



Pilotprojekt Freifunkkommune Gera

gefördert vom



Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache
Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

Verantwortlicher Bearbeiter	Matthias Drobny, Stadtverwaltung Gera
Version	24
Datum	10.11.2017
Datei	B:\06 IT-Projekte\HP-14 - Projekt Freifunk\02 Arbeitspakete\Backbone\standortkonzept-mitte.odt

1 Entscheidungsbegründung

1.1 Bewertungsmatrix (Lenkungsgruppe)

Vorrangig durch die Ermittlung weiterer Richtfunkstrecken und die Erschließung zusätzlicher Standorte hat sich die Rangfolge der Objekte geändert. Die nachfolgende Tabelle trägt dem Rechnung indem neben der aktuellen Rangfolge auch die ursprünglich beschlossene (in Klammern) aufgeführt ist.

Die Auswahl der Standorte ergab sich aus Positiv- und Negativkriterien.

1.1.1 Positivkriterien (Auswahl)

- Rangfolge in der Bewertungsmatrix (KUK, SDF, FWM)
- Herstellung/Verbindung zum bestehenden Backbone (KUK)
- Politischer Druck (SDF)
- räumliche Nähe/günstige Gelegenheit¹ (ZG2)
- Objektanzahl wird auf 3-4 begrenzt um die anfallenden Arbeiten für das Konzept und die Umsetzung überschaubar zu halten

1.1.2 Negativkriterien (Abwahl/Verschiebung)

- Denkmalschutz (Ausbau des Rathausturms weiterhin ungeklärt)
- keine direkten Sichtverbindungen zu anderen (ausgebauten oder gleichzeitig aufzubauenden) Standorten

1 Auf dem Dach der ZG2 wurde bereits eine verwaltungsinterne Richtfunkstrecke mit vergleichbarer Technik in Betrieb genommen.

Rang	Standort	Kurzbezeichnung
2 (17)	Kultur- und Kongresszentrum	KUK
5 (2)	Stadion der Freundschaft	SDF
6 (3)	Feuerwache Mitte	FWM
11 (41)	Zabel Gymnasium, Haus 2	ZG2

Tabelle 1: Bewertungsmatrix, Stand 16.8.2017 (20.02.2017)

1.2 Stellungnahme (AG Technik)

Das Dreieck Zwätzen hat dort zu einer starken Zunahme der Meshverbindungen und damit zu einem ausfallsicheren Netz geführt. Gleichzeitig konnten dort Erfahrungen zur eingesetzten Technik gesammelt werden.

Mit dem KuK wird der Sprung in die Innenstadt geschafft, der dann über die FWM in Richtung Norden fortgesetzt wird. Mit dem KuK wird dabei ein zentralen Standort erreicht, der sehr gute Möglichkeiten zur Weiterleitung des Netzwerkes bietet.

Durch die Hinzunahme von ZG2 als erhöhtem Standort gelingt der Anschluss in Richtung Lusan und ermöglicht dabei die zukünftige Anbindung der IGS.

Neben den geplanten Richtfunkstrecken und der Abstrahlung eines 2,4 Ghz-Meshnetzes soll erstmalig ein 5 GHz-Mesh² etabliert werden. Da die verwendete Freifunkfirmware (Gluon) die im 5 Ghz-Band erforderlichen technischen Funktionen (DFS³, TPC⁴) nicht oder nur unzureichend erfüllt, werden die Geräte mit der herstellereigenen Firmware betrieben. Im Fall von Ubiquiti wird also ein proprietäres Meshprotokoll (PtMP bei Ubiquiti AirOS) verwendet um benachbarte Geräte zu verbinden.

Für eine optimale Ausnutzung der möglichen Bandbreite sind auf beiden Seiten gleichartige Geräte (mindestens vom gleichen Hersteller) notwendig.

2 „5GHz“, „Profi-Mesh“

3 [dynamischen Frequenzwahl](#)

4 [Regelung der Sendeleistung](#)

2 Ziele

- Tests mit größeren Richtfunkstrecken
- Erprobung des 5GHz-Konzeptes
- teilweiser Aufbau eines WLAN-Clientnetzes im Buga-Park

3 Standortbeschreibung

3.1 Lage

Name	Adresse	Koordinaten	Höhe in m		
			Boden	Aufbau	Gesamt
KUK	Schloßstraße 1	50.877621, 12.080974	241	20	261
SDF	Hofwiesenpark	50.879748, 12.067270	236	10	246
FWM	Berliner Straße 153	50.894265, 12.078917	237	15	252
ZG2	Kurt-Keicher-Straße 12	50.882121, 12.087706	247	20	267

Tabelle 2: Positionsdaten

3.2 Besiedlung/Bevölkerung

Radius	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m
Einwohner					
KUK	46	304	1682	3605	5309
SDF	0	0	27	199	769
FWM	0	426	1128	1634	2571
ZG2	235	769	1828	3632	5602
Gebäude					
KUK	19	93	257	452	662
SDF	1	1	11	52	153
FWM	3	19	52	107	178
ZG2	26	94	226	473	794
Wohneinheiten					
KUK	26	247	1404	2718	3976
SDF	0	0	16	177	540
FWM	0	379	1087	1448	2054
ZG2	121	517	1143	2496	3953

