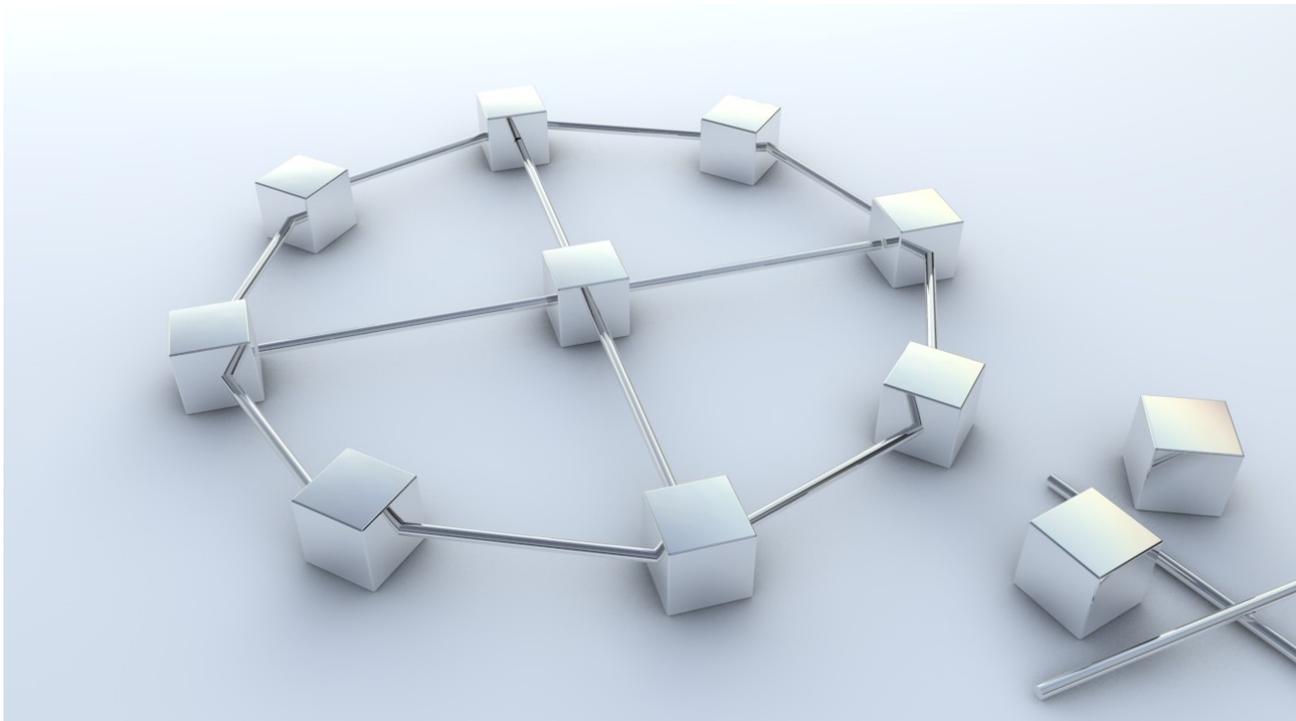


# Können Mesh-Netzwerke eine Alternative zum Internet sein?

Yves Hary

Technical Report – STL-TR-2015-02 – ISSN 2364-7167



Technische Berichte des Systemtechniklabors (STL) der htw saar  
Technical Reports of the System Technology Lab (STL) at htw saar  
ISSN 2364-7167

Yves Hary: Können Mesh-Netzwerke eine Alternative zum Internet sein?  
Technical report id: STL-TR-2015-02

First published: February, 2015

Last revision: February, 2015

Internal review: André Miede

For the most recent version of this report see: <http://stl.htwsaar.de/>

Title image source: zeusmedia, <http://www.freeimages.com/photo/1379237>



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

htw saar – Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (University of Applied Sciences)  
Fakultät für Ingenieurwissenschaften (School of Engineering)  
STL – Systemtechniklabor (System Technology Lab)  
Prof. Dr.-Ing. André Miede ([andre.miede@htwsaar.de](mailto:andre.miede@htwsaar.de))  
Goebenstraße 40  
66117 Saarbrücken, Germany  
<http://stl.htwsaar.de>

# Können Mesh-Netzwerke eine Alternative zum Internet sein?

Yves Hary Seminar „Angewandte Informatik“

Wintersemester 2014

htw saar – Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

**Zusammenfassung**—In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob Meshnetzwerke - Netzwerke, bei denen jeder Teilnehmer mit jedem anderen Teilnehmer verbunden ist - eine Alternative zum Internet sein können. Dabei werden Kriterien anhand des Kommunikationsmodells von Claude Elwood Shannon erarbeitet und zur Untersuchung auf Meshnetzwerke und Internet angewandt. Ein Vergleich zeigt, dass diese Frage nicht einheitlich zu beantworten ist. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, für welche Anwendungsfelder Meshnetzwerke eine Alternative sein können.

## I. WARUM BRAUCHEN WIR EINE ALTERNATIVE?

### A. Bedeutung des Internets

Seitdem Ende der 1960er Jahre amerikanische Wissenschaftler erstmals Konzepte formulierten für das, was wir heute als das Internet bezeichnen, hat diese Kommunikationstechnik enorm an Popularität und Bedeutung gewonnen[1, S. 1116]. Jedes Jahr wächst die Zahl derer, die einen Zugang ins weltweite Netz haben, und war das Internet lange Zeit ausschließlich etwas für technikbegeisterte meist junge Leute, so wurden mittlerweile auch Kinder und Senioren als Zielgruppe erschlossen[1]. Möglichst jeder Mensch soll „online“ sein. Manche politischen Parteien fordern in ihren Wahlprogrammen schon „Internet als Grundrecht“ - so lieb ist uns diese Technologie geworden[2, S. 9].

