eine minimale Linux-Distribution mit OLSR zu groß ist. Die Versionen mit 8 MB Flash Speicher bieten gegenüber der 4 MB Version mehr zusätzlichen Platz für das Aufspielen von Erweiterungen. Während die meisten WRT54G Revisionen mit 8 MB so viel Hauptspeicher haben wie die ersten SE505 auf dem Markt, finden sich auch einige Revisionen mit 16 MB Hauptspeicher. [FF3] [LF1] [LF2]

Die Firmware

Das Web Frontend der Freifunkfirmware ist auf Abbildung 7 dargestellt und gliedert sich in zwei Bereiche: in einen öffentlichen Teil mit Informationen über das Projekt, dem Knoten und dem Betreiber und in einen geschützten Bereich in welchem der Router konfiguriert werden kann.

Der öffentliche Bereich verfügt über mehr Informationen, wenn auf dem Router zusätzliche Plug-Ins installiert wurden. So existiert zum Beispiel ein Plug-In, das einen Graphen von dem bekannten Teil des Freifunknetzwerks darstellt. Aber auch ohne Plug-Ins gibt jeder Knoten viele Informationen über seinen eigenen Zustand und über den des gesamten Netzwerkes

preis. So kann von dem Nutzer auch ohne Anmeldung eine Suche nach weiteren WLANs angestoßen werden. Außerdem gibt jeder Knoten neben seiner Konfiguration die Adressen sämtlicher Knoten und die Qualität seiner Verbindungen preis. [FH2] [CT1]

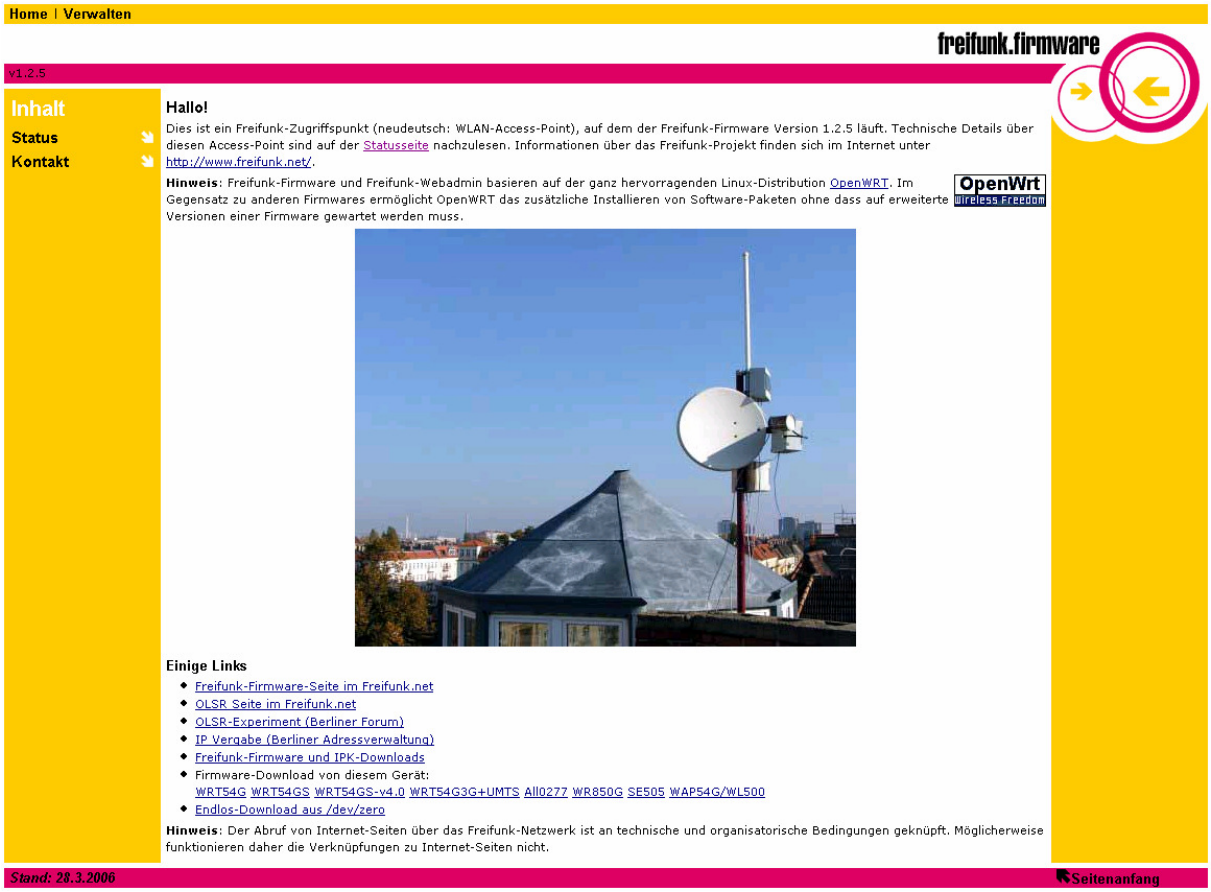


Abbildung 7 - Startbild der Freifunkfirmware

Firmware Erweiterungen

Die Freifunkfirmware kann mit der Hilfe von IPKG (Itsy Package Management System) Modulen erweitert werden. Dabei handelt es sich um ein ressourcenschonendes Paketmanagement System für GNU/Linux-Installationen mit eingeschränktem Speicherplatz. Diese Pakete haben die Endung „ipk“ und können sowohl über eine Rootshell, als auch über das Webinterface auf einen Router mit Freifunkfirmware eingespielt werden.

Bei dem WRT54G stehen etwa 1 bis 2 MB Speicherplatz für Erweiterungen zur Verfügung. Da es sich bei der auf dem SE505 eingesetzten Firmware bereits um eine abgespeckte Version der Freifunkfirmware handelt und diese nahezu den gesamten Speicherplatz belegt, ist es

nicht möglich fehlerfrei Erweiterungen aufzuspielen. Falls es doch gelingt, ist das Resultat in der Regel ein instabiles System. [FFB] [KNH] [FF6]

Antennenanschlüsse

Der WRT54G und seine Varianten verfügen über zwei Antennenanschlüsse, welche er in einem einfachen Diversity Modus betreibt. Im Gegensatz zu WLAN Routern anderer Hersteller mit zwei Antennen arbeitet der WRT54 nicht mit einer Sende- und einer Empfangsantenne, sondern schaltet in regelmäßigen Abständen zwischen den beiden Antennen um. Er verwendet dann bei einer Übertragung immer nur die Antenne mit dem besseren Empfang. In der Praxis hat es sich erwiesen, dass dieses Umschalten relativ langsam geschieht. Aus diesem Grund wird den Freifunknutzern empfohlen, in der Freifunkfirmware eine der beiden Antennen zu deaktivieren. Dieses macht besonders dann Sinn, wenn an einem der beiden Antennenanschlüsse eine wesentlich leistungsfähigere Antenne angeschlossen wurde, da dann ausschließlich diese für die Übertragungen zum Einsatz kommt. Ein regelmäßiger Wechsel auf die schwächere Antenne würde zu Einbußen bei der Übertragungsleistung führen. Möchte man bei dem Siemens SE505 eine andere Antenne anschließen, so muss das Gehäuse geöffnet und ein kurzes Verbindungskabel, auch Pigtail genannt, direkt auf dem Mainboard angeschlossen werden. [FFB] [WHS]

2.4 Funkübertragung

Der Abschnitt Funkübertragung befasst sich zunächst mit der Beschreibung des ISM Bandes. Darauf folgen die Bereiche Sendeleistung und Störquellen. Das Kapitel und dieser Abschnitt werden durch den Bereich Strahlenbelastung abgeschlossen.

2.4.1 ISM Band

In Deutschland nutzen Funknetze nach IEEE 802.11b und IEEE 802.11g den Bereich von 2.400 - 2.483,5 MHz des lizenzfreien ISM (Industrie, Scientific und Medical) Bandes. Das Band unterliegt zwar keinerlei Regulierungen, es hat jedoch Auflagen bezüglich der maximalen Sendeleistung und der Störung angrenzender Funkbereiche. Funknetze nach IEEE 802.11a und die Erweiterung 802.11h nutzen hingegen den Bereich von 5,15 - 5,725 GHz des ISM Bandes. Die höhere Frequenz führt zu einer verstärkten Dämpfung, welche jedoch durch die Genehmigung einer 10-fach höheren Sendeleistung überkompensiert wird. [BNA] [FHG]

2.4.2 Sendeleistung

In Deutschland darf die maximale Sendeleistung im 2,4 GHz Band nicht größer sein als 100 mW (= 20 dBm) EIRP. In anderen Ländern, wie zum Beispiel in den USA, und in Teilen des 5 GHz ISM Bandes sind hingegen Sendestärken von bis zu 1000 mW EIRP erlaubt. Die Empfangsleistung ist nicht durch den Gesetzgeber in Deutschland reglementiert worden.

Die Gesamtleistung berechnet sich folgendermaßen:

+ Sendeleistung (dBm)
+ Gewinn Verstärker (dB) (falls vorhanden)
- Dämpfung Kabel (dB)
- Dämpfung Stecker (dB)
- Dämpfung Blitzschutz (dB)
+ Gewinn Antenne (dBi)

= Gesamtsendeleistung

Es ist einfach zu sehen, dass die Gesamtsendeleistung nicht nur von der direkten Leistung des Senders abhängt, sondern auch noch positiv durch eventuelle Verstärker und angeschlossene

Antennen beeinflusst wird. Negativ ins Gewicht fällt - soweit vorhanden - die Dämpfung der Kabel, Stecker und des Blitzschutzes.

Oftmals verwenden Router serienmäßig nur circa die Hälfte der maximal zulässigen Sendeleistung. Die Freifunkfirmware ermöglicht die Erhöhung der Sendeleistung von voreingestellten 28 mW auf bis zu 251 mW. Empfohlen wird jedoch maximal eine Einstellung von 84 mW, da es bei größeren Werten aufgrund des nur passiv gekühlten WRT54G zu Problemen mit der dabei entstehenden Abwärme kommen kann. Zu diesen Werten muss jedoch noch die Verstärkung der Antenne gerechnet werden. Die beiden originalen Antennen des WRT54G haben eine Rundstrahlcharakteristik und eine Verstärkung von 2 dBi. Geht man von einer leichten Dämpfung durch die Stecker aus, so kommt man mit den originalen Antennen auf ungefähr 100 mW oder aber 20 dBm. Besonders leistungsfähige Modelle mit Richtwirkung erreichen eine Verstärkung von bis zu 27 dBi. Da plus 3 dBi eine Verdopplung bedeutet, entspricht 27 dBi einer 512-fachung der Sendeleistung. Diese Verstärkungen werden durch die Einengung der Sende- und Empfangsrichtung und der damit verbunden Bündelwirkung erreicht. Im Extremfall sind dies lediglich 25 Grad vertikal und horizontal. [WND] [FF4] [RAF] [VKA]

2.4.3 Störquellen

Die Übertragung von Daten in einem WLAN kann durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden. So stören nicht nur andere Sender im ISM Band die Übertragungen, sondern auch Umwelteinflüsse können die Datenrate massiv beeinträchtigen.

Weitere Sender

Jedes WLAN kann durch andere WLANs in Empfangsweite beeinflusst werden. Diese funken auf einer von 13 verschieden Frequenzen, welche sich jedoch teilweise überschneiden. Diese Überschneidungen sind auf Abbildung 8 dargestellt. So ist dort zu sehen, dass nur drei Kanäle ohne gegenseitige Beeinflussung genutzt werden können. Befinden sich zwei WLANs auf dem gleichen Kanal, so entscheidet nicht nur die Stärke der Überschneidung der beiden Netze

den Abfall an Übertragungsleistung, sondern auch die Auslastung des störenden Netzes. Netze die nach dem IEEE 802.11g Standard arbeiten, werden von Netzen, die noch den Vorgängerstandard IEEE 802.11b verwenden stärker beeinflusst, als von Funknetzen mit dem gleichen Standard.

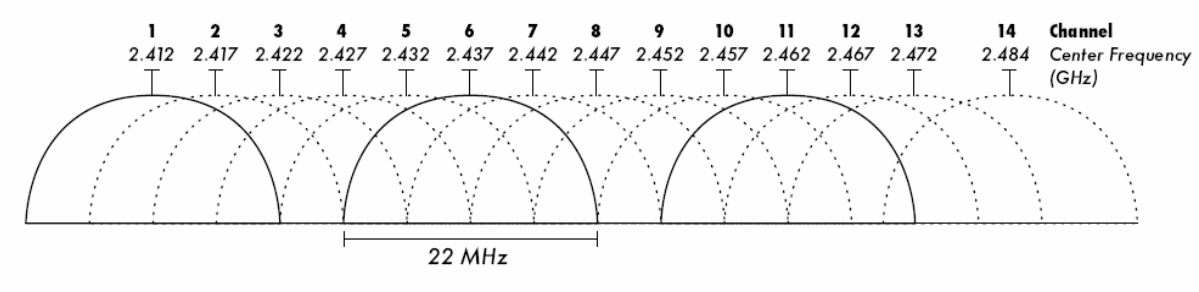


Abbildung 8 - Überschneidungen im ISM Band [WND]

In den letzten Jahren sind immer mehr Anwendungen entstanden, die auch auf das 2.4 GHz Band zurückgreifen. Zu diesen zählen unter anderem die Funknetzstandards Bluetooth und Zigbee, sowie Proprietäre Systeme zur Übertragung von Videodaten.

Das Kurzstreckenfunkverfahren Bluetooth (IEEE 802.15.1) teilt das 2.4 GHz Band in 79 Bereiche mit einem Abstand von jeweils 1 MHz auf und wechselt zwischen diesen Bereichen bis zu 1600 Mal pro Sekunde. Das Ziel dieses Frequenz-Hopping ist das Erreichen einer hohe Robustheit gegenüber Störungen. Somit beeinflusst Bluetooth WLANs unabhängig von dessen Kanal. Die Störungen dürften aufgrund der relativ geringen Reichweite und der Ausnutzung des gesamten 2,4 GHz Bandes eher gering ausfallen.

Relativ neu ist das Kurzstreckenfunkverfahren Zigbee (802.15.4), welches eine noch geringere Übertragungsrate als Bluetooth bietet. Die Zielsetzung dieser Technik lag bei der Entwicklung auf den Bereichen: niedrigen Energieverbrauch, Sicherheit und Stabilität. Bei Störungen ist Zigbee ist in der Lage von dem 2,4 GHz Band auf das 868 und 915 MHz Band zu wechseln. Somit ist Zigbee nicht nur aufgrund seiner noch nicht geschehenen Markteinführung und seinen geringen Übertragungsraten als relativ schwacher Störer anzusehen, sondern auch wegen seines Ausweichens bei Störungen.

Da über die proprietären Systeme zur Videoübertragung keinerlei Informationen zu finden sind, lässt diese Technik nur Spekulation zu ihrer Belastung des 2,4 GHz Bandes zu.

Aufgrund der relativ großen Datenmenge und der geringen Akzeptanz seitens der Kundschaft bei Ausfällen des Datenstroms, ist davon auszugehen, dass diese Systeme das gesamte Frequenzband verwenden. Jedoch besitzen die dabei verwendeten Antennen eine gewisse Richtwirkung, so dass nur mit einer punktuell starken Belastung zu rechnen ist.

Auch Mikrowellenherde arbeiten mit einer Frequenz von 2,4 GHz. Der Grund dafür liegt in der kostenlosen Nutzbarkeit dieser Frequenz und in der Tatsache, dass dieser Wellenbereich Wassermoleküle zum Schwingen bringen kann. Die relativ hohe Sendeleistung von bis zu 1000 Watt wird in der Regel nach außen durch die Abschirmung des Mikrowellenherdes neutralisiert. Bei einer intakten Abschirmung treten nur geringe Leckstrahlungen aus, welche jedoch leicht die angrenzenden Funknetze beeinträchtigen können. Da die Mikrowelle als Strahlenemitter nur über einen relativ kurzen Zeitraum aktiv ist, sind diese Störungen zeitlich stark begrenzt. Als sehr problematisch ist hingegen eine defekte Abschirmung anzusehen. Diese stört nicht nur Funknetze, sondern stellt eine hohe Gefahr für die Gesundheit der Menschen im näheren Umkreis dar. [WND] [ATM] [IT2] [WRD] [ACW] [ITA]

Hindernisse

Werden Funkwellen zwischen einem Sender und einem Empfänger übertragen, so besteht eine Diskrepanz zwischen der Stärke des Ausgangs- und der des Eingangssignals. Diese Differenz wird als Übertragungsdämpfung bezeichnet. Kurze Strecken und keine physikalischen Hindernisse wirken sich positiv auf die Dämpfung aus. Lange Strecken haben eine größere Dämpfung, da auch Luftmoleküle Wellen in dem 2,4 GHz Bereich daran hindern sich auszubreiten. Um die bestmögliche Funkverbindung herzustellen, benötigt man zwischen Sender und Empfänger eine Sichtverbindung. Jene wird mit dem englischen Begriff „Visual line of sight“ beschrieben. Da sich Funkwellen jedoch nicht mit Hilfe einer Linie beschreiben lassen, sondern mit einer Abfolge von Wellen, muss für eine optimale Verbindung ein Bereich unter- und oberhalb der direkten Funkstrecke frei von Hindernissen sein. Dieser Raum wurde nach dem französischen Ingenieur Augustine Jean Fresnel benannt, und ist heutzutage unter der Bezeichnung „Fresnelzone“ bekannt.

So ist zum Beispiel in Abbildung 9 die Sichtlinie frei von Hindernissen, während sich eine Bergspitze in der Fresnelzone befindet und somit die Funkverbindung dämpft.

Nicht alle Hindernisse erzeugen die gleiche Dämpfung. Eine dünne Rigipswand stellt zum Beispiel ein geringeres Hindernis dar, als eine massive Betonwand. Besonders wichtig bei Hindernissen ist nicht nur die Beschaffenheit und die Dicke, sondern die elektrische Leitfähigkeit. Eine dünne Metallschicht auf der Rigipswand kann dieses Hindernis bereits unpassierbar für Funkwellen machen. Dabei ist es ausreichend wenn das leitfähige Material in den Abständen von etwa 13 Zentimetern horizontal und vertikal in ein Hindernis verbaut wurde, da dies der Länge der Funkwellen bei 2,4 GHz entspricht.

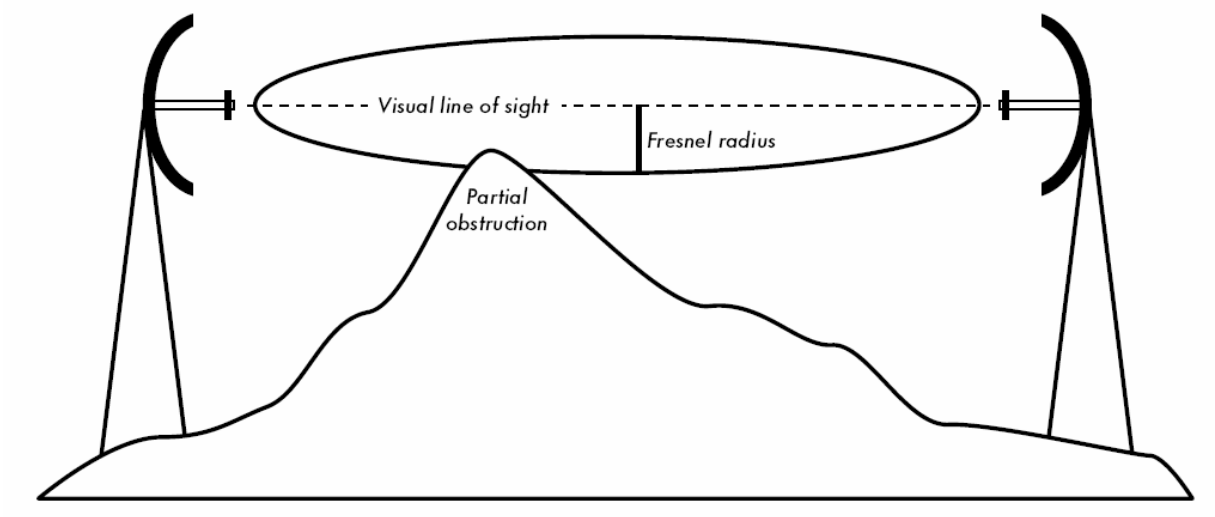


Abbildung 9 – Teilweise blockierte Fresnelzone [WND]

Diese Eigenschaft der WLANs hat sich ein Hersteller zu Nutzen gemacht und bietet Tapete mit eingearbeiteten Metallstreifen an. Diese sollen dafür sorgen, dass Funknetze sich nur in vorher definierten Bereichen ausdehnen und somit ein Angriff über das WLAN von außerhalb unmöglich wird. Seit einiger Zeit sind aufgrund der Angst vor hochfrequenter Strahlenbelastung weitere Produkte zur Dämpfung von Funkwellen auf dem Markt. So gibt es inzwischen stark dämpfende Farbe und Spezialnetze für das Bett zu kaufen.

Problematisch sind auch Wassermoleküle, da diese ein Teil der Energie aufnehmen und somit die Leistung der Übertragung dämpfen. Dieser Effekt führt dazu, dass Funknetze sowohl vom Wetter, als auch von der Jahreszeit abhängig sind. Aus diesem Grund kann ein starker Gewitterregen eine vorher stabile Funkverbindung vollständig eliminieren, während ein schwacher Regen nur für einige verlorene Pakete sorgt. Auch nach einem Regenguss hat dieser Effekt eine nachhaltig abgeschwächte Wirkung, da etwaige Hindernisse erst eine

gewisse Zeit brauchen um zu trocknen. Die Abhängigkeit von den Jahreszeiten begründet sich in der Tatsache, dass Bäume für gewöhnlich nur von Frühjahr bis Herbst Blätter haben. In den Blättern befindet sich abhängig von der Wasserversorgung eine bestimmte Menge Wasser. Somit hat ein Regenschauer nicht nur die Nachwirkung, dass Bäume nass werden und verstärkt Funkwellen dämpfen, sondern auch die Bäume in die Lage bringen ihre Blätter mit mehr Wasser zu versorgen.

Dass trotz solcher Probleme mit guten Antennen und mit Sendeleistungen von nur 100 mW auch längere Funkverbindungen möglich sind, zeigt der aktuelle Rekord. So schafften es venezuelanische Netzwerktechniker in den Anden Daten über eine Strecke von 279 km zu senden. Solche langen Verbindungen sind jedoch aufgrund der Erdkrümmung nicht mit Sender und Empfänger auf Normal-Null möglich, so liegt hier die Grenze bei ungefähr 30 km. [WND] [HV1] [EST] [ZDN] [FF4]

2.4.4 Strahlenbelastung

Bei den von WLANs emittierten Funkwellen handelt es sich um periodisch gepulste Hochfrequenzstrahlung. Diese wird auch in GSM Netzen verwendet und steht aufgrund der periodischen Pulsung in dem Verdacht spezielle biologische Effekte zu verursachen und damit besondere gesundheitliche Risiken zu bergen.

Dieser Ansicht widersprechen die Befürworter der modernen Funktechniken und verweisen auf die Einhaltung der maximal zulässigen Strahlenbelastung von 10.000 mW/m^2. Ihre Gegner halten diesen Wert jedoch für viel zu hoch, da bei ihrer Festlegung nur die Wärmewirkung untersucht wurde und nicht ihre Auswirkung auf die empfindlichen Regelungssysteme des menschlichen Organismus.

Zu dem Thema Strahlenbelastung durch WLANs wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt. So hat das Magazin Ökotest in seiner Ausgabe 11/2002 bei unterschiedlichen Hotspots Werte von bis zu 27 mW/m^2 gemessen. Der Höchstwert wurde in einem Abstand von 1 Meter zu einem der beiden Rundstrahlantennen des Hotspotbetreibers gemessen. Das Magazin definiert bereits Werte oberhalb von 1 mW/m^2 als hohe Strahlenbelastung. Bei

einem weiteren Test, knapp zwei Jahre später, wurden einige Access Points überprüft und dabei Werte von bis zu 101,5 mW/m^2 in einem Abstand von einem Meter gemessen. Im Durchschnitt lagen die erreichten Werte hingegen nur bei circa 1,5 mW/m^2.

Im Jahr 2001 hat das „nova-Institut für Ökologie und Innovation“ von der Universität Bremen den Auftrag bekommen ein Gutachten über die Strahlenbelastung durch Funknetze an der Universität anzufertigen. Das nova-Institut vertritt die Ansicht, dass die Höchstbelastung 100 mW/m^2 nicht überschreiten sollte. Dies ist auch der aktuelle Grenzwert in Ländern wie Italien, Russland und China. Bei Messungen der Hotspots der Universität wurde maximal 2,504 mW/m^2 gemessen. Weitere Messungen mit einem Notebook in Verbindung mit einer WLAN PCMCIA-Karte ergab unter bestimmten Bedingungen in 20 cm Entfernung eine Belastung von 158 mW/m^2. Bei der Kontrolle von zwei in der Universität vorhanden Mikrowellen wurde festgestellt, dass das neue Gerät nur eine Leckstrahlung von bis zu 4,4 mW/m^2 erzeugte, während bei dem älteren Mikrowellenherd im Maximum Werte von 156,2 mW/m^2 zu messen waren. [VDB] [NOI]

3 Analyse

Das dritte Kapitel befasst sich mit einer vorläufigen Analyse des Freifunknetzwerkes. Aus diesem Grund wird zunächst in Abschnitt 3.1 das Freifunkprojekt in Hannover beschrieben. Im Anschluss daran erfolgt in Abschnitt 3.2 eine Vorstellung und Analyse bereits vorhandener Analysesoftware für das Freifunknetzwerk. Im letzten Abschnitt 3.3 werden in Hinblick auf die zu entwickelnde Analysesoftware bestehende Datenquellen nach der Verwertbarkeit untersucht.

