

Maßnahme:

Verlängerung U4 – Bockenheimer Warte nach Ginnheim (Stadtbahnstrecke D, Teilabschnitt 2)

Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie/ Variantenuntersuchung

Stand: 17.09.2024 (Version 1)

Auftraggeberin:



Stadtbahn Entwicklung und
Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH
Mainzer Landstraße 191
60327 Frankfurt am Main

Auftragnehmerin:



Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
Lindleystraße 11
60314 Frankfurt am Main

Im Auftrag von:



Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	8
1.1	Veranlassung	8
1.2	Politischer Hintergrund	10
1.3	Projekt- und Planungshistorie.....	11
2.	Beschreibung des Projektes	14
2.1	Ziele und Potenziale des Projektes „Verlängerung U4“	14
2.2	Lage und geplante Einbindung im Netz.....	14
2.3	Herangehensweise / Ablauf der Machbarkeitsstudie	15
3.	Planungsgrundlagen	18
3.1	Bestandsunterlagen	18
3.2	Zu beschaffende Planungsgrundlagen	18
3.3	Geotechnische und hydrogeologische Grundlagen	18
3.4	Betriebliche Anforderungen an die Trasse bzw. spätere Strecke.....	18
3.5	Betriebliche Anforderungen an die Stationen	18
3.6	Regelwerke, Richtlinien und Normen	19
4.	Variantenbeschreibung	20
4.1	Allgemeine Beschreibung der Varianten	21
4.1.1	Tunnel Variante 1a	21
4.1.2	Tunnel Variante 1d	21
4.1.3	Tunnel Variante 3i	21
4.1.4	Oberirdische Streckenführung	21
4.2	Gleisologie und Trassierung.....	22
4.2.1	Anschluss an das Bestandsnetz	22
4.2.2	Grundsätzliche Planungsparameter	22
4.2.2.1	Gleisanlage	22
4.2.2.2	1-gleisige oder 2-gleisige Tunnel.....	22
4.2.2.3	Station “Campus Westend” in Variante 3i.....	23
4.2.2.4	Notausstiegsbauwerke	24
4.2.3	Vorgehen bei der Entwicklung von Trassierungsvarianten	25
4.2.4	Variantschar in der 1. Planungsstufe	26
4.2.5	Variantschar in der 2. Planungsstufe (tiefergehende Untersuchung)	26
4.2.6	Beeinflussende Faktoren bei den Trassierungsvarianten	26
4.3	Beschreibung der Trassierungsvarianten	27
4.3.1	Variante 1a	27
4.3.2	Variante 1d	28
4.3.3	Variante 3i	28
4.4	Geotechnische Randbedingungen	29
4.5	Trog- und Tunnelbauwerke	31
4.5.1	Allgemeines	31

4.5.2	Tunnel offene Bauweise	31
4.5.2.1	Allgemeines	31
4.5.2.2	Querschnitt.....	32
4.5.2.3	Ausbau.....	33
4.5.2.4	Überdeckung.....	33
4.5.2.5	Grundwasser.....	33
4.5.2.6	Tragwerksplanung.....	33
4.5.2.7	Baustoffe, Konstruktion	33
4.5.3	Tunnel geschlossene Bauweise	34
4.5.3.1	Allgemeines	34
4.5.3.2	Querschnitt.....	35
4.5.3.3	Ausbau.....	35
4.5.3.4	Überdeckung.....	35
4.5.3.5	Grundwasser.....	35
4.5.3.6	Erschwernisse / Hindernisse im Baugrund	35
4.5.3.7	Tragwerksplanung.....	36
4.5.3.8	Baustoffe, Konstruktion	36
4.5.4	Notausstiege	37
4.5.4.1	Allgemeines	37
4.5.4.2	Ausbau.....	37
4.5.4.3	Grundwasser.....	37
4.5.4.4	Tragwerksplanung.....	37
4.5.4.5	Baustoffe, Konstruktion	37
4.5.5	Station „Campus Westend“ (Variante 3i)	38
4.5.5.1	Allgemeines	38
4.5.5.2	Stationsgeometrie	39
4.5.5.3	Bahnsteig.....	39
4.5.5.4	Zugangsbauwerke/ Aufzug.....	40
4.5.5.5	Entrauchung.....	40
4.5.5.6	Baustoffe, Konstruktion	40
4.5.5.7	Raubildender Ausbau.....	40
4.5.5.8	Anschluss Versorgungsleitungen	40
4.5.5.9	Oberfläche	41
4.5.5.10	Grundwasser.....	41
4.5.5.11	Tragwerksplanung.....	41
4.5.6	Oberirdische Strecke	41
4.5.6.1	Gleisquerschnitt	41
4.5.6.2	Ausbau.....	41
4.5.6.3	Bauwerke.....	41
4.5.7	Verkehrs- und Grünanlagen sowie Trassenumlegungen	43
4.5.8	Entwässerungskonzept	44
5.	Rettings-, Lüftungs- und Brandschutzkonzeption	45
5.1	Allgemeines	45
5.2	Rettingskonzeption	45
5.2.1	Grundsätze der Rettingskonzeption	45

5.2.2	Selbstrettung	45
5.2.3	Fremdrettung	46
5.2.4	Flucht- und Rettungswege	46
5.2.4.1	Tunnelstrecken	46
5.2.4.2	Unterirdische Stationen	46
5.2.5	Zufahrten und Rettungsplätze	47
5.3	Brandschutz- und Lüftungskonzeption	47
5.3.1	Übergreifendes	47
5.3.1.1	Tunnelabschnitte	47
5.3.1.2	Station „Campus Westend“	48
6.	Ausrüstungstechnische Systeme	49
6.1	Bahnstromversorgung und Fahrleitungsanlage	49
6.1.1	Bahnstromversorgung	49
6.1.2	Fahrleitungsanlage	49
6.1.2.1	Tunnelbereich	49
6.1.2.2	Fahrleitungssystem in Rampen und an der oberirdischen Strecke	50
6.2	Leit- und Sicherungstechnik (LST)	50
6.3	Nachrichten- und Informationstechnik	50
6.4	50 Hz-Elektroenergieversorgung	51
6.4.1	Tunnelbereich	51
6.4.2	Unterirdische Station „Campus Westend“	51
6.4.3	Oberirdische Stationen	52
6.5	Erdung/ Potentialausgleich	52
7.	Genehmigungsrechtliche Aspekte	53
7.1	Betroffenheiten	53
7.2	Grunderwerb	53
7.3	Planrechtsverfahren	54
8.	Umweltrechtliche Betrachtungen	55
8.1	Gewässer- und Naturschutz	55
8.1.1	Allgemeine UVP-Vorprüfung	55
8.1.2	Hydrogeologische Vorerkundung	57
8.1.2.1	Allgemeines	57
8.1.2.2	Betrachtete Varianten	57
8.1.2.3	Fragestellungen der hydrogeologischen Bewertung	58
8.1.2.4	Hydrogeologisches Untersuchungsgebiet	58
8.1.2.5	Erkundungsmaßnahmen	58
8.1.2.6	Geologische und hydrogeologische Situation	59
8.1.2.7	Grundwasserverhältnisse und Flurabstände	61
8.1.2.8	Hydrochemie und Grundwasserverunreinigungen	62
8.1.2.9	Einrichtung und Kalibrierung Grundwassermodell	63
8.1.2.10	Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 1a	64

8.1.2.11	Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 1d	64
8.1.2.12	Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 3i	64
8.1.2.13	Potenzielle Auswirkungen Grundwasserentnahmen/ Permanente Wirkungen....	65
8.1.2.14	Vergleichende Bewertung der Trassenvarianten	66
8.1.3	Naturschutz und Biodiversität	67
8.1.4	Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen	67
8.1.5	Ersteinschätzung zu Altstandorten und Altablagerungen	70
8.2	Schall- und Erschütterung	70
8.2.1	Schallschutz	70
8.2.1.1	Betriebsbedingte Immissionen	70
8.2.1.2	Baustellenbedingte Immissionen.....	70
8.2.2	Erschütterungsschutz	71
8.2.2.1	Betriebsbedingte Immissionen	71
8.2.2.2	Baustellenbedingte Immissionen.....	71
8.3	Streustrom und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	72
8.4	Kampfmittel	72
8.5	Sicherstellung 2. Rettungsweg	72
9.	Bauausführung und Bauzeit	73
9.1	Allgemeines zur Bauausführung.....	73
9.2	Bauausführung Tunnel Variante 1a in offener Bauweise	73
9.3	Bauausführung Tunnel Variante 1d in geschlossener Bauweise	74
9.4	Bauausführung Tunnel Variante 3i in geschlossener Bauweise	74
9.5	Bauausführung oberirdische Strecke.....	75
9.6	Konzeption TBM–Vortriebe	76
9.7	Baustelleneinrichtungsflächen und verkehrliche Anbindung	79
10.	Grobkostenschätzung	80
10.1	Allgemein	80
10.2	Übergeordnete Kostenanteile.....	80
10.3	Betriebserschwerungskosten	80
10.4	Preisstand und Risikozuschläge.....	81
10.5	Hinweise zur Ermittlung der Kosten.....	81
10.5.1	Bautechnik	81
10.5.2	Technische Ausrüstung	81
10.5.3	Grunderwerb, Entschädigungen, Versicherungen	81
10.5.4	Vorlaufende Untersuchungen und Gutachten	81
10.6	Ergebnisse	82
10.7	Betrachtung der Varianten innerhalb der standardisierten Bewertung	82
11.	Hinweise zur Machbarkeitsstudie	83
12.	Variantenbewertung aus Sicht der Nachhaltigkeit	86
12.1	Allgemeines	86

12.2	Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung	87
13.	Fazit und Empfehlung	89
14.	Abkürzungsverzeichnis	93

Anlagenverzeichnis

Anlage	Bezeichnung	Ersteller	Stand
1	Geotechnischer Untersuchungsbericht	CDM-Smith	27.05.2024
2	Tunnelbautechnische Voruntersuchung	CDM-Smith	29.05.2024
3	Hydrogeologische Vorerkundung	BGU	12.07.2024
4	Gutachterliche Stellungnahme zu Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen	Grün ³	22.04.2024
5	UVP-Vorprüfung und Artenschutzprognose	NaturProfil	24.07.2024/ 29.08.2024
6	Erläuterungsbericht Nachhaltigkeitsbewertung	LPI	23.08.2024
7	Erläuterungsbericht CO ₂ -Bilanz	LPI	23.08.2024
8	Ersteinschätzung im Hinblick auf Altstandorte und Altablagerungen	Umweltamt Stadt Frankfurt	23.01.2024
9	Ersteinschätzung im Hinblick auf Naturschutz und Biodiversität	Umweltamt Stadt Frankfurt	16.02.2024
10	Planunterlagen der 3 Trassierungsvarianten (Lageplan und Gradienten)	Schüßler-Plan	März 2024

1. Einleitung

1.1 Veranlassung

In den 1960er Jahren hat die Stadt Frankfurt am Main den Bau einer Stadtbahn erst beschlossen und dann umgesetzt. Vorgesehen waren die vier Strecken A bis D, doch nicht alle wurden auch gebaut. Heute hat die Frankfurter Stadtbahn drei Grundstrecken: „A“ (mit den Linien U1, U2, U3, U8 und U9), „B“ (mit U4 und U5) sowie „C“ (U6 und U7). Im Februar 2001 wurde der erste („D I“) von vier Teilabschnitten einer neuen „D“-Strecke in Betrieb genommen. Ein weiterer Teil, die Riedbergspange („D IV“), folgte als oberirdischer Neubau im Dezember 2010. Ein bisher noch nicht realisierter Abschnitt ist der „DII“-Abschnitt, siehe nachfolgende Abbildung 1.