Tabelle 3: Statistische Grunddaten

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

3.3 Bauart/Bauform

3.3.1 FWM



Abbildung 1: FWM (Teilpanorama)



Abbildung 2: FWM (Teilpanorama)

3.3.2 KUK



Abbildung 3: KUK (Teilpanorama)



Abbildung 4: KUK (Teilpanorama)

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

10.11.2017

6/24

Matthias Drobny

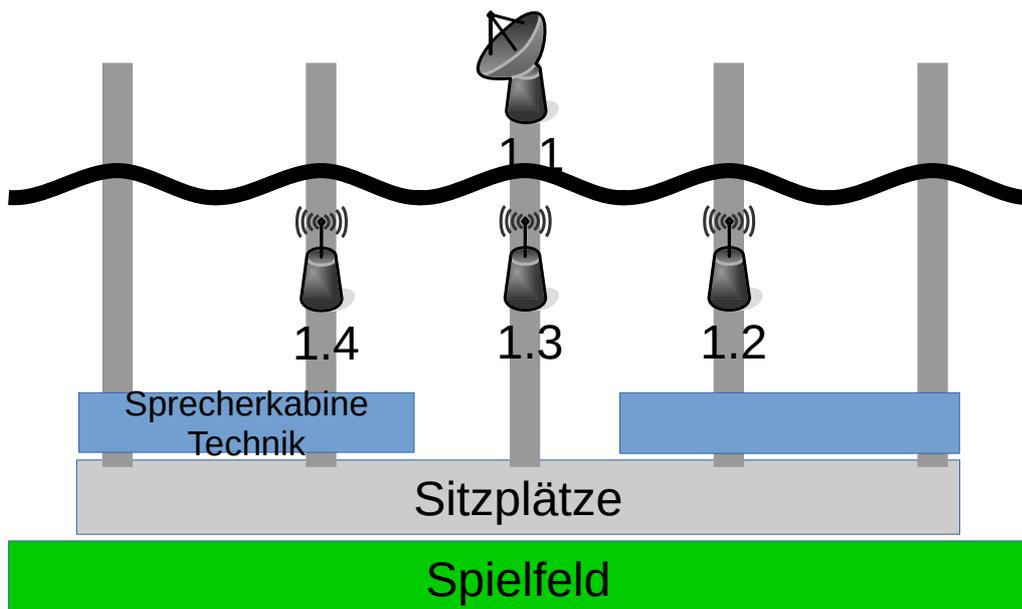
3.3.3 SDF



Abbildung 5: SDF (Teilpanorama)

Das Stadion wird als zweigeteilte Installation aufgebaut. Neben einer Hauptposition direkt im Stadion⁵ wird ein abgesetzter Mast am Sanitärtrakt⁶ montiert, der bessere Abstrahlmöglichkeiten in Richtung des Parks hat.

Die Meshgeräte für SDF1 werden dabei an den Tragsäulen oberhalb des Daches angebracht. Auf den Aufbau von Richtfunkverbindungen für jede der 8 möglichen Gegenstellen wird zu Gunsten eines 5GHz-Aufbaus für den mittleren Bereich (bis 1000 m) verzichtet. Sollten später gezielte, entfernte Gegenstellen angesprochen werden, muss die Installation die Hinzunahme von Richtfunktechnik ermöglichen.



Zeichnung 1: Mastschema SDF1

5 SDF1

6 SDF2

3.3.4 ZG2



Abbildung 6: ZG2 (Teilpanorama)



Abbildung 7: ZG2
(Bestandsmast)

Der Aufbau an der Schule wird vorrangig dadurch vereinfacht/ermöglicht, dass es neben dem schrägen Hauptdach auch noch den kleinen Bereich eines Flachdaches gibt. Dort ist bereits Antennentechnik zur Richtfunkverbindung zu ZG1 angebracht. Eine Erweiterung des Mastes erscheint möglich. Je nach Anzahl der anzubringenden, zusätzlichen Geräte ist ggf. über eine Mastweiterung (Verlängerung und/oder Quermast) sinnvoller.