3.1 Freifunk in Hannover

Dieser Abschnitt behandelt zunächst das Freifunkprojekt Hannover im Allgemeinen. Daran anschließend wird auf die Topologie des hannoveranischen Netzes eingegangen. Zum Ende des Abschnittes wird die Installation eines Freifunkknotens beschrieben. In diesem Rahmen wird auch eine WLAN Antenne bezügliche ihrer Leistungsfähigkeit getestet.

3.1.1 Das Projekt

Das Freifunkprojekt in Hannover entstand im März 2006 mit nur zwei Knoten. Es basiert im Wesentlichen auf dem Berliner Projekt und verwendet daher auch die Freifunkfirmware. Die Bestrebungen liegen vor allem in der Akquirierung neuer Mitglieder, welche dann zumeist einen oder mehrere Knoten aufsetzen. Bis jetzt existiert weder ein Verein, noch ein Club im rechtlichen Sinne. Die Kosten für den Aufbau eines Knotens trägt in der Regel jedes Mitglied selbst. Zudem werden funktechnisch günstige Standorte gesucht, um diese mit Routern und Antennen auszustatten, welche durch freiwillige Spenden aus den Reihen der Freifunker finanziert werden. [FH1]

3.1.2 Topologie des Netzes

Freifunk Hannover verwendet das Subnetz 10.2.x.x und verfügt somit über einen Pool von 64516 IP-Adressen. Da jeder Router einen 127 IPs umfassenden Adressbereich zugewiesen bekommt, liegt die maximale Anzahl der einsetzbaren Knoten bei 508. Die Zuteilung erfolgt über eine spezielle Registrierung auf der Webseite der Freifunker, welche jedoch keine besonderen Hürden auf Seiten der Verifikation der angegebenen Daten stellt. Bei der Anmeldung muss ein Passwort angegeben werden, welches zur Änderung der eingegeben Daten benötigt wird.

Der aktuelle Stand des Netzausbaus in Hannover lag am 20. Dezember 2006 bei insgesamt 111 Knoten, von denen 21 Knoten eine Anbindung ins Internet für das Freifunknetzwerk freigegeben haben und somit als Gateway fungieren.

Die ersten Knoten des hannoveranischen Freifunknetzes wurden in der Nordstadt errichtet. Aufgrund dieser Tatsache lässt sich erklären, warum dort auch heute noch die größte Anzahl an Freifunkknoten und auch die meisten Funkverbindungen zwischen den Knoten zu finden sind. Kleinere Funkwolken sind in den Stadtteilen Linden, Vahrenwald und Südstadt zu finden. Die restlichen Knoten verteilen sich über das gesamte Stadtgebiet und das Umland von Hannover. Fast die Hälfte der Knoten hat keine Verbindung zu weiteren Knoten. Sie bilden somit kleine Funkinseln. Aber auch diese Knoten können im Fall eines freigegebenen Internetanschlusses die Funktion eines kostenlosen Hotspots erfüllen. Alle Inseln sorgen zudem für weitere Werbung durch das Ausstrahlen ihrer SSID: OLSR.Freifunk-Hannover.de. Diese ist zudem eine Domain, die von einem der Freifunk Hannover Gründer registriert wurde und leitet Anfragen auf das Portal „Hannover.Freifunk.net“ um. [FH3] [FH4]

Anbindung über VPN

Angestoßen durch die Idee anderer Freifunkbewegungen in Deutschland, die unterschiedlichen Freifunkwolken der Städte mittels OpenVPN miteinander zu verbinden, wurde zunächst eine Vernetzung innerhalb Hannovers verwirklicht. Das Ziel war, die einzelnen Freifunkwolken in der Stadt zu vernetzen, aber auch Knoten ohne Kontakt zu weiteren Knoten die Möglichkeit zur Einbindung ins Netzwerk zu geben. Zu diesem Zweck

wurde auf einem Server mit einer Internetanbindung im dreistelligen Mbit/s Bereich ein OpenVPN Server aufgesetzt. Da zur direkten Einbindung der Knoten auf dem Freifunkrouter ein OpenVPN Paket installiert werden muss, ist die VPN Option nur auf den Linksys Routern gegeben. Wie bereits mehrfach erwähnt, mangelt es den Siemens SE505 Routern an Hardware Ressourcen, was wiederum ein Aufspielen oder den Betrieb der meisten Zusatzmodule unmöglich macht. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit einen Siemens Router über einen angeschlossenen Rechner, welcher eine VPN Verbindung zu dem Server hält, einzubinden. Die für die VPN Verbindung nötigen Zertifikate werden zurzeit zentral von einem Mitglied der Freifunker ausgestellt. [LUG]

3.1.3 Installation des Knotens

Zunächst wurde kostengünstig ein Siemens SE505 Router aus dem Bestand der Freifunker angeschafft. Dieses Modell wird von einem der hannoveranischen Freifunkgründer regelmäßig bei einem großen Internetauktionshaus angekauft und stellt eine kostengünstige Lösung für Aufbau eines Knotens dar. Auf diesen Routern ist in der Regel bereits die Freifunkfirmware aufgespielt. Bei dieser handelt es sich um eine angepasste Version für den SE505, die ebenfalls auf der OpenWRT Firmware basiert. Ein Aufspielen der Freifunkfirmware mit Hilfe des Web Interfaces ist aufgrund des kleineren Hauptspeichers bei den Siemens SE505, im Gegensatz zu den Linksys Routern, nicht möglich. Kurz nach dem Starten des Routers ist der SE505 für einige Sekunden unter einer festen IP via tftp zu erreichen und erlaubt somit ein Erneuern der Firmware. Diese Methode ist bei den WRT54G Routern auch möglich und kann zum Beispiel bei einer beschädigten Firmware angewandt werden.

Als zweiter Knoten wurde ein Linksys WRT54G erworben und ebenfalls mit der normalen Freifunkfirmware ausgestattet. Als Antenne wurde eine Sektorantenne mit einer Verstärkung von 15 dBi in einem großen Internetauktionshaus erworben. Zu der Antenne wurde ein zwei Meter langes Antennenkabel mit Anschlussstecker an den WRT54G geliefert. Bei dem mitgelieferten Antennenkabel handelt es sich um Luftschaumzellenkabel vom Typ H155. Dieses so genannte „low-loss“ Antennenkabel besitzt bei 2,4 GHz eine Dämpfung von nur

circa 0,5 dB pro Meter. Mit diesem Wissen lässt sich nun die maximale Sendeleistung des Linksys Routers errechnen.

+ 20 = zulässige Gesamtsendeleistung (dBm)
- 0 = Gewinn Verstärker (dB) (nicht vorhanden)
+ 1 = Dämpfung Kabel (dB) (circa)
+ 2 = Dämpfung Stecker (dB) (circa)
+ 0 = Dämpfung Blitzschutz (dB) (nicht vorhanden)
- 15 = Gewinn Antenne (dBi) (Angabe des Händlers)

+ 8 = Sendeleistung (dBm)

Somit darf in der Freifunkfirmware maximal eine Sendeleistung von 6 mW (~ 8 dBm) eingestellt werden, wenn nicht die maximal zulässige Sendeleistung von 100 mW überschritten werden soll. Mit der ursprünglichen Einstellung des Router (28 mW) würde eine Gesamtleistung von ~ 443 mW entstehen, was einer mehr als 4 fachen Überschreitung der maximal zulässigen Sendeleistung entspricht. [FH1] [FFB] [RF2] [RAF]

Messung der Antenne

Die Leistungswerte der Sektorantenne sind jedoch mit Vorsicht zu genießen, da es sich hierbei um semiprofessionelle Ware handelt. So befindet sich an der Antenne und an der Verpackung kein Herstellerlogo. Oft werden in den großen Internetauktionshäusern Antennen verkauft, die aufgrund ihrer Abmessungen physikalisch niemals die angegebenen Verstärkungen erreichen können. Bei der gekauften Antenne stimmen zwar die Abmessungen, jedoch kann nur ein Antennenmesslabor mit absoluter Sicherheit feststellen, ob diese versprochenen Leistungswerte wirklich erreicht werden.

Um ungefähr die Leistungssteigerung im Vergleich zu einer der beiden originalen Antennen abschätzen zu können, wurde ein kleiner Antennentest in einer Wohnung durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden in kurzer zeitlicher Abfolge beide Antennen in einer Entfernung von circa vier Metern zu einem Notebook positioniert. Auf diesem wurde zur Messung der

WLAN-Scanner „Network Stumbler“ eingesetzt. Das Notebook verfügt über einen WLAN Chip von Intel, welcher eine Diversity Lösung mit zwei Antennen verwendet. Für den gesamten Test wurde, wie beim Freifunknetzwerk in Hannover, der WLAN Kanal 1 verwendet. Auf Abbildung 10 ist zu sehen, dass sowohl auf Kanal 1, als auch auf allen überschneidenden Kanälen keine weiteren Funknetzwerke stören konnten. Zudem wurde darauf geachtet, dass die gesamte Fresnel Zone frei ist.

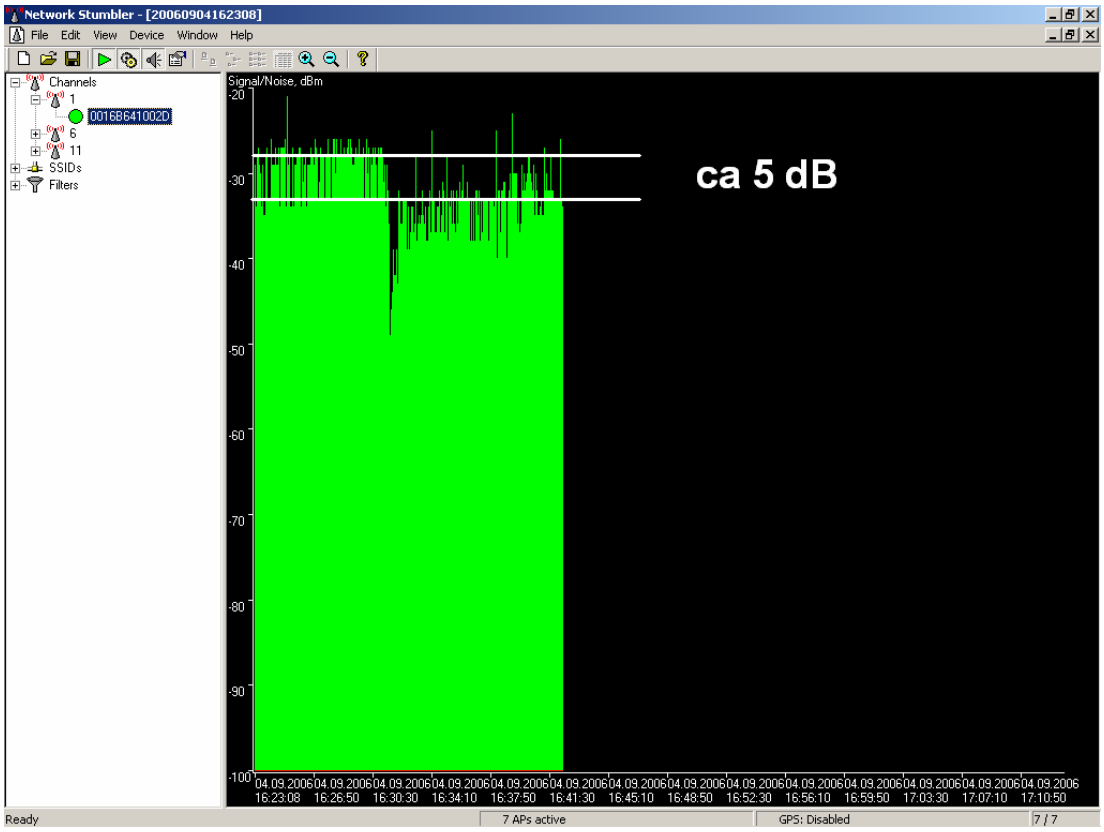


Abbildung 10 – Messung der Sektorantenne mit Netstumbler

Abbildung 10 zeigt, dass die Differenz zwischen den beiden Antennen nur circa 5 dB beträgt. Nach den angegebenen Leistungswerten hätte die Differenz 10 dB betragen müssen, da die Differenz aus der Sektorantenne (15 dBi) und der originalen Rundstrahlantenne (2 dBi) 13 dBi beträgt und weitere 3 dB aufgrund der Dämpfung der Stecker und des Antennenkabels abgezogen werden müssen. Somit ergibt sich für die Antennen eine Verstärkung von nur noch 10 dBi, und somit weniger als ein Drittel der durch den Händler propagierten Leistung. Geht man von diesen Werten aus, so kann in dem Freifunkrouter eine Sendeleistung von 20 mW (~ 13 dBm) eingestellt werden.

Bei den gemessenen Werten muss jedoch bedacht werden, dass Rundstrahlantennen aufgrund ihres Abstrahlungscharakters den Raum nahezu perfekt „ausleuchten“. Gerade diese Funkabdeckung erreicht eine Sektorantenne nicht, da sie die Sendeleistung gerade im vertikalen Bereich stark bündelt. Aus diesem Grund können bereits kleine Ungenauigkeiten bei der Positionierung der Sektorantenne auf kurzen Distanzen zu großen Messabweichungen führen. [RAF] [NST] [PCE]

Antennenwahl und Umfeld des Knotens

Die Wahl fiel auf eine Sektorantenne, da sie die Möglichkeit bietet ein großes Gebiet abzudecken. Bei der Sektorantenne handelt es sich um eine Hohlleiter-Schlitzantenne mit einer vertikalen Abstrahlung von 150 Grad und einer horizontalen Abstrahlung von 6 Grad. Als problematisch für die Verbindung ins Freifunknetzwerk stellte sich die Tatsache heraus, dass sich direkt vor dem Haus Bäume befinden, da deren Blätterkronen direkt auf der Höhe der Antenne liegen und daher deren Leistung mindern. Wie bereits in den Grundlagen erwähnt, ist die Dämpfung abhängig vom Wassergehalt in den Blättern und fluktuiert daher in der Laubperiode. Eine zeitlich begrenzte Abhilfe schafft hier erst der Herbst durch die Metamorphose des Blattwerks in wasserarmes Laub und später der Winter durch den Laubfall. [RAF]

3.2 Vorhandene Software

In diesem Abschnitt werden bestehende Lösungen zur Darstellung und Analyse des Freifunknetzwerkes vorgestellt und untersucht. Als erstes wird die auf Google Maps basierende Lösung der Hannoveraner Freifunker betrachtet. Im Anschluss daran werden die Firmware Erweiterungen OLSR-VIZ und Freifunk Statistics vorgestellt. Diese drei Anwendungen werden daraufhin verglichen und analysiert. Zum Abschluss werden die daraus gewonnenen Erkenntnisse präsentiert.

3.2.1 Darstellung mit Google Maps

Die Freifunker in Hannover haben auf ihrem Portal hannover.freifunk.net die Knotendatenbank mit Google Maps verknüpft. Auf der in Abbildung 11 ersichtlichen Karte kann so jeder Benutzer die geographische Lage seines Knotens und dessen Verbindungen eintragen. Bei der Betrachtung bleibt dem Anwender die Möglichkeit zwischen einer reinen Landkarte, einer Satellitenkarte oder einer Verbindung aus beiden zu wählen. Des Weiteren kann der Nutzer zwischen unterschiedlichen Vergrößerungen und Kartenausschnitten wählen. Technisch realisiert wird die Übersichtskarte mit ASP, welche über Javascript die Google Maps API anspricht. In der Karte sind die einzelnen Knoten farblich nach Gateways und Access Points getrennt. Alle Funkverbindungen werden blau-transparent mit einem theoretischen Abdeckungsbereich dargestellt. Jeder Knoten gibt zudem bei einem Mausklick die zugehörigen Informationen aus der Datenbank preis. Neben dem Namen und der IP-Adresse des Knotens sind dies vor allem der Standort und optional ein Kommentar des Besitzers. [FH3] [FH4]

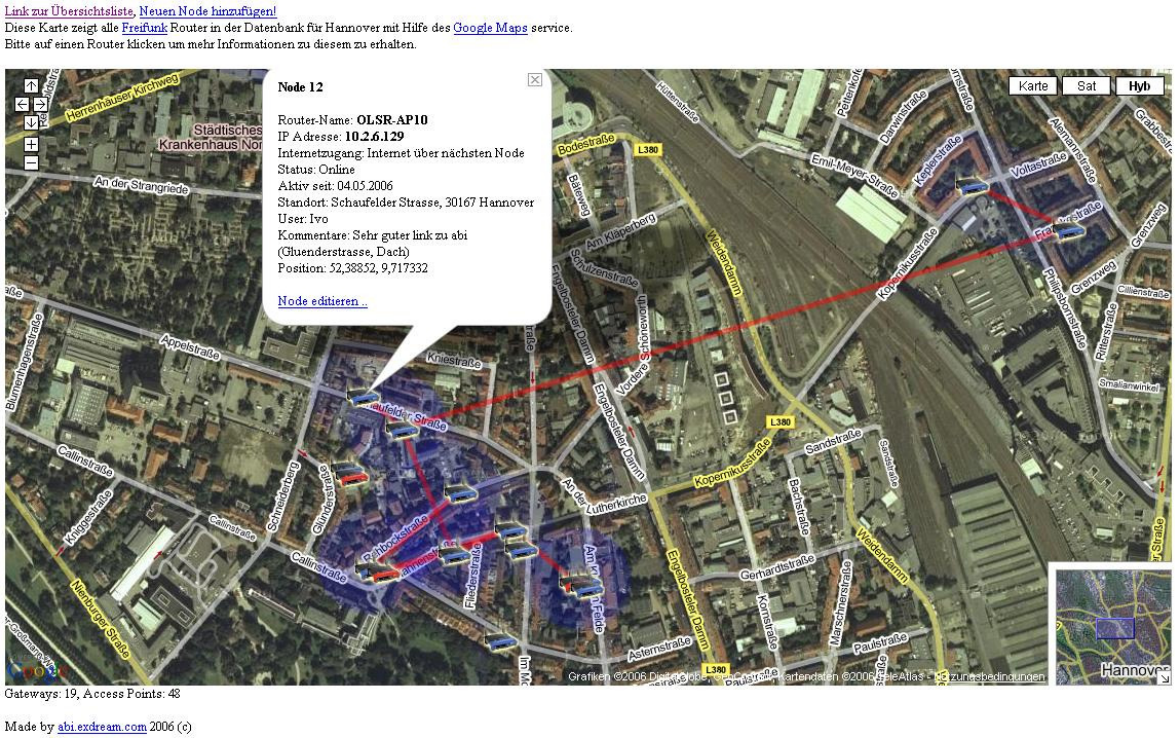


Abbildung 11 - Freifunk Übersicht mit Google Maps [FH4]

3.2.2 OLSR-Viz

Das Paket OLSR-Viz ist auf Abbildung 12 dargestellt und erweitert die Freifunkfirmware um eine grafische Analysekomponente. Ein Zugriff ist nach der Installation über den öffentlichen Bereich des Freifunkwebinterfaces möglich. Die Erweiterung zeigt alle dem Router bekannten Freifunkknoten an. Wie bereits in der Google Maps Lösung der Hannoveraner Freifunker werden Gateways rot und Access Points blau dargestellt.

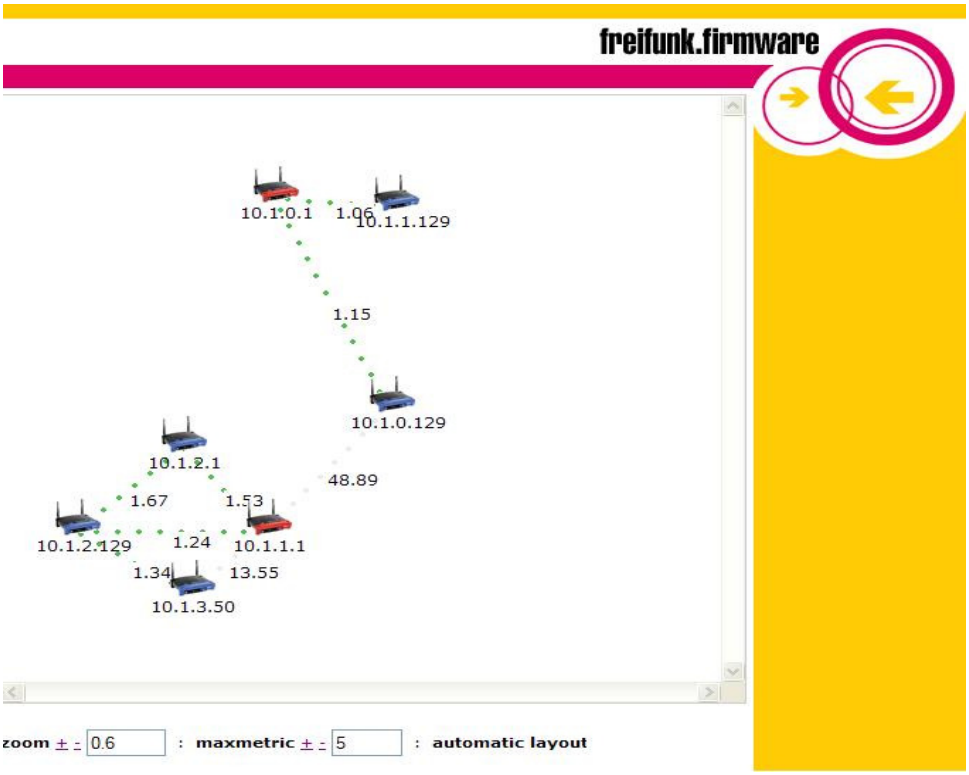


Abbildung 12 - OLSR-Viz Erweiterung

Darüber hinaus ist jeder Knoten mit der jeweiligen IP-Adresse beschriftet und alle existierenden Verbindungen mit dem zugehörigen ETX-Wert. Die Verbindungen werden farblich nach der Qualität mit den Farben grün, gelb oder rot dargestellt. Zur Optimierung der Anzeige kann der Benutzer die Zoomstufen und eine maximale Metrik wählen. Letztere bewirkt, dass keine Knoten mit einer größeren Distanz als die Ausgewählte angezeigt werden. In der aktuellen Version können zudem die Einstellungen mithilfe von Cookies gespeichert werden.

Auch lässt sich die Optimierung in der Anzeige der Knoten abschalten. Diese sorgt dafür, dass bei einem Verschieben der Knoten, um die Knoten in die geografisch korrekte Position zu bringen, alle anderen Knoten automatisch überprüft und gegebenenfalls mit verschoben werden. Der dieser Optimierung zu Grunde liegende Algorithmus ist nicht bekannt, jedoch kann er theoretisch nur anhand der ETX-Werte arbeiten, da die Knoten ansonsten über keine weiteren Informationen zur Distanzabschätzung verfügen. [OWB]

3.2.3 Freifunk-Statistics

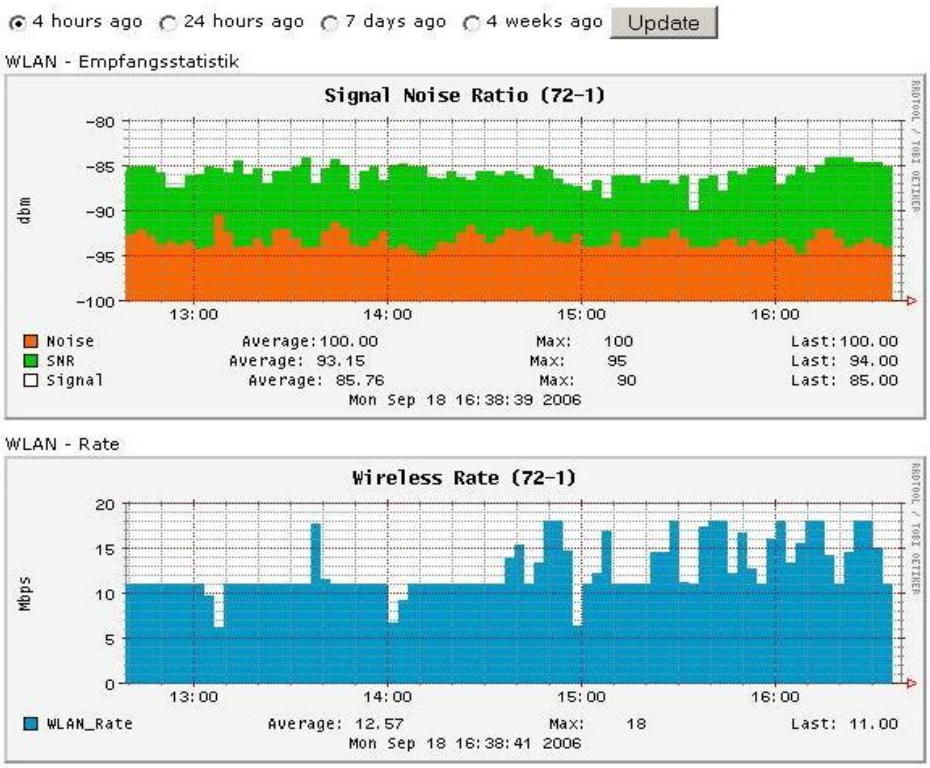


Abbildung 13 – Freifunk-Statistics

Eine weitere optionale Software für die Freifunkfirmware ist das auf Abbildung 13 ersichtliche Modul „Statistics“. Diese Erweiterung sammelt und speichert bis zu 4 Wochen lang mehrere lokale Daten der jeweiligen Router. Ein Teil dieser Informationen kann im öffentlichen Bereich des Webinterfaces der Freifunkfirmware abgerufen werden. Dabei handelt es sich um Daten über den Signal-Rausch Abstand des Freifunksignals, die theoretische Übertragungsrate, das Datenaufkommen an allen Netzwerkinterfaces, die Auslastung des gesamten Systems und weitere Informationen, wie zum Beispiel die Anzahl

der laufenden Prozesse oder der Umfang der ARP-Einträge. Weitere Informationen finden sich im geschützten administrativen Bereich des Webinterfaces.

