



## Pilotprojekt Freifunkkommune Gera

gefördert vom



# Backbone-Konzeption (ENTWURF)

<b>Verantwortlicher Bearbeiter</b>	Matthias Drobny, Stadtverwaltung Gera
<b>Version</b>	6
<b>Datum</b>	18.04.2017
<b>Datei</b>	B:\07 Freifunk\01 - Projekt Freifunk\02 Arbeitspakete\Backbone\backbone-konzeption.odt

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Zielstellung

Die Stadt Gera gewann im Jahr 2015 den Ideenwettbewerb der Thüringer Landesregierung und erstellte in der Folge ein Konzept für den Aufbau eines stadtweiten Backbone-Netzes. Dieses Konzept wurde vom Wirtschaftsministerium zur Förderung ausgewählt.

Das im Rahmen des Projektes entstehende Backbone-Netz ("Rückgrat") soll die Vernetzung einzelner, abgegrenzter Freifunk-Knoten untereinander ermöglichen und damit ein übergreifendes Netz schaffen.

Diese Konzeption beschäftigt sich mit den Fragen, die für den Betrieb und den Aufbau dieses Netzes auftreten und versucht dem Anspruch des Fördermittelgebers, im Hinblick auf die Wiederverwertbarkeit der Informationen für den Aufbau des Netzes in anderen Kommunen, gerecht zu werden.

## 1.2 Aufgabenbeschreibung und Abgrenzung

Für die einzelnen Bestandteile des Konzeptentwurfs gelten verschiedene Einflussfaktoren. Eine allgemeine Betrachtung wird daher nicht vorgenommen, sondern es wird auf einzelne Arbeitspakete abgestellt um deren spezifische Besonderheiten berücksichtigen zu können.

Für das Arbeitspaket "Backbone" erscheint es angeraten, diese Betrachtungsweise weiter aufzuteilen. Während zum Zeitpunkt dieser Konzeption bereits Informationen und Rahmenbedingungen für den Aufbau des Netzes vorliegen, kann die dauerhafte Bewirtschaftung ("Betrieb") über den Projektzeitraum hinaus nur abgeschätzt werden. Die Betrachtung dieses Punktes sollte während der Laufzeit regelmäßig wiederholt werden um aktuelle Entwicklungen einfließen zu lassen. Eine Weichenstellung um den technischen Betrieb der Anlagen nach Projektende weiter fortzuführen, ist daher momentan nur bedingt möglich.

Entsprechend der Vorgabe des Ministeriums wird keine Betrachtung über die technischen Grundlagen und "good/best practise" eines stadtweiten Netzes durchgeführt. Stattdessen wird das Ziel eines Freifunk-Netzwerkes als gegeben angesehen und technische Fragen innerhalb dieser Vorgabe besprochen.

- Vorgehensweise (analog web) <http://freifunkkommune-gera.de/tipps/24-standortberuecksichtigungen>
  - wie kam die Standortliste zustande
  - Ermittlung von Zuständigkeiten
- Bewertungskriterien für Standorte
  - baulich, lokal, Einwohneranzahl, ...
- Nutzungspläne
  - Werbe-Ideen nach Inbetriebnahme
  - Anbindung städtischer Gebäude ans zentrale Netzwerk
  - Anbindung/Verbindung anderer Partner (Energiewerke)
  - Inhouse-WLAN ohne Internetzugang
- Umsetzungsmöglichkeiten
  - Rundstrahler, Richtfunk, LWL-Anbindung, Relay
  - Inseln vs. Brücken

## 2 Backboneaufbau

Die Idee eines Backbones zur Verknüpfung einzelner Standorte über große Strecken entstand schon zu Beginn des Konzeptentwurfes. Während der Projektphase wurde diese Idee um eine Klassifikation einzelner Knoten ergänzt, die als "3-Ebenenmodell" bezeichnet wird.