Abbildung 1: Streckennetz Frankfurter Grundstrecken

Die Stadt Frankfurt will mit dem DII-Abschnitt eine Lücke im U-Bahn-Netz schließen¹ – und zwar zwischen den U-Bahn-Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“, die zum jetzigen Zeitpunkt jeweils Endhaltestellen sind. Deshalb hat die Stadt Frankfurt am Main – vertreten durch den Magistrat, vertreten durch das Dezernat XII - Mobilität – über die Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main GmbH (VGF) die Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH (SBEV) beauftragt, verschiedene Trassenvarianten zu entwickeln und im Zuge einer Machbarkeitsstudie zu untersuchen.

¹ Quelle: „§ 2325 Beschlussausfertigung aus der 18. Sitzung des Verkehrsausschusses“ am 20.02.2018, dazu „Bericht B 430“ vom 22.12.17.

Hierzu werden die Varianten unter Einbindung eines Planungsbüros entwickelt und unter Einbindung verschiedener Fachgutachten auf ihre Machbarkeit hin überprüft. Dabei werden Vor- und Nachteile auch in puncto Nachhaltigkeit, CO₂-Footprint und Auswirkungen auf die Vegetation (z.B. Bäume im Grüneburgpark) ermittelt, die dann auf politischer Ebene gegeneinander abgewogen werden können. Die Entscheidung für eine Variante erfolgt durch die Frankfurter Stadtverordnetenversammlung als die gewählte Interessensvertretung der Menschen in Frankfurt.

Seit Jahren operieren die Linien der A-Strecke, deren Endpunkt die Station „Südbahnhof“ ist, insgesamt am Limit. Die A-Strecke ist voll ausgelastet. Der geplante Ausbau des U-Bahn-Netzes hätte verschiedene Vorteile:

- Der Lückenschluss würde es ermöglichen, die A-Strecke über die D-Strecke zu entlasten, die beide aus der Innenstadt Richtung Norden führen.
- So wäre eine bessere Verbindung aus den nördlichen Stadtteilen in Richtung Innenstadt und Hauptbahnhof möglich – und umgekehrt.
- Zudem könnten Passagiere bei Störungen oder einer Havarie auf einer der Strecken künftig auf eine zweite Strecke ausweichen.
- Je nach Trassenverlauf unterschiedlich zentral besteht zudem die Chance, neben der eher peripher gelegenen U-Bahn-Station „Holzhausenstraße“ eine direkte Anbindung des Universitäts-Campus Westend an das U-Bahn-Netz sowie an Innenstadt und Hauptbahnhof zu ermöglichen, wovon Mitarbeitende, Studierende und Anwohnende gleichermaßen profitieren könnten. Das hat besondere Relevanz vor dem Hintergrund der internationalen Bedeutung der Goethe-Universität Frankfurt am Main.
- Unter anderem für die Mitarbeitenden der Bundesbank ist die Verbindung der beiden D-Teilstrecken interessant, die eine weitere durchgehende Nord-Süd-Verbindung ermöglicht.
- Für alle Nutzenden des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) in Frankfurt am Main bedeutet der Ausbau eine signifikante Verbesserung des Angebots und damit eine Steigerung der Qualität.
- Eine noch größere Attraktivität des ÖPNV ist insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels, dessen Folgen und auch Folgekosten nur mit einer Mobilitätswende bewältigt werden können, von besonderer Bedeutung und Relevanz.

In Zahlen ausgedrückt würde der geplante Ausbau des U-Bahn-Netzes bewirken²:

- Es wird mit rund 12.000 zusätzlichen Fahrgästen pro Tag gerechnet.
- Rund 15.000 Fahrgäste könnten von der bestehenden „A-Strecke“ – auf der die Linien am Kapazitätslimit operieren – auf die neue Strecke umsteigen.
- Je nach Variante werden rund 3.000 bis 5.000 Umsteiger von der Straßenbahnlinie 16 auf die U-Bahn erwartet.

Den Ausbau des Bahn- und Busverkehrs bejahen 74 Prozent der Frankfurter Bürger und Bürgerinnen; nur sieben Prozent lehnen ihn ab³.

² „Ergebnisbericht zum Lückenschluss der Stadtbahn Ginnheim – Bockenheimer Warte“, Stadt Frankfurt, 2015

³ „Ergebnisse der Umfrage Leben in Frankfurt 2021“ der Stadt Frankfurt am Main, 31. März 2022, S.10, Abb. 10.2.

1.2 Politischer Hintergrund

Der Klimawandel zählt zu den größten Herausforderungen unserer Zeit. Nur mit einer Verkehrs- und Energiewende können die Klimaziele erreicht und die Klimaschäden sowie die damit verbundenen Kosten vermieden werden.

Im deutschen Verkehrssektor soll die Jahresemissionsmenge an klimawirksamen Gasen bis 2030 reduziert werden. Das sieht das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) vor dem Hintergrund des Europäischen Green Deal in seiner Fassung aus dem Jahr 2021 vor. Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral werden. Für den Verkehrssektor bedeutet dieses Ziel eine Reduktion der Treibhausgasemissionen auf „Null“. Faktisch stagnieren die Emissionen allerdings seit 30 Jahren auf hohem Niveau.

Um dieses ambitionierte Ziel dennoch zu erreichen, muss der motorisierte Individualverkehr im Modal Split rapide an Bedeutung verlieren.

Die sich ändernden Anforderungen an die Mobilität⁴ sind Ausgangspunkt für die Entwicklung des „Gesamtverkehrsplans Teil Schiene 2035+“ in Frankfurt am Main. Dabei handelt es sich um ein fachlich begründetes Handlungskonzept, das politisch beschlossen werden soll. Aktuelle Informationen und Unterlagen werden auf der Homepage der Stadt Frankfurt und Verkehrsplanung zur Verfügung gestellt.⁵ Die Verlängerung der Stadtbahnlinie U4 von der Bockenheimer Warte nach Ginnheim wird dabei als realisiert unterstellt.

Im Nahverkehrsplan der Stadt Frankfurt am Main 2025+ aus dem Jahr 2021 wird ausgeführt:

„Auf einzelnen Relationen fehlen im U-Bahn-Netz wichtige Lückenschlüsse bzw. Verknüpfungen zu nahegelegenen Umsteigepunkten zum weiteren S- und U-Bahn-Netz (z. B. zwischen Ginnheim und Bockenheim [...]). [...] Auf einigen Streckenabschnitten – insbesondere auf der Linie U4 – sind die Kapazitätsgrenzen vor allem in den Hauptverkehrszeiten fast erreicht.“⁶

⁴ Die Einflüsse auf diese Veränderung sind vielfältig und im steten Wandel. Aktuell umfassen sie unter anderem die auf Bundesebene formulierten Klimaschutzziele, die Corona-Pandemie und energiepolitischen Fragen, die sich aufgrund des Angriffskriegs der Russischen Föderation gegen den souveränen Nachbarstaat Ukraine stellen.

⁵ „Gesamtverkehrsplan Schiene 2035+“ | Stadt Frankfurt am Main

⁶ Nahverkehrsplan_der_Stadt_Frankfurt_am_Main_2025_.pdf (traffiq.de), S. 33.

1.3 Projekt- und Planungshistorie

Die Frankfurter U-Bahn hat – seit Eröffnung des ersten Abschnitts im Oktober 1968 über Jahrzehnte gewachsen – drei Grundstrecken:

- Grundstrecke „A“ mit den Linien U1, U2, U3 und U8,
- Grundstrecke „B“ mit den Linien U4 und U5 sowie
- Grundstrecke „C“ mit den Linien U6 und U7.

Mit der Inbetriebnahme des Abschnitts Hauptbahnhof – Bockenheimer Warte (der „D I“-Abschnitt) im Februar 2001 wurde der erste von vier Teilabschnitten einer neuen „D“-Strecke dem Betrieb übergeben. Ein weiterer Teil, der „Riedbergspange“ genannte „D IV“-Abschnitt (zwischen dem Abzweig hinter der Station „Niederursel“ und dem Anschluss an die Bestandsstrecke der Linie U2), folgte als oberirdischer Neubau im Dezember 2010.

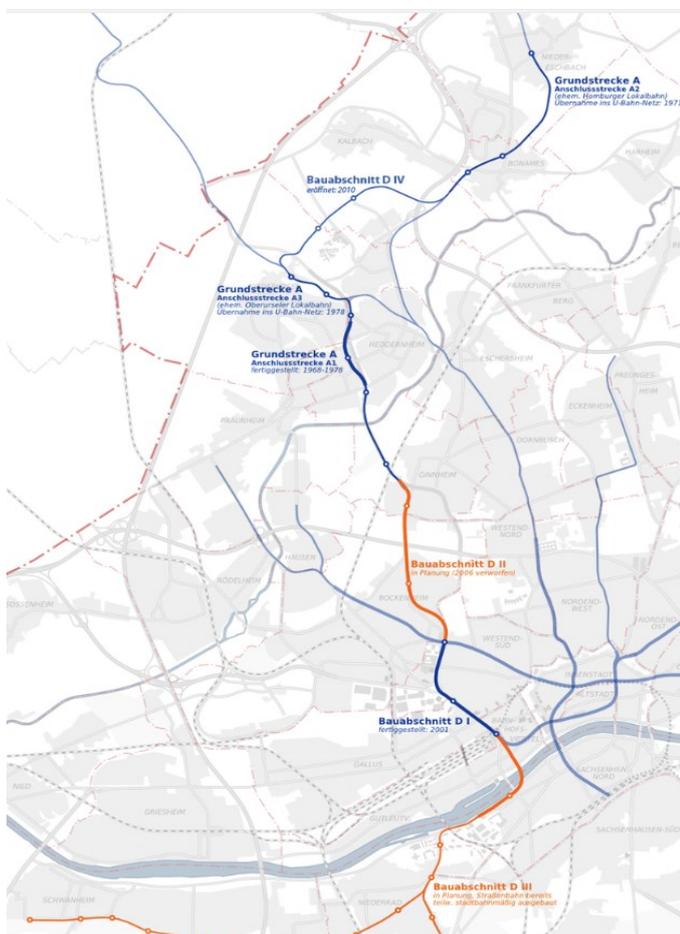


Abbildung 2: Übersicht der Bauabschnitte der D-Strecke⁷

⁷ Regionaler Flächennutzungsplan 2005 (RegFNP) der Region FrankfurtRheinMain

Die Stadt Frankfurt will mit der Verlängerung der Linie U4 den Lückenschluss zwischen den Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“ (Abschnitt „D II“) im U-Bahn-Netz schließen.

Mit dem Bau des wichtigen Verbindungsstücks sollte ursprünglich bereits 2006 begonnen werden. Die Strecke wäre nach den ursprünglichen Plänen mit einem Zwischenhalt in der Franz-Rücker-Allee und einer Verlegung der Station „Ginnheim“ unter die Ginnheimer Landstraße unterirdisch verlaufen (heute die sogenannte Variante 0). Nach den Kommunalwahlen 2006 stoppte die Stadt das Projekt aufgrund veränderter politischer Mehrheiten mit dem Ziel der Beibehaltung der Straßenbahnlinie 16 nach Ginnheim.