Die Darstellung der Daten erfolgt grafisch in einem Koordinatensystem, wobei die Abszisse immer die Aufgabe der Zeitachse zugewiesen bekommt. Auf der Ordinate wird je nach dargestellten Daten, eine passende Messgröße verwendet. Die Zeitachse kann auf die vier Zeitfenster: „4 Stunden“, „24 Stunden“, „7 Tage“ und „4 Wochen“ skaliert werden. Unterhalb der Grafik werden noch weitere Informationen, wie minimale, durchschnittliche und maximale Werte, zu der jeweiligen Grafik präsentiert. [FFB]

3.2.4 Vergleich

Nun werden die drei unterschiedlichen Anwendungen zur Analyse des Freifunknetzwerkes schrittweise verglichen, um anschließend eine Einschätzung über ihre Besonderheiten und ihre Nutzen treffen zu können. Das Ergebnis kann auf Abbildung 14 betrachtet werden und soll im Folgenden ausführlich behandelt werden.

	FF Hannover	OLSR-VIZ	Statistics
Grafische Oberfläche	ja	ja	ja
Aktualisierungsinterval	nein	Sekundentakt	Minutentakt
Datenspeicherung	nein	nein	ja
Übersichtskarte	ja	ja (ohne Geodaten)	nein
Eingenständig	ja	nein	nein
Datensammlung	manuell	automatisch	automatisch
Sichtbare Parameter	Knoten, Verbindungen und weitere Informationen	Knoten, Vebindungen und Metrik	Routertraffic, Last und weitere Informationen
Abeckung	theo. Gesamtes Netzwerk	Erreichbares Teilnetz	Nur jeweils ein Knoten
Plattform	Server mit Anbindung ans Internet	Router + FF Firmware	Router + FF Firmware
Erreichbarkeit	Internet	Freifunk Netzwerk + ggf. Internet	Freifunk Netzwerk + ggf. Internet

Abbildung 14 – Vergleich von Freifunk Analysesoftware

Alle drei Anwendungen verwenden eine grafische Ausgabe und sind somit auf dem aktuellen Stand der Technik.

Während die Anwendung der Freifunker keine automatische Aktualisierung vorsieht, aktualisiert OLSR-VIZ und Statistics regelmäßig im Sekunden-, beziehungsweise Minutentakt. Jedoch besitzt die Lösung der hannoveraner Freifunker durch die Einbindung von Google Maps eine Aktualisierung der Geodaten durch Google.

Eine Datenspeicherung sieht nur Statistics vor, welche jedoch auf vier Wochen limitiert ist. Eine echte Übersichtskarte bietet lediglich die Google Maps Lösung. OLSR-VIZ bietet hingegen eine zufällige Anordnung der Knoten. Diese müssen erst von dem Benutzer korrekt angeordnet werden. Sie bieten somit keine Verknüpfung zu realen Orientierungspunkten in Hannover, so dass Distanzen überhaupt nicht eingeschätzt werden können.

Da OLSR-VIZ und Statistics auf dem Freifunkrouter als Erweiterung laufen, ist ein eigenständiger Betrieb nicht möglich. Hingegen ist die Anwendung der Freifunker in Hannover auf jedem beliebigen Server mit Internetanbindung lauffähig und somit eigenständig.

Sämtliche Daten werden bei OLSR-VIZ und bei Statistics automatisch eingelesen und benötigen daher keinerlei Aufwand seitens des Benutzers. Dieser ist hingegen bei der Anwendung der hannoveranischen Freifunker von Nöten, da dort alle Informationen manuell eingepflegt werden müssen.

Bei der Google Maps Lösung sind primäre Knoten, die Verbindungen und zusätzliche Informationen sichtbar, welche die Benutzer eingegeben haben. OLSR-Viz bietet auch Knoten und Verbindungen, aber anstatt weiterer Informationen nur die aktuelle Metrik der Verbindungen. Zudem ist bei OLSR-Viz nur der Teil des Freifunknetzwerkes zu sehen, der von dem Knoten erreichbar ist, auf dem die Anwendung läuft. Statistics zeigt dem Anwender nur Informationen über den Datenverkehr und die Auslastung des Knotens auf dem es installiert wurde.

Da die Informationen bei der Freifunker Lösung manuell eingetragen werden, deckt diese Lösung das gesamte Netz mit allen Knoten und Verbindungen ab. Hingegen kann OLSR-VIZ nur alle Knoten und Verbindungen anzeigen, die direkt oder indirekt mit dem Router verbunden sind, auf der die Anwendung läuft. Statistics wiederum sammelt nur

Informationen, die sich auf den jeweiligen Router beziehen und besitzt somit keine Informationen über das Gesamtnetz.

OLSR-VIZ und Statistics sind primär nur mit einer direkten Anbindung an das Freifunknetzwerk zu erreichen. Eine Ausnahme sind Router, die als Internet Gateway fungieren und zudem so eingerichtet sind, dass ein Zugriff auf den Router über das Internet möglich ist. Da es sich bei der Anwendung der Freifunker um eine Web-Applikation handelt, ist selbstverständlich ein weltweiter Zugriff über das Internet möglich.

3.2.5 Gewonnene Erkenntnisse

Der große Vorteil der Lösung der Freifunker in Hannover ist die Einbindung von Google Maps, welche sich aufgrund seiner funktionsreichen und trotzdem leicht zu bedienenden API mit wenig Aufwand realisieren lässt. Dank der Verknüpfung mit der Freifunkdatenbank ist die Darstellung von Knoten, Verbindungen und sämtlichen Zusatzinformation in der entstehenden topographischen Karte möglich. Jedoch handelt es sich dabei ausschließlich um statische Informationen. Weder aktuelle Ereignisse, wie die Fluktuationen in der Verbindungsqualität der Funkverbindungen, noch Informationen über Status der einzelnen Router, werden dem Anwender zugänglich gemacht.

OLSR-Viz bietet zwar eine aktuelle Karte, die fast in Echtzeit die Metriken der Funkstrecken, sowie alle Verbindungen zwischen den Routern und die Gesamtheit aller im Freifunknetz befindlichen Knoten anzeigt, jedoch keinerlei Informationen über die jeweiligen Knoten preisgibt. Auch geografische Bezugspunkte sucht man vergebens. Darüber hinaus ist genau wie bei Statistics der Zugriff nur möglich, wenn der Router vom Internet aus zugänglich ist. Dass hiermit eine Angriffsmöglichkeit auf das Freifunknetzwerk gegeben wird, ist wohl einfach zu erkennen. Sollte der jeweilige Router für das Freifunknetzwerk als Gateway fungieren, so entsteht außerdem eine zusätzliche Belastung der Internetverbindung und somit ein Nachteil für das gesamte Freifunknetzwerk.

Statistics bietet dem Anwender anschauliche Diagramme zu bestimmten Auslastungen. Jedoch fehlen nicht nur viele interessante Informationen, sondern auch der Bezug zu dem

gesamten Netzwerk. Hinzu kommt die Tatsache, dass ein Teil der Informationen ausschließlich im passwortgeschützten Bereich abgerufen werden kann, und somit nur dem Administrator des jeweiligen Knotens zugänglich gemacht werden.

Eine Eigenschaft haben alle drei Anwendungen gemeinsam: Sie stellen nur Informationen dar, ohne diese zu analysieren. So wird der Anwender weder auf Missstände aufmerksam gemacht, noch werden ihm Ratschläge gegeben. Will man das Netzwerk analysieren, so müssen sämtliche Informationen zusammengetragen und mühsam ausgewertet werden. Dieser Schritt müsste nicht nur bei jeder Analyse erneut durchgeführt werden, sondern es würde auch der Bezug zu den vorherigen Daten fehlen. Dies macht es umso schwieriger eine Aussage über das dynamische Verhalten des Netzwerkes zu treffen und Schwachstellen in den unterschiedlichen Ebenen der Netzarchitektur aufzudecken.

3.3 Daten für die Analyse

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich im Hinblick auf die zu entwickelnde Software mit der Untersuchung der unterschiedlichen Informationsquellen. Das Ziel ist die Bestimmung der relevanten Daten für eine Analyse. In diesem Zusammenhang wird eine Untersuchung bezüglich der Störung durch benachbarte Funknetze durchgeführt.

3.3.1 Relevante Daten

Es stellt sich die Frage, welche Daten für eine Analyse des Freifunknetzwerkes interessant sind und woher sie bezogen werden können. Aus diesem Grund wurde zunächst der öffentliche Bereich des Webinterfaces der Freifunkrouter auf Informationen untersucht, die für eine Analyse relevant sein könnten. Darüber hinaus wurde nach einer Quelle für Wetterdaten gesucht, da angenommen wird, dass Funknetze stark von den aktuellen Wetterverhältnissen abhängig sind.

Verbindungsdaten

Im öffentlichen Bereich des Webinterfaces der Freifunkfirmware findet sich eine Übersicht mit sämtlichen direkten Funkverbindungen zu weiteren OLSR Knoten. So können die Information über die Ziel-IP, den Hysteresewert, die Verbindungsqualität des jeweiligen Knotens (LQ) und seines Nachbarn (NLQ), die verlorenen (Lost) und die insgesamt verschickten Pakete (Total), sowie der geschätzte Übertragungswert (ETX) abgerufen werden. Obwohl der Hysteresewert, im Gegensatz zu den restlichen Werten, nicht von Interesse ist, da die aktuelle OLSR Version an Stelle der Hysterese nur noch ETX verwendet, soll dieser Wert trotzdem aufgenommen werden, um eventuell auch ältere Freifunknetzwerke analysieren zu können. Da direkt aufeinander folgende Abfragen oft neue Werte ergeben, kann davon ausgegangen werden, dass eine Aktualisierung im Takt von wenigen Sekunden stattfindet.

WLAN Daten

Die Oberfläche der Freifunkrouter bietet die Möglichkeit eines so genannten „WLAN Scan“. Wird dieser gestartet, so werden die von dem Router empfangenen WLAN Beacons ausgewertet und das Ergebnis angezeigt. Hierbei wir für einen kurzen Zeitraum aktiv auf sämtlichen Funkkanälen gelauscht. Dieses kann auch manuell über die Konsole durch die Eingabe der folgenden Befehle ausgeführt werden:

- Der Befehl „wl ap 0“ versetzt den Router in den Client Mode. Nur in diesem kann der Scanvorgang durchgeführt werden.

- Daraufhin wird mit „wl scan“ der eigentliche WLAN Scan gestartet und das Ergebnis in ein Scanprotokoll geschrieben.

- Abschließend gibt der Befehl „wl scanresults“ das Scanprotokoll über die Konsole aus.

Es fällt auf, dass mehrere Abfragen, welche in kurzer zeitlicher Abfolge gestarteten wurden, zu recht unterschiedlichen Ergebnissen führen können. So tauchen vor allem schwache

Funknetze deutlich seltener auf. Auch ein hoher Beacon Intervall kann dazu führen, dass ein Funknetz seltener entdeckt wird. Trotzdem bietet diese Funktion somit ausreichend Daten für eine Analyse der Störungen durch benachbarte Funknetze. Abgerufen werden können die Namen des Funknetzwerkes (SSID), des verwendeten Kanals (Kanal), Informationen über Verschlüsselung (Open) und Betriebsart (Ad-Hoc), die Signalstärke (Signal), sowie die maximale Geschwindigkeit (Max) und die eindeutige Kennzeichnung des Funknetzes (BSSID).

Konfigurationsdaten

Im NVRAM speichern die Freifunkrouter ein Großteil der Daten, welche über den geschützten Bereich eingestellt werden können. So kann im öffentlichen Bereich des Webinterfaces der Link „NVRAM-Konfiguration“ ausgewählt werden. Daraufhin bekommt der Betrachter alle Werte angezeigt, die mindestens ein Mal gesetzt wurden. Das bedeutet, dass Werte, die noch nie im geschützten Bereich des Webinterfaces eingestellt wurden, nicht im NVRAM zu finden sind, jedoch Werte, die nach dem Eintrag wieder gelöscht wurden mit „null“ gespeichert sind. In beiden Fällen verwendet das System den Defaultwert der Variable. Von den durchschnittlich 30 angezeigten Werten sind circa 20 für eine Analyse von Interesse. Dazu zählen unter anderem die SSID, das Beacon Intervall und die OLSR Geschwindigkeit.

Kontaktdaten

Über das Webinterface sind die Kontaktdaten, soweit der Betreiber des Knotens sie eingetragen hat, verfügbar. Die dort zu findenden Daten sind nicht direkt für eine Analyse relevant, jedoch können sie als nützliche Erweiterung betrachtet werden. So kann zum Beispiel eine dort hinterlegte Telefonnummer oder E-Mail Adresse dazu genutzt werden, den Knotenbetreiber über Schwachstellen oder Konfigurationsfehler aufzuklären. Dieser kann dort Nickname, Name, E-Mailadresse, Telefon, Standort und eine Notiz hinterlegen.

Wetter Daten

Eine wichtige Größe in der Analyse der Funkstrecken zwischen den jeweiligen Knoten spielt das Wetter. So soll anhand von Wetterdaten untersucht werden, inwiefern bestimmte Wetterlagen das Freifunknetzwerk beeinträchtigen. Insbesondere das Wasser ist in seinen unterschiedlichen Formen für die Analyse interessant. Wie bereits im Kapitel „Grundlagen“ beschrieben, dämpft Wasser die Funkwellen mit einer Frequenz von 2,4 GHz. Daher soll ein besonderes Augenmerk auf die unterschiedlichen Wetterereignisse gelegt werden, die in einem Zusammenhang mit dem fluktuierenden Wasseranteil in den Fresnelzonen der Freifunkknoten liegen. So wurde Wetterprovider wetter.com gewählt, da diese stündlich umfangreiche Wetterdaten aus Hannover liefert. Die jeweiligen Daten können mit einer Verzögerung von 30 Minuten abgerufen werden. Wetter.com bietet zwar auch einen RSS Feed an, jedoch werden über diesen Dienst weniger Wetterdaten mit längeren Intervallen und wesentlich größeren Wetterzonen angeboten. Von wetter.com können folgende Daten bezogen werden: Wetterlage, Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Windstärke, Windböen, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit und Sicht. Die Relevanz dieser Werte für eine Analyse soll im Folgenden geklärt werden.

Wetterlage

Bei der Wetterlage sind Werte wie sonnig, leicht bewölkt, wolkig, bedeckt, Schauer, Regen, Sprühregen, Schnee, Schneeregen und Nebel möglich. Hier lässt sich auf den ersten Blick erkennen, dass ein starker Zusammenhang zu dem Wassergehalt in der Luft besteht, und daher eine Untersuchung bezüglich der Funkstrecken interessant ist.

Temperatur / Relative Luftfeuchtigkeit

Betrachtet man die Temperatur, so vermutet man zunächst keinen Einfluss auf die Qualität von Funkverbindungen. Eine größere Bedeutung erreicht sie jedoch aufgrund der Messung der Luftfeuchtigkeit in relativen Werten. So kann die absolute Luftfeuchtigkeit, welche den genauen Wassergehalt in der Luft angibt, nur anhand der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit errechnet werden. Die relative

Luftfeuchtigkeit gibt lediglich den aktuellen Wassergehalt in Prozent zu dem theoretischen Maximum bei der jeweiligen Temperatur an.

Windgeschwindigkeit / Windstärke / Windböen

Der Faktor Wind hat keine besonders große Bedeutung für die Analyse. Aufgenommen wurde er aufgrund der Tatsache das einige Knoten Außenantennen verwenden, welche eine gewisse Windempfindlichkeit zeigen. Dies betrifft vor allem Antennen welche zur Bündelung der Funkwellen mit Satellitenschüsseln kombiniert wurden. So kann vielleicht in der Analyse ein Zusammenhang zwischen ausgefallenen Funkstrecken und dem Wetterfaktor Wind erkannt werden. Da hierfür die Windrichtung nicht ausschlaggebend ist, wurde diese Messgröße weggelassen. Windgeschwindigkeit und Windstärke messen zwar den gleichen Wert, jedoch benutzen sie unterschiedliche Skalen. Obwohl bei der Windgeschwindigkeit eine feinere Skala verwendet wird, fließen zunächst beide Werte in die Analyse mit ein. Die Windböen sind interessant, da gerade eine große Differenz aus Windgeschwindigkeit und Windböen zu unerwünschten Bewegungen der Außenantennen führen kann.

Luftdruck und Sicht

Bei diesen beiden Werten kann zunächst keinerlei Zusammenhang zu einem Einfluss auf das Freifunknetzwerk gesehen werden. Trotz alledem sollten diese Werte im Zusammenhang mit einem möglichen Einfluss untersucht werden.

3.3.2 Absolute Luftfeuchtigkeit

Der entscheidende Einfluss des Wetters auf Funkverbindungen ist der Wassergehalt in der Luft. Da die relative Luftfeuchtigkeit jedoch nur den Prozentsatz der Sättigung mit Wasserdampf im Medium Luft zu der jeweiligen Temperatur angibt, ist dieser Wert nur

bedingt aussagekräftig. Auch die Wetterlage kann hier nur ungenaue Angaben machen, da sie sowohl ungenau, als auch zu grob skaliert ist.

Abhilfe kann hier die absolute Luftfeuchtigkeit schaffen, da sie den Feuchtegehalt in Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft angibt. Leider ist dieser Wert von keinem Wetterdienst direkt zu bekommen. Für die spätere Analyse kann dieser Wert aber aus den vorhandenen Messgrößen errechnet werden. Zur Vereinfachung werden nur die Parameter für Temperaturen von 0 Grad Celsius und darüber verwendet. Hierdurch entsteht nur eine geringe Abweichung in der Analyse, da bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt nur sehr wenig Wasserdampf entstehen kann.

Zunächst muss der Sättigungsdampfdruck SDD nach der Magnus-Formel mit der Temperatur T und den beiden Parametern a = 7,5 und b = 237,3 ermittelt werden:

$$SDD(T) = 6{,}1078 * 10^{\frac{a*T}{b+T}}$$

Daraufhin wird mit dem Ergebnis und der relativen Luftfeuchtigkeit r der Dampfdruck in hPa berechnet:

$$DD(r,T) = \frac{r}{100} * SDD(T)$$

Nun kann die absolute Feuchte AF in Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft ermittelt werden. Hierzu wird das Molekulargewicht des Wasserdampfes mW = 18,016 kg, die universale Gaskonstante R* = 8314,3 kmol * K, sowie die Temperatur in Kelvin (TK) benötigt [WET] :

$$AF(r,TK) = 10^5 * \frac{m_W}{R^*} * \frac{DD(r,T)}{TK}$$

3.3.3 Störung durch benachbarte Funknetze

Unter den Daten, die über den „WLAN Scan“ der Freifunkrouter abgerufen werden können, ist die Signalstärke der empfangenen Funknetzwerke. Diese kann die Werte Signal = {0,1,2,3,4,5} betragen, wobei 5 für ein starkes Signal und 0 für ein sehr schwaches Signal steht. Dieser Wert bietet sich für eine Abschätzung des Störpotentials durch benachbarte Funknetze an. Da jedoch diese Werte firmwarespezifisch sind, wurde der Versuch unternommen, die sechs Signalstärken in ein Verhältnis zueinander zu bringen. Allerdings erwies es sich als außerordentlich schwierig, mithilfe von zwei Routern eine genaue Messung vorzunehmen. Es konnte ungefähr abgeschätzt werden, dass sich die Signalstärken analog zu der Störgröße verhalten. Somit soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit davon ausgegangen werden, dass Signalstärke * 20 in Prozent die ungefähre Störung im Verhältnis zur Maximalstörung wiedergibt. Die Signalstärke 0 wird daher als keine Störung angesehen, während die Stärke 4 eine Störung von 80 Prozent der theoretischen Maximalstörung beträgt. Da zusätzliche Funknetzwerke das Störpotential vergrößern, soll davon ausgegangen werden, dass sich die einzelnen Störungen auf einem Kanal summieren lassen. Daraus ergibt sich für die Störfunktion S auf Kanal x die folgende Funktion:

$$S(x) = \sum_{n=1}^{m} \text{Ø Signalstärke des Funknetzes n auf Kanal x}$$

, m = Anzahl der Funknetze auf Kanal x

Oder, um es in Worten zu sagen: Die Summe der durchschnittlichen Signalstärke aller Funknetze auf dem Kanal x, ergibt die kanalspezifische Störgröße S.

Indirekte Störungen

Bereits in den Grundlagen unter Abschnitt 2.4.3 wurde mit dem Verweis auf Abbildung 8 beschrieben, dass der IEEE 802.11 Standard eine teilweise starke Überschneidung der 14 verschiedenen Kanäle vorsieht. So können Funknetze auf bis zu acht angrenzenden Kanälen stören. In der Literatur findet sich gelegentlich die Aussage, dass die Störungen durch Funknetze auf benachbarten Kanälen mit zunehmendem Kanalabstand abnehmen und bei

einer Differenz von mindestens 5 Kanälen verschwunden sind. Jedoch konnte keine sichere Quelle gefunden werden, die genaue Werte bezüglich des zu erwartenden Leistungsabfalls bei benachbarten Funknetzen nennt. Es kann vermutet werden, dass auch hier ein lineares Modell greift, so dass ein Funknetzwerk, das auf Kanal 6 funkt, noch mit 80 % auf Kanal 5 und 7 und zu 20 % auf Kanal 2 und 10 stört. Wird die bereits aufgestellte Formel an diese Gegebenheit angepasst, so entsteht folgende Formel:

$$S(x) = \sum_{n=1}^{m} (\text{Ø Signalstärke des Funknetzes n auf Kanal x})$$

$$+ \sum_{o=1}^{p} (\text{Ø Signalstärke des benachbarten Funknetzes o auf Kanal y} \times \text{A(z)})$$

, m = Anzahl der Funknetze auf Kanal x

, p = Anzahl der Funknetze auf Kanal (y < x + 4) && (y > x - 4)

, A(z) : A(4) = 0,2; A(3) = 0,4; A(2) = 0,6; A(1) = 0,8.

In Worten gefasst wird die vorherige Formel erweitert um die Summe der durchschnittlichen Signalstärke aller Funknetze auf den vier an Kanal x angrenzenden Kanälen multipliziert mit der Abstandsfunktion A(z), welche für die Werte 1-4 fest definiert ist.

Um die These bezüglich benachbarter Funknetze zu überprüfen, wurde ein Test mit der vorhanden WLAN Hardware gemacht. [NG1] [BHE]

Vorüberlegungen

1) Für einen Test werden mindestens 4 Netzteilnehmer gebraucht, so dass zwei eigenständige Funknetze aufgebaut werden können.

2) Es muss nach Möglichkeit ein Kanal gewählt werden, der nicht direkt oder indirekt durch benachbarte Funknetze gestört wird.

3) Es muss ein Weg gefunden werden, die Qualität der Verbindung zu bewerten.

4) Es sollte zwei Versuchsreihen geben: Eine mit und eine ohne Datenübertragung auf dem störenden Netzwerk.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist auf Abbildung 15 ersichtlich und beinhaltet zwei Router (AP1 + AP2), welche mit der Freifunkfirmware ausgestattet und identisch konfiguriert wurden. Da es sich bei den beiden verwendeten Geräten um einen Siemens SE505 und einen Linksys WRT54g handelt, besitzen beide den gleichen WLAN Chipsatz. Eine Ausnahme in der Konfiguration bildet die SSID und die BSSID, da es sonst zu übermäßigen Störungen kommen könnte, welche in der Regel nicht in einer normalen Umgebung vorkommen würden. Beide Router arbeiten in dem Infrastrukturmodus, um somit zwei unabhängige Funknetze errichten zu können.

Als Clients (Client1 + Client2) dienen ein Notebook und ein gewöhnlicher PC mit dem Betriebssystem Windows XP (SP2). Auf beiden Systemen wurden möglichst übereinstimmende Einstellungen bezüglich des WLAN Interfaces verwendet.

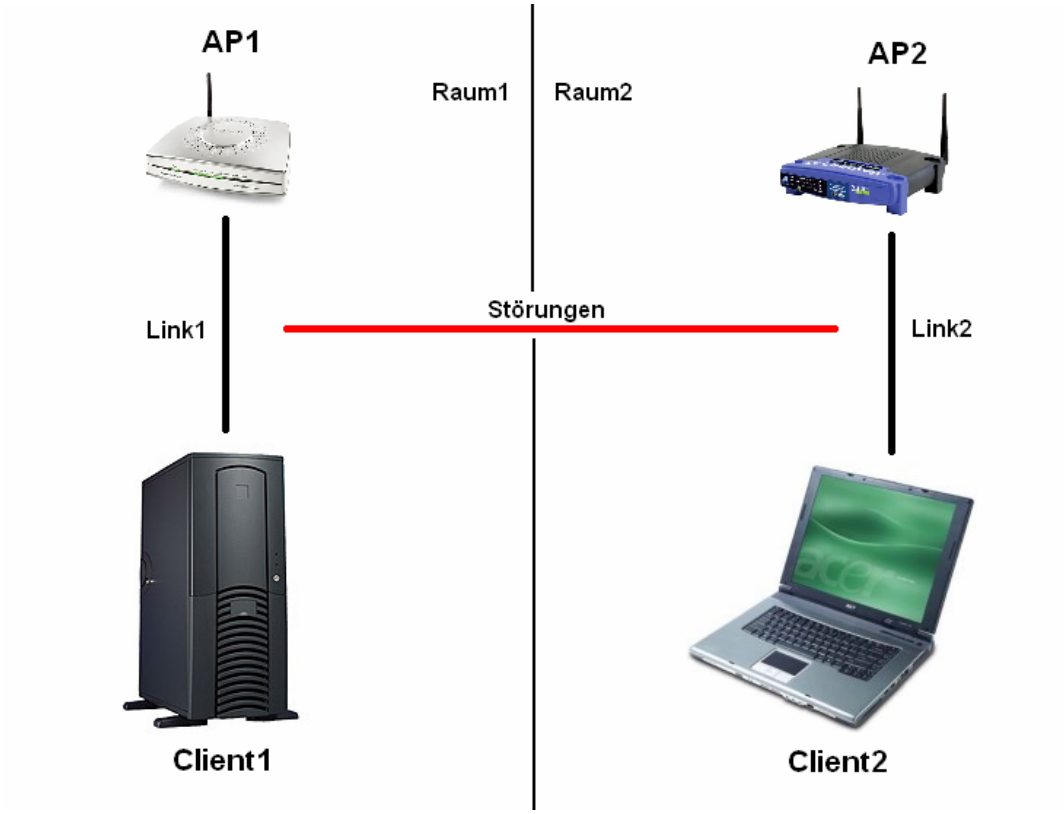


Abbildung 15 - Aufbau des Störungstest

Als Testumgebung wurden zwei durch eine dämpfungsarme Rigipswand getrennte Räume (Raum1 + Raum2) verwendet. In jedem der Räume findet sich ein Paar, bestehend aus einem Client und dem zugehörigen Access Point.