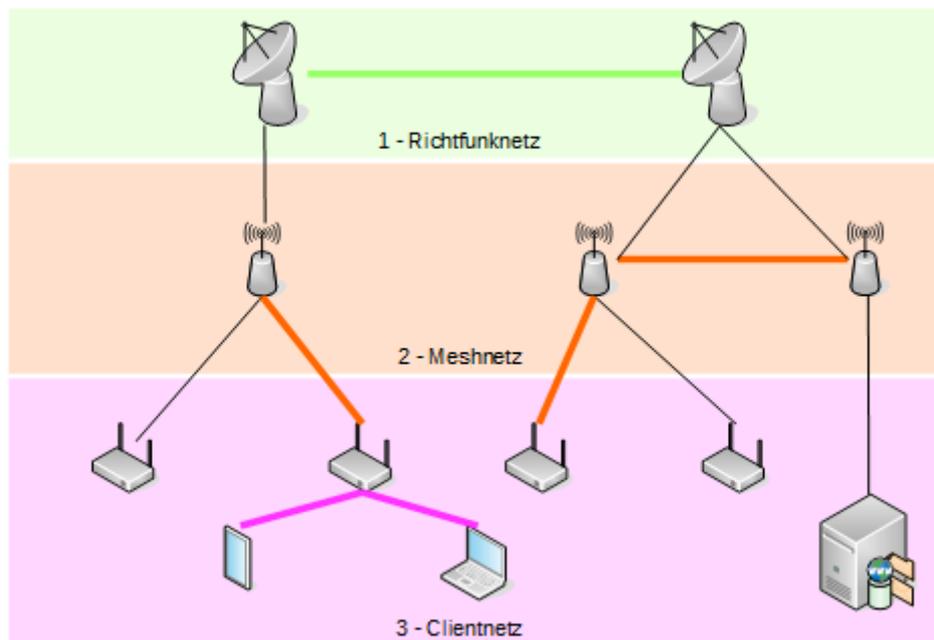


Abbildung 1: 3-Ebenenmodell

### 2.1 Richtfunknetz

Geräte auf dieser Ebene des Netzwerkes bilden den Backbone. Die Datenübertragung erfolgt über größere Strecken (>200m) mit Hilfe von **Richtfunkantennen**. Zur Vermeidung von Kollisionen innerhalb dieses Netzes und den damit entstehenden Problemen, werden auf dieser Ebene **Punkt-zu-Punkt**-Verbindungen<sup>1</sup> aufgebaut.

Im Gegensatz zu den darunterliegenden Ebenen wird hier **nicht** die generische **Freifunk**-Firmware eingesetzt um mit der Firmware der Hersteller dessen Hardware optimal einsetzen zu können. Diese Entscheidung führt dazu, dass hier keine automatische Vermaschung mit anderen Geräten durchgeführt werden kann.

<sup>1</sup> Jedes Gerät steht mit genau einem anderen Gerät in Verbindung. (1:1)

Die Erstellung eines Frequenzplans ist nicht notwendig, da die Geräte per DFS<sup>2</sup> die freien Kanäle selbst aufteilen und nutzen.

Für den Betrieb stehen verschiedene Frequenzbänder zur Verfügung. Neben den "üblichen" Frequenzen für WLAN bei 2,4 und 5,0 GHz existiert für ortsfeste WLAN-Geräte<sup>3</sup> auch ein Bereich bei **5,8 GHz**, in dem eine höhere Sendeleistung erlaubt wird und die Beeinträchtigung durch andere Teilnehmer geringer sein sollte. Betreiber von Anlagen in diesem Modus müssen diese bei der Bundesnetzagentur anmelden.

Durch die Fördermittel und die ursprüngliche Kalkulation ist ein Kostenrahmen für den Aufbau der Standorte vorgegeben. Innerhalb dieses Rahmens wird versucht, Geräte mit maximalem Durchsatz zu installieren um auch zukünftigen Anwendungen und Anforderungen gerecht zu werden. Für die Richtfunkverbindungen wird ein Datendurchsatz von **mehr als 400 MBit/s** Bruttodatenrate angestrebt. Die dafür notwendige Technik muss daher zwingend über eine Gigabit-Netzwerkschnittstelle verfügen.