Im Jahr 2010 beschloss die Frankfurter Stadtverordnetenversammlung eine neue Untersuchung möglicher Trassenvarianten (§ 9138 vom 16.12.2010 zur Vorlage NR 2079 vom 12.11.2010⁸), weil die Verlängerung der Linie U4 im Frankfurter U-Bahnnetz in jeder Hinsicht als vorteilhaft angesehen wird:

- Zum einen, weil weitere Wohngebiete im Frankfurter Nordwesten sowie, je nach Variante, mittelbar oder unmittelbar der Westend-Campus der Frankfurter Goethe-Universität an das leistungsstarke U-Bahn-Netz angeschlossen und so neue Fahrgäste gewonnen werden können.
- Zum anderen, weil das U-Bahn-Netz flexibler nutzbar wäre und dies nicht zuletzt im Fall von Störungen eine große Redundanz zur Folge hat.

2015 folgte deshalb der Beschluss des Stadtparlaments, die Verlängerung der Linie U4 grundsätzlich zu realisieren, wobei keine Festlegung auf keine bestimmte Trassenführung erfolgte (§ 6613 vom 17.12.2015 zum Bericht des Magistrats B 292 vom 24.07.2015⁹), 2017 beschloss der Magistrat das Projekt vertiefend zu prüfen (§ 2325 vom 20.02.2018 zum Bericht des Magistrats B 430 vom 22.12.2017¹⁰).

Die vertiefende Untersuchung erfolgte im Zuge einer Machbarkeitsstudie, in der vier Varianten enthalten waren:

- Variante 1: Von der Station „Bockenheimer Warte“ über Europaturm nach Ginnheim mit Untervarianten.
- Variante 2: Von der Station „Bockenheimer Warte“ über Uni-Campus und Bundesbank nach Ginnheim mit Untervarianten.
- Variante 3: Von der Station „Bockenheimer Warte“ über Uni-Campus und Europaturm nach Ginnheim mit Untervarianten.
- Variante 4: Von der Station „Bockenheimer Warte“ südlich des Grüneburgparks zum Uni-Campus und über Europaturm nach Ginnheim (unter aufwendigem Umbau des Anschlussbauwerkes der Station „Bockenheimer Warte“).

⁸ „PARLIS - Beschlussausfertigung § 9138 zur Vorlage NR 2079 2010“ (frankfurt.de)

⁹ „PARLIS - Beschlussausfertigung § 6613 zur Vorlage B 292 2015“ (frankfurt.de)

¹⁰ „PARLIS - Beschlussausfertigung § 2325 zur Vorlage B 430 2017“ (frankfurt.de)

Im Juli 2022 beschloss die Stadtverordnetenversammlung der Stadt Frankfurt, dass die Korridor-Varianten 2 und 4 nicht mehr im Fokus der weiteren Betrachtungen stehen (§ 2012 vom 14.07.2022 zum Vortrag des Magistrats M 84 vom 03.06.2022)¹¹.

Der politische Entscheidungsprozess auf Grundlage der bis Herbst 2022 vorliegenden Untersuchungsergebnisse sieht daher eine Bewertung der Varianten 1a, 1d und 3i vor (§ 2710 vom 23.01.2023 zum Bericht des Magistrats B 429 2022 vom 04.11.2022¹²). Diese Bewertung ist Gegenstand der gegenständlichen Machbarkeitsstudie zur Variantenuntersuchung.

¹¹ „PARLIS - Beschlussausfertigung § 2012 zur Vorlage M 84 2022“ (frankfurt.de)

¹² PARLIS - Beschlussausfertigung § 2710 zur Vorlage B 429 2022 (frankfurt.de)

2. Beschreibung des Projektes

2.1 Ziele und Potenziale des Projektes „Verlängerung U4“

Mit dem Lückenschluss der DII-Strecke zwischen den Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“ werden insbesondere nachfolgende Ziele und Vorteile erreicht:

- Entlastung der A-Strecke (Eschersheimer Landstraße).
- Zweite attraktive Verbindung aus dem Norden/Nordwesten in die Innenstadt und an den Hauptbahnhof.
- 15.000 Fahrgäste könnten von der „A-Strecke“ auf die neue Strecke umsteigen.
- Flexibilität bei Störungen oder Havarien.
- Steigerung der Kapazität des Gesamtsystems.
- Verknüpfung zur geplanten Ringstraßenbahn.
- Anbindung an den Hauptbahnhof für viele Stadtteile.
- Anbindung für Beschäftigte der Bundesbank.
- Anbindung des Uni Campus Westend & Campusmeile.
- 13.000 - 17.000 zusätzliche Fahrgäste pro Tag.
- Perspektivisch: Verknüpfung mit Regionaltangente West (über die Station „Nordwestzentrum“).

Zusammenfassend sollen mit der Maßnahme signifikante Verbesserungen und Qualitätssteigerungen des ÖPNV-Angebotes erreicht werden. Damit werden die Grundlagen für eine moderne Stadtentwicklung und für eine klimafreundliche Mobilitätswende geschaffen.

2.2 Lage und geplante Einbindung im Netz

Die ursprüngliche, bis 2006 vorgesehene unterirdische Verbindung zwischen Bockenheim und Ginnheim mit zwei unterirdischen Haltestellen in der Ginnheimer Landstraße und in der Franz-Rücker-Allee (Variante 0) sollte den Lückenschluss zur direkten Verbindung der Linie U4 vom Hauptbahnhof über die Messe bis an den Riedberg herstellen. Die Strecke stand unter anderem auch deshalb in der Kritik, weil sie kostenintensiv nur die bestehende Straßenbahnlinie 16 ersetze. Gegenwärtig werden die derzeitigen Endstationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“ aufgrund des fehlenden Teilstücks durch die Linie U8 vom Südbahnhof bis zum Riedberg auf der A-Strecke abgedeckt, weiterhin ergänzt durch die Linie U9 ab Ginnheim über Riedberg nach Nieder-Eschbach und durch die Linie U4 vom Hauptbahnhof zur Bockenheimer Warte.

Die nun zu untersuchenden Varianten sollen nach Möglichkeit die alternativen Wege für diesen Lückenschluss vergleichend abbilden.

Gemäß Auskunft der traffiQ wird es nach Fertigstellung des Projekts „Verlängerung U4“ voraussichtlich zwei Linienführungen geben:

- Eine Linie, die U4, wird von Enkheim/ Seckbacher Landstraße – Bockenheimer Warte – Nordwestzentrum – Riedberg – nach Nieder-Eschbach (und zurück) fahren.
- Und die zweite Linienführung läuft von Enkheim/ Seckbacher Landstraße – Bockenheimer Warte – Nordwestzentrum – Hauptwache – bis zum Südbahnhof.¹³

2.3 Herangehensweise / Ablauf der Machbarkeitsstudie

Die Bearbeitung dieser Machbarkeitsstudie erfolgte interdisziplinär zwischen den Gewerken der Verkehrsanlage und des Ingenieurbaus unter der Einbeziehung von Fachbeiträgen und Gutachten für die Bereiche Umwelt, Hydrogeologie, Geotechnik und Nachhaltigkeit sowie den städtischen Fachämtern Umweltamt, Grünflächenamt, Amt für Straßenbau und Erschließung, Stadtplanungsamt, Straßenverkehrsamt und Klimareferat. Für die betrieblichen Belange sind die traffiQ und die VGF als Vorhabenträgerin grundsätzlich eingebunden.

Grundsätzlich sollen die zu betrachtenden Varianten unter den Aspekten der Nachhaltigkeit betrachtet werden. Dafür wurden diese einer Nachhaltigkeitsbetrachtung inklusive einer Ermittlung der CO₂-Bilanz in Anlehnung an den anerkannten Zertifizierungsstandard der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) unterzogen.

Alle erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse wurden dabei den nachfolgenden „Säulen der Nachhaltigkeit“ zugeordnet:

- Ökologische Qualität
- Ökonomische Qualität
- Soziokulturelle Qualität
- Städtebau und Standort
- Prozesse

Über den oben genannten Standard der DGNB wurde die Vielfalt an Kriterien und Indikatoren methodisch eingegrenzt und mit Hilfe des Instruments der Wesentlichkeitsanalyse gewichtet und bewertet. Die Wesentlichkeitsanalyse wurde unter Beteiligung der Fachinstanzen erarbeitet.

Zudem wurde im Zuge der Bearbeitung durch das Grünflächenamt eine „gutachterliche Stellungnahme zu Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen“ (folgend Baumgutachten genannt) initiiert, um die Auswirkungen insbesondere auf den Baumbestand erfassen zu können. Zur Bewertung des Untergrunds sowie der Auswirkungen auf das Grundwasser wurden einerseits ein geotechnisches Gutachten und andererseits ein hydrogeologisches Gutachten auf Basis eines hydrogeologischen

¹³ Bei dieser Linienführung wird das Zugschild an der Station „Nordwestzentrum“ je nach Richtung von U4 auf U1 bzw. von U1 auf U4 umgeschaltet werden.

Strukturmodells und eines numerischen Grundwasserströmungsmodells erstellt. Zur Bewertung der tunnelbautechnischen Ausführung der Varianten wurde außerdem eine tunnelbautechnische Vorbetrachtung von einem Fachbüro angefertigt. Die gesamthafte Bewertung möglicher Auswirkungen auf die Umwelt erfolgte im Zuge einer allgemeinen Vorprüfung zur Umweltverträglichkeit gemäß §9 UVP-Gesetz.

Zu Beginn des Projektes wurden über das Gewerk der Verkehrsanlage innerhalb der vertiefenden Untersuchung alle übergebenen und beschafften Grundlagen zusammengeführt, um darauf basierend die ersten Untersuchungen zu möglichen Trassierungsvarianten zu erstellen. Zeitgleich hat das Gewerk des Ingenieurbaus in Abhängigkeit der jeweiligen Variante erste Überlegungen zu möglichen Standorten für erforderliche unterirdische und oberirdische Stationen sowie für die Lage der Rampen im Übergang von Tunnel zu oberirdischer Strecke erarbeitet.

Durch die zeitgleiche Bearbeitung beider Gewerke ist es regelmäßig zu Interaktionen zwischen beiden Gewerken gekommen. Dieser interaktive und iterative Prozess wurde kontinuierlich fortgeführt, bis sowohl für die Verkehrsanlage als auch für den Ingenieurbau konsistente Lösungen erreicht wurden.

Mit Vorliegen der abgestimmten Lösungen für die Verkehrsanlage und den Ingenieurbau bildeten diese Unterlagen die Grundlage für die Bearbeitung der einzelnen Fachbeiträge. Bereits während der Bearbeitung durch die Fachleute wurden die maßgebenden Informationen im Planungsteam ausgetauscht, um alle Randbedingungen zu sichten und mehrfache Überarbeitungen zu minimieren. Mit allen Gutachten bzw. Fachbeiträgen konnten die Varianten hinsichtlich ihrer Auswirkung fundiert bewertet und mit allen relevanten Fachinstanzen der Stadt abgestimmt werden.

Abschließend wurden alle vorhandenen Unterlagen zusammengeführt und auf Konsistenz überprüft. Alle Unterlagen wurden im vorliegenden Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie berücksichtigt. Der Abschluss des Berichts bildete gleichzeitig den Abschluss der Machbarkeitsstudie. Aus der Gesamtschau in der Machbarkeitsstudie ergibt sich eine Vorzugsvariante, die als Beschlussvorlage in die Stadtverordnetenversammlung eingebracht wird.