Beim Scannen des WLAN Frequenzbandes mit Netstumbler wurde festgestellt, dass in der Testumgebung die Kanäle 1 bis 5 nicht von benachbarten Funknetzen verwendet werden und somit Kanal 1 bei einem Test die beste Wahl darstellte.

Zur Messung der Leitungsqualität soll der Endlosdownload der Freifunkfirmware, welcher eine unendliche Abfolge von binären Nullen liefert, dienen. Dieser Werte wurde gewählt, da diese Messgröße von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig ist, und somit eine präzise Kennzahl zur Bestimmung der Leitungsqualität darstellt. Um Messungenauigkeiten durch kleinere Störungen oder Zwischencachen des Webbrowsers abzufangen, sollte erst nach einer relativ großen Menge an Daten die Messwerte abgelesen werden. Aufgrund der circa 20 MBit/s, welche durchschnittlich von Funknetzwerken nach IEEE 802.11g erreicht werden, wurde ein Datenvolumen von 100 MB gewählt.

Durchführung und Ergebnisse

Aus Abbildung 16 ist ersichtlich, dass bei beiden Testdurchläufen AP1 dauerhaft auf Kanal 1 (K-AP1) eingestellt wurde. Somit konnte sichergestellt werden, dass alle im Rahmen dieses Testes gemessenen Störungen von AP2 und Client2 ausgehen. Daraufhin wurden beide Funknetze für jeden Durchlauf separat auf Kanal 1 getestet. Hierbei wurde bereits die erste Auffälligkeit festgestellt. So erreicht Client2 in Verbindung mit AP2 deutlich weniger Geschwindigkeit als Client1 in Verbindung mit AP1. Dass dieses Problem trotz des gleichen WLAN Chipsatzes in beiden APs doch alleinig an AP2 liegt, konnte durch ein Wechsel der beiden Clients festgestellt werden. So erreichte Client2 an AP1 und Client1 an AP2 Werte, die den zuvor gemessen Werten entsprachen. Hier kann vermutet werden, dass die geringere Speicherbestückung des SE505 sich auch in einem verminderten Datendurchsatz in Verbindung mit der Freifunkfirmware äußert.

Ohne Last auf AP2

K-AP1	AP1 - kb/s	K-AP2	AP2 - kb/s	Durchschnitt	%	Faktor
1	1701	/	/	/	0,00	0,00
/	/	1	1204	1452,5	0,00	0,00
1	1665	1	1169	1417	-2,44	1,00
1	1670	2	1169	1419,5	-2,27	0,93
1	1668	3	1173	1420,5	-2,20	0,90
1	1676	4	1177	1426,5	-1,79	0,73
1	1672	5	1192	1432	-1,41	0,58
1	1698	6	1194	1446	-0,45	0,18

Last auf AP2

K-AP1	AP1 - kb/s	K-AP2	AP2 - kb/s	Durchschnitt	%	Faktor
1	1701	/	/	/	0,00	0,00
/	/	1	1204	1452,5	0,00	0,00
1	1141	1	942	1041,5	-28,30	1,00
1	1003	2	819	911	-37,28	1,32
1	995	3	986	990,5	-31,81	1,12
1	1283	4	1011	1147	-21,03	0,74
1	1488	5	888	1188	-18,21	0,64
1	1688	6	1141	1414,5	-2,62	0,09

Abbildung 16 - Messung der WLAN Störungen

In weiteren Verlauf wurde bei AP2 sukzessiv der Kanal von 2 bis 6 (K-AP2) eingestellt und nacheinander an beiden APs der Datendurchsatz gemessen. Aus den dabei erzielten Werten wurde der Durchschnitt gebildet. Daraus wurde der prozentuale Leistungsabfall im Vergleich zu der theoretischen Summe errechnet, welche sich ergeben würde, wenn beide Funknetze ohne gegenseitige Störungen auf Kanal 1 operieren könnten. Schlussendlich wurde noch der Störungsfaktor angegeben, der die Abweichung der jeweiligen kanalspezifischen indirekten Störung zu der direkten Störung auf Kanal 1 darstellt.

Der auch in Abbildung 16 ersichtliche zweite Testdurchlauf „Last auf AP2“ weist im Wesentlichen nur einen Unterschied zu dem ersten Testlauf auf. Anstatt die beiden Funknetze jeweils nacheinander auf den jeweiligen Kanälen in der Geschwindigkeit zu testen, um somit die Störungen durch ein nicht genutztes benachbartes Funknetz zu simulieren, wurden hier die Messungen, mit Ausnahme der beiden Referenzmessungen, zeitgleich vorgenommen. Die Ergebnisse der Messungen lassen eines sehr deutlich erkennen: Benachbarte Funknetze stören kaum, wenn sie keine Daten übertragen. So geht von einem nicht beanspruchten Funknetz, dass auf dem gleichen Kanal operiert, nur ein Leistungsabfall von weniger als 2,5 Prozent aus.

Dieses Ergebnis ist zu erklären mit der Tatsache, dass Funknetze ohne Last nur eine relativ geringe Menge an Paketen versenden.

Besonders auffällig bei der Messung „Last auf AP2“, ist das Auftreten des stärksten Leistungsabfalls, welcher sich nicht wie erwartet bei gemeinsamer Verwendung von Kanal 1 auftritt, sondern bei dem Betrieb von AP2 auf dem benachbarten Kanal 2. Auf den Kanälen 2-6 verhält es sich bezüglich des Leistungsabfalls zwar nicht wie angenommen in einem linearen Modell, jedoch ist deutlich die erwartete Verbesserung bei den kumulierten Werten mit Zunahme des Abstandes zwischen den beiden Netzen zu sehen. Nun stellt sich jedoch die Frage, aus welchem Grund der Leistungsabfall bei Benutzung von Kanal 1 durch beide Funknetze mit circa 28 Prozent niedriger als die gemessenen Werte liegen, bei denen AP2 Kanal 2 und 3 verwendet. Eine mögliche Erklärung kann in der WLAN Spezifikation gefunden werden. So arbeitet das hier verwendete Funknetz nach der IEEE 802.11g Spezifikation, welche zur Signalmodulation OFDM und für den Kanalzugriff das CSMA/CA Verfahren vorsieht. Vermutlich kommt es bei zwei auf dem gleichen Kanal optierenden Netzen aufgrund eines korrekt arbeitenden CSMA/CA zu einem geringeren Leistungsabfall. So ist wahrscheinlich die Verminderung der Übertragungsgeschwindigkeit um circa 28 Prozent maßgeblich auf die Kanalbelegung durch das jeweils konkurrierende Funknetz zu sehen. Bei zwei Funknetzen die auf aneinander angrenzenden Kanälen eingesetzt werden, scheint das CSMA/CD nicht mehr eindeutig eine Kanalbelegung zu erkennen. Daher kommt es vermehrt zu Kollisionen und somit häufiger zu Neuübertragungen. Dieser Effekt kann in der Messung erst bei einem Abstand von mindestens drei Kanälen überkompensiert werden. Dass eine Übertragung auf zwei sich überschneidenden Kanälen nicht jedes Mal zu einer Kollision führt, liegt an dem Modulationsverfahren OFDM, welche den 20 MHz breiten Kanal in bis zu 52 jeweils 300 kHz breite Unterträger unterteilt.

Bei beiden Messungen fällt auf, dass selbst bei einem Signalabstand von 5 Kanälen eine Beeinflussung erkennbar war. So konnte bei der Messung unter Last ein Leistungsabfall von 2,62 Prozent bezogen auf die Gesamtleistung, beziehungsweise einem Störfaktor von 0,09 Prozent, festgestellt werden. Bei der Messung ohne Last konnte sogar bei dem gleichen Abstand ein doppelt so hoher Störfaktor ermittelt werden. Ein Großteil dieser Störungen geht wahrscheinlich von den Beacon Frames

aus, die der Router in einem regelmäßigen Intervall auf allen Kanälen propagiert. Mit dessen Hilfe wird allen potentiellen Empfängern unter anderem die SSID und das Verschlüsselungsverfahren des Netzwerkes mitgeteilt. Somit dürfte eine Erhöhung des Beacon Intervalls zu geringeren Störungen führen.

Abweichung	Ohne Last	Mit Last	Gesamtfaktor
0	1,00	1,00	1,00
1	0,93	1,32	1,13
2	0,90	1,12	1,01
3	0,73	0,74	0,74
4	0,58	0,64	0,61
5	0,18	0,09	0,14

Abbildung 17 – Gesamte Störungen

Für die spätere Software soll der Durchschnitt der Werte, die mit und ohne Last ermittelt wurden dienen. Diese sind in der Tabelle auf Abbildung 17 ersichtlich. [IT3] [TCH] [ITA] [KW2] [PCW]

4 Entwicklung der Software

In dem Kapitel wird die Entwicklung einer Analysesoftware für das Freifunknetzwerk beschrieben. So wird zunächst die Ausgangssituation geschildert und anschließen darauf aufbauend die Anforderungsdefinition erstellt. Daraufhin erfolgt der Entwurf der zu entwickelnden Software. Zum Abschluss wird die Implementierung und das Testen beschrieben und die gewonnen Ergebnisse analysiert.

4.1 Ausgangssituation

Betrachtet man den Bereich der Analyse und Visualisierungssoftware im Bezug auf das Freifunknetzwerk, so fällt auf, dass bisher weder alle Bereiche der Analysemöglichkeiten abgedeckt wurden, noch das die bereits vorhanden Lösungen eine Vollständigkeit für sich beanspruchen können. Es sind oft nur Insellösungen mit dem Ziel der einfachen Datenaufarbeitung oder der Visualisierung des Netzwerkes. Eine Verbindung dieser beiden Funktionen ist genauso wenig vorhanden, wie Software die komplexere Zusammenhänge im Bezug auf das Freifunknetzwerk untersucht. Diese Lücke soll die hier zu entwickelnde Software so weit wie möglich schließen.

4.2 Anforderungsdefinition

4.2.1 Einordnung der Arbeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll eine Analysesoftware für das Freifunknetzwerk entwickelt werden. Neben ihrer praktischen Anwendung für das Freifunknetzwerk soll sie in dieser Arbeit auch als Quelle von Informationen zur Bewertung des Verhaltens von Freifunknetzwerken eingesetzt werden.

4.2.2 Einsatzbereich der Software

Der primäre Einsatzbereich des Softwaresystems ist das Freifunknetzwerk in Hannover. Ein Abruf der Daten soll über das Internet möglich sein und diese somit weltweit zugänglich machen. Darüber hinaus soll bei der Entwicklung der Software darauf geachtet werden, dass die Verwendung potentiell auch in den anderen Freifunkprojekten möglich ist.

4.2.3 Funktionale Anforderungen

Das System soll den folgenden funktionalen Anforderungen gerecht werden:

Datenhaltung

Sämtliche Daten sollen in einer zentralen Datenbank gehalten werden. In diese soll das Backend regelmäßig die zuvor gesammelten Daten schreiben. Das Frontend soll dann die Daten aus der Datenbank entnehmen und dem Anwender auf unterschiedliche Weise zugänglich machen. Letztere soll auch schreibenden Zugriff auf die Datenbank bekommen, um somit die Aktionen des Backend zu kontrollieren. Eine Ausnahme stellt die Konfigurationsdatei des Backend dar, in welcher die zu nutzende Datenbank eingetragen werden soll.

Funktionalität

Das System zur Freifunkanalyse soll die folgenden Funktionen bieten:

Datensammler-Funktion

Für die Analyse des Freifunknetzwerkes sind viele Daten von den unterschiedlichen Freifunkroutern und von dem Internet-Wetterdienst wetter.com notwendig. Diese

sollen automatisch in einem vorgegebenen Intervall abgerufen und in der Datenbank gespeichert werden.

Anmelde-Funktion

Es sollen Funktionalitäten zur Verfügung gestellt werden, welche autorisierten Benutzern die An- und Abmeldung am geschützten Bereich des Frontend ermöglicht.

Einstellungs-Funktion

Der Administrator soll möglichst viele Einstellungen über Konfigurationsdateien, einem geschützten Bereich im Benutzerinterface oder über die Datenbank vornehmen können, so dass bei einer Anpassung an eine neue Umgebung im besten Fall keine Manipulationen mehr im Quellcode durchgeführt werden müssen.

Datenabruf-Funktion

Der Anwender soll nach Möglichkeit über das Benutzerinterface ungefiltert Zugriff auf sämtliche gesammelten Daten bekommen. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten, soll beim Abruf ein Zeitfenster ausgewählt werden können.

Analyse-Funktion

Eine Analyse der Daten bezüglich bestimmter Aspekte soll durch den Anwender angestoßen werden können. Das Ergebnis der Analyse soll im Anschluss über das Benutzerinterface ausgegeben werden.

Hilfe-Funktion

Die Hilfe-Funktion soll sich maßgeblich auf die Erklärung von Fachbegriffen und die Vorgehensweise bei den Analysen konzentrieren. So soll der Benutzer in jedem Bereich des Frontend schnell eine prägnant formulierte Erklärung zu den angezeigten Informationen erhalten.

4.2.4 Nichtfunktionale Anforderungen

Das zu entwickelnde System muss auch einige nichtfunktionale Anforderungen erfüllen. So darf das Frontend keine der in der Datenbank befindlichen gesammelten Daten verändern. Die Daten sollen in angemessener Zeit durch das Frontend ausgelesen werden. Das Frontend soll außerdem übersichtlich gestaltet werden. Des Weiteren soll die Anordnung der Bedienelemente eine einfache und intuitive Bedienung gewährleisten.

4.2.5 Benutzerschnittstellen

Zur Interaktion mit dem Benutzer dient ausschließlich der Webbrowser des Anwenders. Auf diesem werden die gesamten Daten und Analyseergebnisse angezeigt. Das Design des Web-Frontends soll dem der Freifunkfirmware angepasst werden.

4.2.6 Fehlerverhalten

Für das Verhalten im Fehlerfall soll gelten:

- Fehlerhafte Benutzereingaben sollen von der Software abgefangen werden.
- Der Benutzer soll über aufgetretene Fehler in Kenntnis gesetzt werden.

- Fehler dürfen nicht zu einer falschen Anzeige oder gar Veränderungen des Datenbestandes führen.

4.3 Entwurf

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Entwurf der zu entwickelnden Analysesoftware für das Freifunknetzwerk. Beginnend mit der Technologiewahl wird im Folgenden die Architektur und der Entwurf der drei Bereiche Datensammler, Datenbank und Web-Frontend erläutert.

4.3.1 Technologiewahl

Für die Umsetzung der definierten Anforderungen werden nun zunächst die Technologien betreffende Entwurfsentscheidungen erläutert.

Datenhaltung

Für die Datenhaltung wird die relationale Datenbank MySQL gewählt. Zu den Vorteilen dieses Systems gehören seine Lizenzkostenfreiheit und Quelloffenheit. Zudem wird es aufgrund seiner Popularität ständig verbessert und weiterentwickelt, so dass es zum Zeitpunkt dieser Arbeit bereits über einen relativ breiten Funktionalitätsumfang verfügt.

MySQL liegt unter anderem für viele Linux-Distributionen und viele Windows-Versionen in angepassten und bereits kompilierten Versionen vor, was jeweils die Installation und Konfiguration stark vereinfacht. Es wurde der 5.x Entwicklungszweig von MySQL gewählt. Dieser existiert schon seit einiger Zeit und verfügt im Vergleich zu dem 4.x Entwicklungszweig über einen stark erweiterten Funktionalitätsumfang.

Der Zugriff auf die MySQL-Datenbank erfolgt von Java-Anwendungen über die Java Database Connectivity (JDBC) API. Die Implementierung dieser Schnittstelle für MySQL

trägt den Namen Connector/J und unterstützt in der gewählten Version 3.1.13 den JDBC 3.0 Standard. [MYS]

Datenakquisition

Für die beiden Funktionalitäten Datenabruf und des Ablage in die MySQL-Datenbank bedarf es einer autonomen Stand-Alone Lösung. Die Wahl der hierfür verwendeten Programmiersprache fällt auf Java. Bereits im Unterabschnitt Datenhaltung wurde erwähnt, dass Java-Anwendungen über die JDBC Schnittstelle leicht auf MySQL-Datenbanken operieren können. Auch Parser Funktionalitäten sind mit Java einfach zu implementieren. Java ist darüber hinaus in der Informatikabteilung der Universität Oldenburg oft die erste Wahl bei Programmiersprachen, da sie unter anderem Vorteile in den Bereichen Sicherheit, Portierbarkeit und Robustheit bietet. [ZTT]

Präsentation und Logik

Bei der Präsentation fällt die Betrachtung zunächst auf die serverseitig angewendeten Technologien und wendet sich anschließend denen auf der Seite des Clients zu.

Serverseitige Präsentation

Die Präsentation und Analyse der Daten erfolgt durch ein serverseitig generiertes Web-Frontend. Für die Realisierung wird die Scriptsprache PHP in Verbindung mit dem Apache-Webserver gewählt. Diese stehen unter der GNU GPL und sind somit kostenlos verwendbar.

Für die Betriebssysteme Linux und Windows existieren mit XAMPP (Windows), beziehungsweise LAMPP (Linux), bereits vorkonfigurierte Pakete zur Verfügung. Diese Pakete umfassen neben weiterer Software auch eine vorkonfigurierte MySQL-Datenbank.

Clientseitige Präsentation

Auf Clientseite muss neben dem von PHP generierten HTML Code auch CSS verarbeitet werden können. Darüber hinaus wird, aufgrund der geplanten Einbindung von Geodaten mithilfe von Google Maps, JavaScript verwendet. Der Webbrowser des Clients muss daher für einen Teil des Web Frontends diese Technologie unterstützen. Das gesamte Web-Frontend soll mindestens auf dem Internet Explorer 6.x und 7.x und auf dem Firefox 1.x und 2.x lauffähig sein. Aufgrund der von Firefox verwendeten Mozilla Engine sollte das Web-Frontend somit auch auf anderen Mozilla basierenden Browsern problemlos einsetzbar sein, auch wenn dies nicht weiter überprüft wird. [AFR]

4.3.2 Architektur

Eine mögliche Systemarchitektur des Freifunkanalysers ist auf Abbildung 18 ersichtlich. Die gewählte Architektur basiert in ihren Grundzügen auf einer Client-Server Architektur. Eine beliebige Anzahl an Clients erreichen über eine Netzwerkverbindung den Webserver, auf dem der Freifunkanalyser und somit die Präsentation und Logik läuft. In der Regel wird diese Verbindung über das Internet hergestellt, könnte aber zum Beispiel auch über das Freifunknetzwerk realisiert werden. Um ordnungsgemäß auf die Geodaten des Freifunkanalysers zuzugreifen, benötigen die Clients eine Anbindung an das Internet, da diese von einem Google Maps Server bezogen werden müssen.

Der Webserver bezieht sämtliche zu analysierenden Daten und seine Konfiguration von dem Datenbank Server. Darüber hinaus kann der Webserver die Konfigurationsdaten für den Datensammler in der Datenbank anpassen und ihn auf diesem Weg indirekt steuern. Der Datensammler und der Webserver kommunizieren somit nur indirekt über die Datenbank miteinander. Diese drei Module können, wie in Abbildung 18 dargestellt, auf drei eigenständigen Servern betrieben werden. Möglich ist auch ein beliebige Aufteilung auf zwei oder aber der gemeinsame Einsatz auf nur einem Server.

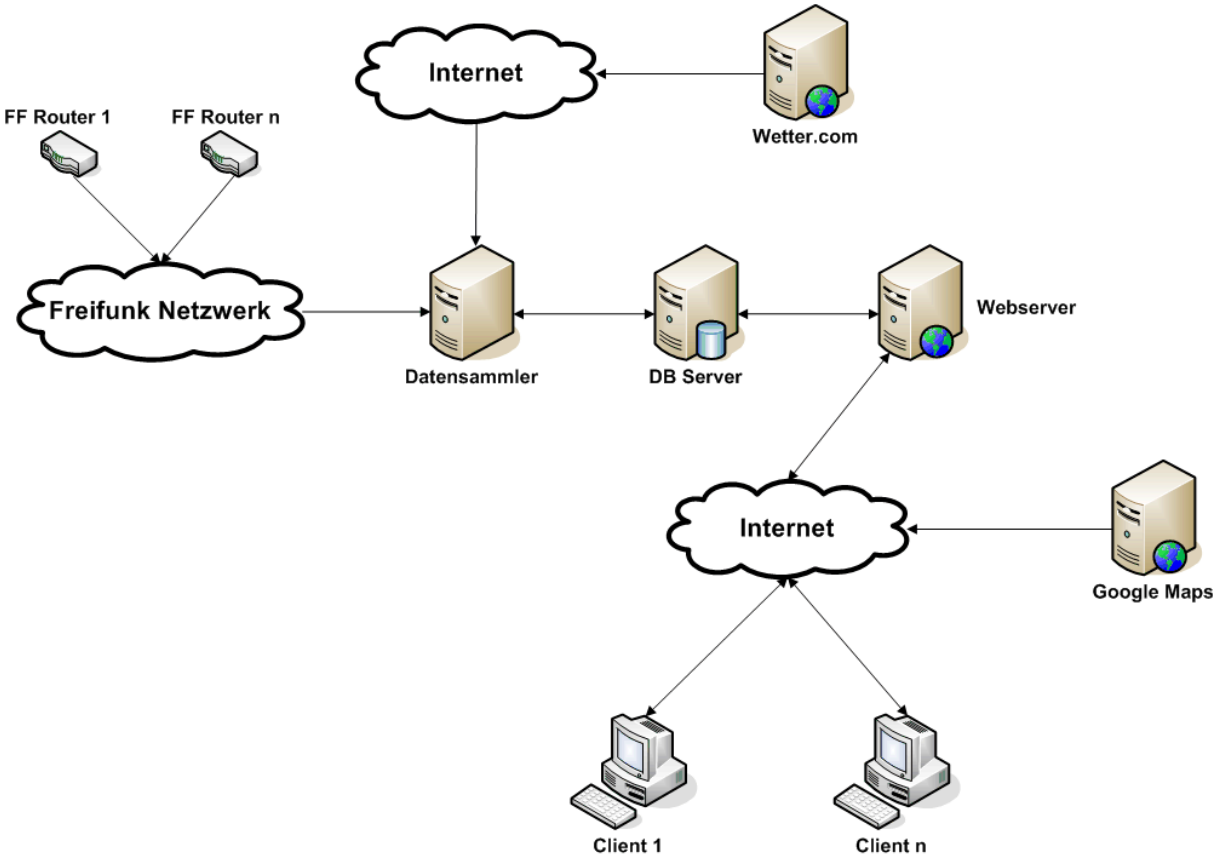


Abbildung 18 - Systemarchitektur

Der Datensammler benötigt eine Anbindung an das Freifunknetzwerk, um die Daten der Router auslesen zu können. Darüber hinaus wird für einen Teil der späteren Analyse eine Internetanbindung zur Abfrage der Wetterdaten von wetter.com benötigt.

4.3.3 Entwurf der Datenhaltung

In Abbildung 19 ist ein ER-Diagramm der geplanten Datenbank zu sehen. Das Modell umfasst acht Tabellen von denen fünf Tabellen in direkter Beziehung zueinander stehen. Werte auf die im Folgenden nicht näher eingegangen wird, sind bereits ausführlich in Abschnitt 3.3.1 beschrieben worden.