3.4 Verbindungen zu anderen Backbone-Standorten⁷

Start	Winkel	Ziel	Winkel	Abstand	Stufe	Erläuterung
FWM	178	AMT	358	1331	-	
FWM	185	E15	5	1488	3	
FWM	144	GUT	324	469	-	Flüchtlingswohnheim Trebnitzer Straße, Vereinsprojekt

⁷ <https://drobny.it/freifunk/koordinaten/>

Start	Winkel	Ziel	Winkel	Abstand	Stufe	Erläuterung
FWM	176	KUK	356	1858	2	Richtfunk
FWM	170	RHT	350	2027	3	
FWM	323	STE	143	183	-	SBBS Technik
KUK	350	AMT	170	529	-	Amthorstr.
KUK	183	FWS	3	3239	1	Richtfunk
KUK	16	KTL	196	1479	6	
KUK	80	OST	260	1082	6	Ostschule
KUK	135	RHK	315	333	3	Rathaus/Kornmarkt (ev. LWL möglich)
KUK	127	RHT	307	241	-	Rathaus/Turm (ev. LWL möglich)
KUK	284	SDF	104	991	2	5GHz
SDF	79	E15	259	703	3	Ernst-Toller-Str. 15
SDF	36	HWB	216	228	-	Hofwiesenbad
SDF	49	KTL	229	1806	6	
SDF	91	OST	271	2028	6	
SDF	108	RHT	288	1216	3	
SDF	94	TSZ	274	431	-	Turnsportzentrum
ZG2	272	AMT	92	560	-	Amthorstr.
ZG2	277	DIX	97	1290	6	Dix-Schulen
ZG2	260	E15	80	756	3	Ernst-Toller-Str. 15
ZG2	190	FWS	10	3789	1	Richtfunk
ZG2	150	GSB	330	224	-	Bergschule
ZG2	359	GSH	179	1935	6	GS Bieblacher Hang
ZG2	195	IGS	15	4289	5	Richtfunk zur IGS, einzige Verbindung
ZG2	355	KTL	175	927	6	Liebegymnasium
ZG2	223	KUK	43	688	2	5GHz
ZG2	316	LAM	136	1786	-	Leibniz-Flutlichmast, Vereinsprojekt
ZG2	153	OTG	333	618	4	OTG-Sporthalle
ZG2	203	RHT	23	705	3	Rathausturm
ZG2	260	SDF	80	1459	2	5GHz
ZG2	218	VHS	38	1117	3	Richtfunk, VHS

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

Start	Winkel	Ziel	Winkel	Abstand	Stufe	Erläuterung
ZG2	252	ZG1	72	401	-	Richtfunk, vorhandener Schulaufbau

Tabelle 4: Backbone-Abstände

Die hier aufgeführten Verbindungen für SDF sind für die Installation am Stadionsdach geplant. Mögliche zusätzliche Verbindung durch den Aufbau am Sanitärgebäude sind erwünscht, aber nicht vorgesehen/notwendig.

4 Technische Umsetzung⁸

Objekt	Mast	Anbringung
KUK	1	Nordwest-Wand des Lüftungsschachtes
	2	Süd-Wand des Schachtes
SDF	1.1	Mittlerer Pfeiler des Stadionsdachs, kein zusätzlicher Mast, oberhalb des Dachs
	1.2	(ein) linker Pfeiler unterhalb des Dachs
	1.3	Mittlerer Pfeiler unterhalb des Dachs
	1.4	(ein) rechter Pfeiler unterhalb des Dachs
	2.1	Zusätzlicher Mast am Sanitärgebäude, Höhe 3m über Dach
FWM	1.1	Nordost-Wand des Aufzugsraumes
	1.2	Südost-Wand
	1.3	Südwest-Wand
	1.4	Nordwest-Wand
	2.1	Anbaudach
ZG2	1	Bestehender Mast, Erweiterung um Querstange und Zusatzmasten

4.1 Richtfunk

4.1.1 KUK

Je eine Richtfunkverbindung wird zu GSZ, FWS und FWM aufgebaut. Das KUK stellt damit einen zentralen Verknüpfungspunkt zwischen dem südlichen Stadtbereich Zwötzen und dem nördlicheren (mit der Feuerwache Mitte) dar.

4.1.2 SDF

Es wird keine spezialisierte Richtfunktechnik aufgebaut. Das Stadion wird als Testszenario für eine (reine) 5GHz-Installation umgesetzt.

4.1.3 FWM

Eine Richtfunkstrecke in Richtung KuK wird etabliert. Ansonsten werden Reservegeräte an den Masten montiert, die relativ kurzfristig auf andere Ziele (z.B. Leibnizturm) ausgerichtet werden können.

⁸ Jeder Standort fügt sich in die Gesamtkonzeption des Backbone ein. Die in "backbone-konzeption.pdf" getroffenen Festlegungen werden im Detail für jeden Standort ergänzt bzw. erläutert.

4.1.4 ZG2

Auf dem Dach der Schule ist bereits eine Richtfunkverbindung (zu ZG1) installiert. Dort wird (bisher) kein Freifunknetz übertragen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt stellt die Schule die einzige Möglichkeit dar, eine Richtverbindung zu IGS aufzubauen.

4.2 Meshfunk

4.2.1 KUK, FWM

Vollabdeckung

4.2.2 SDF

Obwohl auf dem Buga-Gelände und im Stadion nicht mit einer Anbindung weiterer Router zu rechnen ist⁹, wird dort das Meshnetz an beiden Standorten abgestrahlt. Inwiefern damit performante Verbindungen und Erweiterungsmöglichkeiten im Park zu realisieren sind, muss bei Veranstaltungen getestet werden.