### B. Segen oder Fluch

Allerdings wurde in jüngster Vergangenheit jedem klar, dass die Kommunikation über das Internet alles andere als der Segen ist, für den man es gehalten hatte: Edward Snowden machte Informationen öffentlich, nach denen die weltweiten Datenströme von in- und ausländischen Geheimdiensten überwacht und archiviert werden[3]. Ebenso machen sich manche Regierungen die Struktur des Internets zu Nutze, um ganzen Landstrichen die Kommunikationsversorgung zu

entziehen, wie in Ägypten im Jahr 2011[4]. Dabei wurde die Kommunikation zwischen den einzelnen Knotenpunkten manipuliert, sodass diese nicht mehr mit den restlichen Netzwerken des Internets kommunizieren konnten. Auch wenn das Internet immer weitere Verbreitung findet, gibt es nach wie vor Regionen, bei denen die Bereitstellung von Zugängen zu schnellem Internet eher stiefmütterlich behandelt wird und es danach aussieht, als würde dieses Problem von offizieller Seite nicht so schnell gelöst werden können[5].

### C. Mesh-Netzwerke

Wie können nun die Menschen verfahren, die auf die Kommunikationsform Internet angewiesen sind, aber deren Vertrauen in diese Technologie durch die oben genannten Gründe erschüttert wurde? Eine Lösung bieten alternative Kommunikationstechniken, insbesondere „Mesh-Netzwerke“. „Mesh“ bedeutet „vermascht“, es handelt sich dabei um Computernetze, bei denen jeder Knoten im besten Fall mit jedem Knoten verbunden ist. Jeder Knoten hat die Fähigkeit, Daten an seine Nachbarn weiterzuleiten. Fällt einer der Knoten aus, so kann ein anderer Computer das Weiterleiten von Daten (Routing) übernehmen und die Kommunikation geht ungestört weiter[6, S. 136]. Wenn wir nun von „Mesh-Netzwerken“ reden, sind damit drahtlos verbundene Netze gemeint, da leitungsgebundene alternative Netze in der Praxis eine geringe Rolle spielen (versuchen Sie einmal eine Leitung von ihnen zu ihrem Nachbarn zu spannen). Die Entwicklung dieser Technik wird, im Gegensatz zur Infrastruktur des Internets, nicht von großen Unternehmen oder staatlichen Institutionen vorangetrieben, sondern ist alleine dem Engagement von Privatleuten zu verdanken, die ihre Energie für Projekte wie *Freifunk*[7] aufwenden[8, S. 134]. Dadurch hat diese Technik das Potential sich staatlicher Überwachung zu entziehen, kann jedoch nicht von finanziellen oder personellen Mitteln profitieren, wie es großen Telekommunikationsunternehmen möglich ist.

Tabelle I

INTERNETNUTZUNG NACH ALTERSGRUPPEN IN PROZENT[1, S. 1117]

Alter	1. Vj 2002	1. Vj 2003
10 - 14	59	66
15 - 24	77	84
25 - 34	69	76
35 - 44	60	69
45 - 54	46	52
55 - 64	27	27
65 und älter	8	11

## II. EIN VERGLEICH ZWISCHEN INTERNET UND MESH-NETZWERKEN

Um die Ausgangsfrage zu beantworten, ob Mesh-Netzwerke tatsächlich eine Alternative für das Kommunikationsmedium Internet sein können, müssen wir plausible Kriterien finden, nach denen wir beide Formen der Kommunikation zwischen Computern beurteilen können. Den weiteren Gedanken dieses Textes liegt das Kommunikationsmodell von Claude Elwood

Shannon <sup>1</sup> zugrunde, aus welchem sich die folgenden Beurteilungskriterien ableiten lassen:

**Ausfallsicherheit** Wenn das Kommunikationsmedium ausfällt und keine Kommunikation mehr stattfinden kann, hat die Technik ihren Zweck verfehlt.

**Kommunikationsgeschwindigkeit** Informationen müssen rechtzeitig beim Empfänger ankommen, sonst haben sie unter Umständen ihren Wert verloren.

**Störanfälligkeit** Wie sehr wirken sich physische Störungen auf den Kommunikationsprozess aus? Kann das Medium auch in entlegenen Gebieten dieser Erde genutzt werden?

**Zugangshürden** Sind die Hürden, um einen Zugang zu einem Medium zu bekommen, sehr hoch, wird es voraussichtlich nur wenig genutzt. Netze leben allerdings gerade von der Vielzahl ihrer Teilnehmer. Wir betrachten die *finanziellen* und *infrastrukturellen* Hürden, sowie die Frage, wie viel *Wissen* man benötigt, um einen Zugang zu bekommen.

**Sicherheit** Wer kommuniziert, wünscht sich, dass seine Informationen unverfälscht übertragen werden und kein Teilnehmer die ursprüngliche Nachricht unbemerkt austauschen kann (Integrität). Ebenso sollen Informationen nur diejenigen bekommen, an die sie gerichtet waren (Vertraulichkeit). Wie sicher ist also ein Kommunikationsmedium? <sup>2</sup>

#### A. Ausfallsicherheit

1) *Internet*: In dem, was wir als „das Internet“ bezeichnen, sind verschiedene Teile zusammengefasst: einzelne Netze von Internetservice Providern oder von Universitäten sind die Schnittstelle für den Endverbraucher, diese sind wiederum mittels gigantischer Router (Internet Exchange Points)[10, S. 8] zu einem großen Netz verbunden. Einzelne Netze werden aufgrund ihrer eigenständigen Arbeitsweise als „autonome Systeme“ bezeichnet[10, S. 1]. Gerade diese gigantischen Router sind als problematisch im Sinne der Ausfallsicherheit zu betrachten, da sie die einzige Verbindung zwischen den Netzen darstellen. Sobald also ein sogenannter Backbone manipuliert wird oder ausfällt, sind die einzelnen Teilnetze von der restlichen Infrastruktur abgeschnitten. Da das Internet ja auch von den Diensten lebt, die es anbietet, stellt sich die Frage, was üblicherweise getan wird, um Dienste ausfallsicher zu machen. Hinter jedem Dienst steht mindestens ein physisches Gerät, sodass letztlich die Ausfallsicherheit der technischen Elemente in den Fokus rückt: Wie kann dafür gesorgt werden, dass z.B. ein Webserver, der eine Internetseite als Dienst anbietet, auch möglichst lange und umfassend verfügbar ist? Ein verbreitetes Konzept, um wichtige technische Elemente

<sup>1</sup>Claude Elwood Shannon formulierte 1948 ein technisches Kommunikationsmodell, welches heute weit verbreitet ist und durch Kommunikationswissenschaftler wie z.B. Friedrich Schulz von Thun als Modell für die menschliche Kommunikation erweitert wurde. Demnach generiert ein Sender ein Signal, das über ein Medium übertragen und von einem Empfänger empfangen wird. Störungen wirken auf den Kommunikationsprozess aus und verfälschen das Signal[9, S. 21].

