Inhaltsverzeichnis

Anlage 1: Sachverhaltsdarstellung

1 Planungsgrundlage 1
2 Bedarfsanforderung 2
3 Umfang der Maßnahme 3
3.1 Kostenübersicht 4
3.2 Aufteilung Kosten....5
Planungs- und Bauverwaltungskosten 5
Nürnberg 5
Fürth 5
3.3 Finanzierung....5
3.4 Zeitlicher Ablauf 5
4 Technische Beschreibung 6
4.1 20 kV-Schaltanlage 6
4.2 Fahrstromtransformatoren 6
4.3 Bahnhofstransformatoren und Werktrafo 7
4.4 Gleichstrom-Schaltanlage 7
4.5 Trennschalteranlage 7
4.6 Fernwirktechnik (zur Fernsteuerung) und zugehörige Schutztechnik 7
4.7 Speisekabel für die Fahrstromanlage 8
4.8 Notstromaggregat....8
5 Anlagenübersicht und -zustand 9

1 Planungsgrundlage

Die U-Bahn Nürnberg/Fürth besteht derzeit aus drei Linien mit 27 Stationen auf der U1 (davon 6 auf Fürther Stadtgebiet), 14 Stationen auf der U2 und 8 Stationen auf der U3, zuzüglich zwei sich im Bau befindlichen Bahnhöfen (siehe Anlage 2).
Auf die im Endausbau 49 Bahnhöfe verteilen sich insgesamt 21 Unterwerke (UW), i.d.R. an jedem dritten Bahnhof und einmal im Betriebshof Langwasser. Die Anlagen wurden im Zeitraum von 1972 bis 2020 in Betrieb genommen.
Die sechs Unterwerke der U-Bahn Nürnberg, die in diesem Projekt grunderneuert werden sollen, wurden zwischen 1978 und 1986 errichtet. Somit sind diese im Schnitt 41,2 Jahre alt. Die Lebensdauer von Transformatoren beträgt durchschnittlich 25 – 30 Jahre.
Im Anhang 2 des ÖDLA (Öffentlicher Dienstleistungsauftrag) der Stadt Nürnberg an die VAG ist für die Energieversorgung Bahnstrom eine betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von 20 Jahren angegeben.

Das technische Lebensdauerende von Betriebsanlagen ist abhängig von:

- Alter,
- Beanspruchung,
- Ausfallrate,
- Ersatzteilverfügbarkeit.

Durch das Alter und die Beanspruchung können Einzelkomponenten nicht getauscht werden, da Gehäuse, Klemmverbindungen etc. brüchig sind, d.h. bei einer Instandsetzung entstehen weitere Schäden an der Anlage.
Durch die steigende Ausfallrate ist die notwendige hohe Verfügbarkeit der Anlagen und das Einhalten des (n-1)-Prinzips* nicht mehr gewährleistet. Folgende Ausfälle traten in den letzten Jahren auf:

- Ausfall Bahnhofstransformator am U-Bahnhof Maffeiplatz im Jahr 2021
  Anlagenalter zum Zeitpunkt des Ausfalls: 47 Jahre / Baujahr 1974,
- Ausfall Fahrstromtransformator im Unterwerk Hauptbahnhof im Jahr 2022
  Transformatoralter zum Zeitpunkt des Ausfalls: 35 Jahre / Baujahr 1987,
- defekte Schutztechnik im Unterwerk Hauptbahnhof 2023 (keine Ersatzteile mehr verfügbar)
  Anlagenalter zum Zeitpunkt des Ausfalls: 45 Jahre / Errichtung UW 1978.

<u>Beteiligung der Stadt Fürth (infra fürth verkehr GmbH)</u>
Es wurde ein Zuwendungsantrag von der Stadt Nürnberg gestellt, der in Absprache mit der Stadt Fürth auch deren U-Bahnanlagen umfasst. Die Bauabwicklung wird von der Stadt Nürnberg durchgeführt. Die Kosten für das Unterwerk Jakobinenstraße werden mittels separater Bauaufträge direkt durch die Stadt Fürth beglichen.