4.2.3 ZG2

Eine Vollabdeckung macht am Schulbereich keinen Sinn, da direkt „hinter“ (nordwestlich) der Schule ein Hang mit Baumbewuchs ist. Der südwestliche Bereich wird am Aufbauort durch das Dach der Schule verdeckt. Auf die Montage eines ausreichend hohen Mastes wird verzichtet um das Blitzschutzkonzept der Schule nicht ändern zu müssen. Die genannten Bereiche sind durch andere Standorte abdeckbar. Es wird damit ausschließlich der östliche Bereich mit Blick zum Stadtzentrum per Meshnetz angefunkelt.

4.3 5GHz

4.3.1 KUK, FWM

Vollabdeckung

4.3.2 SDF

Beide Standorte werden über 120° 5GHz-Mesh in Richtung des Stadtkerns angebunden.

⁹ Dieser Fakt ergibt sich aus der politischen Begründung („kein privates Engagement möglich“) zum Aufbau eines Freifunknetzes dort.

4.3.3 ZG2

Siehe 4.2.3

4.4 Clientfunk

4.4.1 SDF

Für die Bereitstellung des Clientnetzes werden im Stadion 3 und am Sanitärtrakt 1 spezialisierte Geräte installiert. An beiden Stellen werden Dualbandgeräte eingesetzt, die unterschiedliche Kanäle innerhalb der Frequenzen abdecken um eine Aufteilung der Clients auf die verschiedenen Geräte zu ermöglichen und so die Last zu verteilen.

4.5 Datenschrank

4.5.1 KUK

Unterhalb des Daches („Bühnenboden“) ist im Innenbereich der Verteiler der vorhandenen SAT-Technik angebracht. Neben diesem Schrank kann auch der Netzwerkverteiler angebracht werden.

4.5.2 SDF

Der Datenschrank wird in der Sprecherkabine neben das vorhandene Technik-Rack gehängt.

Am zweiten Standort werden ausschließlich die Router installiert und möglichst direkt miteinander verbunden. Weitere (aktive) Technik wird dort nicht vorgehalten. Ein Schrank wird nicht aufgebaut.

4.5.3 FWM

Der Datenschrank wird innerhalb des Aufzugsraums auf dem Dach angebracht. Auf dem Anbaudach/Kantine wird ein abgesetztes Gerät montiert, das direkt mit einem weiteren im Innenbereich verbunden wird. Auf einen Datenschrank wird hier verzichtet.

4.5.4 ZG2

Auf dem Dachboden wird ein Freifunk-Datenschrank aufgebaut, der als Abschluss für die Kabelverbindung zum zentralen Netzwerkschrank (Keller) dient.

4.6 aktive Rechentechnik

4.6.1 KUK, FWM, ZG2

An allen 3 Standorten soll Servertechnik verbaut werden. Die Geräte werden über eine USV gepuffert.

4.6.2 SDF

Im Stadion wird aus Platzgründen auf die Inbetriebnahme eines Server verzichtet. Somit ist dort auch keine USV notwendig.

4.7 Netzwerk

Objekt	Ports zu Masten	Ports im Schrank	Ports im Haus	Reserve	Gesamt
KUK	16	2	2	2	22
SDF1	10	0	0	-2	8
SDF2	4	0	0	0	4
FWM	16	2	0	2	20
ZG2	8	2	2	2	14

4.8 Passive Verkabelung/Montage

Objekt	Mast / Ende	Kabelanzahl (CAT7)	Nutzung
KUK	1	8	<ul style="list-style-type: none">• Richtfunk FWM• <i>Richtfunk (Reserve)</i>• Mesh-Netz (Nord/1)• Mesh-Netz (Nordost/2)• Mesh-Netz (Nordwest/6)• 5GHz (Nord/1)• 5GHz (West/3)• <i>Reserve</i>
	2	8	<ul style="list-style-type: none">• Richtfunk FWS• Richtfunk GSZ• <i>Richtfunk (Reserve)</i>• Mesh-Netz (Ost/3)• Mesh-Netz (Süd/4)• Mesh-Netz (Südwest/5)• 5GHz (Südost/3)• <i>Reserve</i>