<sup>2</sup>Dies ist keine Forderung, die sich aus dem Kommunikationsmodell von Shannon ableiten lässt, jedoch leuchtet sofort ein, wie wichtig dieser Aspekt ist, wenn wir an Unterabschnitt I-B denken.

lauffähig zu halten, ist das der *Redundanz*: dabei werden Ressourcen mehrfach angelegt und teilweise parallel ausgeführt, sodass bei einem Ausfall einer Komponente eine identische Komponente unmittelbar zur Verfügung steht. Dieser einfache Ansatz konkretisiert sich wie folgt: so werden wichtige Daten von Servern auf RAID-Systemen gespeichert, denen ein Festplattenausfall nichts ausmacht oder Netzwerkinterfaces sind mehrfach angelegt. Manchmal werden die Server gleich doppelt angelegt und laufen im Systemverbund gespiegelt mit. Ebenfalls werden solche Server mit bestimmten für den Dauereinsatz optimierten Betriebssystemen ausgestattet, wie Serverversionen von Linux (Red Hat Enterprise oder Ubuntu-Server) oder Windows-Server, die ohnehin erst in der Lage sind mit der redundant verbauten Hardware umzugehen (so kann „Windows Server 2008 for Itanium-Based Systems“ mit bis zu 64 Prozessorkernen umgehen[11]). Um die Systeme auf der niedrigsten Ebene zu schützen und eine permanente Stromversorgung zu gewährleisten, werden *USVs*<sup>3</sup> genutzt. Auf der Seite des Endverbrauchers obliegt es ihm allerdings selbst, seine Geräte ausfallsicher zu halten. Die selbe Technik, die im industriellen Bereich verfügbar ist, gibt es auch als auf den Heimmarkt zugeschnittene Geräte und Software: Betriebssysteme, die Serveranforderungen genügen, gibt es kostenlos im Internet <sup>4</sup>, bekannte Firmen wie Lenovo bieten RAID-Systeme an[12] und auch USVs sind in kleinen Varianten zu bekommen. Die Hoheit über die Umsetzung in den eigenen vier Wänden obliegt jedoch dem Endverbraucher.

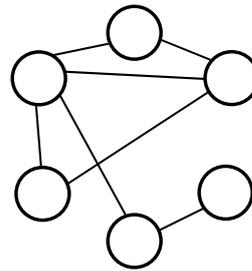


Abbildung 1. Typische Struktur eines Meshnetzwerkes. Knoten sind redundant miteinander verbunden.

2) *Meshnetze*: Die Topologie von Meshnetzen ist wie geschaffen, um ein solches Netz ausfallsicher zu gestalten (Abbildung 1): durch die dichte Vermaschung der einzelnen Teilnehmer und die dezentrale Struktur ist ein Ausfall eines Netzteilnehmers nicht besonders tragisch. Da jeder Knoten auch die Weiterleitung von Daten vornehmen kann, ergibt sich im laufenden Betrieb für ein angestrebtes Ziel einer Nachricht sofort eine neue Route, wenn Knoten in der Mitte der

Übertragungskette nicht erreichbar sind. Dies wird mit speziellen Routingprotokollen erreicht, etwa dem *B.A.T.M.A.N.*-Protokoll, das auf die besonderen Anforderungen in mobilen Meshnetzen entwickelt wurde. Es kümmert sich nicht darum, auf welchem Weg ein Datenpaket sein Ziel erreicht, sondern hat lediglich die Qualität der Funkverbindungen der einzelnen Knoten im Fokus[13, S. 71]. So bedauerlich es also ist, wenn ein Dienst im Netz die Arbeit niederlegt, so gleichgültig und unbedeutend ist dies für das gesamte Netz. Bezüglich der Technik, die dafür sorgt einzelne Dienste ausfallsicher anzulegen gilt nichts anderes, als was über das Internet gesagt wurde. Beschränkend wirkt lediglich, dass Meshnetze bisweilen nicht kommerziell betrieben werden und die finanziellen Mittel der

<sup>3</sup>Unterbrechungsfreie Stromversorgung.

<sup>4</sup>Ubuntu Server, Debian 7 etc.

Betreiber im Vergleich zu denen der Internetprovider nur einen Bruchteil betragen. Demzufolge ist es vorstellbar, dass die angebotenen Dienste nicht in vollem Umfang ausfallsicher gestaltet sind, einfach, weil die nötige Technik nicht vorhanden ist.

3) *Fazit:* Die Struktur eines Meshnetzes ist ein begünstigender Faktor für die Ausfallsicherheit, während das Internet wegen seiner stark zentralen Ausrichtung weit mehr anfällig für Ausfälle ist.

### B. Vergleich der Kommunikationsgeschwindigkeit

1) *Internet:* Die Internetprovider bieten ein breites Profil an Verbindungen zum Internet an, sodass die beworbene Geschwindigkeit der Datenübertragung (welche letztlich gleich der Kommunikationsgeschwindigkeit ist) variiert zwischen 5 MByte pro Sekunde bei DSL und 100 MByte pro Sekunde bei Glasfaserleitungen[14]. Für welche Variante sich ein Kunde entscheidet, hängt natürlich maßgeblich von den finanziellen Mitteln des Kunden ab und davon, ob und wo der Internetprovider welche Technik anbietet. So hinkt die Versorgung mit DSL in einigen Teilen Deutschlands der in den Ballungszentren stark hinterher[5]. Sind in ländlichen Gegenden Internettechnologien mit einer Bandbreiteklasse bis zu 5 MByte pro Sekunde nur mit 17 Prozent vertreten, sind es in städtischen Gebieten immerhin 30 Prozent[5, S. 87]. Auch ist bekannt, dass die versprochene Geschwindigkeit in vielen Fällen beim Endverbraucher nicht ankommt. So bekamen nach Untersuchungen der Bundesnetzagentur im Jahr 2013 nur 16 Prozent der Kunden ihre vom Provider versprochene Bandbreite[5, S. 69]. Dies hängt einmal mit der DSL-Technik an sich zusammen, bei der die tatsächliche Geschwindigkeit variabel ist und zum anderen mit der Leitung vom hauseigenen Internetanschluss bis zum Endgerät. Leidet dieser Teil des Übertragungsweges unter Störungen wie hoher Signaldämpfung, so ist auch die Übertragungsgeschwindigkeit auf der gesamten Verbindung begrenzt.