## 2.2 Meshnetz

Innerhalb der Ebene des Meshnetzes verbinden sich die mit der Freifunk-Firmware laufenden Router miteinander. Es sind Distanzen bis zu wenigen Kilometern bei der Verwendung von **Sektorantennen** realisierbar. Für den Nahbereich sind auch **Omnidirektionalantennen** geeignet. Diese Geräte können dabei unter Umständen auch die gleichen Entfernungen und Verbindungen abdecken, die auch von Stationen auf der Richtfunkebene aufgebaut werden.

Im Gegensatz zu diesen werden jedoch **Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen**<sup>4</sup> aufgebaut. Damit weisen diese Strecken eine größere Störanfälligkeit<sup>5</sup> auf, was aber im Interesse der einfachen Anbindung weiterer Router in Kauf genommen werden muss.

---

2 Dynamische Frequenzwahl

3 [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2007\\_47\\_BFWA%205,8%20GHz\\_pdf.pdf;jsessionid=B8E428FA203E7163C9DFB904A856FD2A?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/2007_47_BFWA%205,8%20GHz_pdf.pdf;jsessionid=B8E428FA203E7163C9DFB904A856FD2A?__blob=publicationFile&v=4)

4 Geräte können mehrere Gegenstellen haben. Ein WLAN-Accesspoint ist typischerweise PtMP. (1:m)

5 Je mehr eine Verbindung, bedingt durch die verwendeten Antennen, streut, desto mehr Gegenstellen sind sichtbar, die identische Kanäle belegen und damit Störungen der eigenen Datenübertragung verursachen.

Um geräteübergreifend (aber firmwareidentisch<sup>6</sup>) möglichst kompatibel zu bleiben, ist der Betrieb innerhalb der **2,4 GHz und 5,0 GHz**-Bänder notwendig. Das 5 GHz-Band ist in Deutschland im Außenbereich nur mit Geräten gestattet, deren Firmware eine Radarerkennung und damit die Freihaltung genutzter Radarkanäle sicherstellt. Im Moment ist dies mit Gluon als Basis-Firmware nicht gegeben. Ein Außenbetrieb von Gluon-Geräten im 5 GHz-Band ist damit momentan nicht zulässig.

- zur Aufrechterhaltung der Meshverbindung zwischen zwei benachbarten Knoten ist eine Signalstärke von mehr als -75 dBi notwendig
- technisch notwendig ist eine Bandbreite von mehr als 12 Mbit/s
- gewünscht wird eine Bandbreite von > 50 MBit/s
- beide Werte sollten in 500 m Entfernung vom Standort noch erreicht werden (unter Annahme einer freien Fresnelzone)
- Bei Mastmontage sollen Omni-Antennen am oberen Ende angebracht werden, um damit eine Abschattung durch den Mast zu verhindern. Die Richtfunktechnik kann darunter montiert werden.
- Mindestens 8dBi Antennengewinn

## 2.3 Clientnetz

Das Clientnetz stellt das Nutznetz für die **Endgeräte** (Clients) zur Verfügung. Dies wird häufig auf der Basis von **Omnidirektionalantennen** geschehen, die in einen möglichst großen Umkreis abstrahlen sollen. Im Gegensatz zum Meshnetz sind hier Endgeräte beteiligt, die häufig nur über integrierte (und damit leistungsschwächere) Antennen verfügen. Die Maximaldistanz wird damit durch diese Geräte festgelegt und wird im Freifeld mit ca. 150 m und innerhalb von Gebäude häufig schon bei ca. **20 m** erreicht.

Auch hier können beide Frequenzbänder (zumindest im Innenbereich) bereitgestellt werden.