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

10.11.2017

14/24

Matthias Drobný

Objekt	Mast / Ende	Kabelanzahl (CAT7)	Nutzung
SDF	1.1	4	<ul style="list-style-type: none"> • 5GHz • <i>Reserve</i> • <i>Reserve</i> • <i>Reserve</i>
	1.2	2	<ul style="list-style-type: none"> • Client-Netz • <i>Reserve</i>
	1.3	2	<ul style="list-style-type: none"> • Client-Netz • <i>Reserve</i>
	1.4	2	<ul style="list-style-type: none"> • Client-Netz • <i>Reserve</i>
	2.1	4	<ul style="list-style-type: none"> • 5GHz • Client-Netz • <i>Reserve</i> • <i>Reserve</i>
FWM	1.1	4	<ul style="list-style-type: none"> • Mesh-Netz (Nord/1) • Mesh-Netz (Nordost/2) • 5GHz (Nordost/1) • <i>Richtfunk (Reserve)</i>
	1.2	4	<ul style="list-style-type: none"> • Richtfunk KuK • 5GHz • <i>Reserve</i> • <i>Reserve</i>
	1.3	4	<ul style="list-style-type: none"> • Mesh-Netz (Südost/3) • Mesh-Netz (Süd/4) • <i>Richtfunk (Reserve)</i> • <i>Reserve</i>
	1.4	4	<ul style="list-style-type: none"> • 5GHz (West/3) • Mesh-Netz (Nordwest/6) • Mesh-Netz (Südwest/5) • <i>Richtfunk (Reserve)</i>
	2.1	1	<ul style="list-style-type: none"> • Mesh-Netz
ZG2	1	8	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Richtfunk (ZG1, vorhanden)</i> • Richtfunk (FWS) • Richtfunk (IGS) • Richtfunk (VHS) • Mesh-Netz (Südost/1) • Mesh-Netz (Südwest/2)

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

Objekt	Mast / Ende	Kabelanzahl (CAT7)	Nutzung
			<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="815 257 1059 293">• 5GHz (Süd/1)<li data-bbox="815 300 983 336">• <i>Reserve</i>