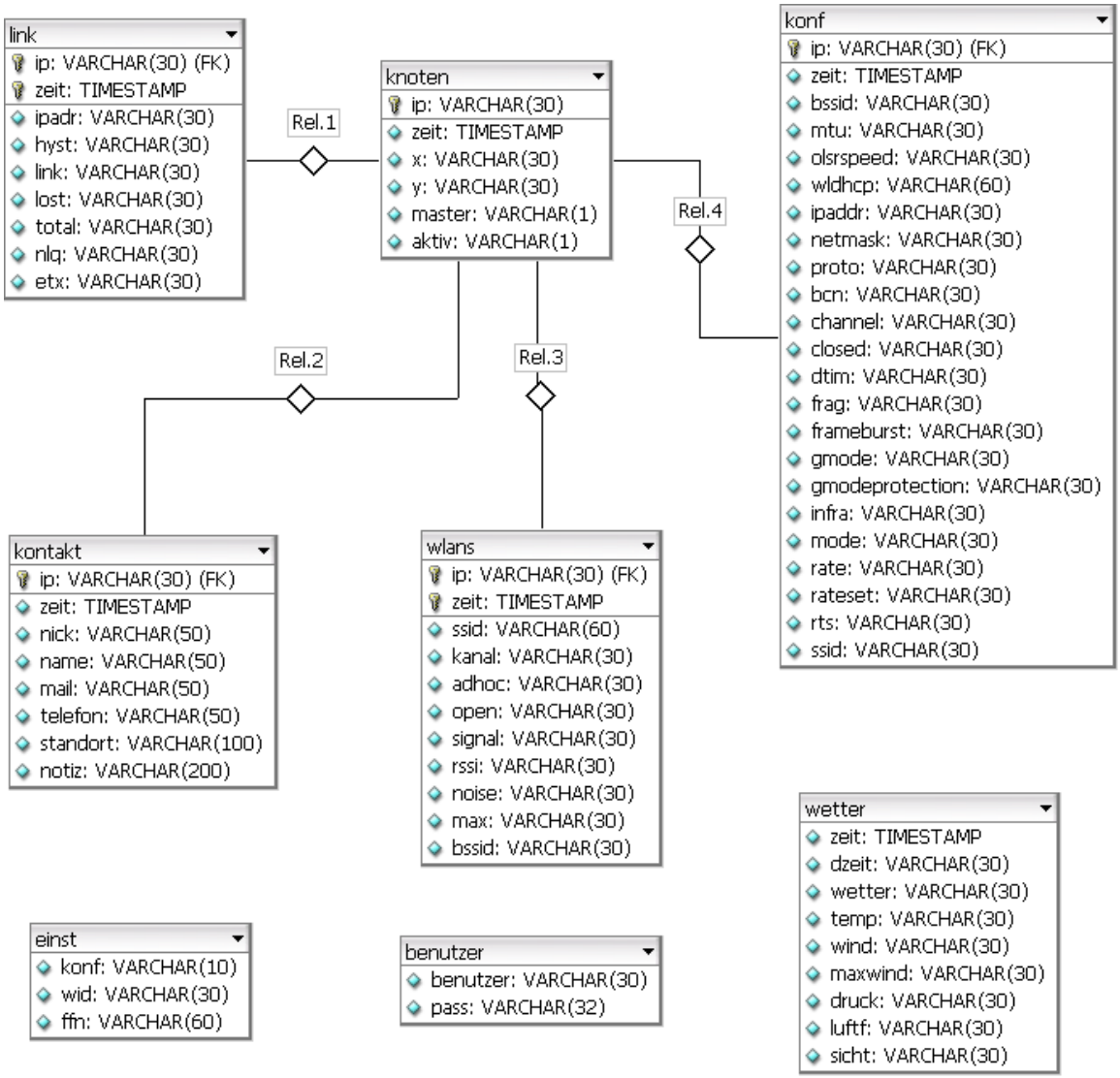


Abbildung 109 – ER-Diagramm der Datenbank

Knoten

Die Tabelle *knoten* stellt die zentrale Tabelle in der Datenbank dar. Sie beinhaltet das Feld *ip* in welchem die IP-Adressen aller abrufbaren Freifunkrouter eingetragen werden sollen. Hierbei handelt es sich um den Primärschlüssel dieser Tabelle und um den Fremdschlüssel für die Tabellen *link*, *wlans* und *kontakt* und *konf*.

In den Feldern *x* und *y* werden die Längen und Breitengrade für Google Maps gespeichert. So können direkt zu den IP-Adressen die Geodaten zugeordnet werden.

Ist das Feld *master* gesetzt, so sollen von dem jeweiligen Router die Informationen aus Freifunk-Statistics im Web-Frontend abgerufen werden.

Das Feld *aktiv* legt fest, ob der jeweilige Router bei den regelmäßigen Abfragen mit einbezogen werden soll. Dies ist der Fall, wenn das Feld gesetzt ist.

Das Feld *zeit* wird automatisch auf die aktuellen Systemzeit gesetzt, wenn eine neue Spalte in die Tabelle eingetragen wird. Dieses Feld befindet sich mit dieser Funktion auch in vielen anderen Tabellen.

Link

Die Tabelle *link* beinhaltet alle vom Datensammler erfassten Freifunkverbindungen der einzelnen Router. Es verwendet den Fremdschlüssel *ip* zusammen mit dem Feld *zeit* als zusammengesetzter Primärschlüssel, da zu jeder IP-Adresse regelmäßig alle Verbindungen erfasst werden müssen.

Das Feld *ipadr* speichert die IP-Adresse des Knotens zu dem eine Verbindung aufgebaut wurde.

Die verbleibenden Felder *hyst*, *link*, *lost*, *total*, *nlq*, und *etx* speichern die Freifunkverbindungswerte Hysterese, LQ, Lost, Total, NLQ und ETX.

Funknetze

Die Tabelle *wlan* beinhaltet alle benachbarten Funknetze der abgefragten Router. Auch hier wird der Fremdschlüssel *ip* zusammen mit dem Feld *zeit* als zusammengesetzter Primärschlüssel verwendet.

Konfiguration

In der Tabelle *konf* sollen sämtliche relevanten Konfigurationsdaten der Freifunkrouter abgelegt werden. Als Primärschlüssel dient der Fremdschlüssel *ip*.

kontakt

Die Tabelle *kontakt* beinhaltet alle durch den Routerbetreiber im öffentlichen Bereich des Web-Frontend publizierten Kontaktinformationen. Auch hier wird der Fremdschlüssel *ip* als Primärschlüssel verwendet.

Wetter

Die von wetter.com abgerufenen Wetterdaten sollen in der Tabelle *wetter* gespeichert werden. Neben der aktuellen Zeit der Eintragung (*zeit*) soll in das Feld *dzeit* die Zeit der Wetterdaten eingetragen werden. Wie bereits angesprochen, werden diese zu jeder vollen Stunde ermittelt und mit einer Verzögerung veröffentlicht.

Benutzer

Die Aufgabe der Tabelle *benutzer* liegt in der Speicherung der Benutzerdaten für den geschützten Bereich des Web-Frontends. Als Primärschlüssel dient das gleichnamige Feld *benutzer*, in welchem die Benutzernamen abgelegt werden. Zur sicheren Authentifizierung durch Wissen wird in dem Feld *pass* das zugehörige Passwort gespeichert. Dieses wird aus Sicherheitsgründen nicht in Klartext abgelegt, sondern in Form eines MD5-Hashes.

Einstellung

In der Tabelle *einst* finden sich Einstellungen für das geplante Web-Frontend. Diese sollen vor allem der schnellen Anpassungsfähigkeit an andere Einsatzorte dienen. Als

Primärschlüssel dient das Feld *konf*, welches einen eindeutigen Wert besitzt um unterschiedliche Konfigurationen abzulegen.

Das Feld *wid* soll eine ID erhalten an der eindeutig eine bestimmte Wetterregion in wetter.com festgelegt werden soll. Das Feld *ffn* speichert den Namen des jeweiligen Freifunknetzwerkes. Auf diese beiden zur einfachen Lokalisierung der Software dienenden Werte wird im späteren Entwurf noch weiter eingegangen.

4.3.4 Entwurf des Datensammlers

Die Aufgaben des Datensammlers sind bereits grob beschrieben worden. Eine ausführlichere Übersicht über den Ablauf zeigt das UML Aktivitätsdiagramm auf Abbildung 20. So sollen grundlegende Einstellungen, wie etwa die zu verwendende Datenbank, in einer Konfigurationsdatei abgelegt werden. Auf diese wird dann kurz nach dem Start zugegriffen und dabei alle nötigen Informationen ausgelesen.

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten angesprochen, befindet sich die spezifische Wetter ID in der Datenbank. Um daher die korrekten Wetterdaten von wetter.com abzurufen und in die Datenbank zu schreiben, muss zunächst aus der Datenbank diese ID ausgelesen werden.

Für den Zugriff auf die Freifunkrouter soll zunächst aus der Datenbank eine Liste mit IP-Adressen aller abzufragenden Router geladen werden. Hierbei werden nur die Router aus der Datenbank gelesen bei denen das Attribut *aktiv* gesetzt wurde.

Von jedem Router werden daraufhin nacheinander im öffentlichen Bereich des Web-Frontends die Unterseiten benachbarte Funknetze, Freifunkverbindungen, Kontaktdaten und Konfigurationsdaten abgerufen. Mittels parsen werden im folgenden Schritt die festgelegten Daten extrahiert und anschließend in der Datenbank abgelegt.

Der periodische Aufruf des Datensammlers soll ausschließlich dem Betriebssystem überlassen werden. Dies spart nicht nur Entwicklungs- und Testzeit, sondern verringert auch die Gefahr von Laufzeitfehlern. Tritt zum Beispiel unter seltenen Konstellationen ein Fehler auf, der den

gesamten Programmablauf stoppt, so hat dies bei einem periodisch gestarteten Datensammler nur das Fehlen eines Datensatzes zur Folge. Würde hingegen die Instanz eines theoretisch unendlich arbeitenden Datensammlers abstürzen, so bliebe eine wesentlich größere Menge an Daten unerfasst. Diese würde alle Daten betreffen, die zwischen dem Ausfall und dem Erkennen des selbigen entstanden wären.

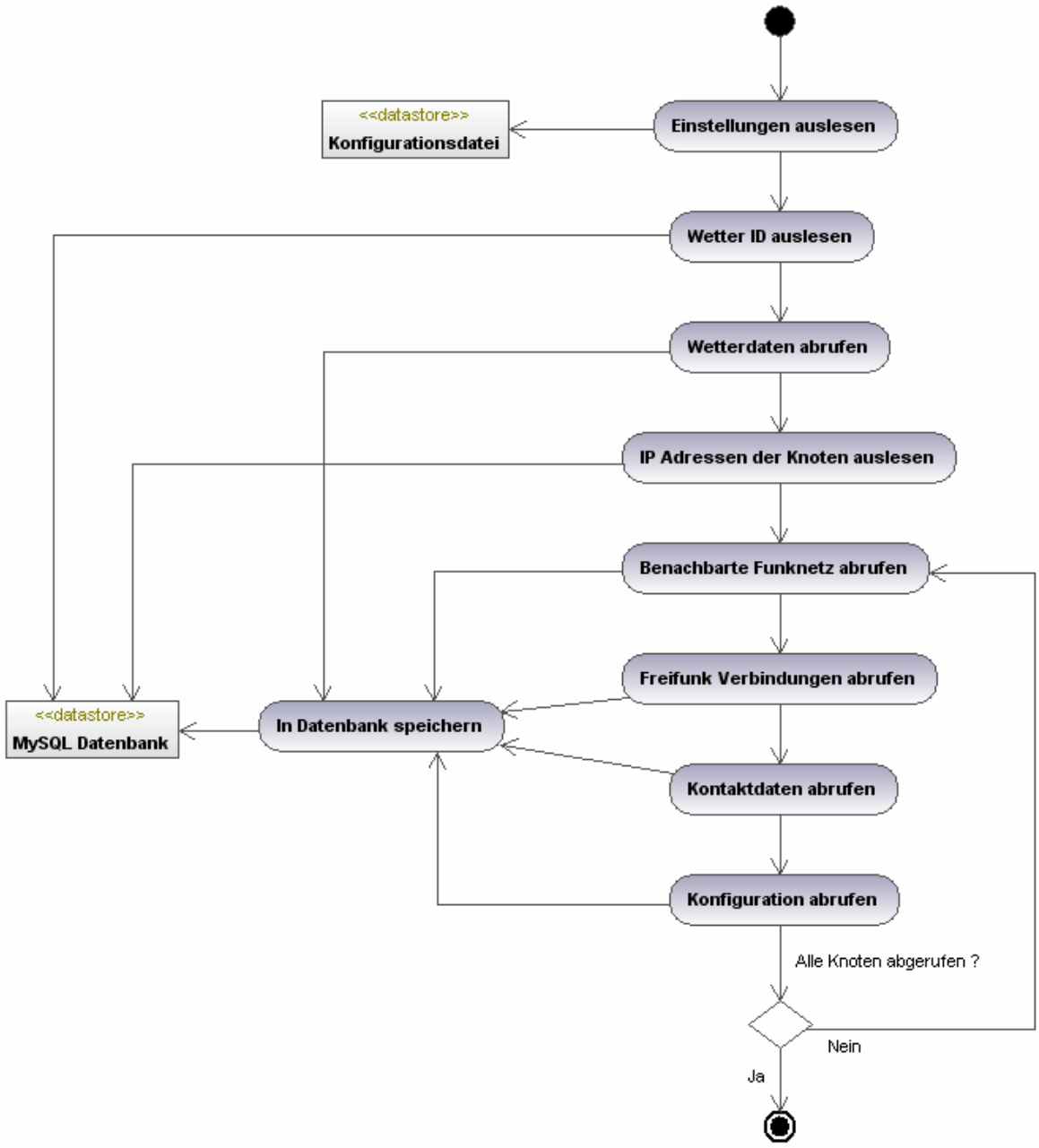


Abbildung 20 - Aktivitätsdiagramm des Datensammlers

Der Datensammler soll über die Kommandozeile aufrufbar sein und dem Anwender Informationen über den Zustand, seine jeweiligen Aktivitäten und die aufgetretenen Fehler liefern.

4.3.5 Entwurf des Web-Frontends

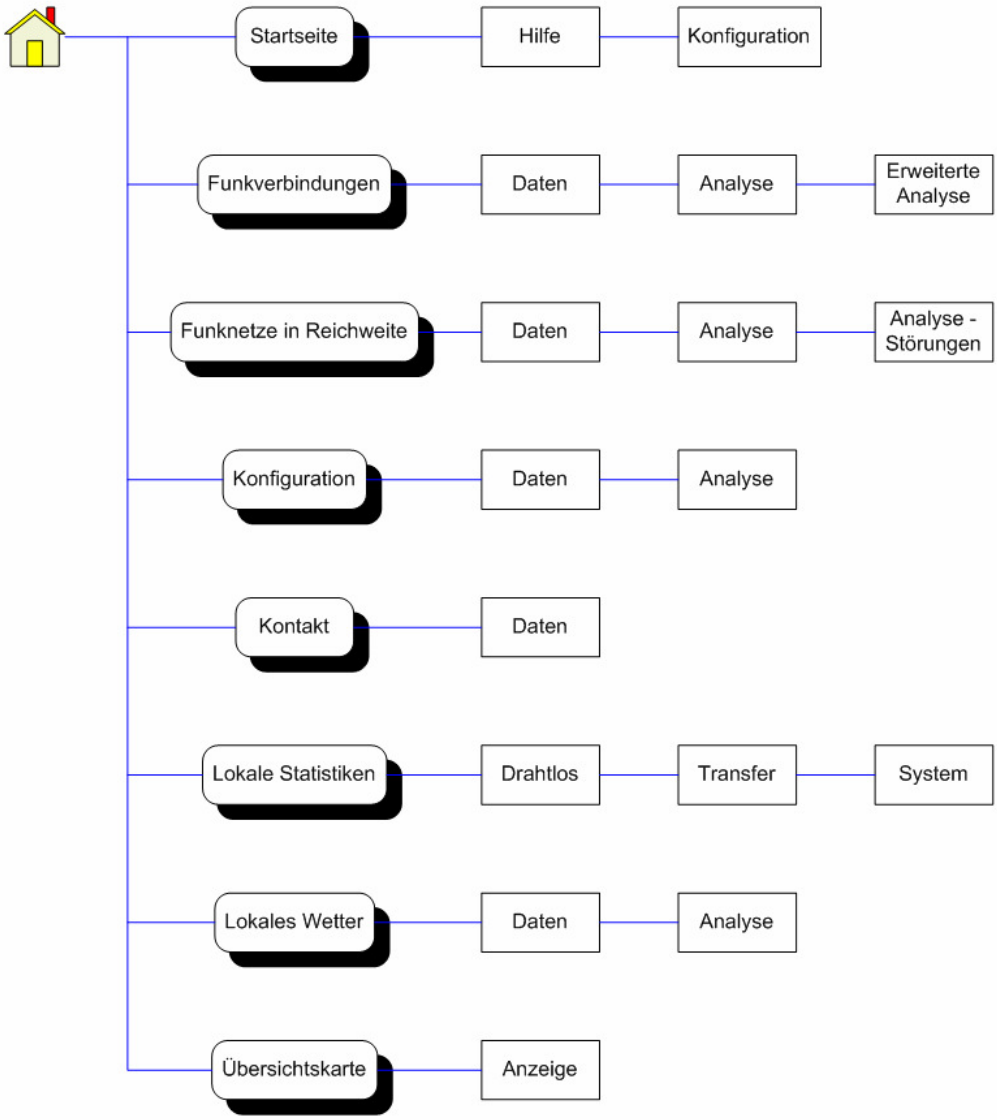


Abbildung 21 - Entwurf des Frontends

Als Vorlage für das Design des Web-Frontends soll die Freifunkfirmware dienen. Diese bietet sich vom Design an, da sie sowohl einen hohen Wiedererkennungsfaktor im Bereich Freifunk besitzt, als auch sehr übersichtlich gestaltet wurde.

So sollen die unterschiedlichen Kategorien horizontal im oberen Bereich angeordnet sein, während die jeweilig aktuellen Unterseiten vertikal im linken Bereich positioniert werden.

Der konzeptionelle Aufbau des Frontends wird auf Abbildung 21 dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden die unterschiedlichen Kategorien und ihre Unterseiten behandelt. Dabei wird zudem auf die geplanten Analysemethoden eingegangen.

Startseite

Die Startseite soll einen passenden Einstieg in den Bereich Freifunk bieten. Auf den zugehörigen Unterseiten ist die Erreichbarkeit einer ausführlichen Hilfe und der vollständigen Konfiguration geplant. Die Hilfe soll nach Kategorien geordnet, Informationen über die in ihnen dargestellten Daten und den darauf angewendeten Analysen beschreiben.

Der öffentliche Bereich der Konfiguration wird den Anwendern die Möglichkeit geben einen oder alle Router für die weiteren Abfragen von Daten und Analysen auszuwählen. An dieser Stelle sollen zudem Informationen über die durchschnittliche Erreichbarkeit der Knoten, den Zeitpunkt des letzten Datenempfanges und die jeweiligen Status der Knoten abrufbar sein.

Der Großteil der Konfiguration wird nur über einen Benutzernamen und dem dazugehörigen Passwort erreichbar sein. Nach der Authentifizierung können Knoten hinzugefügt, geändert und entfernt werden. Knoten sollen auch deaktiviert und aktiviert werden können, um somit die Menge der durch den Datensammler abgefragten Router beeinflussen zu können, ohne Router löschen zu müssen und somit deren Daten zu verlieren. Zu jedem Knoten ist eine Angabe der Längen- und Breitengrade möglich. Nur Knoten bei denen diese Daten gesetzt sind, werden in der Kategorie Übersichtskarte zu finden sein. Um VPN Tunnel korrekt darzustellen, müssen auch virtuelle Knoten angelegt werden können. Diese Knoten sollen automatisch auf inaktiv gesetzt sein, und werden somit von dem Datensammler bei der regelmäßigen Abfrage der Knoten ignoriert. Auch die Lokalisierung an die jeweilige Freifunk Stadt wird über die Konfiguration möglich sein.

Funkverbindungen

In der Kategorie Funkverbindungen sollen sowohl alle ungefilterten Daten bezüglich der Freifunkverbindungen aus der Datenbank abrufbar sein, als auch die Zusammenfassung der gesammelten Informationen. Diese beiden Abfragen werden in einigen zeitlich fest vorgegebenen Fenstern möglich sein. Bei der Zusammenfassung handelt es sich bereits um eine einfache Analyse der Daten. Hier wird für jede Funkstrecke neben den beiden IP-Adressen die Werte Link Quality, Neighbour Link Quality, Verlorene Pakete und ETX-Werte, sowohl im Minimum, im Maximum, als auch im Durchschnitt angegeben. Außerdem erfolgt eine Angabe über die Häufigkeit, in der die Verbindung in dem gewählten Zeitintervall erfasst wurde.

Die erweiterte Analyse untersucht diese Daten im Hinblick auf bestimmte zeitliche Aspekte. Als Qualitätsgüte der Verbindung wird hier ausschließlich der ETX-Wert verwendet, da dieser am aussagekräftigsten ist. Er bietet zudem eine prägnante Kennzahl, die ein schnelles Vergleichen der unterschiedlichen Messungen möglich macht und somit in kürzester Zeit Muster erkennen lässt. Untersucht werden soll immer die Gesamtmenge der Daten zu dem gewählten Knoten. Als Zeitfenster wurden unter anderem die Intervalle Stunden, Tage und Monate gewählt. Bei dem Intervall „Stunden“ erfolgt eine Aufteilung der Messwerte in 24 Zeitfenster beginnend mit 0-1 Uhr und endend mit 23-24 Uhr. Die Intervalle „Tage“ und „Monate“ geben für jeden Wochentag beziehungsweise Monat des Jahres den durchschnittlichen ETX-Wert an. Des Weiteren wird untersucht, ob der Wechsel zwischen Tag und Nacht Einfluss auf die gemessenen Werte hat. Als Grenze zwischen den beiden Zeitperioden soll jeweils acht Uhr dienen. Als letztes ist zu untersuchen, inwiefern der Laubwechsel einen Einfluss auf die Funkverbindungen hat. Bereits in Abschnitt 2.4.3 wurde erwähnt, dass Blätter eine fluktuierende Menge von Wassermolekülen beinhaltet, und dass diese daher Funkverbindungen negativ beeinflussen können.

Funknetze in Reichweite

In dieser Kategorie verhält es sich bei den Daten und der einfachen Analyse analog zu der vorherigen Kategorie Funkverbindungen. So kann auch hier auf die gesamten ungefilterten Daten zugegriffen werden. Bei der einfachen Analyse werden von dem ausgewählten Router

die erkannten Funknetze mit ihrer SSID, BSSID und ihrem verwendeten Kanal ausgegeben. Die Signalstärke des Funknetzes wird im Minimum, im Maximum und im Durchschnitt angezeigt. Außerdem erfährt der Anwender wie viele Freifunkknoten das Funknetz empfangen können und wie oft dieses insgesamt schon empfangen wurde. Auch für diese beiden Abfragen ist eine zeitliche Begrenzung eingeplant.

In der Unterseite Störungsanalyse werden alle in Deutschland verwendbaren WLAN Kanäle auf Belegung und Störungen hin untersucht. So kann für die ausgewählten Knoten und Zeitfenster auf jedem Kanal die Anzahl der Funknetze angezeigt werden. Die Ermittlung der direkten und indirekten Störungen erfolgt wie in Abschnitt 3.3.2 festgelegt.

Konfiguration

Die Kategorie Konfiguration listet alle Daten bezüglich der Konfiguration sämtlicher Knoten auf. Bei der Analyse dieser Werte wird eine Zeile mit Sollwerten hinzugefügt. Für den Fall dass ein Sollwert nicht festgelegt ist, wird ein „/“ gesetzt. Wenn Werte sehr stark vom Sollwert abweichen oder wenn jegliche Abweichung fatale Auswirkung auf die Funktion des Knotens hat, wird der betreffende Wert rot markiert. Bei leichten Abweichungen oder bei Abweichungen die keine starken Auswirkungen haben, wird der jeweilige Wert orange markiert. Alle anderen Werte erhalten keine farbliche Kennzeichnung.

Kontakt

Unter der Kontakt Kategorie finden sich lediglich die Kontaktinformationen aller abgefragten Freifunkknoten.

Lokale Statistiken

Diese Kategorie ist eine Zusammentragung der Grafiken der Freifunk-Statistik Erweiterungen, die auf einigen Routern installiert sind. Die Auswahl der hier abgefragten Knoten erfolgt über den geschützten Teil der Konfiguration, welcher über die Startseite zu

erreichen ist. Von all diesen Routern wird dann versucht die entsprechenden Grafikdateien im PNG Format zu laden und anzuzeigen.

Lokales Wetter

Die Kategorie Lokales Wetter bietet die von wetter.com gesammelten Wetterdaten. Diese können vollständig oder in den Zeitfenstern „24 Stunden“ und „sieben Tage“ abgerufen werden. Zusätzlich sollen immer die Durchschnittswerte des gewählten Zeitraums angezeigt werden.

In dem zugehörigen Analyseteil wird der Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Wetterereignissen und den jeweiligen ETX-Werten untersucht. Dabei handelt es sich um die Temperatur, die relative und absolute Luftfeuchtigkeit, die Bewölkung und den Niederschlag, welche hier zusammen als Wetterlage bezeichnet wird.

Übersichtskarte

Die Übersichtskarte basiert auf Google Maps und zeigt den Standort aller Knoten, die in der Konfiguration mit Geodaten versehen sind. Zu diesen Knoten werden beim Anwählen mit der Maustaste weitere aktuelle Informationen mittels eines kleinen „Pop-up“ Fensters angezeigt. In diesem können über Reiter ausgewählte Informationen zu der Konfiguration, den Kontaktdaten, den Verbindungsdaten und den benachbarten Funknetzen angezeigt werden. Virtuelle Knoten werden nicht wie normale Knoten mit dem Bild eines blauen Linksys WRT Routers angezeigt, sondern mit einem WRT in roter Farbe. Verbindungen zu den virtuellen Knoten sind in dunklem Blau gehalten. Echte Funkverbindungen werden hingegen mit einer roten, dickeren Verbindungslinie dargestellt.

Von Google Maps werden standardisierte Steuerungs- und Übersichtsfunktionen übernommen. So befindet sich im unteren rechten Bildschirmrand eine kleine Übersichtskarte. Im oberen linken Bildbereich sich Steuerungsfunktionen positioniert, mit dem die Karte in unterschiedliche Zoomfaktoren gebracht und in alle vier Himmelsrichtungen bewegt werden kann. An der oberen rechten Ecke befindet sich eine Auswahl, mit deren Hilfe

zwischen den drei Anzeigemodi Karte, Satellit und Hybrid umgeschaltet werden kann. Während bei dem Modus Karte eine normale klassische Übersichtskarte verwendet wird, findet bei Satellit eine Satellitenkarte Anwendung. Bei Hybrid werden beide Karten übereinander gelegt. Standardmäßig ist die klassische Karte gewählt. Zudem ist die Anzeige beim Start automatisch auf das Stadtzentrum von Hannover fokussiert.