Übersicht über die im Rahmen der Machbarkeitsstudie erstellten Fachbeiträge:

- Geotechnischer Untersuchungsbericht, CDM-Smith, 27.05.2024
- Tunnelbautechnische Voruntersuchung, CDM-Smith, 29.05.2024
- Hydrogeologische Vorerkundung - Entwurf, BGU, 12.07.2024
- Gutachterliche Stellungnahme zu Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen, Grün³, 22.04.2024
- Allgemeine UVP-Vorprüfung, NaturProfil, 24.07.2024
- Artenschutzprognose, NaturProfil, 29.08.2024
- Erläuterungsbericht Nachhaltigkeitsbewertung, LPI, 23.08.2024
- Erläuterungsbericht CO₂-Bilanz, LPI, 23.08.2024
- Ersteinschätzung im Hinblick auf Altstandorte und Altablagerungen, Umweltamt Stadt Frankfurt, 23.01.2024
- Ersteinschätzung im Hinblick auf Naturschutz und Biodiversität, Umweltamt Stadt Frankfurt, 16.02.2024
- Planerische Ausarbeitung und Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie, Schüßler-Plan, März sowie August 2024

Weitere Fachplanungen sowie Fachbeiträge, wie z.B. Rettungskonzept, Brandschutzkonzept, Lüftungskonzept, schall- und schwingungstechnische Untersuchung, Kampfmittelkonzept, Gutachten zu Streustrom- und elektromagnetischer Verträglichkeit, Sicherstellung 2. Rettungsweg, Verkehrsgutachten, städtebauliche Begleitplanung, etc., sind in den weiteren Planungsphasen zu erstellen.

3. Planungsgrundlagen

3.1 Bestandsunterlagen

Im Rahmen der Bearbeitung der Machbarkeitsstudie wurden vom Auftraggeber insbesondere folgende Planungsgrundlagen zur Verfügung gestellt:

- Digitale Stadtgrundkarte der Stadt Frankfurt

3.2 Zu beschaffende Planungsgrundlagen

Im Rahmen der Bearbeitung der Machbarkeitsstudie wurden insbesondere folgende Planungsgrundlagen von Dritten beschafft:

- Bauwerksdaten der VGF zum Anschlussbauwerk Bockenheimer Warte
- 3D-Modell aus Befliegungsdaten
- Auszüge Kanal-Bestandspläne
- Einbindung Planungsvorhaben Sportamt Frankfurt (Standort TuS Makkabi)

3.3 Geotechnische und hydrogeologische Grundlagen

Hinsichtlich der geotechnischen und hydrogeologischen Grundlagen wird auf die beiden entsprechenden Fachgutachten verwiesen.

Die geotechnischen Randbedingungen sind zudem in Kapitel 4.4 zusammengefasst. Die hydrogeologischen Randbedingungen sind in Kapitel 8.1.2 zusammengefasst. Außerdem wurde zur Erstellung des dreidimensionalen Grundwasserströmungsmodells u.a. auch auf die bereits im Projekt Stadtbahn Europaviertel ermittelten weitreichenden Grundlagendaten zurückgegriffen.

3.4 Betriebliche Anforderungen an die Trasse bzw. spätere Strecke

Folgende betriebliche Anforderungen sind bei der Konzeption grundsätzlich zu berücksichtigen:

- Pro Stunde und Richtung sollen mindestens 12 Züge mit Verkehrshalt verkehren können.
- Die Streckengeschwindigkeit von 50 km/h (oberirdisch) und 70 km/h (im Tunnel) ist nach Möglichkeit zu erreichen.
- Die maximal zulässige Längsneigung beträgt 45 ‰.
- Die Notwendigkeit von Gleisverbindungen besteht im untersuchten Abschnitt nicht.

3.5 Betriebliche Anforderungen an die Stationen

Folgende betriebliche Anforderungen sind bei der Konzeption der Station zu berücksichtigen:

- Die Bahnsteige sind für die maximal zulässige Länge von 105 m (4-Wagen-Zug) auszulegen
- Die Bahnsteige sind barrierefrei und sicher auszubilden

- Die maximal zulässige Längsneigung beträgt 45 ‰, in Endstationen 0 ‰, in Stationen in der Strecke nicht steiler als ca. 15 ‰.
- Bahnsteigkanten sollen möglichst gerade, bei örtlichen Zwängen mit maximalem Radius von 600 m ausgebildet sein.
- Die durchschnittliche Haltezeit an den Stationen beträgt 20 Sekunden.

3.6 Regelwerke, Richtlinien und Normen

- Betriebsordnung über Straßenbahnen (BOStrab) sowie technische Regelwerke zur BOStrab
- Grundsätzliche Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken“ (GVT)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke (ZTV-Ing)
- Jeweilige einschlägige DIN-Normen
- Normalien/ Lastenhefte der VGF
- Richtlinie der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)
- Richtlinien der kommunalen Verkehrsplanung, u.a. „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“, Ausgabe 2006 (RASt 06) sowie „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen“ (ERA).

4. Variantenbeschreibung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden die drei Untervarianten 1a, 1d und 3i im Zuge einer tiefergehenden Untersuchung weiterverfolgt und bewertet. Hinsichtlich der Bewertung wurde maßgeblich der südliche Abschnitt zwischen den Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Bundesbank“ betrachtet, da sich die drei Varianten in diesem Abschnitt voneinander unterscheiden.

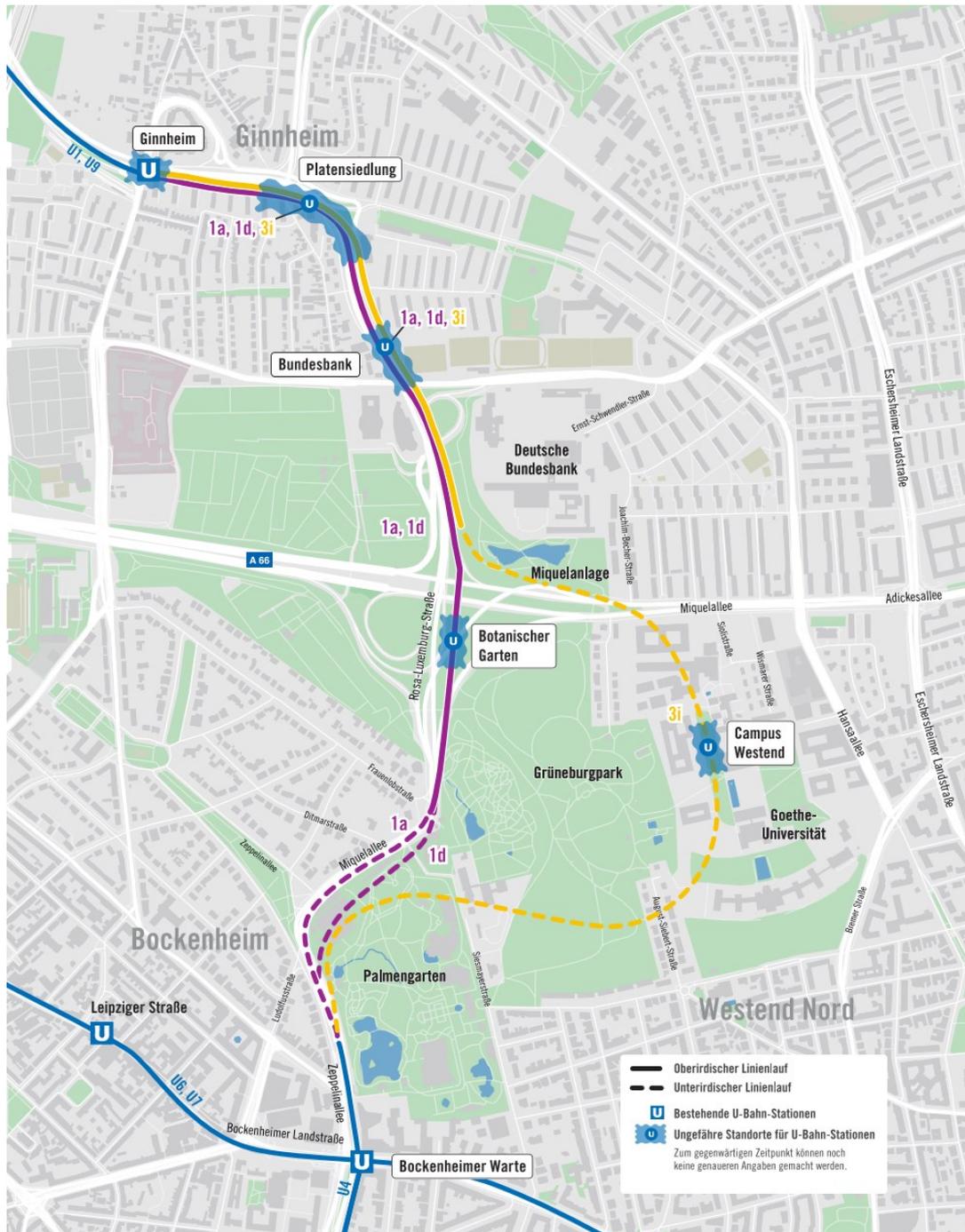


Abbildung 3: Übersicht Varianten in der tiefergehenden Untersuchung zur Machbarkeitsstudie

4.1 Allgemeine Beschreibung der Varianten

4.1.1 Tunnel Variante 1a

Die Strecke verläuft von dem unterirdischen Anschlussbauwerk an der Bockenheimer Warte zunächst unter der Zeppelinallee und der Miquelallee. Der Tunnel wird blockweise unter Verlagerung des Verkehrs offen eingebaut. An der Westseite des Botanischen Gartens endet der Tunnelbau mit dem dort erforderlichen Rampenbauwerk.

4.1.2 Tunnel Variante 1d

Abweichend von der Variante 1a wird der Abschnitt zwischen Botanischem Garten und der Bockenheimer Warte in geschlossener Bauweise mit einer Tunnelbohrmaschine hergestellt. Dazu wird an der Westseite des Botanischen Gartens ein Rampenbauwerk sowie eine Startbaugrube für die Tunnelbohrmaschine erforderlich. Der Tunnel unterquert mit zwei Röhren den nördlichen Palmengarten und schließt dann an die bestehende Stirnwand in den beiden Außengleisen der Abstellanlage Bockenheimer Warte an.

4.1.3 Tunnel Variante 3i

Südlich der Wilhelm-Epstein-Straße entsteht in der westlichen Miquelanlage ein Rampenbauwerk sowie eine Startbaugrube für eine Tunnelbohrmaschine. Ein maschinell aufgefahrener Tunnel führt von dort mit zwei Röhren unter der BAB 66 hindurch bis unter den Theodor-W.-Adorno-Platz (Zentrum des Campus Westend). Dort ist eine unterirdische Station „Campus Westend“ vorgesehen. Von dort verlaufen die zwei Röhren unter dem südlichen Grüneburgpark und unter dem nördlichen Palmengarten ebenfalls bis an die vorgerüsteten Stirnwände der Abstellanlage Bockenheimer Warte.