5 Netzabdeckung

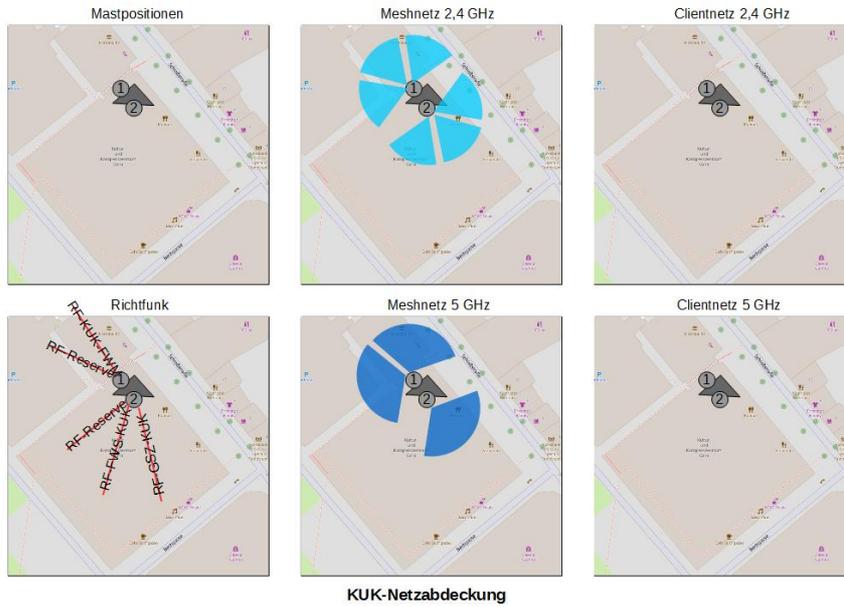


Abbildung 8: KUK-Netzabdeckung

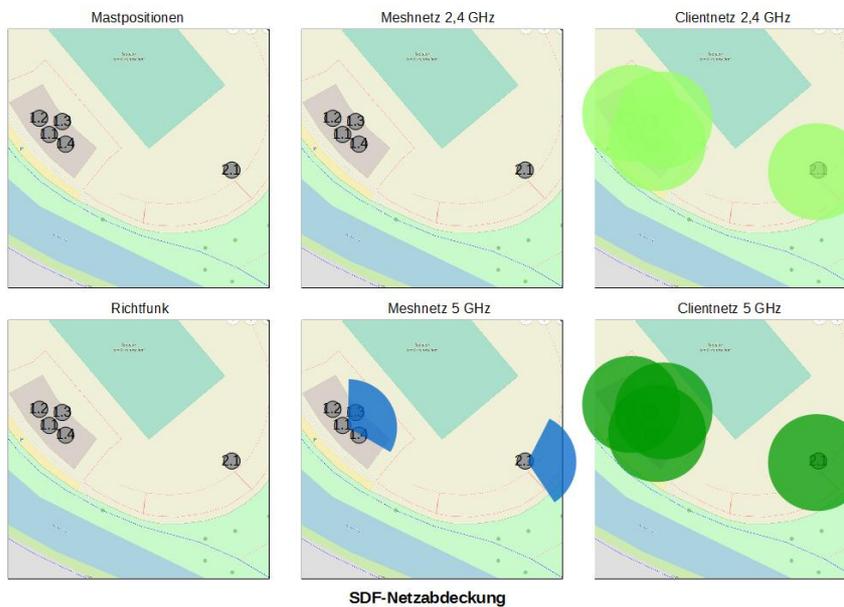


Abbildung 9: SDF-Netzabdeckung

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

10.11.2017

17/24

Matthias Drobny

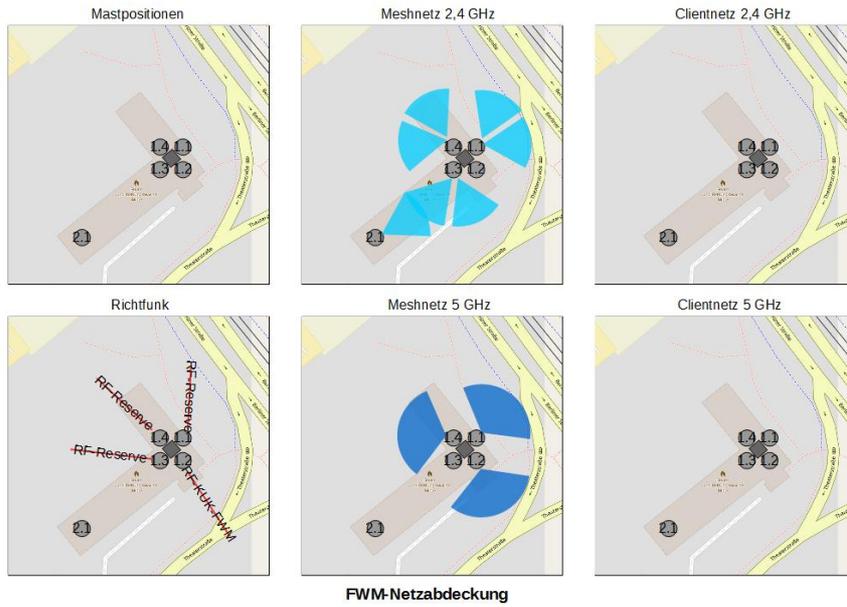


Abbildung 10: FWM-Netzabdeckung

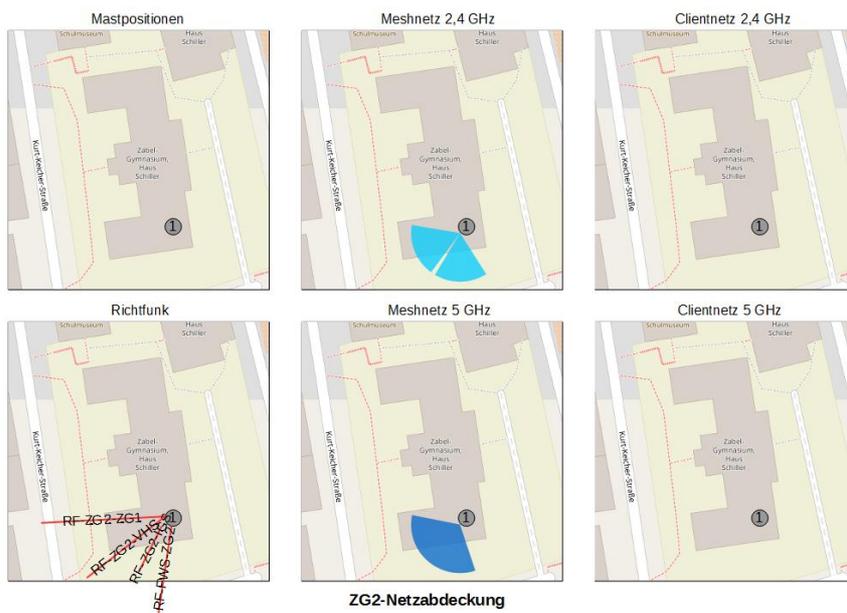


Abbildung 11: ZG2-Netzabdeckung

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

KuK (KUK) - Stadion der Freundschaft (SDF) - Feuerwache Mitte (FWM) - Zabel-Gymnasium 2 (ZG2)