4.4 Implementierung und Test

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Implementierung und Tests des entwickelten Softwaresystems. Zunächst wird die Implementierung und Installation der Bereiche Datensammler, Datenbank und Web-Frontend beschrieben. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Besonderheiten, die beim Testen entdeckt wurden.

4.4.1 Implementierung des Datensammlers

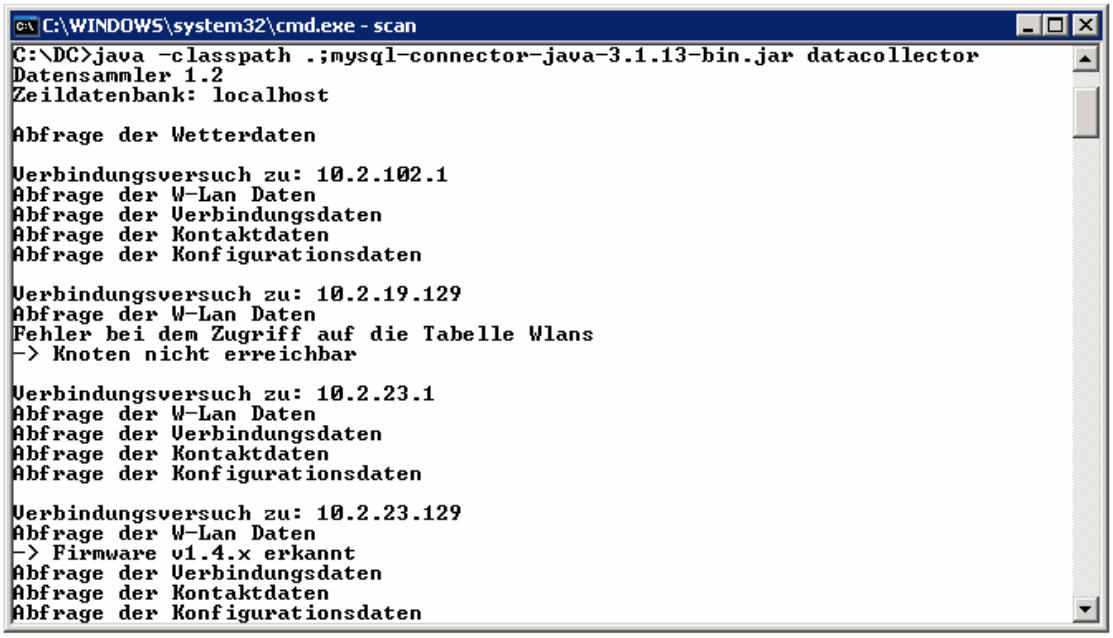


Abbildung 22 - Datensammler

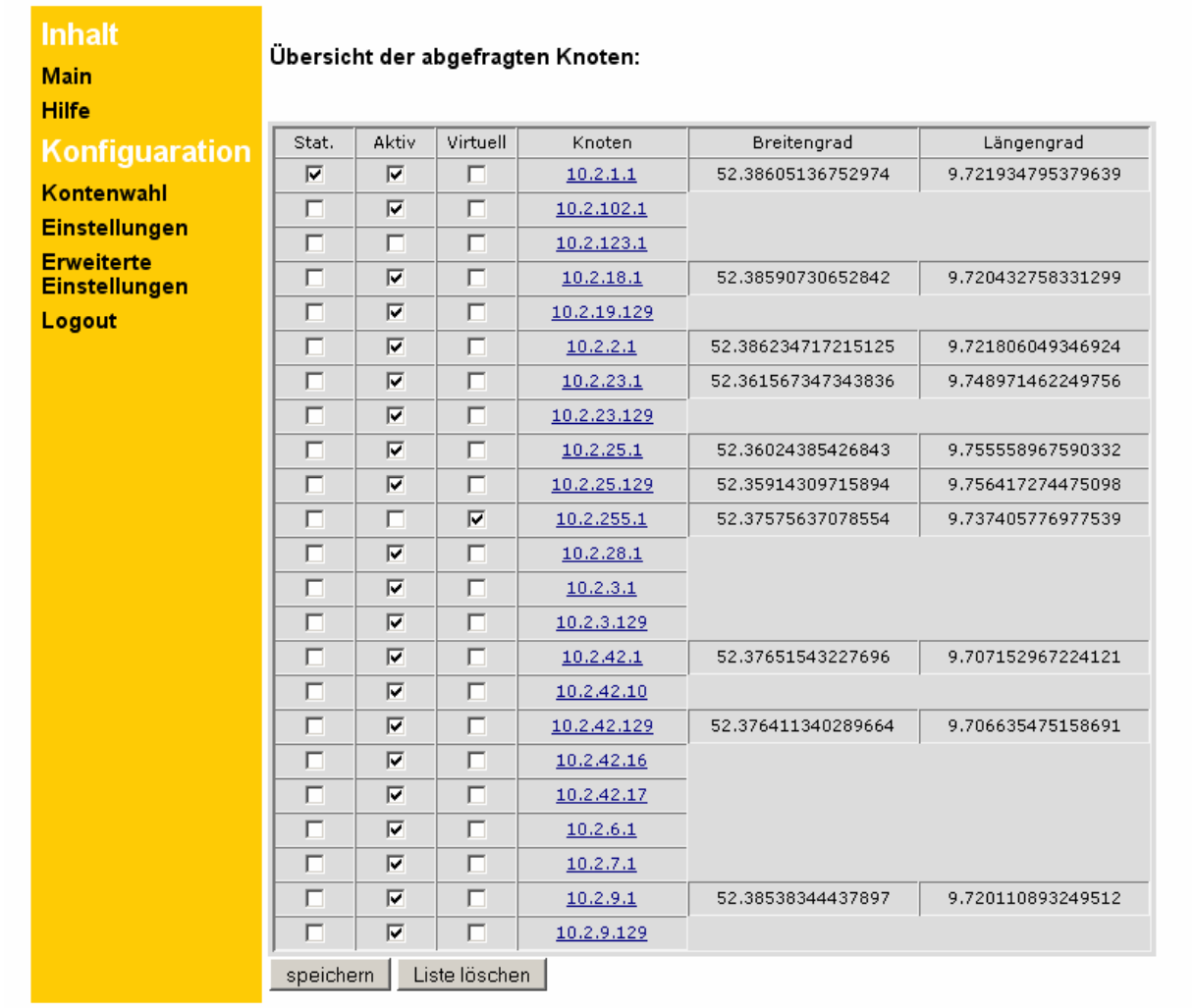
Der Datensammler wurde als Stand Alone Lösung mit Java entwickelt und zu einem Paket für Windows-Systeme zusammengestellt. Um dieses einzusetzen, bedarf es lediglich eines installierten Java-Interpreters, wobei der Classpath auf den zugehörigen Ordner gesetzt sein muss. Das Paket des Datensammlers enthält eine Batch Datei, den MySQL-Treiber, eine Class Datei und eine Konfigurationsdatei. Mit dem Start der Batchdatei wird der Classpath um den aktuellen Ordner erweitert, damit der Datenbanktreiber verwendbar ist. Dann wird mittels des Java-Interpreters die Class Datei gestartet.

Der Datensammler versorgt den Anwender zur Laufzeit über die Konsole mit Informationen über die gerade stattfindenden Prozesse. Ein typischer Ablauf ist in Abbildung 22 zu sehen. Kommt es bei dem Ablauf zu Fehlern, so wird der Anwender darüber informiert. Dies kann bei dem Verbindungsversuch zu 10.2.19.129 beobachtet werden. Die Fehlermeldung „Fehler bei dem Zugriff auf die Tabelle wlans“ deutet zwar auf einen Datenbankfehler hin, hat jedoch eine andere Ursache. Tritt bei dem Schreiben in eine Tabelle ein Fehler auf, so liegt der Grund dafür in der Regel in einem nicht erreichbaren Knoten. In dem Versuch die nicht vorhandenen Daten in die Datenbank zu schreiben, wird dieser Fehler geworfen. Da dies für den Anwender nicht ersichtlich ist, wird dieser Fehler weiter gedeutet mit „Knoten nicht erreichbar“. Um Ausführungszeit zu sparen, wird bei dieser Diagnose sofort zur Abfrage des nächsten Knotens übergegangen.

4.4.2 Implementierung der Datenbank

Die Datenbank wurde im Rahmen des XAMPP-Pakets aufgespielt und anschließend konfiguriert. Alle Kommandos zur Einrichtung der Tabellen wurden in Form von MySQL-Befehlen in eine Datei gespeichert. Mithilfe dieser Datei kann die gesamte Datenbank für das System erzeugt werden. Der Anwender braucht anschließend nur noch die Tabelle benutzer mit mindestens einem Account zu befüllen. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Passwort als MD5-Hash gespeichert wird. [AFR]

4.4.3 Implementierung des Web-Frontends



Stat.	Aktiv	Virtuell	Knoten	Breitengrad	Längengrad
☑	☑	☐	10.2.1.1	52.38605136752974	9.721934795379639
☐	☑	☐	10.2.102.1		
☐	☐	☐	10.2.123.1		
☐	☑	☐	10.2.18.1	52.38590730652842	9.720432758331299
☐	☑	☐	10.2.19.129		
☐	☑	☐	10.2.2.1	52.386234717215125	9.721806049346924
☐	☑	☐	10.2.23.1	52.361567347343836	9.748971462249756
☐	☑	☐	10.2.23.129		
☐	☑	☐	10.2.25.1	52.36024385426843	9.755558967590332
☐	☑	☐	10.2.25.129	52.35914309715894	9.756417274475098
☐	☐	☑	10.2.255.1	52.37575637078554	9.737405776977539
☐	☑	☐	10.2.28.1		
☐	☑	☐	10.2.3.1		
☐	☑	☐	10.2.3.129		
☐	☑	☐	10.2.42.1	52.37651543227696	9.707152967224121
☐	☑	☐	10.2.42.10		
☐	☑	☐	10.2.42.129	52.376411340289664	9.706635475158691
☐	☑	☐	10.2.42.16		
☐	☑	☐	10.2.42.17		
☐	☑	☐	10.2.6.1		
☐	☑	☐	10.2.7.1		
☐	☑	☐	10.2.9.1	52.38538344437897	9.720110893249512
☐	☑	☐	10.2.9.129		

Abbildung 23 – Konfiguration

Das Web-Frontend nutzt zusätzlich zu der MySQL 5.x Datenbank den Apache2-Webserver und den PHP 5.x Interpreter des XAMPP-Pakets. So müssen die Daten des Freifunkanalysers lediglich in einen Unterordner von htdocs mit dem Namen wlans installiert werden. Alle weiteren nötigen Einstellungen werden in der auf Abbildung 23 dargestellten Konfiguration getätigt. Diese ist nur mit dem zuvor angelegten Account zu erreichen.

An der Abbildung lässt sich auch erkennen, dass der Freifunkanalyser dem Design der Freifunkfirmware erfolgreich nachempfunden wurde. Außerdem befinden sich, wie geplant, die Kategorien im oberen, sowie die jeweiligen Unterpunkte im linken Bildbereich. Eine Besonderheit stellt der neue auf Abbildung 23 ersichtliche Unterpunkt Logout dar. Dieser

wird nur dann angezeigt, wenn ein Benutzer am System angemeldet ist, und bewirkt, wie der Name bereits suggeriert, den Abmeldevorgang. [AFR]

4.4.4 Test

Bei der Entwicklung des Web-Frontend wurde darauf geachtet, dass dieses fehlerfrei mit Firefox 1.x und 2.x, sowie mit dem Internet Explorer 6.x und 7.x arbeitet. Dieses Ziel wurde erfüllt. Beim Testen stellte sich jedoch heraus, dass teilweise Unterscheide in der Darstellung der beiden Browser zu erkennen waren. Dies betrifft vor allem die allgemeine Formatierung und die Anzeigeelemente. Hier machte der Firefox Browser den besseren optischen Eindruck. Da auch die Geschwindigkeit bei der Kartendarstellung subjektiv auf dem Firefox Browser einen performanteren Eindruck machte, wird für den Freifunkanalyser die Verwendung des Firefox empfohlen.

Nachdem der Datensammler wochenlang problemlos lief, traten bei einigen Knoten Probleme auf. So konnten von einer steigenden Anzahl von erreichbaren Freifunkknoten keinerlei Informationen mehr abgerufen werden. Nach kurzer Analyse stellte sich heraus, dass die betreffenden Router statt des weit verbreiteten 1.2 Zweigs der Freifunkfirmware, den kurz zuvor freigegeben 1.4 Zweig verwendeten, und dass bei diesem ein Großteil des HTML Code neu formatiert wurde. Somit konnte beim parsen keinerlei Informationen mehr korrekt ausgelesen werden. Zur Behebung dieses Problems wurde in den Datensammler eine Firmwareerkennung implementiert. Diese analysiert für jeden Router den HTML Code und speichert das Ergebnis in eine globale Variable. Die danach folgenden Abfragen werden daraufhin Firmware spezifisch geparst.

Mit steigender Datenmenge fiel auf, dass einige Unterseiten relativ lange Ladezeiten besaßen. Als Ursache hierfür konnten die Datenbankabfragen lokalisiert werden. Eine Optimierung der MySQL-Befehle und die Aktivierung des MqSQL-Caches brachte vorläufig Besserung. Dieser beschleunigt identische Abfragen enorm, da Ergebnisse in einem Cache gespeichert werden. Mit weiter steigender Datenmenge musste jedoch in der Konfigurationsdatei des Apache-Webservers die Ausführungszeit für MySQL-Abfragen von 60 auf 180 Sekunden angehoben werden, um weiterhin alle Unterseiten korrekt ausführen zu können.

4.5 Datenanalyse

Der Abschnitt Datenanalyse befasst sich mit Auswertung der von der Software erstellten Analysen. Hierzu werden die Ergebnisse der Teilbereiche Freifunkverbindungen, Benachbarte Funknetze, Wetterdaten und Konfiguration der Router nacheinander ausgewertet.

4.5.1 Freifunkverbindungen

Bei den Freifunkverbindungen wurden die Zeitfenster Stunden, Tage, Monate, Tag und Nacht, sowie der Laubwechsel untersucht. Hierbei wurden jeweils sämtliche Daten aller Knoten analysiert. Bei dem Wechsel zwischen Tag und Nacht konnten nur minimale Änderungen festgestellt werden. Die Ergebnisse der restlichen Untersuchungen werden nun vorgestellt.

Wochentage

Link Daten (Tage):

IP: Alle Knoten

Wochentag	LinkQuality (Ø)	Verlorene Pakete (Ø)	NLQ (Ø)	ETX (Ø)
Sonntag	0.8508	9.9904	0.8447	1.6531
Montag	0.8325	11.3992	0.8515	1.7414
Dienstag	0.8386	11.1178	0.8641	1.6849
Mittwoch	0.838	11.1667	0.8488	1.7473
Donnerstag	0.8185	10.7609	0.8215	1.9619
Freitag	0.8292	11.258	0.8327	2.081
Samstag	0.8375	10.654	0.8398	1.7704

Abbildung 24 – ETX-Werte an bestimmten Wochentagen

Bei der in Abbildung 24 dargestellten Auswertung der Wochentage fällt der relativ starke Anstieg der durchschnittlichen ETX-Werte am Donnerstag und am Freitag auf. Eine

Erklärung für diese erhöhten Werte konnte nicht gefunden werden. Vermutlich herrschte an diesen beiden Tagen überdurchschnittlich oft schlechtes Wetter oder einer der inzwischen nicht mehr erreichbaren Knoten war nur an den beiden Tagen mit extrem schlechten ETX-Werten zu erreichen.

Stunden des Tages

Link Daten (Stunden):

IP: Alle Knoten

Zeitspanne	LinkQuality (Ø)	Verlorene Pakete (Ø)	NLQ (Ø)	ETX (Ø)
0 - 1	0.8343	10.6864	0.8422	1.7884
1 - 2	0.843	10.4023	0.8506	1.7399
2 - 3	0.8412	10.4607	0.8513	1.9527
3 - 4	0.8456	9.8774	0.8548	1.7017
4 - 5	0.8406	10.2843	0.8521	1.8086
5 - 6	0.8427	10.1423	0.8509	1.7503
6 - 7	0.8461	9.9868	0.8539	1.737
7 - 8	0.844	9.9856	0.8525	1.7305
8 - 9	0.8373	10.6579	0.8477	1.7517
9 - 10	0.8416	10.4367	0.843	1.7171
10 - 11	0.8358	10.8153	0.8383	1.8898
11 - 12	0.8301	11.4006	0.8387	1.8063
12 - 13	0.8297	11.0726	0.8362	1.8826
13 - 14	0.8309	11.3791	0.8399	1.777
14 - 15	0.826	11.2581	0.8331	1.9057
15 - 16	0.829	11.3636	0.8341	1.81
16 - 17	0.8277	11.579	0.837	1.8266
17 - 18	0.8308	11.0407	0.8414	1.8043
18 - 19	0.8316	10.9269	0.8387	1.7925
19 - 20	0.8388	11.0027	0.8459	1.8186
20 - 21	0.8251	11.8907	0.836	1.9743
21 - 22	0.8239	11.9232	0.8353	1.8891
22 - 23	0.8213	12.144	0.8387	1.8069
23 - 24	0.8293	11.4587	0.8391	1.8278

Abbildung 25 – ETX-Werte im Tagesverlauf

Betrachtet man die in Abbildung 25 ersichtlichen Änderungen im Laufe des Tages, so kann ein Anstieg mit zunehmender Tageszeit beobachtet werden. Mit wenigen Ausnahmen bewegen sich die ETX-Werte zwischen 0 und 10 Uhr im niedrigsten Bereich mit Werten um die 1,7. In der restlichen Zeit liegen die Werte im Bereich von 1,8 – 1,9 mit einem Peak von knapp 2 zwischen 20 und 21 Uhr. Dieser Werte lassen sich mit den Störungen durch die Nachbarnetze in Zusammenhang bringen. So wurde bereits durch Tests belegt, dass Funknetze mit Last wesentlich stärker stören, als jene ohne Last. Ein gewisser Teil des Datenaufkommens in privaten Funknetzwerken sollte über die Internetverbindung erzeugt werden. Betrachtet man nun auf Abbildung 26 das tägliche Übertragungsaufkommen am größten deutschen Internet-Austauschknoten CIX, so fällt ein relativ ähnlicher Kurvenverlauf auf. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Nutzerverhalten der Besitzer der benachbarten Funknetzwerke Einfluss auf die Verbindungsqualität im Freifunknetzwerk hat. [CIX]

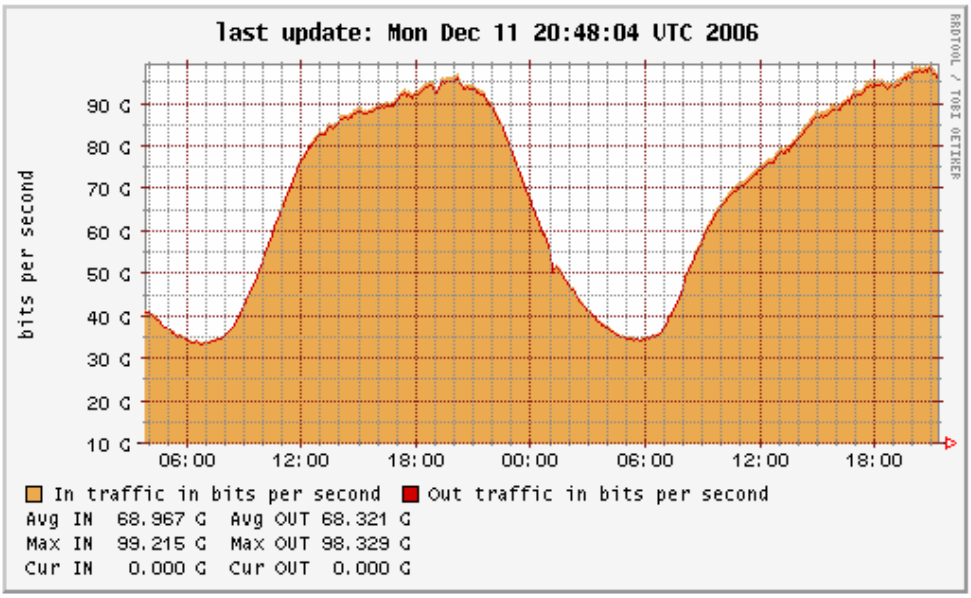


Abbildung 26 – Auslastung am CIX

Monate und Laubwechsel

Auf Abbildung 27 kann von Oktober bis Dezember eine deutliche Verbesserung der ETX-Werte festgestellt werden. Insbesondere der massive Abfall von fast 0,45 von Oktober auf November ist sehr auffällig. Diese Verbesserung lässt sich zum Teil mit dem Wandel der

Blätter in Laub erklären. So wurde bei der Analyse des Laubwechsels der Zeitraum von November bis März als laubfreie Periode gewählt. Während im November vor allem die Metamorphose der Blätter in Laub stattfand und somit das Wasser aus den Blättern gezogen wurde, fiel besonders im Dezember das Laub von den Bäumen. Sicherlich werden noch weitere Faktoren, wie etwa der später noch untersuchte Wasserdampfgehalt der Luft Einfluss auf diese Entwicklung haben. So kann die potentiell kälter werdende Luft im November und Dezember immer weniger Wasserdampf aufnehmen. Eine weitere Ursache könnten auch die drei Freifunkrouter sein, welche seit Ende Oktober nicht mehr zu erreichen waren.

Link Daten (Monate):

IP: Alle Knoten

Monat	LinkQuality (Ø)	Verlorene Pakete (Ø)	NLQ (Ø)	ETX (Ø)
Januar	0	0	0	0
Februar	0	0	0	0
März	0	0	0	0
April	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0
Juni	0	0	0	0
Juli	0	0	0	0
August	0	0	0	0
September	0	0	0	0
Oktober	0.7815	11.7967	0.77	2.1142
November	0.8548	11.9236	0.8912	1.6737
Dezember	0.8954	7.9143	0.897	1.4997

Link Daten (Laubwechsel):

IP: Alle Knoten

Zeitabschnitt	LinkQuality (Ø)	Verlorene Pakete (Ø)	NLQ (Ø)	ETX (Ø)
kein Laub	0.871	10.324	0.8935	1.6043
Laub	0.7815	11.7967	0.77	2.1142
gesamt	0.8343	10.9273	0.8429	1.8132

Abbildung 27 – ETX-Werte über Monate und bei Laubwechsel

4.5.2 Benachbarte Funknetze

In einem Zeitraum von knapp über zwei Monaten wurden in Hannover mit 23 Freifunkknoten 569 unterschiedliche Funknetze neben dem Freifunknetzwerk entdeckt. Das ergibt eine Quote von durchschnittlich 24,74 Netzwerke pro Freifunkknoten. Diese Zahl verdeutlicht die enorme Ausbreitung von Funknetzen in urbanen Regionen. Die aktuelle Studie der BITKOM besagt, dass in Deutschland jeder dritte Haushalt über einen Breitbandanschluss verfügt. Dieser Wert wird vermutlich in städtischen Regionen aufgrund des breiteren Angebots und der höheren Verfügbarkeit an Breitbandtechnologien höher liegen. Heutzutage wird ein Großteil der Breitbandschlüsse mit WLAN Routern ausgeliefert. Zwar wird nicht jeder die WLAN Funktion nutzen, jedoch wird es auch Funknetze ohne schnelle Internetanschlüsse geben. Verbindet man nun diese beiden Kennzahlen miteinander, so kommt man auf 74,22 Haushalte, die durchschnittlich in dem Abdeckungsbereich eines Freifunkknotens liegen. Auch wenn dieser Wert aufgrund der einfachen Gleichsetzung von Breitbandanschlüssen und Funknetzwerken wohl niedriger liegen dürfte, so sollte der Wert doch bei über 50 Haushalte pro Freifunkknoten liegen. Laut den aktuellen Zahlen der IHK Hannover wohnen in Hannover 1,75 Menschen in einem Haushalt. Geht man von 50 Haushalten aus die auf einen Knoten kommen, so ergibt dies eine potentielle Nutzerzahl von 87,5 Einwohnern. Bei optimaler Positionierung der Knoten wäre somit eine Menge von circa 5900 Routern nötig, um alle 516.160 Einwohner, beziehungsweise 295.861 Haushalte, in Hannover erreichen zu können.

Die Analyse des gesamten Datenmaterials bezüglich benachbarter Funknetze, jedoch ohne die Einbeziehung des hannoveranischen Freifunknetzwerks, ist auf Abbildung 28 ersichtlich. Auf Kanal 11 entfallen 380 WLANs und somit mehr als zwei Drittel der insgesamt entdeckten Funknetze. Diese starke Anhäufung auf diesem Kanal ist damit zu begründen, dass viele Hersteller über eine lange Zeit fast ausschließlich Kanal 11 auf ihren Routern voreingestellt haben. Erst in der letzten Zeit haben einige Hersteller angefangen ihre Router mit veränderter Grundeinstellung auszuliefern. So sind die sehr populären Fritzboxen des Herstellers AVM auf Kanal 6 ausgewichen. Dies liefert auf die Erklärung warum Kanal 6 zwar weit entfernt von der Nutzungsrate des Kanals 11 ist, aber dennoch mit knapp über 13 Prozent der Kanal mit der zweitstärksten Nutzung ist. An dritter Stelle liegt Kanal 1 mit knapp über 7 Prozent der Gesamtbelegung. Diese drei klassischen nicht überlappenden Kanäle vereinen somit 87 Prozent der Funknetze auf sich, obwohl sie nur circa 23 Prozent der insgesamt nutzbaren Kanäle darstellen.