2) *Meshnetzwerke:* Die Kommunikation in Meshnetzwerken läuft heutzutage im wesentlichen über Funkverbindungen ab, um den Schwierigkeiten, die sich beim Verlegen von Kabel ergeben, zu entgehen.<sup>5</sup> Mit der Einführung des *IEEE WLAN-Standards 802.11* wurde es möglich, diese Funkverbindungen frei und ohne vorherige Anmeldung zu nutzen[8, S. 38] und mit diesem Standard eine maximale Übertragungsleistung von etwa 5 MByte pro Sekunde zu erreichen[13]. Bedauerlicherweise ist dies allerdings nur eine Übertragungsleistung auf dem Papier, in der Praxis ergeben sich gewisse Probleme, welche die Übertragungsleistung schmälern:

**Störungen** Elektromagnetische Wellen sind bei ihrer Ausbreitung in der Umgebung zahlreichen Störungen ausgesetzt, wie Absorption und Reflektion an Gebäuden oder der Natur[6, S. 13]. Insbesondere das Wetter spielt eine große Rolle, da elektromagnetische Wellen von Wasser

geschluckt werden.<sup>6</sup> Nebel und Regen können die Verbindung also stark beeinträchtigen.

**Multihop-Problem** Dieses Problem, wie in Abbildung 2 angedeutet, ergibt sich, wenn Daten über mehrere Meshknoten geleitet werden. In günstig verfügbarer Hardware, die dazu genutzt wird, um Meshnetzwerke aufzubauen, ist oft nur ein WLAN-Interface integriert. Dieses Interface arbeitet im sogenannten *Halbduplex*-Modus, d.h. es kann zu einer Zeit senden und zu einer anderen Zeit ausschließlich empfangen. Bekommt nun ein Knoten im Meshnetzwerk Daten zugeschickt, so kann er sie nicht im selben Moment weiterleiten, denn er kann entweder empfangen oder senden. Dadurch verlängert sich mit jedem weiteren Knoten die Zeit, welche die Daten benötigen, um zum Ziel zu gelangen - und somit verringert sich die Übertragungsgeschwindigkeit.[13, S. 22] Glücklicherweise fällt die Geschwindigkeit nicht völlig ins Bodenlose, sondern pendelt sich auf einem niedrigen Wert ein, abhängig von der Anzahl der Meshknoten, welche die Daten weiterleiten.

3) *Fazit:* Auch wenn die Geschwindigkeit de facto im Internet nicht immer der vom Internetprovider versprochenen Geschwindigkeit entspricht, so ist ganz klar, dass Meshnetzwerke mit der Kommunikationsgeschwindigkeit des Internets nicht mithalten können. Dies ist besonders auf die Problematik mit Funkverbindungen zurückzuführen.

### C. Vergleich der Zugangshürden

1) *Internet:* Was wird benötigt, um überhaupt einen Zugang zum Internet zu bekommen? Da DSL in Deutschland als Anschluss für Privatleute weit verbreitet ist, liegt es nahe, zu überlegen, was wir brauchen, um einen Internetanschluss über DSL zu betreiben. Den Fall, dass noch gar keine Infrastruktur in Form von Kabelverbindungen existiert, betrachten wir hier nicht. Zunächst ist ein *Telefonanschluss* erforderlich sowie ein *Tarifvertrag* bei einem Internetprovider (Telekom, Vodafone, etc.). Ebenso braucht man die passende Hardware: einen *DSL-Splitter* und ein *Modem*. Damit hat man die rudimentäre Ausstattung, um seinen Computer mit dem Internet zu verbinden. All diese Elemente muss man üblicherweise erwerben. Der *Telefonanschluss* sollte in jedem Haus oder jeder Wohnung vorhanden sein. Einen *Tarifvertrag* bekommt man ab ca. 25 Euro[15] (als monatlicher Pauschalbetrag mit unbegrenztem Datenvolumen) und ein *DSL-Splitter* ist für 15 Euro[16] zu haben. *Modems* werden meistens als Kombinationsgeräte mit integriertem Router und WLAN-Accesspoints verkauft und befinden sich in einer Preisklasse zwischen 50 und 200 Euro.[17] Zusammengenommen benötigt man maximal also 215 Euro einmalig und etwa 25 Euro monatlich, um sich ins Internet einzuwählen. In den meisten Fällen bieten die Internetprovider auch an, alle Hardware mit dem Vertrag mitzuliefern und sich um die Einrichtung zu kümmern. Als Vertragsnehmer muss man also nichts weiter tun und kann auch ganz ohne Wissen um die Materie am weltweiten Netz teilhaben. Da das

<sup>5</sup>Kabel kosten Geld und die Verlegung muss nach gesetzlichen Richtlinien erfolgen - bei Funkverbindungen - speziell der WLAN-Technik ist dies gerade nicht der Fall.

<sup>6</sup>Dieses Prinzip macht sich die Mikrowelle zu nutze, indem die elektromagnetischen Wellen von den Wassermolekülen absorbiert werden und diese dadurch erhitzt werden.

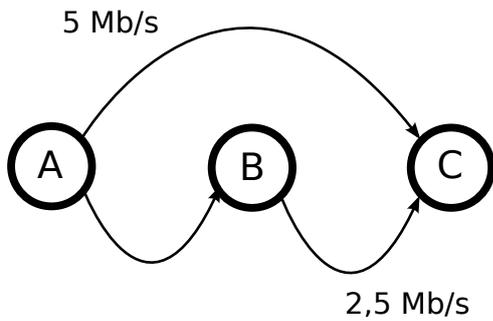


Abbildung 2. Verringerung der Datenübertragung, wenn die Übertragung nicht direkt, sondern über einen weiteren Hop erfolgt (vgl. [13, S. 24]).

Internet schon seit vielen Jahren populär ist, ist das Angebot an Diensten und die Zahl der Teilnehmer sehr hoch und man kann als Vertragspartner profitieren sobald man alle Elemente erworben und installiert hat.