6 Mastnutzung

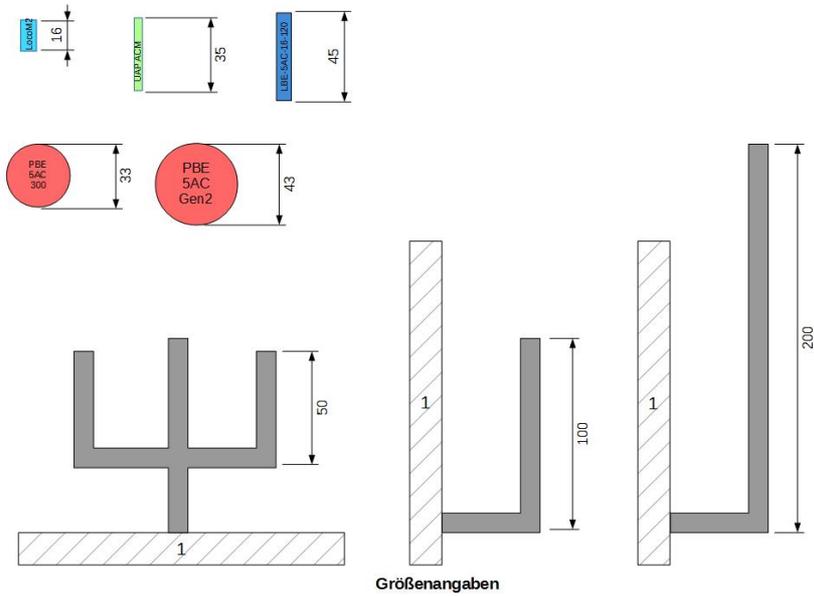


Abbildung 12: Größenangaben zur Beispieltechnik

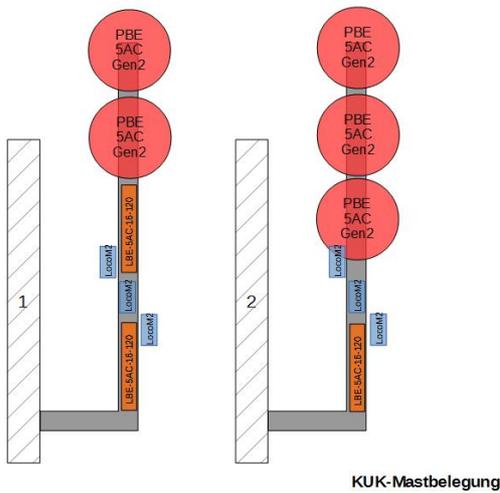


Abbildung 13: KUK-Mastbelegung

Backbone-Standortkonzept (Ausbaustufe 2)

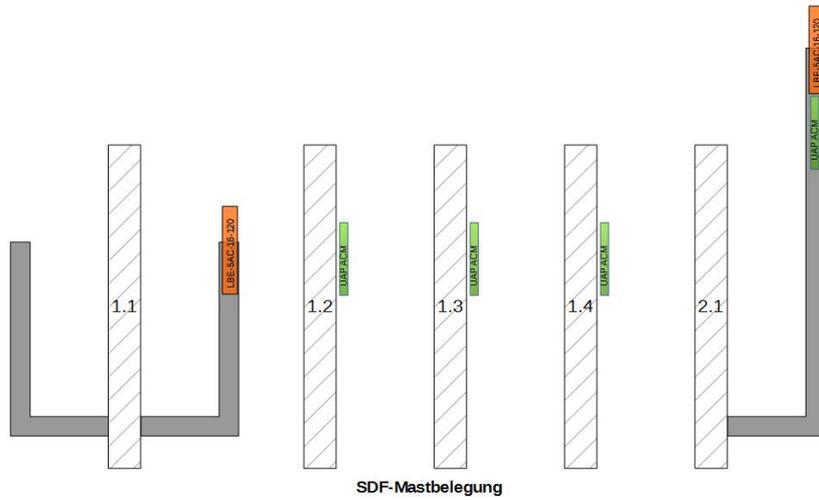


Abbildung 14: SDF-Mastbelegung

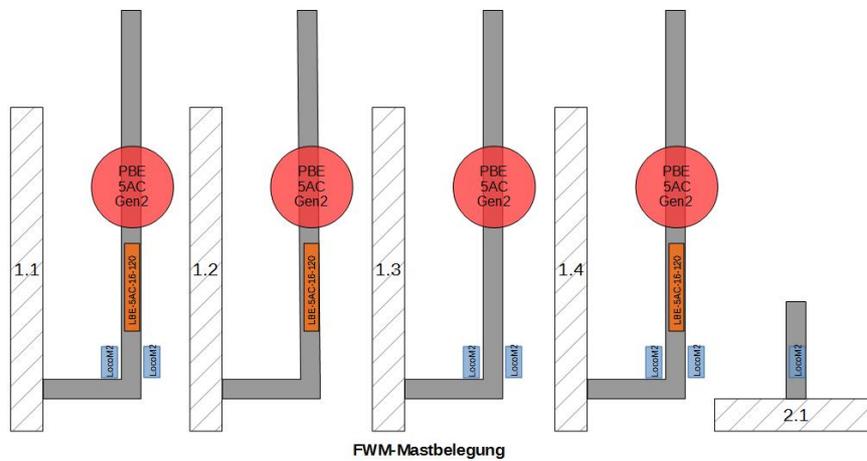
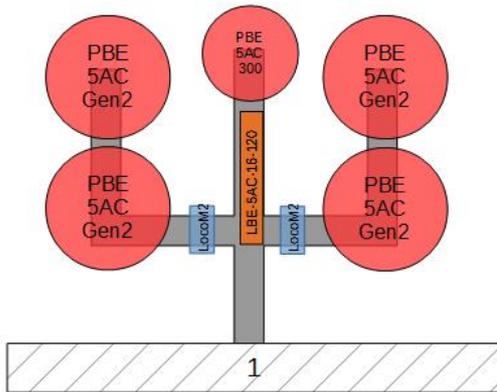


Abbildung 15: FWM-Mastbelegung



ZG2-Mastbelegung

Abbildung 16: ZG2-Mastbelegung

7 Änderungen/Verbesserungen

Mit der zweiten Ausbaustufe wird das Freifunknetz aus dem lokal-abgeschlossenen Zwötzener Dreieck in Richtung Innenstadt erweitert. Die in Zwötzen gesammelten Erfahrungen im Hinblick auf die Technik führen nun zum Einsatz anderer Geräte (Switches und Access-points).