WLAN Analyse (Gesamt):

IP: Alle Knoten

Kanal	Aktive Wlans	Direkte Störung	Gesamte Störung
1	42	50.74	79.4
2	6	9.36	143.57
3	11	9.57	156.34
4	5	7.24	180.16
5	5	4.89	187.92
6	72	90.3	153.14
7	5	6.74	532.11
8	12	21.01	599.53
9	4	4.29	741.47
10	6	8.29	796.52
11	380	611.21	660.08
12	1	0	732.2
13	15	15.15	641.32

Empfohlener Kanal: 1

Ausblendung des Netzwerks: OLSR.Freifunk-Hannover.de
Status: aktiviert
deaktivieren

Abbildung 28 – WLAN Analyse

Betrachtet man die dabei insgesamt entstehenden Störungen, so ist mit dem Spitzenwert von knapp 800 Punkten auf Kanal 10 eine mehr als zehnfach stärkere Störung als auf dem am wenigsten gestörten Kanal 1 zu erkennen. Die Kanäle an den Rändern des nutzbaren Bandes haben den Vorteil, dass sie mit weniger benachbarten Kanälen in Konkurrenz treten müssen. Das jedoch Kanal 13 sehr viel schlechter als Kanal 1 abgeschnitten hat, lässt sich mit der relativen Nähe zu Kanal 11 und dessen massiven Störeinfluss begründen.

Anhand dieser Ergebnisse wird klar, dass die Umstellung des Freifunknetzwerkes von Kanal 11 auf Kanal 1 die richtige Wahl gewesen ist. Nach den Aussagen mehrerer Freifunker hat dieser Wechsel oft zu einer deutlichen Verbesserung der ETX-Werte und somit auch der Funkverbindungen geführt. [BIT] [IHK]

4.5.3 Wetterdaten

Bei den Wetterdaten wurde der Zusammenhang zwischen ETX und Wetterlage, Temperatur und relativer und absoluter Luftfeuchtigkeit untersucht. Zum Teil konnten die Analysen jedoch keine eindeutigen Ergebnisse liefern.

Wetterlage und Temperatur

ETX-Wetterlage Analyse:

IP: Alle Knoten

Wetterlage	ETX (Ø)	Analysierte Werte
bedeckt	1.72544535801	283
leicht bewölkt	1.83128736739	340
Regen	1.66484804707	66
wolkig	1.80850812877	181
Schauer	1.78820923126	9
Sprühregen	1.56935460153	13
Nebel	1.82073459382	15
sonnig	1.79728432161	39
k.A.	2.32644646422	2

ETX-Temperatur Analyse:

IP: Alle Knoten

Temperatur	ETX (Ø)	Analysierte Werte
-10 <	/	0
-10 - -5	/	0
-5 - 0	2.27	3
0 - 5	1.71	95
5 - 10	1.57	351
10 - 15	1.9	378
15 - 20	2.18	120
20 - 25	1.98	2
25 - 30	/	0
> 30	/	0

Abbildung 29 - Analyse von Wetterlage und Temperatur

Leider war bei der Auswertung der Analyse der Wetterlagen kein deutliches Muster zu erkennen. So war zu erwarten, dass Nebel, Sprühregen, Regen und Schauer die höchsten ETX-Werte liefern. Dass dies in der Auswertung auf Abbildung 29 nicht der Fall war, ist zum Teil mit der relativ geringen Anzahl der analysierten Werte zu erklären. Das Feld *Analysierte Werte* gibt bei allen Wetteranalysen nicht die Anzahl der insgesamt ausgewerteten ETX-Werte an, sondern die Häufigkeit bei der ein oder mehrere ETX-Werte zu der jeweiligen Wetterlage zur Verfügung standen.

Bei den restlichen Werten wäre ein Anstieg von bedeckt zu sonnig zu erwarten gewesen. Eine weitere Erklärung für diese Ergebnisse ist die in Abschnitt 4.5.1 festgestellte Verbesserung

der ETX-Werte. So ist es möglich, dass der Sprühregen überwiegend im Dezember erfasst wurde, während die Wetterlage sonnig ausschließlich im Oktober und November vorgekommen ist.

Die Auswertung des Einflusses der Temperatur auf die ETX-Werte ist auch in Abbildung 29 ersichtlich. Lässt man die beiden Extremwerte aufgrund der wenigen analysierten Werte außer Acht, so ist eine Verbesserung der ETX-Werte mit fallender Temperatur zu erkennen. Da die Temperaturen für gewöhnlich von Oktober zum Dezember fallen, ist diese Entwicklung mit Abbildung 27 und der daraus gewonnen Erkenntnissen in Verbindung zu bringen. Somit sind vermutlich wieder der Laubfall und der geringere Wasserdampf in der Luft die Ursachen für diese Ergebnisse.

Luftfeuchtigkeit

ETX-Luftfeuchtigkeit Analyse:

IP: Alle Knoten

Luftfeuchtigkeit	ETX (Ø)	Analysierte Werte
0 - 10	/	0
10 - 20	/	0
20 - 30	/	0
30 - 40	1.34	1
40 - 50	1.41	3
50 - 60	1.82	18
60 - 70	1.88	153
70 - 80	1.75	309
80 - 90	1.79	313
90 - 100	1.77	151

ETX-A.Luftfeuchtigkeits Analyse:

IP: Alle Knoten

Wasserdampf(g)	ETX (Ø)	Analysierte Werte
0 - 1	/	0
1 - 2	/	0
2 - 3	/	0
3 - 4	2.16	6
4 - 5	1.78	13
5 - 6	1.61	111
6 - 7	1.56	190
7 - 8	1.62	204
8 - 9	1.78	212
9 - 10	2.05	121
10 - 11	2.29	77
11 - 12	2.31	28
12 - 13	2.27	7
13 - 14	/	0
14 - 15	/	0
15 - 16	/	0

Abbildung 30 - Analyse von relativer und absoluter Luftfeuchtigkeit

Während bei den Analyseergebnissen der relativen Luftfeuchtigkeit auf Abbildung 30 keine großen Schwankungen zu beobachten sind, so kann doch bei der absoluten Luftfeuchtigkeit ein deutlicher Anstieg mit zunehmender Konzentration an Wasserdampf in der Luft erkannt werden. Besonders deutlich wird dies, wenn die nur durch wenige Messungen gestützten Extremwerte aus der Betrachtung genommen werden. Somit lässt sich ein direkter Einfluss des Wassergehalts der Luft auf die ETX-Werte und somit auf die Stabilität des Freifunknetzwerkes ableiten.

4.5.4 Konfiguration der Router

IP	BSSID	MTU	OLSR SPEED	WLDHCP	IP Adr.	Netmask	Protokoll	Becon
Sollwerte	**ca:ff:ee:ca:ff:ee**	**/**	**4**	**/**	**/**	**255.255.0.0**	**static**	**300**
10.2.23.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	4	10.2.23.1/28,255.255.0.0	10.2.23.1	255.255.0.0	static	300
10.2.123.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	4	10.2.123.1/28,255.255.0.0	10.2.123.1	255.255.0.0	static	300
10.2.25.129	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.25.192/26,255.255.0.0	10.2.25.129	255.255.0.0	static	300
10.2.93.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.93.64/26,255.255.255.0	10.2.93.1	255.255.0.0	static	250
10.2.42.129	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	6	10.2.42.129/28,255.255.0.0	10.2.42.129	255.255.0.0	static	300
10.2.9.129	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	6	null	10.2.9.129	255.255.0.0	**olsr**	280
10.2.25.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.25.64/26,255.255.0.0	10.2.25.1	255.255.0.0	static	300
10.2.25.2	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5		10.2.25.2	255.255.0.0	static	300
10.2.42.16	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.93.64/26,255.255.255.0	10.2.93.1	255.255.0.0	static	250
10.2.42.17	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	5	null	10.2.42.10	255.255.0.0	static	250
10.2.42.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	6		10.2.42.1	255.255.0.0	static	300
10.2.23.129	**null**	null	**null**	null	null	**null**	**null**	null
10.2.102.1	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	4	null	10.2.102.1	255.255.0.0	static	300
10.2.7.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.7.48/28,255.255.0.0	10.2.7.1	255.255.0.0	static	300
10.2.19.129	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.19.129/ 28,255.255.0.0	10.2.19.129	255.255.0.0	static	300
10.2.3.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	10.2.3.10/28,255.255.0.0	10.2.3.1	255.255.0.0	static	400
10.2.28.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	**null**	10.2.28.20/28,255.255.0.0	10.2.28.1	255.255.0.0	static	300
10.2.42.10	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	5	null	10.2.42.10	255.255.0.0	static	250
10.2.6.1	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	4		10.2.6.1	255.255.0.0	static	300
10.2.1.1	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	5	10.2.1.10/28,255.255.0.0	10.2.1.1	255.255.0.0	static	300
10.2.2.1	CA:FF:EE:CA:FF:EE	null	5	10.2.2.5/28,255.255.0.0	10.2.2.1	255.255.0.0	static	300
10.2.9.1	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	4	10.2.9.10/28,255.255.0.0	10.2.9.1	255.255.0.0	static	100
10.2.3.129	ca:ff:ee:ca:ff:ee	null	5	null	10.2.3.129	255.255.0.0	**olsr**	280

Abbildung 31 - Konfigurationen der Router

Einige Werte der von den Freifunkroutern erfassten Konfiguration sind in Abbildung 31 ersichtlich. Dort ist zu erkennen, dass bei vielen Routern ein, gegenüber dem Sollwert, erhöhter Wert bei OLSR Speed eingestellt ist. Dies verringert zwar die Last auf dem

Freifunknetzwerk, da von den betroffenen Knoten Kontrollpakete in größeren Intervallen versendet werden, jedoch leidet dadurch auch die Aktualität der Informationen, die von den Nachbarknoten empfangen werden. Je höher dieser Wert ist, desto größer ist die Gefahr, dass neue Routen oder ausgefallene Router erst mit großer Verzögerung erkannt werden.

Ist die BSSID nicht auf das einheitliche ca:ff:ee:ca:ff:ee gesetzt, so haben die Knoten Probleme sich gegenseitig zu finden. Dieses Problem tauchte bei den abgefragten Routern nicht auf. Groß- und Kleinschreibung muss nicht beachtet werden, da die BSSID aufgrund der Verwendung des Hexadezimalsystems nicht case sensitiv ist.

Recht häufig ist auch ein abweichender Wert bei dem Beacon Intervall zu erkennen. Niedrigere Werte führen zu einer schnelleren Erkennung des Funknetzwerkes, belasten dafür alle Funkkanäle stärker. Hohe Werte führen zwar zu weniger Last, jedoch ist die Erkennung schwieriger. Im schlechtesten Fall kann ein sehr hoher Beacon Wert dazu führen, dass der betroffene Access Point von den Clients nicht gefunden werden kann.

5 Abschließende Überlegungen

5.1 Gewonnene Erkenntnisse

Im Laufe der Arbeit zeigte sich, dass die Aufgabenstellung zu allgemein und daher zu umfangreich für diese Arbeit war. Daher wurde im Grundlagenteil versucht das Wesentliche für die spätere Arbeit hervorzuheben.

Außerdem wurde klar, dass eine fundierte Analyse nur mit einer großen Datenmenge möglich ist, und daher nur softwaregestützt zu bewältigen war. So diente der Analyseteil maßgeblich zur Vorbereitung auf das zu entwickelnde Softwaresystem. Hier wurden die entscheidenden Analysen und Messungen durchgeführt und ausgewertet.

Bei der Entwicklung der Software sind gerade im Bereich des Web-Frontends immer wieder neue Ideen entstanden, die entweder zu weit entfernt von dem angestrebten Thema lagen, oder diese Arbeit zu umfangreich gemacht hätten. Damit diese Konzepte nicht ungenannt bleiben ist ihnen der Abschnitt „Ausblick“ am Ende dieses Kapitels gewidmet. Dieser ist aufgrund der Vielzahl an Ideen etwas umfangreicher ausgefallen als ursprünglich geplant.

5.2 Fazit

Das Freifunkprojekt bietet einen sehr interessanten, nicht kommerziellen Ansatz für die Vernetzung von Bürgern. Schenkt man den steigenden Benutzerzahlen Glauben, so findet die Idee eines freien Netzwerkes weltweit immer mehr Anhänger. Jedoch hat das Freifunknetzwerk nicht nur Befürworter. So werden gerade die Provider nicht von der bisherigen Entwicklung begeistert sein, da sie zwar neue Kunden mit ihren Angeboten versorgen, aber diese keine neuen Einnahmen erzeugen. Ganz im Gegenteil: Es wird mehr Datenaufkommen erzeugt, der dem Provider zusätzliche Ausgaben beschert. Insbesondere die immer schnelleren und preiswerteren Breitbandanschlüsse verstärken diesen Effekt. So könnte das gesamte Freifunknetzwerk in Hannover mit seinen circa 100 Mitgliedern durch

nur einen VDSL2 Anschuss mit 50 Mbit ausreichend versorgt werden. Würde man die Kosten von circa 80 Euro im Monat durch alle Mitglieder teilen, so ergäbe dies nur etwa 80 Cent pro Nutzer.

Auch die großen Internet Firmen werden mit gemischten Gefühlen auf die Entwicklung der privaten Mesh Netzwerke schauen. Stellt sie doch die hardwareseitige Weiterentwicklung der Web 2.0 Idee dar. Einer Idee, in der große Hoffnungen ruhen, und die in der Zukunft große Umsätze für viele etablierte und neu entstehende Unternehmungen generieren soll. So könnten in der Zukunft nicht nur zunehmend die Inhalte des Internets von Kunden generiert werden, sondern auch dessen Netzstruktur.

Sicherlich werden die kleinen Freifunkinseln in den Städten noch einige Entwicklungen durchmachen müssen, um die Schwelle von den technikbegeisterten Anwendern zu dem Normalbürger zu überschreiten. So ist das OLSR Protokoll in seiner jetzigen Form in Berlin mit etwa 300 Routern und 1000 bis 1500 Benutzern schon an seinen Grenzen angelangt. Daher wurde in Berlin bereits vor einiger Zeit im Kernnetz auf den Infrastrukturmodus gewechselt. Eine andere denkbare Lösung wäre die Aufteilung des gesamten Netzes in die einzelnen Stadtteile. Auf diese Weise wäre es möglich innerhalb der Stadtteile OLSR als Routingprotokoll zu verwenden und zwischen den Stadtteilen mit herkömmlichen Routingverfahren zu arbeiten.

Gerade die Tatsache, dass jeder Knotenbetreiber die Kontrolle über die Administration seines Routers besitzt, macht das Netzwerk mit steigender Nutzerzahl unflexibel. Stärkere Hierarchien würden helfen, aber gerade diese widersprechen der Grundidee des Freifunks und sind daher nur schwer durchzusetzen.

Zu einem Problem könnte auch die heterogenen Hardwareausstattung der Freifunknetze werden. So ergaben die Tests mit dem Siemens SE505 eine ein Drittel geringere Leistung im Vergleich zu den Linksys Routern. Wie stark das Netzwerk von den langsameren Router ausgebremst wird, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Ein weiteres Problem für den Freifunk ist die zunehmende Belastung des ISM Bandes in den Großstädten. So sorgen immer neue kabellose Anwendungen und eine kontinuierlich ansteigende Breitbandversorgung in Verbindung mit den oft kostenlosen WLAN Routern auf

dem relativ stark beschränkten Band für einen zunehmenden Engpass. Die Analyse hat gezeigt, dass die 13 WLAN Kanäle in Hannover bereits stark genutzt werden. So sprechen die 24,74 Funknetze die auf jeden Freifunkknoten kommen eine deutliche Sprache. Eine Möglichkeit bietet hier das 5 GHz Band, da es viele nicht überlappende Kanäle bietet. Jedoch ist die Hardware teurer und kann bei einfachen Geräten nicht in einem bestehenden 2,4 GHz Freifunknetzwerk betrieben werden. Eine andere Option ist die Verlagerung, soweit möglich, in höhere Regionen. Denn die meisten Störquellen befinden sind in Bodennähe.

Nicht zu vergessen ist die immer noch ungeklärte Rechtslage. Diese hindert bislang viele Freifunker aus Furcht vor Strafverfolgung vor der Freigabe ihrer Internet Anschlüsse für die Allgemeinheit. Eine mögliche Lösung bietet die Einbindung eines Anonymisierungsdienstes in den Router, da so der Knotenbetreiber in dem Fall eines Missbrauchs seiner Leitung nur sehr schwer, wenn nicht sogar unmöglich zu ermitteln ist.

Zu guter Letzt sollte die durch das Freifunknetzwerk entstehende zusätzliche Strahlenbelastung nicht überschätzt werden. Schließlich ist das Freifunknetzwerk nur eines unter sehr vielen WLANs in einer Stadt und bei Weitem nicht die einzige Funkübertragungstechnik. So strahlen Mobilfunknetze, DVB-T, schnurlose Funktelefone und viele andere Quellen mit teilweise deutlich höherer Sendestärke. Allerdings sollte nicht vergessen werden, dass bis heute die Gefahr der gepulsten Hochfrequenzstrahlung nicht eindeutig widerlegt werden kann. [CT1] [OLF]

5.3 Ausblick

5.3.1 Verbesserte Datenerfassung

Bisher läuft die Datenerfassung sowohl bei den Wetterdaten, als auch bei den Daten der Freifunkrouter über das Aufrufen der Webseiten und ein anschließendes parsen des HTML Codes ab. Diese Methode ist jedoch sehr anfällig bezüglich Änderungen im Code. So führten an der Freifunkfirmware 1.4.1 vorgenommene Schönheitskorrekturen am HTML Code dazu, dass bis auf die Kontaktdaten keine brauchbaren Informationen mehr ausgelesen werden

konnten. Erst eine Anpassung des Datensammlers verschaffte hier Abhilfe. Auch wenn vorerst keine Änderungen mehr zu befürchten sind, so zeigt dieser Fall doch sehr gut auf, dass eine neue Firmware Version, selbst mit wenigen Änderungen an den richtigen Stellen, den gesamten Datensammler obsolet machen kann. Diese Unsicherheit kann nur eine in die Firmware implementierte Schnittstelle mit fest definierten Funktionen beseitigen, auf welche dann die unterschiedlichen Analyseprogramme aufsetzen können. Die Vereinfachung der Analyse sollte auch im Interesse der Initiatoren des Freifunkprojektes liegen, da ein besseres Verständnis der Zusammenhänge in Mesh Netzwerken eine Verbesserung der Firmware und somit auch des Projektes ermöglicht.

Bei den Wetterdaten bietet sich RSS als eine gute Schnittstelle für Abfragen an. Jedoch wird dieser Dienst von den Online Wetterdiensten entweder nicht angeboten oder bietet ein sehr stark begrenztes Datenmaterial. Auch hier wäre eine Verbesserung des aktuellen Zustands wünschenswert.

5.3.2 Genauere Wetterdaten

In dieser Arbeit wurden die Wetterdaten des Anbieters wetter.com verwendet, da dieser Dienst stündlich umfangreiche Daten aus der Region Hannover im Internet anbietet. Wie bereits mehrfach ausgeführt, sind gerade die Wetterdaten für eine Analyse interessant, die den Wassergehalt in der Luft beeinträchtigen. Da die Hauptursache hierfür in den unterschiedlichen Variationen des Niederschlages liegt, bietet sich als weitere nützliche Datenquelle das „Niederschlagsradar“ an. Jenes System ist in der Lage Niederschläge nahezu in Echtzeit zu erfassen und auszugeben.

Die Funktionsweise des Radars ist relativ simpel: Es sendet Mikrowellen aus, die beim Auftreffen auf Wassermolekülen gestreut werden. Ein sehr kleiner Teil wird jedoch zu dem Sender zurückgeworfen. Anhand dieser empfangenen Reflektionen kann ein Großrechner eine Karte mit allen aktuellen Niederschlägen erstellen. Diese Karten können im Internet von unterschiedlichen Wetterdiensten bezogen werden. Eine Niederschlagskarte des Anbieters WetterOnline kann in Abbildung 32 betrachtet werden. Dort findet eine Aktualisierung der Werte in einem Intervall von 15 Minuten statt. Die dann zur Verfügung gestellten Daten

haben eine Verzögerung von ebenfalls 15 Minuten. Um diesen Aktualisierungsvorteil komplett auszuschöpfen, muss jedoch eine zeitnahe Abfrage der Freifunkknoten im selben Intervall erfolgen. Um diese Niederschlagswerte in einem verarbeitbarem Format zu erhalten, muss der Farbwert des für die Freifunkregion zutreffenden, im JPEG Format abrufbaren, Bildes an der richtigen Position abgefragt und gespeichert werden. Anhand einer Legende kann dann eine Funktion abgeleitet werden, die ungefähre Niederschlagsmengen für die Zielregion liefert. [WEO]

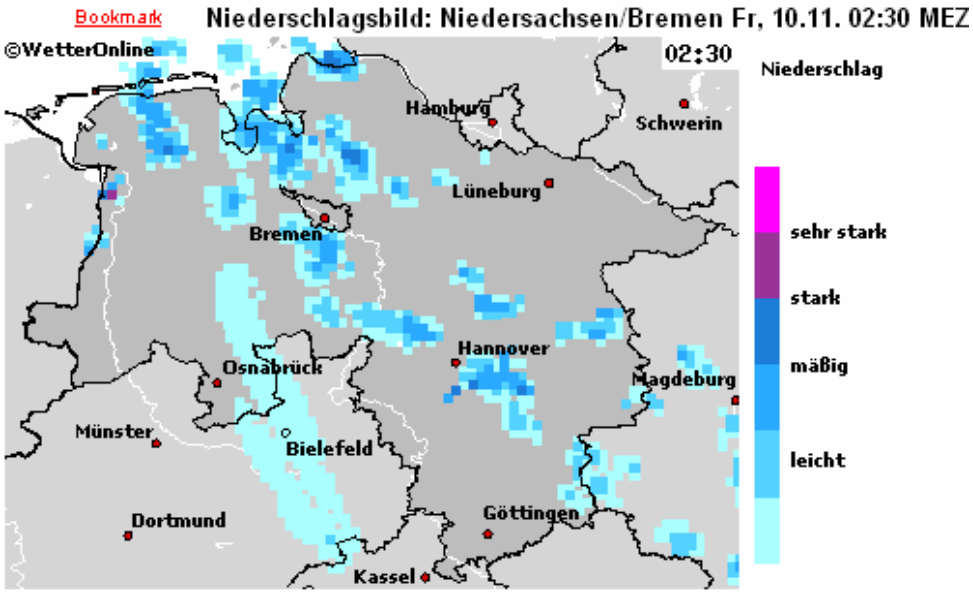


Abbildung 32 – Niederschlagsradar von WetterOnline [WEO]

5.3.3 Bestimmung der WLAN Topographie

Im Laufe der Entwicklung hat sich eine weitere interessante Anwendung aufgetan, welche sowohl in die bestehende Software integriert werden könnte, als auch die Berechtigung besitzt als eigenständige Software entworfen zu werden. Eine Erweiterung der bestehenden Software war nicht möglich, da dies ansonsten außerhalb des Umfangs der Diplomarbeit lag. Zudem hätte es diese Arbeit zu weit von ihrem eigentlichen Thema, der Analyse des Freifunknetzwerkes, abgebracht.

Bei der Idee handelt es sich um die automatische Kartografisierung aller nach IEEE 802.11 spezifizierten Funknetze unter Verwendung des Freifunknetzwerkes. Gerade in Städten, in

denen viele der Freifunknetze aktiv sind, ist eine hohe Konzentration an WLAN Netzwerken zu finden. In der bereits entwickelten Software werden regelmäßig von erreichbaren Freifunkroutern die Daten des „WLAN Scans“ abgerufen und zusammen mit der IP des jeweiligen Routers in eine Datenbank gespeichert. Ist diese IP-Adresse mit Google Maps Koordinaten verknüpft, so können auf der Übersichtskarte die von den verzeichneten Knoten erkannten Funknetze über erweiterte Informationen abgerufen werden. Aus diesen Informationen könnte bereits eine einfache und recht ungenaue WLAN Karte erstellt werden. Anhand der Signalstärke kann dann grob die Distanz zwischen den Funknetzen und dem Freifunkknoten abgeschätzt werden. Eine exaktere Positionsbestimmung ist möglich, wenn ein Funknetz von mehr als nur einem Freifunkknoten entdeckt wurde. Die Genauigkeit nimmt somit bei steigender Anzahl an Freifunkroutern zu, die das Beacon Signal des zu bestimmenden Funknetzes aufgefangen haben. Somit ist die Auflösung der WLAN Karte auch analog zu der Dichte der Freifunkrouter in einer bestimmten Region. Eine weitere Steigerung der Auflösung ist möglich, wenn zu jedem Freifunkknoten zwei weitere Informationen gespeichert werden: Die verwendete Antenne und deren Ausrichtung. Insbesondere die Verwendung von Richtantennen könnte die Auflösung deutlich erhöhen. Wenn zwei Freifunkrouter mit einer Richtantenne dasselbe Funknetz empfangen, könnte vermutlich fast die Genauigkeit einer triangulären Peilung erreicht werden.

Der große Vorteil eines solchen Systems ist die Aktualität der damit erzeugbaren Karten. So sind Aktualisierungsintervalle von bis zu 30 Minuten möglich, ohne das Freifunknetzwerk zu stark zu belasten. Die damit erstellten Karten können unter anderem verwendet werden, um das Verhalten und die Entwicklung von Funknetzen zu untersuchen. So könnte unter anderem die Ausbreitung von Funknetzwerken und die verwendete WLAN Generation über einen längeren Zeitraum untersucht werden. Auch für die Kartographisierung der kommerziellen und privaten Hotspots wäre das System verwendbar. So könnten zum Beispiel automatisch in regelmäßigen Abständen Karten mit Funknetzwerken erstellt und auf einer Webseite publiziert werden.