2) *Meshnetzwerke*: Um ein Meshnetzwerk in Eigenregie aufzubauen benötigt man noch weniger: eine WLAN-Karte oder einen WLAN-Router, die passende Software und das nötige Wissen, um die Anlagen zu installieren und zu nutzen. Eine passende WLAN-Karte kostet etwa 20 Euro[18], ein ganzer Router ungefähr genauso viel.[19] Die Software, um die Komponenten zu betreiben, gibt es frei im Internet (www.olsr.org für die Implementierung des OLSR<sup>7</sup>-Protokolls) und kostet damit nicht mehr, als die Zeit, die man für den Download benötigt. Weitere Kosten kommen nicht auf den Benutzer zu, insbesondere keine Verträge mit etwa langfristiger Bindung, da es hier nicht nötig ist bei einem Internetprovider angemeldet zu sein. Jedoch ist es u.U. notwendig in das Softwareinnenleben der Hardwarekomponenten einzugreifen, z.B. wenn man handelsübliche Router mit den nötigen Funktionalitäten für das Routen in Meshnetzen ausstatten will. Dies verlangt das Überspielen der Originalfirmware, was nur von technikerfahrenen Personen durchgeführt werden sollte, da mit dieser Maßnahme die Garantie des Gerätes erlischt und es sogar Schaden nehmen kann.[13, S. 130] Man braucht also auf jeden Fall Spezialwissen, was nicht jeder gewöhnliche Internetnutzer mitbringt. Einstecken und lossurfen ist hier nicht möglich. Wer allerdings etwas Zeit und Interesse mitbringt, der findet in verschiedenen Initiativen in Deutschland, zum Beispiel der Initiative „Freifunk“[7], kompetente Ansprechpartner, die einem bei Problemen oder grundsätzlichen Fragestellungen unter die Arme greifen. Diese bieten auch regelmäßige Treffen an, um ihr Know-How weiterzugeben. Ebenfalls einschränkend kommt hinzu, dass ein Meshnetzwerk von seinen Teilnehmern lebt und ohne eine gewisse Anzahl an engagierten Mitstreitern man zwar ein Meshnetz betreibt, davon allerdings keinen Nutzen hat. Hat man bei Funkverbindungen üblicherweise gesetzliche Regelungen einzuhalten, was das Senden anbelangt, so sind diese für die WLAN-Technik auf den üblichen Funkbändern<sup>8</sup> abgeschafft

<sup>7</sup>Open Link State Routing, eines der vielen Routingkonzepte in Meshnetzwerken

<sup>8</sup>2,4 und 5 GHz

worden[8]. Man kann also ohne besondere Vorkehrung mit dem Senden beginnen.

3) *Fazit*: Während die Zugangshürden auf finanzieller Seite bei den Meshnetzwerken geringer sind und insbesondere keine langfristigen Verträge nötig sind, bietet das Internet auch Menschen ohne Kenntnisse die Möglichkeit zum Kommunikationsmedium Zugang zu haben.

#### D. Vergleich der Störanfälligkeit

1) *Internet*: Die Infrastruktur des Internets nutzt heutzutage viele verschiedene physische Übertragungsmedien, die sich hinsichtlich ihrer Störanfälligkeit unterscheiden: weit verbreitet ist DSL, welches auf dem vorhandenen Telefonnetz aufbaut, aber auch Glasfaserleitungen werden immer öfter eingesetzt. Auch eine Übertragung mittels Satellit oder über das Stromnetz des Stromanbieters ist möglich. Bei der Nutzung des Telefonnetzes mittels DSL findet die Übertragung über Kupferkabel statt, die einerseits mit wachsender Länge das zu übertragende Signal schwächer werden lassen - dies nennt man Signaldämpfung - und andererseits Effekten wie dem kapazitiven Übersprechen ausgesetzt sind. Dabei induzieren benachbarte Kabel, die physikalisch bedingt elektromagnetische Felder quer zur Leitungsrichtung aufbauen, unerwünschte Signale in die angrenzenden Leitungen[20]. Mit der Glasfasertechnik ist man diese Sorgen los: es lassen sich problemlos weite Entfernungen überbrücken, ohne dass Signaldämpfung eine bemerkbare Rolle spielt - insbesondere bei hohen Übertragungsfrequenzen. Auch sind Glasfaserleitungen unanfällig gegenüber den oben beschriebenen elektromagnetischen Störungen[21, S. 94].

2) *Meshnetze*: Wie schon im Abschnitt II-B angedeutet, sind Meshnetzwerke aufgrund der genutzten Funkübertragung sehr anfällig für Störungen aller Art. So gibt es physische Phänomene, die bei der Übertragung von Daten zum Problem werden können:

**Absorption** Wenn sich eine elektromagnetische Welle durch ein physisches Objekt hindurchbewegt, so wird sie abgeschwächt[6, S. 13]. Das heißt für ein funkbasiertes Meshnetzwerk, dass, je mehr Objekte sich in der Funkstrecke befinden, umso schwächer kommt die Welle beim Empfänger an. Besonders Metalle und Wasser haben die Eigenschaft elektromagnetische Wellen gut zu absorbieren[6, S. 13] und, da Wasser in unserer Umgebung in vielfältigen Formen auftaucht (Nebel, Regen, Wolken), stellt es eine besondere Herausforderung beim Errichten einer Funkstrecke dar.

**Reflektion** Funkwellen werden, wie Licht, bei dem wir den Vorgang einfach beobachten können, an verschiedenen Oberflächen reflektiert. Dabei spielen Metall sowie Wasseroberflächen als Reflektoren eine bedeutende Rolle[6, S. 14]. Dies kann zum sogenannten Mehrwegempfang führen: ein Signal wird in seiner Umgebung reflektiert oder gebrochen und kommt auf unterschiedlichen Wegen zu verschiedenen Zeitpunkten an. Das Signal, das den Empfänger erreicht, entsteht also aus einer Überlagerung des ursprünglichen Signals und führt zu Empfangsschwierigkeiten[22, S. 103].