An den Standorten wird grundsätzlich kein Clientnetzwerk (SSID Freifunk) abgestrahlt. Im Einzelfall kann davon, bei besonders geeigneten und anderweitig nicht abzudeckenden Standorten, abgewichen werden.

---

<sup>6</sup> "identisch" bezieht sich auf Firmware der lokalen Freifunk-Community. Verbindungen zwischen Geräte mit verschiedenen Firmwareständen sind kein Problem.

## 2.4 aktive Rechentechnik

Die logische Verbindung der Router erfolgt über ein Meshnetz (B.A.T.M.A.N.<sup>7</sup>). Die Teilnahme an diesem Netz wird dabei nicht über spezialisierte Hardware sondern über Softwarepakete realisiert. Damit gehen gesteigerte Anforderungen an die Rechenleistung der Router einher, die diese (bei einer hohen Teilnehmerzahl) überfordern und die Bandbreite einbrechen lassen. Die Auslagerung der rechenintensiven Prozesse auf eine separate Hardwareplattform (x64, x86 o.ä.) ist jedoch möglich und damit vorzuziehen.

Neben der Meshverbindung muss auch eine Tunnelverbindung zu den Gateways der Freifunk-Community aufgebaut werden („Offloader“) um darüber den Internetverkehr an den zentralen Zugangsknoten ins Internet auszukoppeln. Für diese Verbindung gelten jedoch die gleichen Voraussetzungen.

- Rechner mit Tauglichkeit für erweiterten Temperaturbereich und Anbringung im Wetzerschutzhäuser
  - mind. 2x Gigabit-Ethernet
  - mind. 3x USB (>=USB 2.0) zum Anschluss von Sensoren
  - mind. Dualcore CPU
  - mind. 1.0 GHz
  - mind. 4 GB RAM
  - mind. 32 GB Flash-Speicher

## 2.5 Netzwerk

Standorte werden im Allgemeinen mit mehr als einem Router ausgestattet. Damit ist ein Switch notwendig, der auch die Stromversorgung der angeschlossenen Geräte per PoE<sup>8</sup> übernehmen kann und sollte. Eine Fernwartbarkeit dieses Switches und die damit verbundene Möglichkeit der Abschaltung einzelner Netzwerkports<sup>9</sup> ermöglichen zusätzlich den Neustart der Router im Fehlerfall.

---

7 <https://www.open-mesh.org/projects/batman-adv/wiki>

8 Power over Ethernet

9 Power cycle

Die Mindestanzahl der Netzwerkports entspricht der Summe der angebotenen Außen-einheiten (und der Reserven), 2 Ports für die Anbindung der Rechentechnik und 2 weiterer Reserveports.

- Gigabit-Switch
  - mind. 8x 1 GE-Ports
  - outdoortauglich (Anbringung im Wetterschutzgehäuse)
  - PoE-Host auf allen Ports
  - managed

## 2.6 Passive Verkabelung/Montage

Jeder Montageort<sup>10</sup> wird mit einer ausreichenden Zahl an **CAT7**-Netzwerkkabeln versorgt. Zusätzlich zu den im Standortkonzept benannten Geräten wird **jeder Ort** mit einem **Reservekabel** ausgestattet. Diese Kabel enden im Gebäudeinneren auf einer Netzwerkdose, von der dann außentaugliches Patchkabel bis zum Gerät genutzt werden kann. Auf der Gegenseite werden die Kabel auf ein Patchfeld innerhalb eines kleinen Netzwerkverteil-schranks aufgelegt.

## 2.7 Sensoren

Mit dem Aufbau von aktiver Technik ergibt sich die Anforderung diese Technik im Hinblick auf die Umweltbedingungen (vorrangig Luftfeuchtigkeit und Temperatur) zu überwachen.

Zusätzlich kann dieser Aufbau jedoch auch für die Inbetriebnahme weiterer Sensoren genutzt werden, die innerhalb des Backbone-Netzwerkes als interner Dienst zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Typ des Sensors ist dabei ein engmaschiges (an jedem Standort) oder ein gröbe-res Netz (nur 1-2x im Stadtgebiet) sinnvoll.