4.1.4 Oberirdische Streckenführung

Für die Varianten 1a und 1d erfolgt die oberirdische Führung ab dem jeweiligen Rampenbauwerk westlich des Grüneburgparks nach Norden und weiter parallel zur Rosa-Luxemburg-Straße (L 3004). Eine oberirdische Station „Botanischer Garten“ ist in Brückenlage über den Verbindungsfahrbahnen (zwischen Süd und Ost) des Miquelalleeknotens vorgesehen. Der Knoten Miquelallee wird hierfür partiell umgestaltet. Die Verbindungsfahrbahn von Süd nach Ost rückt hierfür zur Gegenrichtung nach außen, der „nutzbare“ Teil des Grüneburgparks vergrößert sich dadurch. Die BAB 66 wird mit einem Kurztunnel unterquert. Von dort an verläuft die Trasse zwischen Rosa-Luxemburg-Straße (L 3004) und dem Areal der Deutschen Bundesbank entlang der Miquelanlage, in die leicht eingegriffen wird.

Ab der Station „Bundesbank“ ist der oberirdische Streckenverlauf der Varianten 1a, 1d und 3i identisch.

Die Trasse überquert die Wilhelm-Epstein-Straße mit der geplanten Station „Bundesbank“ planfrei in Brückenlage und schwenkt dann nach Nord-Westen an den

Rand der Hochstraße Rosa-Luxemburg-Straße-. Der Bau der an der Ostseite der Hochstraße gelegenen Station „Platensiedlung“ erfolgt auf Geländeneiveau. Die Strecke wird danach aufgrund eines Trennpfeilers der Hochstraße in Einzelgleise aufgeteilt, quert dann die Ginnheimer Landstraße plangleich und wird dann in die in leichter Dammlage liegende neue Station „Ginnheim“ geführt.

Der Anschluss an die Bestandsstrecke der U1 bzw. U9 (Hochlage) erfolgt über einen Erddamm zwischen den Richtungsfahrbahnen der Hochstraße. Ob ein (möglicher) Abzweig an die südlich der Richtungsfahrbahnen liegenden Bestandshaltestelle (Kombibahnhof mit Linie 16) realisierbar wäre, ist noch nicht geklärt.

4.2 Gleistopologie und Trassierung

4.2.1 Anschluss an das Bestandsnetz

Aufgrund der Ausführung der Strecke als Verbindung zwischen den heutigen Endstationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“ ist die Einbindung in das Bestandsnetz bereits vorgegeben. Diese erfolgt als Verlängerung der U4-Strecke in der Aufstellanlage der Station „Bockenheimer Warte“ (Anschluss wurde beim Bau der Station bereits vorgerichtet) in den verschiedenen Varianten bis nach Ginnheim. Der Anschluss an das Bestandsbauwerk der Station kann nur als Tunnelbauwerk erfolgen, da die Gleisgradienten hier eine Lage von ca. 17 m unter Straßenniveau besitzt.

In Ginnheim schließt die Strecke an das Bestandsnetz der Strecke der U1 bzw. U9 nach Nord-Westen in Richtung Riedberg an. Die Anbindung der Neubaustrecke an die in Hochlage zwischen den Richtungsfahrbahnen der Rosa-Luxemburg-Straße (L 3004) gelegenen Bestandstrecke erfolgt über eine Rampe in Dammlage.

4.2.2 Grundsätzliche Planungsparameter

4.2.2.1 Gleisanlage

Aufgrund der betrieblichen Anforderungen sowie den Anschlüssen an das Bestandsnetz ist die Ausführung der Gleisanlage sowohl im Tunnelbereich als auch im Bereich der oberirdischen Strecke grundsätzlich zweigleisig vorgesehen. Maßgebliche Grundlage hierfür ist die Abwicklung des Betriebs im Regelfall sowie auch bei Störfällen.

4.2.2.2 1-gleisige oder 2-gleisige Tunnel

Konzeptionell besteht die Möglichkeit, die Neubaustrecke in den unterirdischen Abschnitten mit zwei eingleisigen Tunneln oder mit einem zweigleisigen Tunnel zu planen.

Für die Variante 1a ist eine zweigleisige gemeinschaftliche Führung bereits vorgegeben. Durch die Herstellung in offener Bauweise, also mit einer von oben offenen Baugrube, wird die Ausführung des Tunnelabschnitts auf der gesamten Länge als zweigleisiger Rechteckquerschnitt vorzunehmen sein.

Für die Varianten 1d und 3i mit Ausführung des Vortriebs mit einer Tunnelbohrmaschine bietet sich nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen die Herstellung von jeweils zwei eingleisigen Tunnelröhren an. Bei einer Anordnung von zwei Gleisen in einer Tunnelröhre würde der Durchmesser der Tunnelbohrmaschine wesentlich größer werden müssen. Dies scheint aufgrund der relativ geringen Länge der Tunnelstrecke sowie aufgrund des dann nicht nutzbaren Tunnelquerschnitts oberhalb und unterhalb der Gleisgradienten nicht vorteilhaft. Zudem wäre am Anschluss an das Bestandsbauwerk ein gesondertes Übergangsbauwerk in einer Länge von rd. 100 m zu erstellen, um die Gleisanpassung zu vollziehen. Denn im Bestandsbauwerk der Station „Bockenheimer Warte“ befinden sich zwischen den Richtungsgleisen zwei Aufstellgleise. Daher scheiden solche Überlegungen rein aus wirtschaftlichen Gründen von vornherein aus und die Herstellung des Tunnels der Varianten 1d und 3i erfolgt mit zwei eingleisigen Tunnelröhren.

4.2.2.3 Station „Campus Westend“ in Variante 3i

Konzeptionell besteht die Möglichkeit, die neue unterirdische Station „Campus Westend“ in der Variante 3i mit zwei Außenbahnsteigen oder einem Innenbahnsteig in einfacher Tiefenlage oder mit Zwischenebene bzw. mit oder ohne eingeschobenen Treppenbauwerken auszuführen.

Grundlage der Überlegungen zur innerhalb der Machbarkeitsstudie vorgenommenen Festlegung waren neben der Wirtschaftlichkeit der Ausführung auch die Sicherheit für die Fahrgäste sowie die betrieblichen Vorgaben.

Daher wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Anordnung des Bahnsteigs in der Bauwerksmitte zur Reduzierung der Anzahl der Bahnsteigzugänge bzw. einer erforderlichen Verteilerebene für die Zugänge
- Anordnung der Bahnsteigzugänge als in den Stationskörper eingeschoben zur Reduzierung der Bauwerks- und Baugrubenlänge
- Anordnung des Stationsbauwerks in einfacher Tiefenlage ohne Zwischen-/Verteilerebene. Die Tiefe der Station ergibt sich aus der technischen Notwendigkeit, für die Durchfahrt einer Tunnelbohrmaschine eine Mindestüberdeckung zu erreichen. Weiterhin müssen die Röhren in Richtung August-Siebert-Straße eine Mindestüberdeckung im Bereich der dortigen Bebauung erreichen. Verteilerebenen sind nicht notwendig, da alle direkt geführten Treppen, Fahrtreppen oder Aufzugsanlagen in einem einheitlichen, großen Platzbereich an die Oberfläche kommen.
- Die Tiefe sollte dennoch erlauben, im umbauten Raum auch notwendige Betriebsräume unterzubringen.

Anzumerken ist, dass die enthaltene Planung der Station als Mittelbahnsteig mit eingelassenen Treppen, Fahrtreppen und Aufzugsanlagen auch auf Treppenabgänge vor Kopf oder die Anordnung von Außenbahnsteigen angepasst werden kann. Grund

für die derzeitig gewählte Anordnung ist, dass der offen herzustellende Baukörper dann zwar breiter ist, aber nur eine Länge des Bahnsteigmaßes hat, also gut 105 m.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Planung der Station – z.B. die Anordnung der Bahnsteigzugänge auf den Mittelbahnsteig (eingeschoben oder vor Kopf) oder die Anordnung von Außenbahnsteigen – in der weiteren Planung noch Veränderungen unterliegen kann.

4.2.2.4 Notausstiegsbauwerke

Die erforderlichen Bauwerke der Notausstiege wurden innerhalb der Machbarkeitsstudie in der Art berücksichtigt, dass die beiden Richtungsgleise das Notausstiegsbauwerk vollständig durchfahren. In dem Bauwerk werden dann zwischen den Röhren sowohl die Fluchttreppenanlage sowie der Feuerwehrrangriffsweg ausgeführt.

Die Lage der Notausstiege wurde nach Möglichkeit so gewählt, dass ein Zugang von einer öffentlichen Verkehrsfläche aus erfolgen kann. Der Mindestabstand von 300 m bis zu einem Notausstieg darf nicht überschritten werden.

Weitere Hinweise zur Entfluchtung siehe Kapitel 5.2, Rettungskonzeption.

4.2.3 Vorgehen bei der Entwicklung von Trassierungsvarianten

Im Vorgriff auf die Erstellung der Machbarkeitsstudie erfolgte zunächst innerhalb des vorgegebenen Untersuchungsraums und unter Berücksichtigung der Vorgaben zum Anschluss an das Bestandsnetz (siehe auch Kapitel 4.2.1) eine Sammlung denkbarer Varianten für den Lückenschluss zwischen Bockenheimer Warte und Ginnheim.

Danach ergaben sich vier grundsätzliche Trassenführungskorridore.

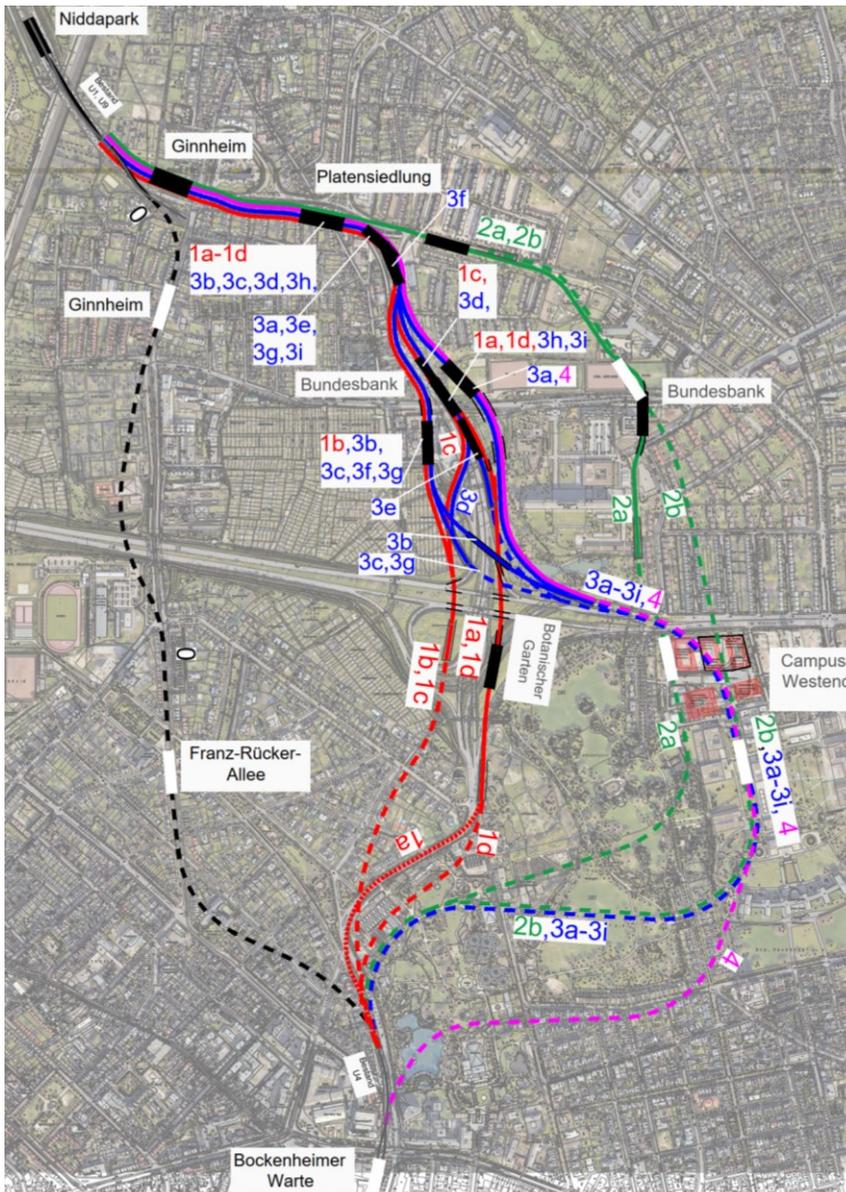


Abbildung 4: Übersicht Trassenkorridore im Vorfeld zur Machbarkeitsstudie

Im Juli 2022 beschloss die Stadtverordnetenversammlung der Stadt Frankfurt am Main, dass die Korridor-Varianten 2 und 4 nicht mehr im Fokus der weiteren Betrachtungen stehen (§ 2012 vom 14.07.2022 zum Vortrag des Magistrats M 84 vom