***(n-1)-Prinzip:**
Das Netz (n) muss jederzeit den Ausfall eines Unterwerks (minus 1) verkraften können, ohne dass es zu Einschränkungen kommt.

2 Bedarfsanforderung

Für den Betrieb der U-Bahn muss ein ständig verfügbarer, hoher Energiebedarf vorgehalten werden. Üblicherweise befindet sich an jedem dritten Bahnhof ein Unterwerk, das die angebundenen Streckenabschnitte mit Fahrstrom und den UW-Bahnhof mit Niederspannung versorgt. Des Weiteren wird die 20kV-Leitung aus der Mittelspannungsanbindung des Unterwerks zu den benachbarten Bahnhöfen durchgeschleift. Dort wird mit eigenen Transformatoren die notwendige Niederspannung (für u. a. Beleuchtung, Aufzüge, Fahrtreppen, Kommunikationsanlagen, Zugsicherung, Brandschutzanlagen) erzeugt.
Um die erforderliche hohe Verfügbarkeit von Fahrstromversorgungsanlagen zu gewährleisten, werden diese grundsätzlich mit einer „n-1 – Redundanz“ ausgeführt. Konkret kann mit dieser Redundanz bei einem Ausfall eines Unterwerks die Fahrstromversorgung des Fahrbetriebes durch die benachbarten Unterwerke weiterhin aufrechterhalten werden. Für die Aufrechterhaltung des U-Bahn-Betriebes, ohne Ausfallzeiten, ist zur Erfüllung dieses Kriteriums die Erneuerung von sechs Unterwerken erforderlich.

3 Umfang der Maßnahme

Die Grunderneuerung Unterwerke der U-Bahn Nürnberg betrifft folgende Bahnhöfe:

- Hauptbahnhof (Kreuzungsbahnhof der Linien U1 und U2/U3)
- Maximilianstraße
- Jakobinenstraße (Stadt Fürth)
- Röthenbach
- Plärrer (Kreuzungsbahnhof der Linien U1 und U2/U3)
- Sankt Leonhard

Für diese Unterwerke ist die Erneuerung folgender Komponenten (siehe 4) notwendig:

- Mittelspannungsschaltanlage / siehe 4.1
- Transformatoren / siehe 4.2 und 4.3
- Gleichrichter und Gleichstrom-Schaltanlage / siehe 4.4
- Trennschalteranlage / siehe 4.5
- Fernwirktechnik / siehe 4.6
- Notstromaggregat mit zugehöriger Zu- und Abluftanlage (außer Hauptbahnhof, Jakobinenstraße und Plärrer) / siehe 4.8
- bauliche Anpassungen (Kernbohrungen, Raumanpassungen, Schaffung neuer Dieselraum)

Bei der Erneuerung handelt es sich um den Tausch technischer Komponenten (im Wesentlichem Trafo, Gleichrichter und Schaltanlagen). Die Funktion der Anlage bleibt gleich. Lediglich beim Brandschutz gibt es neue Anforderungen, die begrenzte bauliche Anpassungen in den Räumen der Energieversorgung erforderlich machen. Solche Unterwerkserneuerungen und Raumertüchtigungen wurden bereits durchgeführt, so dass hier fundierte Erfahrungen vorliegen und auf Realkosten aus der Vergangenheit zurückgegriffen werden können.

4.5 Trennschalteranlage .....
4.6 Fernwirktechnik (zur Fernsteuerung) und zugehör
4.7 Speisekabel für die Fahrstromanlage .....
4.8 Notstromaggregat .....
5 Anlagenübersicht und -zustand .....
6 Mitgeltende Unterlagen .....
7 Abkürzungsverzeichnis .....
Anlage 2: Streckenübersicht U-Bahn Nürnberg, Linien
Anlage 3: Terminplan .....
Anlage 4: Anlagenzustand und Ersatzteilverfügbarkeit