Die Häufigkeit der Sensoren ergibt sich aus deren Empfindlichkeit, der Weiträumigkeit des Umwelteinflusses und weiteren Zielen (bspw. Möglichkeit zur Triangulation).

---

<sup>10</sup> Es kann mehrere Orte je Objekt geben. Beispielsweise verschiedene Hausseiten/-fronten.

Die Sensoren werden entweder direkt (per USB) oder indirekt (über einen Mikrocontroller, dann per USB) an die aktive Rechentechnik angeschlossen. Die Verwendung von aktiver Netzwerktechnik ist nicht vorgesehen, bei ausreichend verfügbaren Netzwerksports am Switch jedoch möglich.

Sensor / Messgröße	Genauigkeit	Messbereich	Weiträumigkeit
Temperatur			1/Standort
Luftfeuchtigkeit			1/Standort
Luftdruck	Sensoren zu ungenau für so geringe Unterschiede		1-2/Backbone
UV	Nutzen zu gering für mehr Sensoren		1/Stadt
Blitz	Reichweite und kosten zu hoch für mehr Sensoren		1-2/Backbone
Windrichtung			1-2/Backbone
Windgeschwindigkeit			1-2/Backbone
Regen			
Ozon			
Helligkeit/Lux			
Staub			
DCF/GPS			1-2/Backbone
Flugradar			1-2/Backbone

### 2.7.1 Temperatur

### 2.7.2 Luftfeuchtigkeit

### 3 zentrale Gateways

Die einzelnen Router bauen eine Datenverbindung ("Tunnel") zu den zentralen Gateways der Community auf. Über diesen Tunnel werden die Nutzdaten zentral ins Internet geleitet. Durch diese Vorgehensweise geht die Störerhaftung der Knotenbetreiber an die Betreiber der Gateways über.

Neben der Notwendigkeit der Gateways als Auskopplungspunkt der Nutzdaten in das Internet erfüllen diese auch noch weitere Aufgaben. Zu den wichtigsten bereitgestellten Diensten zählen hier DHCP<sup>11</sup> und DNS<sup>12</sup>.

Diese zentralen, ausschließlich über das Internet angebotenen Gateways<sup>13</sup> stellen momentan eine Schwachstelle dar, da die Router nur eine Verbindungen aufbauen können, wenn sie selbst direkt oder indirekt über einen Internetzugang verfügen. Ein Endgerät, dass sich per WLAN mit einem nicht an das Internet angebotenen Knoten verbindet, erhält damit keine automatische IP-Adresse und Datenanfragen an interne und externe Dienste können mangels DNS-Auflösung nicht durchgeführt werden.

Interne Dienste, wie z.B. ein lokaler Chat-Server innerhalb des Freifunknetzes bleiben damit ohne weitergehende Netzwerkkennnisse unerreichbar obwohl eine Verbindung über die Mesh-Nachbarn ggf. möglich wäre. Externe Dienste (z.B. Twitter oder Facebook) bleiben selbstverständlich ohne Funktion wenn keine Internetverbindung im lokalen Mesh verfügbar ist.

Durch die großflächige Verbindung einzelner Router und dem damit entstehenden Intranet auf der Basis der Mesh- und Richtfunkverbindungen kann dieses Problem zumindest für die lokale Bereitstellung von Diensten umgangen werden. Die Bereitstellung eines Gateways kann in beiden Fällen auch für geringere Antwortzeiten sorgen und damit die gefühlte Schnelligkeit des Netzes erhöhen.

---

11 Dynamische IP-Adressvergabe

12 Namensauflösung zur korrekten Adressierung von Datenpaketen

13 Stand 03/2017 sind 3 Gateways in Betrieb, die als physische oder virtuelle Maschinen in deutschen Rechenzentren gehostet werden.