03.06.2022)¹⁴. Die Variantengruppen 1 und 3 mit den Untervarianten 1a, 1d und 3i wurden seit 2022 in einer tiefgehenden Machbarkeitsstudie gleichwertig und ergebnisoffen untersucht.¹⁵

4.2.4 Variantenschar in der 1. Planungsstufe

In der ersten Planungsstufe wurden neben der ursprünglichen Planfeststellungsvariante (Variante 0) insgesamt 16 Untervarianten untersucht:

- Variantenkorridor 1: 4 Untervarianten
- Variantenkorridor 2: 2 Untervarianten
- Variantenkorridor 3: 9 Untervarianten
- Variantenkorridor 4: 1 Untervariante

Maßgeblich wurden diese in Bezug auf ihre Trassierung in Lage und teilweise in Höhenplänen entwickelt.

4.2.5 Variantenschar in der 2. Planungsstufe (tiefgehende Untersuchung)

Im Anschluss an die 1. Planungsstufe in 2022 wurden die Variantengruppen 1 und 3 mit den Untervarianten 1a, 1d und 3i in einer tiefgehenden Machbarkeitsstudie unter Berücksichtigung der Fachgutachten und Expertenberichte gleichwertig und ergebnisoffen untersucht (siehe Kapitel 4.2.3). Bei den Untervarianten 1d und 3i handelt es sich um Weiterentwicklungen basierend auf der ersten standardisierten Bewertung aus dem Jahr 2020.

4.2.6 Beeinflussende Faktoren bei den Trassierungsvarianten

Als Faktoren, die die jeweiligen Trassenvarianten beeinflusst haben, sind u.a. zu nennen:

- Anbindung der Platensiedlung
- Anbindung der Bundesbank (östlich oder westlich tangierend)
- Anbindung des Campus Westend (mittelbar über Botanischer Garten, unmittelbar mit zentraler Station)
- Berücksichtigung des Grünbestands in den Gärten und Parkanlagen (Palmengarten, Botanischer Garten, Grüneburgpark und Miquelanlage)
- Berücksichtigung der Hochstraße Rosa-Luxemburg-Straße inkl. Stützkonstruktion
- Reisezeit
- Kosten
- Wissenschaftsstandort Frankfurt
- Städtebauliche Potenziale und Erschließung
- Verdichtung Stadtraum
- Umstieg Ringstraßenbahn

¹⁴ „PARLIS - Beschlussausfertigung § 2012 zur Vorlage M 84 2022“ (frankfurt.de)

¹⁵ Die Gründe für den Ausschluss der weiteren Untervarianten der Variantengruppen 1 und 3 werden im Bericht des Magistrats B 492 vom 04.11.2022 erläutert; „PARLIS - Verlängerung U 4 - von Bockenheim nach Ginnheim“ (frankfurt.de)

- Erschließungswirkung
- Nutzung Bestandsbauwerk Bockenheimer Warte
- Eingriffe in Privatgrund (u.a. auch Areal Fernmeldeturm)
- Eingriffe in Infrastruktur MIV

4.3 Beschreibung der Trassierungsvarianten

4.3.1 Variante 1a

Die unterirdische Trasse verläuft von dem unterirdischen Anschlussbauwerk an der Bockenheimer Warte in einer anfänglichen Tiefe von rd. 17 m unter Geländeoberkante unter der Zeppelinallee und der Miquelallee mit einer Maximalsteigung von 45 ‰ bis zum Rampenbauwerk an der Westseite des Botanischen Gartens und hat eine Gesamtlänge von rd. 1.000 m. Der minimale Trassierungsradius liegt in diesem Bereich bei 190 m. In etwa 550 m Entfernung von der Bestandsstation wird ein neuer Notausstieg angeordnet. Die Ausführung der Tunneltrasse erfolgt in offener Bauweise.

Vom Rampenbauwerk aus verläuft die oberirdische Strecke in einem leichten Bogen in Richtung Norden über die Zubringer der BAB 66 von und nach Osten. Unmittelbar im Bereich der Überquerung der Autobahn-Zubringer wird die Station „Botanischer Garten“ in Hochlage auf einem Brückenbauwerk vorgesehen. Anschließend unterquert die Trasse die Autobahn in einem Kurztunnel. Dazu wird der Knoten Miquelallee partiell umgestaltet. Die maximale Steigung in diesem Bereich beträgt im Tunnel unter der BAB 66 ebenfalls 45 ‰.

Von dort aus verläuft die Trasse zwischen Rosa-Luxemburg-Straße (L 3004) und dem Areal der Deutschen Bundesbank in einem weiten Bogen bis zur Überquerung der Wilhelm-Epstein-Straße in Hochlage. Auf dem Brückenbauwerk wird die Station „Bundesbank“ angeordnet. Die Gradientenneigungen liegen hier bei maximal 15 ‰.

Nördlich der Station „Bundesbank“ verläuft die Trasse parallel zur Hochstraße (Rosa-Luxemburg-Straße) in einem S-Bogen, bevor sie dann nach Nord-Westen unter die Rosa-Luxemburg-Straße einschwenkt. Unmittelbar vor dem Verschwenk unter die Hochstraße wird die Station „Platensiedlung“ auf Geländeneiveau angeordnet. In diesem Bereich wird am Knotenpunkt Hügelstraße/ Platenstraße aufgrund der niveaugleichen Querung mit der Trasse straßenseitig ein Kreisverkehrsplatz angeordnet. Im beschriebenen Bereich liegen die Gradientenneigungen bei maximal 25 ‰, in Richtung Ginnheim abfallend.

Ab der Station „Platensiedlung“ liegt die Trasse unter der Hochstraße (sie verzweigt sich dort in zwei Einzelgleise in Rücksicht auf den dortigen Trennpfeiler der dort statisch getrennten Hochstraße). Sie folgt deren Verlauf dann weiter, quert plangleich die Ginnheimer Landstraße, führt dann weiter bis zum Anschluss an die Bestandsstrecke. Kurz vor dem Anschluss wird die neue Station „Ginnheim“ angeordnet. Die Anbindung an die in Hochlage verlaufende Bestandsstrecke erfolgt über einen Erddamm nördlich der bisherigen Endstation „Ginnheim“. In diesem letzten

Teilstück liegen die Gradientenneigungen ebenfalls bei maximal 25 ‰, im Stationsbereich maximal 15 ‰.

Die Länge der oberirdischen Strecke vom Rampenbauwerk bis zum Bestandsanschluss in Ginnheim beträgt rd. 1.900 m (inkl. 100 m Kurztunnel unter BAB 66). Die Länge der Gesamtstrecke der Variante 1a beträgt damit rd. 2.900 m.

4.3.2 Variante 1d

Die unterirdische Trasse verläuft von dem unterirdischen Anschlussbauwerk an der Bockenheimer Warte in einer Tiefe von rd. 17 m unter Geländeoberkante unter dem Palmengarten hindurch mit einer Maximalsteigung von 45 ‰ bis zum Rampenbauwerk an der Westseite des Botanischen Gartens (Lage ähnlich wie in Variante 1a) und hat eine Gesamtlänge von rd. 900 m. Der minimale Trassierungsradius liegt in diesem Bereich bei 250 m. In etwa 150 m sowie 370 m Entfernung von der Bestandsstation werden zwei neue Notausstiege angeordnet. Der Bestandsnotausstieg ist nicht mehr erforderlich. Die Ausführung der Tunneltrasse erfolgt in geschlossener Bauweise mit zwei maschinellen Tunnelvortrieben.

Vom Rampenbauwerk an bis zum Anschluss an die Bestandstrecke in Ginnheim ist die Trassenführung nahezu identisch mit der Variante 1a.

Die Länge der oberirdischen Strecke vom Rampenbauwerk bis zum Bestandsanschluss in Ginnheim beträgt rd. 2.000 m (inkl. 100 m Kurztunnel BAB 66). Die Länge der Gesamtstrecke der Variante 1d beträgt damit rd. 2.900 m.

4.3.3 Variante 3i

Die unterirdische Trasse verläuft von dem unterirdischen Anschlussbauwerk an der Bockenheimer Warte in einer Tiefe von rd. 17 m unter Geländeoberkante unter dem Palmengarten und dem südlichen Grüneburgpark hindurch bis zum Campus Westend der Goethe-Universität und von dort weiter, die BAB 66 und die Miquelanlage unterquerend, bis zum Rampenbauwerk zwischen Rosa-Luxemburg-Straße und der Deutschen Bundesbank. Die Maximalsteigung beträgt 45 ‰, die Gesamtlänge rd. 2.500 m. Der minimale Trassierungsradius liegt in diesem Bereich bei 210 m. In etwa 100 m, 575 m, 1.050 m sowie 1.975 m Entfernung von der Bestandsstation werden insgesamt vier neue Notausstiege angeordnet. Der Bestandsnotausstieg ist nicht mehr erforderlich. Die Ausführung der Tunneltrasse erfolgt in geschlossener Bauweise mit zwei maschinellen Tunnelvortrieben.

In einer Entfernung von etwa 1.450 m von der Bestandsstation wird die unterirdische Station „Campus-Westend“ nordwestlich des Theodor-W.-Adorno-Platzes auf dem Gelände der Goethe-Universität angeordnet. Die Station mit Mittelbahnsteig hat eine Nutzlänge von 105 m, liegt in einfacher Tiefenlage und wird mit in der Bahnsteiglänge integrierten Zugangsbauwerken erschlossen.

Vom Rampenbauwerk südlich der Wilhelm-Epstein-Straße an bis zum Anschluss an die Bestandstrecke in Ginnheim ist die Trassenführung identisch mit den Varianten 1a und 1d.

Die Länge der oberirdischen Strecke vom Rampenbauwerk bis zum Bestandsanschluss in Ginnheim beträgt rd. 1.350 m. Die Länge der Gesamtstrecke der Variante 3i beträgt damit rd. 3.850 m.