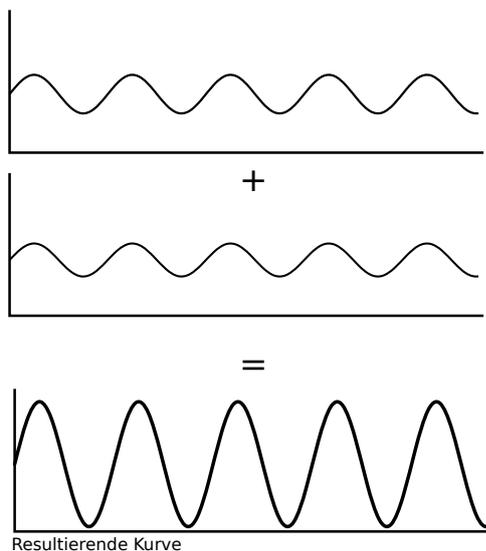


Abbildung 3. Veranschaulichung von konstruktiver Interferenz. Wellen gleicher Phase addieren sich zu einer Welle größerer Amplitude zusammen.

**Interferenz** Treffen elektromagnetische Wellen aufeinander, kommt es zu Interferenz: die Wellen verstärken sich oder löschen sich aus, abhängig von ihrer Frequenz und Phasenverschiebung (siehe Abbildung 3). Da man als Betreiber einer Funkverbindung mittlerweile sicher nicht mehr alleine ist, muss man damit rechnen, dass andere Sender das eigene Signal, wegen des Phänomens der Interferenz, verfälschen können[6, S. 17].

3) *Fazit:* Funkbasierte Meshnetze leiden unter physikalisch bedingten Störungen, die sich auf die Datenübertragung auswirken. Diese Phänomene kann man als Betreiber eines Meshnetzes leider nicht umgehen. Kabelbasierte Datenübertragung, wie sie in der Internetstruktur verwendet wird, ist weniger störanfällig bis hin zur Glasfasertechnik, die für die oben genannten Probleme nicht anfällig ist.

## E. Sicherheit

1) *Internet:* Was das Internet angeht, sind unzählige Sicherheitsprobleme bekannt, bedingt durch die hierarchische Struktur wie durch die Art und Weise, wie das Internet in unser modernes Leben integriert ist. Im Folgenden werden einige wenige Schwächen erläutert, um darzustellen, dass das Kommunikationsmedium Internet mit besonderen sicherheitskritischen Problemen zu kämpfen hat und sich Vertraulichkeit und Integrität oft nicht wahren lassen. Eine detaillierte Untersuchung würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen.

**Man-in-the-Middle-Angriff** Dabei wird versucht, sich zwischen die Verbindung von Sender und Empfänger zu setzen, sodass unbemerkt deren Kommunikation eingesehen werden kann[23].

**DoS** Mittels „Denial of Service“ können Server so stark überlastet werden, dass sie für gewisse Zeit ihren Dienst quittieren[24]. Trifft diese Attacke einen Server, der zen-

trale und wichtige Netzwerkdienste ausübt, so kann ein ganzer Teil eines Netzwerkes ausgeschaltet werden.

**Abhören durch den Staat** Die hierarchisch angelegte Struktur des Internets macht es einfach die Kommunikation ihrer Teilnehmer zu überwachen. Dies geschieht immer wieder in einem unvorstellbaren Ausmaß, so wie in Deutschland am frankfurter Internet Exchange Point DECIX[25].

**Router-Backdoor** Wie sich jüngst herausstellte, könnten manche Router von bekannten Herstellern schon werksseitig mit einer Hintertür ausgestattet sein, die es ermöglicht sensible Daten des Gerätes (Passwörter, Konfiguration) auszulesen und sogar zu ändern[26].

2) *Meshnetzwerke:* Wie schon in den vorangegangenen Abschnitten erläutert, sind die Funkverbindungen, aus denen sich Meshnetzwerke zusammensetzen, in manchen Kontexten sehr problematisch. Gerade, wenn es um Kommunikationssicherheit geht, haben Funkverbindungen einen entscheidenden Nachteil: sie sind von außen leicht abzugreifen und einzusehen. Während man bei Kabelverbindungen einen physischen Kontakt zum Kabel herstellen muss, so reicht es bei Funkverbindungen aus die elektromagnetischen Wellen mit einem Empfänger abzuhören. Damit ist es für Funkverbindungen besonders schwierig Integrität und Vertraulichkeit zu wahren. Im einfachsten Fall werden Funkverbindungen schlichtweg mit bewusst generierten Störsignalen korrumpiert. Diese Geräte, die „Jammer“ genannt werden, sind unter anderem beim Militär verbreitet[27, S. 35].

Aber auch durch die Eigenheit eines Meshnetzes, dass zwischen rein konsumierenden Knoten und solchen, die Daten im Netz weitergeben, kein Unterschied besteht, kommt es zu Problemen, die man in hierarchisch gegliederten Netzen nicht kennt: so könnten einzelne Knoten fehlerhaft arbeiten und Daten permanent falsch weiterleiten. Ebenso ist es möglich, dass ein Knoten von dem angegliederten Netz als Empfänger profitiert, selbst aber keine Pakete weiterleiten möchte<sup>9</sup> und somit zu einer unausgeglichenen Netzlast beiträgt[28, S. 28]. Ganz besonders problematisch sind Knoten, die bewusst im Netzwerk als Angreifer eingegliedert wurden, um die Funktionsfähigkeit des Meshnetzes zu untergraben[28, S. 29].

Im Gegensatz zu einer kabelgebundenen Infrastruktur können in einem Meshnetzwerk auch mobile Geräte Routingfunktionen übernehmen. Solche Geräte lassen sich natürlich einfacher stehlen oder gehen einfacher verloren, als ein großer Routingserver, der verriegelt in einem Schrank untergebracht ist[28, S. 30]. Somit können sich Unbefugte sehr leicht einen Zugang zu einem Meshnetz verschaffen, wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen dies verhindern.

3) *Fazit:* Was die Sicherheit im Kommunikationsmedium betrifft, so ist klar, dass sich beide Formen in ihrer Unsicherheit in nichts nachstehen. Meshnetze leiden zusätzlich unter den Funkverbindungen, die gleichzeitig ihre größte Stärke ist. Lediglich bieten Meshnetze den Vorteil, schnell auf- und schnell wieder abgebaut werden zu können, sodass sich Angreifer nicht auf eine feste Struktur verlassen können.