3.1 Kostenübersicht

Anlage	Haupt-bahnhof	Jakobinen-straße	Plärrer	Maximilian-straße	Röthen-bach	Sankt Leonhard
MS-Anlage	860.000 €	390.000 €	860.000 €	390.000 €	390.000 €	390.000 €
Trafo	320.000 €	320.000 €	320.000 €	320.000 €	320.000 €	320.000 €
Trennschalteranlage	360.000 €	180.000 €	360.000 €	180.000 €	180.000 €	180.000 €
Gleichrichter	220.000 €	110.000 €	220.000 €	110.000 €	110.000 €	110.000 €
GS-Anlage	520.000 €	260.000 €	520.000 €	260.000 €	260.000 €	260.000 €
Fernwirktechnik	180.000 €	180.000 €	180.000 €	180.000 €	180.000 €	180.000 €
Elektroinstallation	350.000 €	10.000 €	350.000 €	10.000 €	10.000 €	10.000 €
Kabel + Verlegung	290.000 €	30.000 €	290.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €
Gesamt:	**3.100.000 €**	**1.800.000 €**	**3.100.000 €**	**1.800.000 €**	**1.800.000 €**	**1.800.000 €**
Notstromaggregat	-	-	-	350.000 €	350.000 €	350.000 €
Brandschotts und Durchführungen verschließen	40.000 €	30.000 €	40.000 €	30.000 €	30.000 €	30.000 €
Bauliche Maßnahmen						
Umnutzung DI- zu TS-Raum	-	50.000 €	-	-	-	-
Anpassung Raum BR444 für 20kV Interimsmaßnahme (Mauererarbeiten, Bodenbehandlung…)	13.000 €	-	-	-	-	-
Malerarbeiten UW + TS-Raum	8.000 €	8.000 €	8.000 €	8.000 €	8.000 €	8.000 €
Metallbau (evtl. Rahmen für Schaltanlagen zum Ausgleich der Bodendurchbrüche notwendig)	18.000 €	10.000 €	18.000 €	10.000 €	10.000 €	10.000 €
Errichten neuer Dieselraum	-	-	-	-	170.000 €	-
Anpassung Zu- Abluftkanal Dieselraum	-	-	-	90.000 €	-	80.000 €
Kernbohrungen + Abstützung	7.000 €	5.000 €	20.000 €	-	-	-
Gesamt bauliche Maßnahmen:	**46.000 €**	**73.000 €**	**46.000 €**	**108.000 €**	**188.000 €**	**98.000 €**
Summe	**3.186.000 €**	**1.903.000 €**	**3.186.000 €**	**2.288.000 €**	**2.368.000 €**	**2.278.000 €**

Das Investitionsvolumen für die technischen Anlagen beträgt in **Summe 15,209 Mio. Euro**.
Die baulichen Anpassungen in den Technikräumen sind je Unterwerk individuell zu planen.

3.2 Aufteilung Kosten

Planungs- und Bauverwaltungskosten

Die Planungskosten (inkl. Baubegleitung) betragen 10% der Gesamtkosten:
1,521 Mio. Euro.

Nürnberg

Der Anteil, der durch die Stadt Nürnberg zu finanzieren ist, beträgt: **13,306 Mio. Euro,**
inkl. Planungs- und Bauverwaltungskosten in Höhe von 0,333 Mio. Euro: **14,770 Mio. Euro.**

Fürth

Der Anteil, der durch die Stadt Fürth zu finanzieren ist, beträgt: **1,903 Mio. Euro.**

3.3 Finanzierung

Für diese Maßnahme wurde am 10.09.2024 ein Zuwendungsantrag bei der Regierung von Mittelfranken eingereicht. Der Fördersatz nach GVFG wird dabei mit 50% für die zuwendungsfähigen Kosten erwartet.

Somit ergeben sich voraussichtlich folgende Kostenanteile:

Gesamtkosten der Maßnahme:	17.110.125 €
Davon zuwendungsfähige Kosten der Maßnahme:	15.209.000 €
Höhe der beantragten zuwendungsfähigen Kosten (50%)	7.604.500 €
Eigenanteil (Gesamtkosten abzgl. Finanzhilfen)	9.505.625 €

Davon entfallen auf

	Gesamtkosten	Zuwendungen	Eigenanteil
Stadt Nürnberg	14.969.250 €	6.653.000 €	8.316.250 €
infra fürth verkehr gmbh	2.140.875 €	951.500 €	1.189.375 €

Die Finanzierung erfolgt aus dem MIP-Ansatz E5470131600U. Die Mittel werden aus der Pauschale P5476500000U „U-Bahn: Erneuerungs- und Ergänzungsmaßnahmen“ bereitgestellt.