4.4 Geotechnische Randbedingungen

Zur Beschreibung des Baugrunds für die verschiedenen Trassenvarianten wurde innerhalb der Machbarkeitsstudie ein geotechnischer Untersuchungsbericht erstellt. Nachfolgend wird eine Zusammenfassung des Berichts beschrieben. Für nähere Angaben dazu wird auf den geotechnischen Untersuchungsbericht in Anlage 1 verwiesen.

Der geotechnische Untersuchungsbericht baut im Wesentlichen auf den Erkundungsbohrungen auf, welche für die hydrogeologischen Untersuchungen im südlichen Bereich der Trassenverläufe, maßgeblich für die baugrundtechnische Bewertung der Tunnelstrecken, ausgeführt wurden.

Der Baugrund gliedert sich im Bereich der Trassenvarianten im Wesentlichen in vier Schichten, die zusammenfassend wie folgt zu beschreiben sind:

Als oberste Schicht liegen entlang der Trassenverläufe sowohl Auffüllungen (Schicht 1) in Form von sehr locker bis mitteldicht gelagerten Sanden mit variierenden Anteilen an Schluff und Kies als auch quartäre Deckschichten (Schicht 2) in Form von Schluffen mit teilweise feinsandigen und tonigen Anteilen in meist steifer bis halbfester, örtlich auch weicher bis fester Konsistenz vor. Unterhalb der Schluffe der Schicht 2 kommen örtlich die locker bis dicht gelagerten Sande und Kiese der Main- und Niddaterrassen (Schicht 3) zu liegen. Unterhalb der Auffüllungen bzw. quartären Schichten kommen tertiäre Schichtfolgen (Schicht 4) zu liegen.

In den drei zu betrachtenden Varianten durchfahren die Tunnelstrecken weitestgehend die tertiären Schichten. Diese liegen überwiegend als Landschneckenmergel und Hydrobienschichten vor. Letztere werden auch als „Frankfurter Ton“ bezeichnet. Dieser Schichtenkomplex wird durch Schluffe und Tone (Schicht 4b) dominiert, in welche unregelmäßig und nicht horizontbeständig Hydrobiensande und Kalksande (Schicht 4a) sowie Kalk- und Dolomitstein eingeschaltet sind. Weiterhin wurden in allen Trassenvarianten auch Braunkohle bzw. Torf erkundet. Lokal werden die quartären Sedimente von Basalt (Untermain-Basalt-Formation) unterlagert. Lokal wurde auch Sandstein angetroffen. Die Felsschichten aus Kalk- und Dolomitstein, Basalt und Sandstein werden als Tertiärer Fels (Schicht 4c) zusammengefasst.

Die verschiedenen Tunnelvarianten durchfahren zwei Grundwasserstockwerke. Zum einen den oberen Grundwasserleiter innerhalb der quartären Sande und Kiese (Schicht 1) in Form eines Porengrundwasserleiters. Zum anderen den unteren

Grundwasserleiter innerhalb der tertiären Schichtfolgen. Die Tone der Schicht 4b bilden eine Grundwassersperrschicht. Die darin eingeschalteten Sande (Schicht 4a) sind in Abhängigkeit der bindigen Nebenbestandteile jedoch mäßig bis stark wasserführend. Die tertiären Felsschichten (Schicht 4c) aus Mergel, Dolomit, Kalkstein und Basalt bilden einen Kluftgrundwasserleiter, in dem sehr hohe Durchlässigkeiten möglich sind. Nach den allgemeinen für das Umfeld der Baumaßnahme vorliegenden Erfahrungen steht das Grundwasser in den tertiären Schichten gespannt an. Die Druckspiegel liegen dabei allgemein etwa auf dem Niveau des freien Grundwassers der quartären Schichten (Schicht 1).

In den Auffüllungen und quartären Schichten wurden in bisherigen orientierenden Untersuchungen teilweise erhöhte Konzentrationen von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) festgestellt, die auf einen Schadstoffeintrag hindeuten. In den tertiären Schichten wurden durch die bisherigen orientierenden Untersuchungen erhöhte Werte von Schwermetallen und Sulfaten festgestellt. In der Bauausführung können diese mit entsprechend geeigneten Reinigungs- und/ oder Entsorgungsmaßnahmen behandelt werden.

Seitens des Bauherrn und der beteiligten Planer ist die Richtigkeit der baulichen Randbedingungen, d.h. die dem geotechnischen Untersuchungsbericht zugrunde liegenden Annahmen, zu überprüfen. Im Zuge der weiteren Planungen ist der Bericht an die konkrete Planung anzupassen und fortzuschreiben. Das Erfordernis weiterer Baugrundaufschlüsse, insbesondere im nördlichen Bereich der geplanten Trasse (oberirdische Strecke), ist in der weiteren Planung zu prüfen.

Die aufgeführten Angaben basieren auf der Auswertung von punktuellen Baugrundaufschlüssen. Aufgrund von Interpolation der Daten sowie der sich lateral ändernden Bodenverhältnisse und Bodeneigenschaften muss berücksichtigt werden, dass Abweichungen zu den im geotechnischen Bericht dargelegten Angaben möglich sind.

4.5 Trog- und Tunnelbauwerke

4.5.1 Allgemeines

Nachstehend werden die Trog- und Tunnelbauwerke der in der Machbarkeitsstudie untersuchten drei Trassenvarianten (siehe auch Kapitel 4.3) behandelt. Die Bauwerkslängen der Trogbauwerke, der Tunnelbauwerke in offener und geschlossener Bauweise inkl. der unterirdischen Station sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Bauwerke	Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Tunnel offene Bauweise (2-gleisig)	780 m		
Tunnel geschlossene Bauweise (1-gleisig)		2 x 600 m	2 x 2.270 m
Station „Campus Westend“ (2-gleisig)			105 m
Startbaugrube TVM (2-gleisig)		80 m	85 m
Rampenbauwerk (2-gleisig)	200 m	220 m	40 m
Tunnel BAB 66 offene Bauweise (2-gleisig)	100 m	100 m	

Abbildung 5: Übersicht Längen der Trog- und Tunnelbauwerke je Variante (Angabe Längen je Tunnelröhre; graue Felder: Maßnahmen fallen in entsprechender Variante nicht an)

Für die neuen Tunnel sind die Vorgaben der VGF aus den aktuellen Normalien zugrunde zu legen, soweit die dort abgegebenen Querschnittsparameter zutreffen.

4.5.2 Tunnel offene Bauweise

4.5.2.1 Allgemeines

Bei der offenen Bauweise wird das Bauwerk im Schutze eines Verbaus blockweise erstellt und überwiegend als einzelliger Stahlbeton-Rechteckrahmen ausgebildet. Die Länge der Tunnelblöcke beträgt in der Regel 10 m. Diese können stellenweise aus technischen Gründen oder entsprechend den geometrischen Gegebenheiten auch überschritten oder unterschritten werden.

Das Tunnelbauwerk wird ohne verbleibenden Arbeitsraum direkt an die Verbauwand betoniert. Um eine zwängungsarme Bewegung zwischen dem Bauwerk und der Verbauwand / Baugrubensohle zu ermöglichen, wird gemäß ZTV-Ing., Teil 2, Abs. 4, eine Trennfolie an die Außenflächen der Tunnelwände und der Tunnelsohle angebracht.

Zur Sicherung des Tunnelbauwerks gegen schädliche Einflüsse aus Bebauungen, welche durch das Tunnelbauwerk tangiert werden, sind Mindestabstände festgelegt worden, welche einzuhalten sind. Diese werden durch eine Schutzzone für die Tunnel in offener Bauweise definiert. Außerhalb dieser Schutzzone können Bauvorhaben oder Abgrabungen ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Falls ein Bauvorhaben bei Einhaltung der Schutzzone unmöglich würde oder ansonsten eine Unwirtschaftlichkeit dieser Bauvorhaben erwartet werden kann, sind

technische Abstimmungen mit der VGF zu führen sowie ggf. Nachweise zu erbringen, dass die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Tunnelbauwerke nicht beeinträchtigt wird. In diesem Fall können im Einzelfall Ausnahmen von der Schutzzone zugelassen werden.

4.5.2.2 Querschnitt

Die Gestaltung des Querschnitts basiert auf den zur Zeit der Erstellung gültigen Vorgaben wie der zwischen der Stadt Frankfurt am Main und der VGF abgestimmten Normen für Regelquerschnitte für Tunnel. Für die Ausbildung von Sicherheitsräumen und Rettungswegen gelten die Bestimmungen der BOStrab sowie der DIN 5467. Darüber hinaus werden die „Grundsätzlichen Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken“ (GVT-Teil 1) der VGF, Stadt Frankfurt am Main und dem Regierungspräsidium Darmstadt sowie die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauwerke (ZTV-Ing)“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) beachtet.

Die in der benannten Unterlage definierten lichten Querschnittsabmessungen gewährleisten die konfliktfreie Anordnung zweier nebeneinander fahrender Züge sowie Bautoleranzen der erforderlichen Betriebs- und Sicherheitsausstattung innerhalb des Tunnels. Aufgrund der innerhalb der Station „Bockenheimer Warte“ mittig liegenden Gleise der Aufstellanlage wird der Regelgleisachsabstand und damit das Bauwerk am Bestandsanschluss entsprechend aufgeweitet.

Im Regelfall kann der Tunnel stützenfrei erstellt werden. An o.g. Bestandsanschluss kann es aufgrund der geometrisch bedingten Querschnittsaufweitung aus statisch-konstruktiven und wirtschaftlichen Gründen jedoch zur Anordnung von Mittelstützen kommen.

Der Regelquerschnitt gibt einen lichten Abstand von Unterkante (UK) Tunneldecke bis Schienenoberkante (SO) von 4,45 m vor. Dieses Maß wird auf dem gesamten Streckenabschnitt des Tunnels in offener Bauweise eingehalten.

Die Querschnittsstärken sind statisch bedingt und daher abhängig von der lichten Weite, der Überdeckung und der Tiefenlage des Tunnels in der weiteren Planung zu verifizieren. Im Bereich der offenen Bauweise werden die Wände, die Decke sowie die Sohle derzeit mit 90 cm Stärke angenommen. Die Baugrubenumschließung wird derzeit, wo für die Einschätzung der Machbarkeit erforderlich, mit 1,20 m Stärke abgeschätzt. Vorgenanntes betrifft auch die Bereiche der Startbaugruben für die Tunnelbohrmaschine.

In den Rampenbereichen ist nach derzeitiger überschlägiger Abschätzung die Dicke von Wänden und Sohle der Bauwerke sowie die Baugrubenumschließung ebenfalls mit jeweils 90 cm abgeschätzt.

Der Zutritt von Grundwasser durch die Baugrubensohle ist durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Innerhalb der Baugrube sollte deshalb eine Grundwassersohlentension vorgesehen werden. Eine Rückverankerung der Sohle in den Untergrund ist bei den anstehenden Böden voraussichtlich nicht umsetzbar. Die Möglichkeit einer Außenwasserhaltung mit Folge einer großflächigen Grundwasserabsenkung wird aus Gründen des Umweltschutzes und der Genehmigungsfähigkeit nicht in Betracht gezogen und daher bereits jetzt ausgeschlossen.