Zusätzlich wird auch die Herangehensweise für den Aufbau geändert.

Während bisher je Standortkonzept WLAN+Dienstleistung als Komplettlos vergeben wurden, wird nun auf die Einrichtung der WLAN-Geräte durch den Lieferanten verzichtet. Der notwendige Konfigurationsaufwand wird konzeptentsprechend durch die AG Technik erbracht.

Diese Vorgehensweise wurde in Zwötzen notwendig, da nur ein geringer Rücklauf an Angeboten für das WLAN-Los erreicht wurde. Die durch den Dienstleister erbrachten Leistungen waren dabei (planmäßig) nicht direkt für das Freifunknetzwerk nutzbar, führten aber zu einer vollständigen Rekonfiguration aller beteiligten Geräte durch die AG Technik.

Mit der Herausnahme der Konfigurationsleistungen kann die Anbieterzahl deutlich erhöht werden, da kein Fachwissen für das WLAN-Technik vorausgesetzt werden muss.

8 Leistungsverzeichnis

Standort	KUK	SDF	FWM	ZG2	FWS	KHS	GSZ	Gesamt
Richtfunk	5	0	4	3	1	0	0	13
Mesh	6	0	7	2	5	0	0	20
5GHz	3	2	3	1	4	0	0	13
Client	0	4	1	0	1	0	0	6
Switch (8)	0	1	0	0	0	0	0	1
Switch (16)	0	0	0	1	0	0	0	1
Switch (24)	1	0	1	0	0	0	0	2
USV	1	0	1	1	0	0	0	3
Server	1	0	1	1	0	0	0	3
Festplatten	1	0	1	1	1	1	1	6

Menge	Beschreibung
13	Richtfunkgerät auf 5 Ghz-Basis (Richtfunk) <ul style="list-style-type: none"> • Airmax-kompatibel • Durchsatz 450+ Mps • Singleband • Gigabit-Port
20	Sektorrouter (mit integrierter Antenne) für 2,4 GHz (Mesh) <ul style="list-style-type: none"> • Gluon-kompatibel (Freifunk-Firmware) • Durchsatz 150+ Mps¹⁰ • PtMP-fähig • Abstrahlwinkel: 60-120° (H) • Antennengewinn: 5-9 dBi
13	Sektorrouter für 5 GHz (5GHz) <ul style="list-style-type: none"> • Airmax-kompatibel • Gigabit-Port • Abstrahlwinkel: (90-120° (H), >= 15° (V)) • Antennengewinn: 13-16dBi
6	Omnirouter für 2,4 GHz (oder Dualband) (Client) <ul style="list-style-type: none"> • Gluon-kompatibel • Antennengewinn: 3-5dBi
1	Gigabit-Switch

¹⁰ Aussage AG-Technik: „Gluon auf 2,4 GHz macht per default mit HT20 nur 150 Mbit/s.“ Eine größere Bandbreite ist zwar wünschenswert, wird aber aktuell durch die Firmware nicht genutzt.

Menge	Beschreibung
	<ul style="list-style-type: none"> • 8x 1 GE-Ports • PoE-Host auf allen Ports (802.3af/at und 24V passiv) • managed (ohne Controller konfigurierbar) • 19"-Montage
1	Gigabit-Switch <ul style="list-style-type: none"> • 16x 1 GE-Ports • PoE-Host auf allen Ports (802.3af/at und 24V passiv) • managed (ohne Controller konfigurierbar) • 19"-Montage
2	Gigabit-Switch <ul style="list-style-type: none"> • 24x 1 GE-Ports • PoE-Host auf allen Ports (802.3af/at und 24V passiv) • managed (ohne Controller konfigurierbar) • 19"-Montage
3	USV <ul style="list-style-type: none"> • Rackeinbau • mit USB-/Netzwerkschnittstelle • 19"-Montage
3	Stromspar-Server <ul style="list-style-type: none"> • x86-kompatibel • mind. 2x Gigabit-Ethernet • mind. 3x USB (>=USB 2.0) • mind. Dualcore CPU • mind. 1.0 GHz • mind. 4 GB RAM • mind. 16 GB Flash-Speicher • 19"-Montage
6	Festplatten <ul style="list-style-type: none"> • mind. 1 TB Speicherplatz • optimiert für Dauerbetrieb • Formfaktor: 2,5" • SATA 6Gb/s • inkl. SATA-Daten-/Stromkabel (Anschlusskabel und Montagekit für Server)

Alle Router müssen außertauglich sein!