<sup>9</sup>Von Jens Mäschke als *egoistische Knoten* bezeichnet.

### III. ABSCHLIESSENDES FAZIT UND AUSBLICK

#### A. Abschließendes Fazit

Wir haben nun beide Kommunikationsmedien, Meshnetzwerke und das Internet, auf die obigen fünf Kriterien untersucht und es wird offensichtlich, dass das eine genauso wenig wie das andere das allein seligmachende Allheilmittel ist, wenn es um Kommunikation in Netzen geht. In den Betrachtungen zu *Ausfallsicherheit* (Abschnitt II-A) und *Zugangshürden* (Abschnitt II-C) schneiden Meshnetze besser ab als das Internet. Was die Betrachtungen über *Kommunikationsgeschwindigkeit* (Abschnitt II-B) und *Störanfälligkeit* (Abschnitt II-D) anbelangt, so hat das Internet deutliche Vorteile und bezüglich der *Kommunikationssicherheit* (Abschnitt II-E) sind Meshnetze wie das Internet gleichauf. Was bedeutet das für unsere Ausgangsfrage, ob Meshnetze eine Alternative zum Internet sein können? Diese Frage lässt sich mit einem „Nein, aber ...“ beantworten: Meshnetze können nicht in allen Kontexten ein vollwertiger Ersatz für das Internet sein. Aber in speziellen Fällen sind sie doch als Ersatz geeignet oder bieten sogar größere Vorteile als das Internet selbst.

#### B. Ausblick

Wir haben erfahren, dass Meshnetzwerke nicht im Allgemeinen ein Ersatz für eine bestehende oder angedachte Internetinfrastruktur sein können. Es ist aber nicht von der Hand zu weisen, dass Meshnetze entscheidende Stärken haben, die es in bestimmten Kontexten zu einem vollwertigen Kommunikationsmedium machen. Wo können Meshnetzwerke sinnvoll eingesetzt werden? Wo sollte man diese Technik nicht anwenden?

Meshnetze sind für einige Einsatzszenarien nicht geeignet: Dazu zählen alle Aufgaben, bei denen große Datenmengen in kurzer Zeit übertragen werden müssen. Clouddienste, Streamingdienste oder Videokommunikation - dafür eignen sich Meshnetze in der Regel nicht. Auch dort, wo es auf permanente stabile Verbindungen ankommt und eine spontane Reorganisation eines Netzes ausgeschlossen werden muss, sind Meshnetze nicht geeignet. Es ist also vorstellbar, dass diese Technik nicht im industriellen Bereich genutzt werden wird.

Um zu sehen, wo Messtechnik eine gute Figur macht, wollen wir uns nocheinmal die Stärken der Technik bewusst machen:

- Komponenten für Meshnetze sind sehr günstig
- Die Software ist frei und der Quelltext einsehbar
- Meshnetze können in entlegenen Gebieten aufgebaut werden
- Meshnetze können spontan errichtet werden

Durch diese Eigenschaften eignen sich Meshnetze zum Beispiel in armen und in ländlichen Regionen, in denen es keine andere Kommunikationsinfrastruktur gibt. Dies macht sich heutzutage die Organisation *One Laptop per Child* zu Nutze, die über Spenden Kindern in sehr armen Gebieten einen speziellen Laptop zur Verfügung stellt. Dieser Laptop ist nicht nur besonders auf die physiologischen Bedürfnisse von Kindern angepasst, sondern auch nutzt auch die Technik



Abbildung 4. Schüler in Ruanda nutzen den Laptop der Initiative „One Laptop per Child“, der sich über ein Meshnetzwerk mit anderen Schülern verbinden kann. Foto von *cellanr*, CC BY-SA 2.0 .

der Meshnetze, damit die Kinder untereinander sich austauschen oder eine Verbindung zum Internet gemeinsam nutzen können[29]. Somit verbinden sich alle Kinder mit diesem Gerät zu einem großen Meshnetz.

Durch die Möglichkeit mittels Messtechnik spontan ein Netz errichten zu können, wurde diese Technik in der jüngeren Vergangenheit gerne genutzt, um sich von der üblichen Kommunikationsinfrastruktur unabhängig zu machen und ohne Einschränkungen kommunizieren zu können: bei Demonstrationen in China nutzten die Beteiligten die App *FireChat*, nachdem die Behörden das Handynetz der Stadt wiederholt abschalteten[30]. Diese App ermöglicht die Kommunikation über ein spontan gebildetes Meshnetz aller Teilnehmer und ist somit nicht mehr auf Internet oder das Handynetz angewiesen[31]. Auch für Katastropheneinsätze hat sich die Idee der Meshnetze als tauglich erwiesen, da auch in einem solchen Szenario ein Netz spontan und ohne komplizierte Technik aufgebaut werden muss. Das *Serval Projekt*<sup>10</sup> entwickelt eine Software, welche die WiFi-Interfaces von Handys nutzt und über Messtechnik eine Kommunikation zulässt, die weder Handynetz noch Internet benötigt[32].

Dadurch, dass die Software, die man für das Meshnetworking benötigt, frei im Internet erhältlich ist, wurde diese Technik auch attraktiv für Menschen, die entweder keinen eigenen Internetanschluss besitzen oder die gerne mit anderen ihren Anschluss teilen möchten - oder einfach jene, die gerne ein Netz mit eigener Verfügungsgewalt betreiben wollen. Dies geschieht zur Zeit auch in Deutschland, wo sich Menschen in der *Freifunkinitiative*[7] zusammenschließen und eigene präparierte Router in Betrieb nehmen. Auch in Saarbrücken hat sich schon eine solche Gruppe zusammenfinden können.[33]

#### LITERATUR

- [1] D. S. Irene Hahle, Ulrike Timm, „Internetnutzung in privaten Haushalten,“ *Wirtschaft und Statistik*, 2004.
- [2] Piratenpartei. (2011) Wahlprogramm Landtagswahl Brandenburg 2014.

<sup>10</sup>Benannt nach einer Wildkatze Afrikas, dem Serval.