3.4 Zeitlicher Ablauf

Im Jahr 2024 erfolgt die Planung und Ausschreibung für die erste Grunderneuerung des Hauptbahnhofes 2025. Die weiteren UW sollen im Zeitraum von 2026 – 2029 (siehe Terminplan in Anlage 3) erneuert werden. Die Erneuerung der Unterwerke ist so durchzuführen, dass immer beide benachbarten Unterwerke für die Aufrechterhaltung des Fahrbetriebs aktiv sind. Hier ist eine Abstimmung der Stadt Nürnberg mit der VAG für eine konkrete Festlegung der Kosten für die einzelnen Jahre erforderlich.

4 Technische Beschreibung

In den Unterwerken wird Energie aus dem öffentlichen 20 kV – Mittelspannungs-Drehstromnetz bezogen. Für Steuerung, Beleuchtung und technische Bahnhofsgebäudeausrüstung werden die Spannung von 20 kV mittels Bahnhoftrafos in 0,4 kV gewandelt. Für den Fahrstrom wird die Spannung 20 kV mittels einer Transformator-Gleichrichter-Einheit zu einem Gleichstrom mit einer Spannung von 750 V umgeformt. Der Gleichstrom, welcher als Fahrstrom den Fahrzeugen dient, wird über eine Gleichstrom-Schaltanlage verteilt und den einzelnen Speiseabschnitten über die Speise-Kabel, der Stromschiene zugeführt. Die Rückführung des Stroms zum Unterwerk erfolgt über die Fahrschienen, welche über Rückleitungskabel mit dem Unterwerk verbunden sind.

Beschreibung der hauptsächlichen technischen Komponenten eines Unterwerks:

4.1 20 kV-Schaltanlage

Als Mittelspannungsschaltanlage wird eine luftisolierte Schaltanlage mit Nennspannungen bis 24 kV vorgesehen. Sollte aufgrund der räumlichen Möglichkeiten keine luftisolierte Anlage möglich sein, wird eine gasisolierte Schaltanlage nach der aktuell gültigen F-Gas-Verordnung geplant.

Planung, Einbau und Inbetriebnahme der Übergabestation (MS-Schaltanlage) erfolgt nach den Vorgaben der Technischen Anschlussbedingungen für Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (nach VDE-AR-N 4110) sowie der Ergänzungen des örtlichen Netzbetreibers.

Die Übergabestation beinhaltet eine Sticheinspeisung aus dem 20 kV-Netz zur Einschleifung des Stromanschlusses, einem Leistungsschalterfeld als Übergabeschalter sowie einem Messfeld zur Energiezählung. Über das Leistungsschalterfeld, inklusive dessen Schutzgerät und das Messfeld, werden die Fahrstrom- und Bahnhoftransformatoren versorgt. Im Schutzgerät wird der Schutz bei Überstrom und Kurzschluss sichergestellt. Im Messfeld werden die zur Energiezählung erforderlichen Strom- und Spannungsgrößen über Messwandler an die Zähleinrichtung des örtlichen Stromversorgers herausgeführt.

4.2 Fahrstromtransformatoren

Die beiden Fahrstromtransformatoren sind als Trockentransformatoren ausgeführt, wobei ein Transformator in Schaltgruppe Dy5 und der Zweite in Schaltgruppe Yy0 konzipiert ist. Die Trafonennleistung ist mit 2 x 2,2 MVA vorgesehen. Gem. DIN EN 50329 wird Belastungsklasse V angewandt. In dieser Ausführung kann eine Leistung des 1,5-fachen der Nennleistung für zwei Stunden und eine Leistung des 2-fachen der Nennleistung für 60 Sekunden zur Verfügung gestellt werden. Die Ausführung erfolgt nach VDE 0532 und DIN EN 60076 für Innenraumaufstellung - schwer entflammbar und selbstverlöschend.