5.3.4 Einbindung der Wettervorhersage

Anhand der Software konnte festgestellt werden, wie das Freifunknetzwerk auf bestimmte Wetterlagen und Verhältnisse reagiert. Aufgrund der kontinuierlich steigenden Datenmenge ist es wahrscheinlich, dass den Wetterlagen immer sicherer die ETX-Werte von Funkstrecken zugeordnet werden können. Nun wäre es möglich eine Anwendung zu entwickeln, die diese empirisch gesammelten Daten mit einer Wetterprognose verknüpft. So bietet der bisher genutzte Dienst wetter.com für bis zu 10 Tage in die Zukunft Wetterdaten an, wobei für jeden Tag 3 Prognosen abgegeben werden. Jedoch muss dazu gesagt werden, dass eine Vorhersage über 6 Tage auf dem heutigen Stand der Technik nur eine Aussagegüte von weniger als 65 Prozent hat. Bei einer Güte von 50 Prozent ist die Wahrscheinlichkeit eines Eintreffens der Vorhersage genauso wahrscheinlich, wie ihr nicht Eintreffen und somit für eine Prognose belanglos. Eine Vorhersage für den Folgetag tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von über 90 Prozent ein, und ist somit relativ genau. So könnte die Wettervorhersage genutzt werden, um das Verhalten des Freifunknetzwerkes vorherzusagen. Diese besäße nicht nur demonstrativen Charakter, sondern könnte auch für unterschiedliche Anwendungen genutzt werden. Eine Möglichkeit wäre die Vorhersage von Ausfällen und Störungen im Freifunknetzwerk. Es könnte somit analog zur Wettervorhersage eine Netzvorhersage gemacht werden, in welche auf instabile Verbindungen und drohende Totalausfälle hingewiesen wird. Besonders bei Knoten, für die keine redundante Verbindung existiert, könnte eine Vorhersage von Vorteil sein. So wäre auch eine automatische E-Mail Benachrichtigung für den Knotenbetreiber und anderen interessierten Knotenbetreibern denkbar. Ist der Knotenbetreiber zum Beispiel nur über die Nachbarknoten an das Internet angebunden, so kann er seine Aktivitäten daraufhin auslegen. Stellt alleine der Knotenbetreiber für viele Nachbarknoten eine Internetverbindung, so verhält es sich diametral zu dem vorherigen Beispiel: Die anderen Nutzer wissen um den Ausfall oder die Störung der Internetverbindung und können damit planen. Das frühe Wissen um die wetterabhängigen Probleme bestimmter Freifunkknoten könnte auch genutzt werden, um bereits im Vorfeld Maßnahmen zu treffen, die diesen entgegenwirken. Eine Maßnahme wäre zum Beispiel die Einrichtung oder Aktivierung eines VPN Tunnels. Dies funktioniert natürlich nur bei Knoten, die über eine Internetanbindung verfügen. In Hannover hat sich gezeigt das wesentlich mehr Knotenbetreiber eine Internetverbindung besitzen und diese auch für ein VPN Tunnel zur Verfügung stellen würden, als Knotenbetreiber die ihre Internetverbindung vollständig für das Freifunknetzwerk freigeben. Dies ist unter anderem mit der aktuellen Rechtssprechung zu begründen, auf die bereits in Absatz 2.3.3 eingegangen

wurde. Die Erstellung der Netzprognose, die Benachrichtigung der Knotenbetreiber und die Aktivierung von VPN Strecken können vollständig automatisiert durch eine neue Anwendung erfolgen. Die Qualität dieses Dienstes würde mit zunehmender Prognosegüte weiter ansteigen. [DW1]

Glossar

Antennen Diversity Durch Mehrwegeausbreitung von Funksignalen empfängt eine Station ein Funksignal in der Regel mehrfach auf unterschiedlichen Wegen, wobei sich die Signale teilweise gegenseitig überlagern und stören können. Antennen Diversity wählt nun automatisch das beste Empfangssignal. [PCM]

ASP (Active Server Pages) Neben PHP die zweite wichtige Sprache um dynamische Webanwendungen zu erstellen. [HTW]

CSMA/CA Ist ein eine modifizierte Version des CSMA/CD-Zugriffsverfahrens hauptsächlich für WLANs. Wie bei CSMA/CD hören alle teilnehmenden Stationen physikalisch den Verkehr auf dem Funkkanal mit. Wenn eine Station übertragen will, wartet sie, bis das Medium frei ist. Danach wartet sie noch eine vorbestimmte Zeitperiode (DIFS) plus einer zufällig gewählten Zeitspanne, bevor sie ihren Frame übertragen will. Wenn keine andere Station innerhalb des Wettbewerbsfensters vor dem gewählten Zeitpunkt mit der Übertragung beginnt, sendet die Station ihren Frame. Hat aber eine andere Station innerhalb der Wartezeit mit der Übertragung begonnen, wird der Zeitzähler angehalten und nach der Übertragung der anderen Station weiter benutzt. [ITA]

CSS Eine deklarative Stylesheet-Sprache für strukturierte Dokumente. [RED]

dB Die Einheit Bel ist nach Alexander Graham Bell benannt. In der Nachrichtentechnik verwendet man oft die Maßeinheit Dezibel (dB). Das Dezibel ist ein logarithmisches Maß und vereinfacht die Berechnung der Verstärkung bzw. Dämpfung komplexer Systeme. Um die Verstärkung eines Gesamtsystems, bestehend aus Sender, Kabeln, Steckverbindungen und Antenne zu berechnen, müssen die einzelnen dB-Werte lediglich addiert werden. Eine Veränderung um 3 dB entspricht immer einer Verdoppelung bzw. Halbierung. [NWL]

dBi Der Gewinn einer Antenne gegenüber einem isotropen Kugelstrahler wird in dBi angegeben. Eine Richtantenne gewinnt natürlich nicht wirklich Leistung. Sie richtet lediglich die zur Verfügung stehende Leistung auf ein bestimmtes Raumsegment. In diesem ist dann

die erzielte Feldstärke höher als bei einem Kugelstrahler. Genau dieser Gewinn wird in dBi angegeben. [NWL]

dBm Die Einheit Dezibel Milliwatt (dBm) gibt einen Leistungspegel bezogen auf ein Milliwatt an. 0 dBm entsprechen einer Leistung von 1 mW. 20 dBm entsprechen 100 mW. dBm ist eine absolute Angabe. [NWL]

Diversity Siehe Antennen Diversity

EIRP (equivalent isotropically radiated power) Ist ein Gütemaß für die Strahlungsleistung von Antennen, die die Parameter Sendeleistung und Antennengewinn umfasst. Die EIRP ist ein theoretischer Wert, der sich auf eine isotrope Antenne, einen idealen Kugelstrahler, bezieht. Sie errechnet sich aus dem Verhältnis der Antennenleistung zu der Leistung einer theoretischen isotropen Antenne und wird in Watt oder dBW angegeben.[ITW]

Fluten Die wohl extremste Form der Wegewahl ist das Fluten. Bei diesem Verfahren wird jede in einem Knoten ankommende Nachricht auf alle Ausgangsleitungen weitergesendet, außer auf diejenige, auf der sie eingetroffen ist. [KW3]

GPL (General Public License) Lizenzvereinbarung der viele freie Programme unterliegen. [AMW]

GSM (Global System for Mobile Communication) GSM gehört zur Klasse der zellularen Mobilfunknetze mit Betriebsfrequenzen von rund 900 MHz und 1800 MHz. [BSI]

Hohlleiter-Schlitzantenne Hierbei handelt es sich um eine besondere Art der Antenne, welche einen mit Schlitzen durchsetzten Hohlleiter verwendet. Dieser Antennentyp unterscheidet sich gegenüber einer gewöhnlichen Antenne durch die Tatsache , dass nicht eine metallische Struktur die Funkwellen abstrahlt, sondern die Unterbrechungen in der Metallischen Struktur. [DJ6]

Hotspot Hotspots sind Bereiche genannt, in denen Einrichtungen installiert sind, die den Zugang zum Internet über funkbasierte Techniken ermöglichen. [KLE]

IEEE 802.11 Familie von IEEE-Standards für Funknetzwerke (WLAN). Dazu gehören neben anderen 802.11a (maximal 54 MBit/s brutto bei 5 GHz), 802.11b (maximal 11 MBit/s brutto bei 2,4 GHz), 802.11g (maximal 54 MBit/s brutto bei 2,4 GHz, rückwärtskompatibel zu 802.11b), 802.11h (DFS und TPC für 802.11a), 802.11i (Verschlüsselung im WLAN), 802.11n (kommender Standard für mehr als 100 MBit/s bei 2,4 GHz). [HV3]

Metrik (Routing) Ist ein Wert, mit dessen Hilfe ein Routing-Algorithmus feststellen kann, ob eine Route in dem Vergleich zu einer anderen besser ist. Metriken können Informationen wie z.B. Bandbreite, Verzögerung, Hop Count , Pfadkosten, Last, MTU, Verlässlichkeit und Kommunikationskosten berücksichtigen. [KLI]

mW Die Einheit für die Leistung ist das Watt (W). Da WLAN Komponenten eine recht geringe Ausgangsleistung aufweisen, wird diese in der Regel in Milliwatt (mW) angegeben. 1000 mW entsprechen 1 W. [NWL]

NVRAM Der NVRAM ist ein nicht flüchtiger Speicher mit wahlfreiem Zugriff. NVRAM wird in vielen Geräten genutzt, um Konfigurationsinformationen zu speichern. [NET]

OFDM Steht für Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ein Mehrträger-Modulations-Verfahren zur drahtlosen Funkübertragung großer digitaler Datenmengen. Bei OFDM wird das Signal in viele kleinere, eng beieinander liegende Einzel-Signale (Unterträger) aufgeteilt, die parallel über verschiedene Frequenzen übertragen werden. [KW2]

OpenVPN Eine freie Software unter der GNU GPL zur Herstellung eines Virtuellen Privaten Netzwerkes (VPN) über eine verschlüsselte SSL-Verbindung. Zur Verschlüsselung werden dazu die Bibliotheken des Programmes OpenSSL genutzt. [FF8]

PHP Eine Skriptsprache, die hauptsächlich zur dynamischen Erstellung von Webseiten oder Webanwendungen verwendet wird. [WLE]

RFC 3626 Definiert das Routingprotokoll OLSR. [IET]

RSS Ein plattform-unabhängiges auf XML basierendes Format das entwickelt wurde um Nachrichten und andere Web-Inhalte auszutauschen. [RVZ]

Sektorantenne Antenne mit bestimmter definierter horizontaler Richtcharakteristik (z.B. 60, 90, 120 Grad). Wird unter anderem bei Mobilfunkbasisstationen zur gezielten Versorgung einer Funkzelle eingesetzt. [BMW]

VDSL2 Eine breitbandige Variante von VDSL, mit Datenraten von bis zu 100 Mbit/s im Down- und Upstream über eine Reichweite von 200 und 500 m. [IWx]

VxWorks Ein proprietäres Echtzeitbetriebssystem, das von Wind River Systems entwickelt wird. [WRI]

Web 2.0 Der Begriff Web 2.0 beschreibt eher vage eine veränderte Wahrnehmung und Benutzung des WWW. Hauptaspekt aus organisatorischer Sicht: Benutzer erstellen und/oder bearbeiten im Internet bereitgestellte Inhalte in zunehmendem Maße selbst. Typische Beispiele hierfür sind Wikis, Weblogs sowie Bild- und Video-Sharing-Portale. [INM]

Wizards of Open Source Das Wizards of OS, kurz WOS, ist eine in Berlin stattfindende Konferenz, die der Autor Volker Grassmuck in Kooperation mit der Bundeszentrale für politische Bildung organisiert. Ihr Thema ist das Potenzial von PC und Internet, Open Source, Open Content, freier Kommunikation und offener Kooperation bei der Schaffung von Wissen und die Wissensordnung digitaler Medien im allgemeinen. [CB1]

Literatur

[ACW] acwsoft : *Arfatech Profi Funksystem*
URL : http://www.acwsoft.de/acw_funk3.html

[AFR] Apache Friends : *XAMPP*
URL : http://www.apachefriends.org/de/index.html

[AMW] Ambiweb : *GPL*
URL : http://www.informationsarchiv.net/lexikon/174.gpl.html

[ATM] AD-MIX : *ZigBee*
URL : http://www.at-mix.de/zigbee.htm

[BHE] Dipl.-Inf. Busch, Hendrik : *Funknetzwerke und Sicherheit in Funknetzwerken*
URL : http://www.ping.de/aktiv/weiterbildung/downloads/Funknetzwerke_
Sicherheit_in_Funknetzwerken_Revision_8.pdf (Seite 19)

[BIT] BITKOM : *Jeder dritte Haushalt hat ein Breitband Anschluss*
URL : http://www.bitkom.org/de/presse/30739_42098.aspx

[BMW] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie : *Sektorantenne*
URL : http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/root,did=35836

[BNA] Bundesnetzagentur : *ISM-Frequenzen*
URL : http://www.bundesnetzagentur.de/enid/a2.html

[BRM] Bernreuther, M. : *Kürzester-Weg-Suche mit dem Dijkstra-Algorithmus*
URL : http://www.uni-stuttgart.de/iv-kib/generic/download/lehre/einfuehrung/
ws00_01/vorlesung/mb_dijkstra.pdf

[BSI] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
URL : http://www.bsi.bund.de/literat/doc/gsm/index.htm

[CB1] Computer Base : *Wizards of OS*
URL : http://www.computerbase.de/lexikon/Wizards_of_OS

[CIX] Deutscher Commercial Internet Exchange : *Traffic*
URL : http://www.decix.de/info/traffic.html

[COR] Coredump : *OLSR*
URL : http://is.autono.net/coredump/olsr

[CT1] Sietmann, Richard – c't 2005, Heft 26 : *Luftbrücke über Berlin*
URL : http://netfreak.no-ip.info/freifunk/stuff/index.php?act=download&
file=olsr_artikel_ct.pdf

[DCH] Dörner Christian : *Die drahtlose Gesellschaft*
URL : http://www.bs.informatik.uni-siegen.de/www/lehre/ws0405
/sec/10a_Ausarbeitung.pdf

[DJ6] DJ6IY : *Antenne im GHZ Bereich*
URL : http://home.tiscali.de/hglet/dj6iy/ghz-antennen/ghz-ant.html

[DW1] Donnerwetter : *Hinweise zur Prognosegüte*
URL : http://www.donnerwetter.de/region/mittelfrist.hts?plz=30001

[EST] ESnord Technologies : *Elektrosmog-Schutzprodukte*
URL : http://www.esnord.de/abschirmfarbe.htm

[FH1] Freifunk Hannover : *Wlan für alle!*
URL : http://hannover.freifunk.net

[FH2] Freifunk Hannover : *Manu's Datei Web*
URL : http://netfreak.no-ip.info/freifunk/stuff/

[FH3] Freifunk Hannover : *Freifunk-Hannover Nodes*
URL : http://exdream.no-ip.info/FreifunkServices/ViewNodes.aspx

[FH4] Freifunk Hannover : *Übersichtskarte*
URL : http://exdream.no-ip.info/FreifunkServices/Default.aspx

[FHA] Federal Highway Administration : *Mesh Network (Abbildung)*
URL : http://ops.fhwa.dot.gov/publications/telecomm_handbook/images/fig5-29.gif

[FHG] Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung : *Sicherheit in Adhoc Netzen*
URL : http://www.igd.fhg.de/~pebinger/lectures/adhocnetworks/slides/
02_Funknetztechnik_Belhilali.pdf

[FF1] freifunk.net : *Meshing*
URL : http://freifunk.net/wiki/Meshing

[FF2] freifunk.net : *Was passiert mir*
URL : http://freifunk.net/magazin/recht_gesundheit/waspassiertmir/

[FF3] freifunk.net : *Linksys WRT54G*
URL : http://freifunk.net/wiki/LinksysWRT54G

[FF4] freifunk.net : *WLAN-Antennen*
URL : http://freifunk.net/wiki/WLANAntennen

[FF5] freifunk.net : *Von der Idee zum Netzwerk - Mit OLSR endlich Wirklichkeit*
URL : http://freifunk.net/magazin/technik_wirtschaft/freifunkfirmware

[FF6] freifunk.net : *Freifunk-Firmware Erweiterungen*
URL : http://freifunk.net/wiki/FreifunkFirmwareErweiterungen

[FF7] freifunk.net : *WLAN*
URL : http://freifunk.net/wiki/WLAN

[FF8] freifunk.net : *OpenVPN*
URL : http://freifunk.net/wiki/OpenVPN

[FFB] Freifunk Brandenburg : *Router*
URL : http://www.freifunk-brb.de/wiki/Router

[GAE] Gaesdonck : *Link State Routing Protokoll*
URL : http://www.gaesdonck2001.de/5-2/kursdoku/8b.html

[HTW] HTML World : *ASP Einführung*
URL : http://www.html-world.de/program/asp_1.php

[HV1] Heise Verlag : *Tapete hält WLAN-Ausspäher draußen*
URL : http://www.heise.de/newsticker/meldung/50080

[HV2] Heise Verlag : *Unverschlüsseltes WLAN hat Folgen*
URL : http://www.heise.de/netze/news/meldung/77921

[HV3] Heise Verlag : *IEEE 802.11*
URL : http://www.heise.de/glossar/entry/a87104f2c7165156

[IET] The Internet Engineering Task Force : *OLSR*
URL : http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt

[IHK] Industrie und Handelskammer Hannover : *Allgemeine Strukturdaten zu Hannover*
URL : http://www.free-ihk-hannover.de/web/index.php?rubrik=sta_details
&rubrik2=sta_struktur&stadt=20000

[IAC] IT Academy : *Bluetooth*
URL : http://www.it-academy.cc/article/1416/Bluetooth.html

[INM] INM : *Was ist Web 2.0 ?*
URL : http://www.inm.ch/g3.cms/s_page/59280

[ITA] IT Administrator : *CSMA/CA*
URL : http://www.it-administrator.de/lexikon/csma_ca.html

[ITW] ITWissen : *EIRP (equivalent isotropically radiated power)*
URL : http://www.itwissen.info/definition/lexikon//_eirpeirp_eirpequivalent %20isotropically%20rad iated%20power%20eirp_eirp.html

[IT2] ITWissen : *Bluetooth-Standard*
URL : http://www.itwissen.info/definition/lexikon//__bluetooth%20 standard_bluetooth-standard.html

[IT3] ITWissen : *IEEE 802.11g*
URL : http://www.itwissen.info/definition/lexikon//__ieee%20802.11g_802.11g.html

[IT4] ITWissen : *VDSL2*
URL : http://www.itwissen.info/definition/lexikon//__vdsl2_vdsl2.html

[KES] KES Online : *Netzwerk*
URL : http://www.kes.info/lexikon/lexdata/netzwerk.htm

[KLE] Kleines Lexikon : *Hotspot*
URL : http://www.kleines-lexikon.de/w/h/hotspot.shtml

[KLI] Know Library : *Routing*
URL : http://routing.know-library.net/

[KNH] Kefk Network Home : *Itsy Package Packetverwaltung*
URL : http://www.kefk.net/Linux/Distributionen/Allgemein/Debian/ Paketverwaltung/Itsy/index.asp

[KNI] Köser, Niclas : *Routing Protocols forMobile Ad-hoc Networks*
URL : http://www.informatik.uni-kiel.de/fileadmin/arbeitsgruppen/comsys/files/ ss06/cn/seminar/MANET_Routing_Koeser_Folien.pdf

[KOW] Kowalk, Prof. Dr. W. : *Rechnernetze*
URL : http://einstein.informatik.uni-oldenburg.de/rechnernetze/Default.htm

[KW2] Kowalk, Prof. Dr. W. : *Rechnernetze – Modulationsverfahren für WLAN*
URL : http://einstein.informatik.uni-oldenburg.de/rechnernetze/modulation.htm

[KW3] Kowalk, Prof. Dr. W. : *Rechnernetze – Fluten*
URL : http://einstein.informatik.uni-oldenburg.de/rechnernetze/fluten.htm

[LDP] The Linux Documentation Project : *OLSR*
URL : http://www.tldp.org/HOWTO/OLSR-IPv6-HOWTO/intro.html

[LF1] Leipzig.Freifunk.net : *Hardware*
URL : http://wiki.freifunk-leipzig.public-ip.org/index.php/Hardware

[LF2] Leipzig.Freifunk.net : *Siemens SE505*
URL : http://wiki.opennet-initiative.de/index.php/Siemens_SE505

[LUG] Linux User Group Hannover : *OpenVPN Freifunk Hannover Howto*
URL : https://lug-hannover.de/index.php?
title=OpenVPN_Freifunk_Hannover_Howto

[MEA] Medosch, Armin : *Freie Netze (E-Book)*
URL : ftp://ftp.heise.de/pub/tp/buch_11.pdf

[MQS] MySQL : *25.3. MySQL Connector/J*
URL : http://dev.mysql.com/doc/refman/5.1/de/connector-j.html

[NET] Netzikon : *Non Volatile Random Access Memory*
URL : http://netzikon.net/lexikon/n/nvram.html

[NRW] Netzwerkrouter : *FAQ zu Wireless*
URL : http://www.netzwerkrouter.de/portal/faq.php?cat_id=9

[NG1] Netgear : *Basiswissen - Wireless LAN Grundlagen*
URL : http://www.netgear.de/Support/Basiswissen/wireless_lan_grundlagen.html

[NOI] nova-Institut : *Gutachten zur EMVU-Belastung durch das WLAN*
URL : http://www.dmn.tzi.org/wlan/wlan-emvu-gutachten-bremen.pdf

[NST] Netstumbler.com : *Netstumbler 0.4.0 (Download)*
URL : http://www.netstumbler.com/downloads/netstumblerinstaller_0_4_0.exe

[NWL] network lab : *Leistungsangaben bei WLAN Komponenten*
URL : http://www.nwlab.net/tutorials/db/eirp-umrechnung-dbm-mw.html

[OL1] OLSR.org : *Mobile Ad-Hoc Networks*
URL : http://www.olsr.org/docs/wos3-olsr.pdf

[OL2] OLSR.org : *OLSR deamon*
URL : http://www.olsr.org/index.cgi?action=about

[OL3] OLSR.org : *Download*
URL : http://www.olsr.org/index.cgi?action=download

[OWB] Openwireless Bern : *Freifunk OLSR-Viz 1.2.5*
URL : http://bern.openwireless.ch/node/164

[OLF] olsr.freifunk.net : *Was ist Freifunk*
URL : http://www.olsrexperiment.de/index.php?
option=com_content&task=view&id=56

[PCE] PC Erfahrung : *855-PM und 855-GM-Chipsatz*
URL : http://www.pc-erfahrung.de/Index.html?NotebookCPUIntelCentrino.html

[PCM] PC-Magazin : *Antennen-Diversity*
URL : http://www.pc-magazin.de/praxis/cm/glossar/index.php?id=467&r=7

[PCW] PC Welt : *Wichtige Begriffe*
URL : http://www.pcwelt.de/know-how/backgrounder/dsl/102792/index15.html

[RAF] Rappl, Friedrich : *Wie gut ist (m)eine Antenne ?*
URL : http://www.brennpunkt-srl.de/antennen-kauf-checkliste.html

[RED] RED DOT Solutions : *W3C Validierung CSS*
URL : http://www.reddot.de/validate_css.htm

[RF2] Rappl, Friedrich : *Ein paar Worte zu Kabel*
URL : http://www.brennpunkt-srl.de/kabel.html

[RFC] Dr. Frank und Coll. : *Grundwissen Durchsuchungen*
URL : http://www.dr-frank.de/Grundwissen/Durchsuchung.htm

[RVZ] RSS-Verzeichnis : *Einführung in RSS*
URL : http://www.rss-verzeichnis.de/einfuehrung.php

[TCH] Tecchannel : *IEEE 802.11 WLANs*
URL : http://www.tecchannel.de/netzwerk/grundlagen/402067/index5.html

[TTR] Institut für Telematik : *Mobilkommunikation*
URL : http://doc.tm.uka.de/tr/TM-2004-6.pdf

[THW] Tomshardware : *Zelltopologie*
URL : http://www.thgweb.de/lexikon/Bild:Zelltopologie_neu.gif

[TUM] TU München : *Motivation für den Dijkstra Algorithmus*
URL : http://www.inf.bv.tum.de/lehre/bauinformatik/Uebung_Download/
Dijkstra_Motivation.pdf

[VDB] Berufsverbandes Deutscher Baubiologen : *Wlan – Das drahtlose „Überallnetzwerk“*
URL : http://www.baubiologie.net/docs/elektrosmog-wlan.pdf

[VKA] Vorhauer, Kai : *WRT54G/GS-WLAN-Router-Firmwares*
URL : http://www.vorhauer.net/firmware.htm

[WEO] Wetteronline : *Niederschlagsbild*
URL : http://www.wetteronline.de/radar.htm

[WET] Wettermail : *Luftfeuchtigkeit*
URL : http://www.wettermail.de/wetter/feuchte.html

[WHS] Wlan hsh : Den WRT konfigurieren
URL : http://wlanhsh.de/wiki/index.php/3._Den_WRT_konfigurieren

[WLE] Weblehrgang.at : *Technologien*
URL : http://www.weblehrgang.at/WebDatabase-Technologien.htm

[WND] wndw.org : *Wireless Networking in the Developing World (EBook))*
URL : http://wndw.net/pdf/wndw-ebook.pdf

[WRD] Wölfe, Ralf Dieter : *Der Microwellenherd*
URL : http://www.ralf-woelfle.de/elektrosmog/technik/mw_herd.htm

[WRI] Wind River : *VxWorks*
URL : http://www.windriver.com/vxworks/

[ZDN] ZDnet : *Rekord : WLAN-Verbindung über 279 km*
URL : http://www.zdnet.de/news/tkomm/0,39023151,39143175,00.htm

[ZTT] Zentrum für Technologietransfer und Telekommunikation : *JAVA Vorteile*
URL : http://www.ztt.fh-worms.de/de/others/sem/ss96/java/ja011100.html

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Hannover, den 21. Dezember 2006

_____

Stefan Hosbach