- [3] F. Greis. (2015, Januar) Chronologie der Enthüllungen von Edward Snowden. *golem.de*. Abrufdatum: 09.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.golem.de/news/nsa-chronologie-der-enthuellungen-von-edward-snowden-1307-10041.html>
- [4] D. Sokolov. (2011) Ägypten ist offline und ohne Mobilfunk. Abrufdatum: 12.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Aegypten-ist-offline-und-ohne-Mobilfunk-4-Update-1179102.html>
- [5] H. Schmoll. (2014, August) Die Internetlüge. Frankfurter Allgemeine. Abrufdatum: 09.01.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.faz.net/aktuell/politik/inland/internetausbau-auf-dem-land-verlaeuft-immer-noch-schleppend-13104573.html>
- [6] Jane Butler et al., *Wireless Networking in the Developing World*, vol. 3.
- [7] (2015, Januar) freifunk.net - freie Kommunikation in digitalen Datennetzen. Förderverein Freie Netze e.V. Abrufdatum: 05.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [www.freifunk.net](http://www.freifunk.net)
- [8] A. Medosch, *Freie Netze - Geschichte, Politik und Kultur offener WLAN-Netze*. Verlag Heinz Heise, 2004.
- [9] A. Z. Dieter Krallmann, *Grundkurs Kommunikationswissenschaft*. UTB für Wissenschaft, 2001.
- [10] S. Dierichs. Internet Deutschland - Struktur und Aufbau. Institut für Internet-Sicherheit, Fachhochschule Gelsenkirchen.
- [11] U. Boddenberg, *Windows Server 2008 R2*. Galileo Computing, 2009.
- [12] (2015) Lenovo Produktübersicht - Netzwerkspeicher. Abrufdatum: 05.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [http://shop.lenovo.com/de/de/servers/network-storage/?menu-id=network\\_attached\\_storage](http://shop.lenovo.com/de/de/servers/network-storage/?menu-id=network_attached_storage)
- [13] C. Aichele, *Mesh - drahtlose Ad-hoc-Netze*. Open Source Press, München, 2007.
- [14] M. Eichfelder. (2015, Januar) VDSL, LTE, Glasfaser. Was ist schneller? CHIP Digital GmbH. Abrufdatum: 11.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [http://praxistipps.chip.de/vdsl-lte-glasfaser-was-ist-schneller\\_13499](http://praxistipps.chip.de/vdsl-lte-glasfaser-was-ist-schneller_13499)
- [15] preisvergleich.de. (2015, Januar) DSL-Tarife Vergleich. Abrufdatum: 08.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [dsl.preisvergleich.de](http://dsl.preisvergleich.de)
- [16] Conrad.de. (2015, Januar) Conrad Electronic SE. Abrufdatum: 12.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.conrad.de/ce/de/product/923281/Hama-DSL-Splitter-ISDN-Analog>
- [17] (2015, Januar) DSL-Router Preisvergleich. *idealo.de*. Abrufdatum: 05.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.idealo.de/preisvergleich/ProductCategory/3099F551588.html>
- [18] (2015, Januar) WLAN-Karte Preisvergleich. *preissuchmaschine.de*. Abrufdatum: 05.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [http://www.preissuchmaschine.de/gruppe\\_wlan-karte.html](http://www.preissuchmaschine.de/gruppe_wlan-karte.html)
- [19] (2015, Januar) WLAN-Router Preisvergleich. *preissuchmaschine.de*. Abrufdatum: 05.01.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.preissuchmaschine.de/in-Netzwerk-WLAN/Router-ab-54Mbps/von-TP-Link/>
- [20] P. Schnabel. Kupferkabel / Telefonkabel. Abrufdatum: 02.02.2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1008271.htm>
- [21] K. Huckert. (2011) Lokale Rechnernetze - Grundlagen. Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes.
- [22] C. Meinel, *Internetnetworking - Technische Grundlagen und Anwendungen*. Springer-Verlag, 2012.
- [23] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. (2007) Man-in-the-Middle-Angriff. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Abrufdatum: 22.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ITGrundschutz/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/\\_content/g05/g05143.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ITGrundschutz/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/_content/g05/g05143.html)
- [24] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Denial-of-Service Attacken. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Abrufdatum; 22.01.2015. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bsi-fuer-buerger.de/BSIFB/DE/GefahrenImNetz/DoS/dos\\_node.html](https://www.bsi-fuer-buerger.de/BSIFB/DE/GefahrenImNetz/DoS/dos_node.html)
- [25] J. Thoma. (2014) NSA hatte Zugriff auf Daten des DECIX. *golem.de*. Abrufdatum: 19.01.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.golem.de/news/ueberwachung-nsa-hatte-direkten-zugriff-auf-de-cix-1406-107467.html>
- [26] J. Schmidt. (2014, Januar) Router-Backdoor: Cisco, Netgear und Linksys versprechen Schutz. Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co. KG. Abrufdatum: 09.01.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.heise.de/security/meldung/Router-Backdoor-Cisco-Netgear-und-Linksys-versprechen-Schutz-2084884.html>
- [27] D. Görrisch, *Störsender von VHF bis Mikrowelle*. Franzis, 2006.
- [28] J. Mätschke, "Sicherheit und Schutz von Wireless Meshnetzwerken," Diplomarbeit, TU Dresden, 2006.
- [29] OLPC Association. One Laptop per Child Association. Abrufdatum: 03.02.2015. [Online]. Verfügbar unter: [one.laptop.org](http://one.laptop.org)
- [30] U. Putz. (2014, September) Anführer der Regenschirm-Revolution: Joshua, 17, lehrt China das Fürchten. Abrufdatum: 03.02.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.spiegel.de/politik/ausland/hongkong-studentenanfuhrer-koennt-pekings-gefaehrlich-werden-a-994550.html>
- [31] A. Bland. (2014, September) FireChat - the messaging app that's powering the Hong Kong protests. *The Guardian*. Abrufdatum: 03.02.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.theguardian.com/world/2014/sep/29/firechat-messaging-app-powering-hong-kong-protests>
- [32] The Serval Project - The Software. Abrufdatum: 02.03.2014. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.servalproject.org/about/how-it-works>
- [33] Technik Kultur Saar e.V. Freifunk Saar. Technik Kultur Saar e.V. Abrufdatum: 04.02.2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://saar.freifunk.net/>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1	Struktur eines Meshnetzes . . . . .	2
2	Multihopproblem . . . . .	4
3	Interferenz . . . . .	5
4	Schüler in Ruanda . . . . .	6