Es darf durch innere Fehler nicht zur Selbstentzündung kommen sowie im Brandfalle keine toxischen und explosiven Gase entstehen (ausgenommen CO).
Die Schaltgruppe Dy5 wird vorgesehen, um aus den beiden dadurch erzeugten Drehstromsystemen einen 12-pulsigen Gleichstrom mit geringer Restwelligkeit erzeugen zu können. Die von 20 kV auf 750 V transformierte Spannung wird dem Diodengleichrichter zugeführt, den Gleichrichterfeldern nachgeordnet ist die Gleichstromschaltanlage.

4.3 Bahnhofstransformatoren und Werktrafo

Zur Versorgung des Bahnhofes (Beleuchtung, Fahrtreppen, Aufzüge, Zuginformationssystem, Zielanzeigesystem, etc.) gibt es im Unterwerk zwei zusätzliche Transformatoren. Da diese die gleiche Lebensdauer besitzen, mit Ausfällen in Zukunft zu rechnen ist und der gemeinsame Austausch mit den anderen Transformatoren diverse organisatorische, finanzielle sowie räumliche Vorteile bietet, sollen die Bahnhofstransformatoren bei der Erneuerung des Unterwerkes mit getauscht werden. Es kommen Drehstrom-Gießharztrafo nach DIN EN 60076-11/VDE 0532-76-11, für Innenraumaufstellung, schwerentflammbar und selbstverlöschend, zur Anwendung.

Sie dürfen durch innere Fehler nicht selbstentzünden und im Brandfalle keine toxischen und explosiven Gase freisetzen (ausgenommen CO). Die Transformatoren liefern 400 V Wechselspannung und sind in der Schaltgruppe Dyn5 ausgeführt. Die noch vorhandenen Werktransformatoren zur Versorgung des Unterwerks mit Niederspannung werden nicht mehr benötigt. Die Versorgung erfolgt über die vorhandenen Bahnstromtransformatoren und entfallen somit bei der Erneuerung.

4.4 Gleichstrom-Schaltanlage

Diese verfügt über ein Einspeise- und ein Rückleiterfeld zum Anschluss sowohl der Plus- und Minusleitungen der Gleichrichtereinheit als auch der vom Gleis kommenden Rückleiterkabel. Ein Gerüstschlussschutz zum Erkennen und sicheren Abschalten von Isolationsfehlern der Anlage ist darin ebenso enthalten. Aus dem Einspeise-Rückleiterfeld wird auch die Gleichstromsammelschiene zu den nachfolgenden Streckenabgangsfeldern geführt.

4.5 Trennschalteranlage

Diese beinhalten die Leistungsschalter inkl. Schutzgerät zum Schutz gegen Überstrom und Kurzschlussstrom auf der Streckenseite. Die Leistungsschalter dienen dazu die einzelnen Streckenabschnitte zu- oder abzuschalten.

4.6 Fernwirktechnik (zur Fernsteuerung) und zugehörige Schutztechnik

Um Meldungen zur Zentralen Serviceleitstelle der VAG und Schaltbefehle von dieser an die Anlage vor Ort übertragen zu können ist ein Fernwirkgerät vorgesehen. Die Umschaltung der gesamten Anlage sowie einzelner Anlageteile von Ort/Fern auf Ort im Falle von Arbeiten an der Anlage wird aus Gründen der Arbeitssicherheit vorgesehen. Die Übertragungstechnik steuert und überwacht im Wesentlichen nachstehende Anlagen:

- 20 kV-Schaltanlage
- 750 V Gleichstromschaltanlage
- NS-Schaltanlage
- Notstromaggregat
- Lüftungsanlage im Unterwerk
- Transformatoren
- 20 kV-Verrieglung zu den Nachbarunterwerken

Das Fernwirkgerät und die Schutzgeräte der Mittelspannungs- und Gleichstromschaltanlage werden aus einer DC60 V-Batterie versorgt. Der Ladegleichrichter hierfür sorgt für eine

permanente Erhaltungsladung der DC60 V-Batterie und entnimmt die Leistung dafür dem Niederspannungsnetz der Station. Somit können auch bei Netzausfall Schaltbefehle und Anlagenmeldungen zwischen zentraler Serviceleitstelle und UW übertragen werden.

Das Fernwirkgerät ist über LWL-Telekommunikationsleitungen des konzerneigenen Kommunikationsnetzes mit der Zentralen Serviceleitstelle der VAG verbunden.

4.7 Speisekabel für die Fahrstromanlage

Die Speisekabel für den Anschluss an die Stromschiene und die Rückleiterkabel für den Anschluss am Gleis werden vom Unterwerk zur Einspeisestelle geführt.

4.8 Notstromaggregat

Bei einem Ausfall der 20 kV-Mittelspannung übernimmt das dieselbetriebene Notstromaggregat die Versorgung sicherheitsrelevanter Verbraucher auf der 0,4 kV-Spannungsebene im U-Bahnhof, sowie der angrenzenden Tunnelabschnitte. Nach Normalisierung der Netzspannung wird das Notstromaggregat automatisch abgeschaltet und die Versorgung durch das 20 kV-Netz wieder zugeschaltet.

Das stationäre Notstromaggregat, ausgeführt nach DIN 6280 Teil 13, besteht aus einem Dieselmotor (4-Takt 6-Zylinder-Motor mit Abgasturbolader und luftgekühltem Luftladekühler mit Hochdruck-Kraftstoffeinspritzung) mit einer Leistung von mindestens 250 kW. Der nachgeschaltete Generator, gebaut nach DIN VDE 60034, mit selbsterregter und selbstregelnder 4-poliger Innenpolsynchronmaschine in bürstenloser Ausführung, liefert eine Leistung von mindestens 250 kVA.

Bauliche Maßnahmen sind in drei Unterwerken erforderlich. Im Unterwerk Röthenbach muss ein neuer Diesel-Raum geschaffen werden, im Unterwerk Sankt Leonhard wird die Zuluft zukünftig durch einen neuen Zuluftkanal von der Oberfläche zugeführt, im Unterwerk Maximilianstraße müssen die Querschnitte für Zu- und Ablufteinlässe vergrößert werden.

5 Anlagenübersicht und -zustand

Den zeitlichen Ablauf der Erneuerung der 6 Unterwerke stellt Anlage 3 dar.
Anlage 4 zeigt die Übersicht zum Anlagenzustand und die Ersatzteilverfügbarkeit der einzelnen Anlagenteile. Dabei ist zu erwähnen, dass wesentliche Ersatzteile abgekündigt sind, der eigene Ersatzteilvorrat knapp und die Nachbeschaffung nur mit großem Aufwand zu bewerkstelligen (z.B. über Sonderanfertigungen) ist. Tabelle 1 und Tabelle 2 listen alle Maßnahmen zur Instandhaltung, Wartung und Störungsbehebung im Zeitraum von 2018 bis 2023 auf.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Gesamt
Wartungen	**30**	**30**	**30**	**31**	**30**	**12**	**163**
Hauptbahnhof	4	4	4	4	4	3	23
Maximilianstraße	5	5	5	5	5	5	30
Jakobinenstraße	5	5	5	5	5	0	25
Plärrer	6	6	6	7	6	0	31
Röthenbach	5	5	5	5	5	4	29
St. Leonhard	5	5	5	5	5	0	25

Tabelle 1: Übersicht aller Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen von 2018 bis 2023 (Hauptbahnhof ohne Notstromdiesel)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Gesamt
Störung	**12**	**10**	**5**	**20**	**20**	**5**	**94**
Hauptbahnhof	3	1		7	7	4	22
Maximilianstraße	2	3	2	2	8	3	20
Jakobinenstraße	3	1	1	5	0	0	10
Plärrer	6	6	1	9	4	0	26
Röthenbach	0	0	1	3	4	2	10
St. Leonhard	1	0	0	1	4	0	6

Tabelle 2: Übersicht aller Störungen von 2018 bis 2023