4.5.2.3 Ausbau

Der Tunnel wird mit einer Fahrleitungsanlage und der Oberbauart Feste Fahrbahn zur Aufnahme der Gleise ausgestattet. Die Aufbauhöhe der Schienenoberkante wird mit rd. 55 cm über der Oberkante Sohle angenommen. An jeder Wandseite verläuft ein abgedeckter Kabelkanal, in welchem die betriebsnotwendigen Kabel verlegt werden. Die Oberkante der Kabelkanäle liegt außerhalb von Bögen etwa 50 cm oberhalb der Schienenoberkante. Auf jeder Seite des Tunnels verläuft auf dem Kabelkanal ein Sicherheitsraum bzw. Rettungsweg mit einem jeweiligen durchgehenden Handlauf entlang der Tunnelwände.

Im tunnelseitigen Portalbereich (Rampenbauwerk) werden voraussichtlich erforderliche zusätzliche Ausbaumaßnahmen zur Entwässerung des Trogbereiches und zum Schallschutz fortgeführt.

4.5.2.4 Überdeckung

Die Überdeckung des Tunnels liegt je nach Gradienten und Geländehöhe etwa zwischen 1 und 12 m.

4.5.2.5 Grundwasser

Bei Zugrundelegung des Bemessungswasserstandes für den Endzustand liegt der Tunnel, außer im Portalbereich, vollständig im Grundwasser.

4.5.2.6 Tragwerksplanung

Bei der Lastermittlung und der statischen Bemessung sind die „Grundsätzlichen Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken (GVT)“ einzuhalten. Die Tiefen der Bauwerksumschließungen richten sich nach den statischen Anforderungen.

4.5.2.7 Baustoffe, Konstruktion

Der Tunnelrahmen wird als WU-Betonkonstruktion ausgeführt. Dieser hat auch den Anforderungen des baulichen Brandschutzes zu genügen. Daher ist in den weiteren

Planungsphasen zu untersuchen, ob zum Schutz gegen Abplatzungen im Brandfall Vorkehrungen getroffen werden müssen, z.B. durch Zusatz von PP-Fasern im Beton.

4.5.3 Tunnel geschlossene Bauweise

4.5.3.1 Allgemeines

Im Gegensatz zur offenen Bauweise, bei welcher der Tunnel im Schutze einer offenen Baugrube erstellt wird, erfolgt die Herstellung eines Tunnels in geschlossener Bauweise untertage und mit reduzierten Eingriffen in die Geländeoberfläche. Die Ausführung für die hier beschriebenen Varianten soll im Maschinenvortrieb mit einer Tunnelbohrmaschine erfolgen. Hintergrund dafür sind die aus dem Projekt Stadtbahn Europaviertel resultierenden positiven Erfahrungen beim Auffahren der Tunnel mit Tunnelbohrmaschine sowie die fehlende Genehmigungsfähigkeit bei der Ausführung von Druckluftvortrieben, z.B. in der Vortriebstechnologie NÖT (Neue Österreichische Tunnelbauweise).

Die geschlossene Bauweise kommt in den Varianten 1d und 3i zum Einsatz. Hier verlaufen die beiden Einzelröhren je nach Trassenverlauf weitestgehend in Parallellage und überwiegend in einem lichten Abstand von etwa zwei Tunneldurchmessern. Ausnahme bildet die Unterfahrung der BAB 66 in der Variante 3i, wo aufgrund der dort vorhandenen Brückenbauwerke aus geometrischen Gründen eventuell eine größere Aufweitung des Röhrenabstandes erforderlich wird.

In den Bereichen von Notausstiegen sowie in der Station „Campus Westend“ der Variante 3i werden nach Herstellung der Bauwerksgrubenwände diese mit der Tunnelbohrmaschine im nicht ausgehobenen Zustand durchörtert und die Tunnelröhrenabschnitte mit dem Aushub rückgebaut. Dazu erhalten die Baugrubenwände eine entsprechende Bewehrung und gegebenenfalls außen an die Baugruben anschließende Dichtblöcke.

Zur Sicherung des Tunnelbauwerks gegen schädliche Einflüsse aus Bebauungen, welche durch das Tunnelbauwerk unterfahren werden, sind Mindestabstände festgelegt worden, welche einzuhalten sind. Diese werden durch eine Schutzzone für die Tunnel in geschlossener Bauweise definiert. Außerhalb dieser Schutzzone können Bauvorhaben oder Abgrabungen ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Falls ein Bauvorhaben bei Einhaltung der Schutzzone unmöglich würde oder ansonsten eine Unwirtschaftlichkeit dieser Bauvorhaben erwartet werden kann, sind technische Abstimmungen mit der VGF zu führen sowie ggf. Nachweise zu erbringen, dass die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Tunnelbauwerke nicht beeinträchtigt wird. In diesem Fall können im Einzelfall Ausnahmen von der Schutzzone zugelassen werden.

4.5.3.2 Querschnitt

Der Tunnelquerschnitt wird als Kreisquerschnitt ausgebildet. Der lichte Innendurchmesser des Tunnels wird mit einem Mindestmaß/ Regelmaß von 5,90 m angenommen.

Der Außendurchmesser liegt bei Annahme der Tübbingstärke von jeweils 45 cm somit bei rd. 6,80 m. Der Aushubquerschnitt als Bemessungsgröße der Tunnelbohrmaschine liegt danach bei etwa 7,10 m.

Die festgelegten Innenabmessungen gewährleisten den konfliktfreien Lichtraum eines Stadtbahnfahrzeugs, beidseitige Sicherheitsräume und Kabelkanäle und die erforderliche Betriebs- und Sicherheitsausstattung jeweils unter Beachtung von Bau- und Auffahrtoleranzen.

4.5.3.3 Ausbau

Der Tunnel wird mit einer Fahrleitungsanlage und der Oberbauart Feste Fahrbahn zur Aufnahme der Gleise ausgestattet. Die Aufbauhöhe der Schienenoberkante wird mit rd. 55 cm über der Oberkante Sohle angenommen. An jeder Wandseite verläuft ein abgedeckter Kabelkanal, in welchem die betriebsnotwendigen Kabel verlegt werden. Die Oberkante der Kanäle liegt außerhalb von Bögen etwa 50 cm oberhalb der Schienenoberkante. Auf jeder Seite des Tunnels verläuft auf dem Kabelkanal ein Sicherheitsraum bzw. Rettungsweg mit einem jeweiligen durchgehenden Handlauf entlang der Tunnelwände.

4.5.3.4 Überdeckung

Die Überdeckung der Tunnelfirste zur Geländeoberfläche liegt je nach Gradienten etwa zwischen einem und dem ca. vierfachen Tunnelaußendurchmesser. Die Gleisgradienten (Schienenoberkante) liegt bei der Variante 1d maximal rd. 25 m unter der Geländeoberfläche, bei der Variante 3i maximal rd. 30 m.

4.5.3.5 Grundwasser

Bei Zugrundelegung des Bemessungswasserstandes für den Endzustand liegt der Tunnel, außer im Portalbereich, vollständig im Grundwasser.

4.5.3.6 Erschwernisse / Hindernisse im Baugrund

Es ist nicht auszuschließen, dass bei naher Unterfahrung von bestehender Bebauung Reste von Baugrubensicherungen (Bohrpfähle, Spundwände, Anker, etc.) erstellter Hochbauten im Boden und somit möglicherweise auch im Vortriebsbereich verblieben sind. Dies gilt ebenso für den Bereich des Bestandsanschlusses, falls bei der Herstellung der Baugrube für den Bau der Station „Bockenheimer Warte“ entsprechende Baugrubensicherungen nicht wieder rückgebaut wurden.

Weitere Erschwernisse sind bei der Querung der BAB 66 in der Variante 3i zu erwarten, da hier mehrere Brückenbauwerke unterfahren werden.

Nicht zuletzt können auch durch nicht bekannte oder bereits aufgegebene Brunnen oder Grundwasserpegel Hindernisse für den Tunnelvortrieb entstehen. Daher ist in den weiteren Planungsphasen neben einer erweiterten geotechnischen Untersuchung auch eine Bestandsbauwerksanalyse bei der Bauaufsicht der Stadt Frankfurt sowie eine Anfrage nach Altbrunnen bei der unteren Wasserbehörde (UWB) der Stadt Frankfurt sowie dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) durchzuführen.

4.5.3.7 Tragwerksplanung

Bei der Lastermittlung und der statischen Bemessung sind die zum Zeitpunkt der Erstellung gültigen „Vereinbarungen und Normen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken“ einzuhalten.

4.5.3.8 Baustoffe, Konstruktion

Die Tunnelröhren bestehen aus einem einschaligen, druckwasserhaltenden Tübbingausbau, welche während des Vortriebs durch die Tunnelbohrmaschine gesetzt werden. Der notwendige Ringspalt zwischen der Tübbingröhre und dem anstehenden Boden wird ebenfalls im Vortrieb mit einem Verpressmörtel verfüllt.

Die Tübbingröhren haben auch den Anforderungen des baulichen Brandschutzes zu genügen. Daher ist in den weiteren Planungsphasen zu untersuchen, ob zum Schutz gegen Abplatzungen im Brandfall Vorkehrungen getroffen werden müssen, z.B. durch Zusatz von PP-Fasern im Beton.

4.5.4 Notausstiege

4.5.4.1 Allgemeines

Die Notausstiege werden in offener Bauweise als örtlich begrenzte Einzelbauwerke hergestellt. Die Herstellung der Baugrube und des Bauwerks selbst erfolgt im Grundsatz wie die Tunnelbauwerke in offener Bauweise. Daher wird an dieser Stelle auf Kapitel 4.5.2 verwiesen.

Die erforderlichen Bauwerke der Notausstiege wurden innerhalb der Machbarkeitsstudie in der Art berücksichtigt, dass die beiden Richtungsgleise das Notausstiegsbauwerk vollständig durchfahren. In dem Bauwerk werden dann zwischen den Röhren sowohl die Fluchttreppenanlage sowie der Feuerwehrrangriffsweg ausgeführt.

Die Lage der Notausstiege wurde nach Möglichkeit so gewählt, dass ein Zugang von einer öffentlichen Verkehrsfläche aus erfolgen kann. Zudem sind die gültigen Anforderungen nach einem Maximalmaß des Rettungsweges von 300 m bis zu einem Entfluchtungsweg aus der Tunnelanlage berücksichtigt worden. Aus diesem Grund sind sowohl bei Variante 1d als auch bei Variante 3i trotz des bereits bestehenden Notausstiegs an der Station „Bockenheimer Warte“ weitere ein bis drei weitere Notausstiege anzuordnen.

Weitere Hinweise zur Entfluchtung siehe Kapitel 5.2, Rettungskonzeption.

4.5.4.2 Ausbau

Die Notausstiegsbauwerke werden jeweils mit der sicherheitstechnisch und betrieblich notwendigen Ausstattung, welche auch im Stör- und Brandfall in Funktion bleibt, versehen. Der Zugang von der Oberfläche aus ist außerhalb des Rettungsfalls verschlossen.

4.5.4.3 Grundwasser

Bei Zugrundelegung des Bemessungswasserstandes für den Endzustand liegt der Tunnel, außer im Portalbereich, vollständig im Grundwasser.

4.5.4.4 Tragwerksplanung

Bei der Lastermittlung und der statischen Bemessung sind die „Grundsätzlichen Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken (GVT)“ einzuhalten. Die Tiefen der Bauwerkumschließungen richten sich nach den statischen Anforderungen.

4.5.4.5 Baustoffe, Konstruktion

Das Notausstiegsbauwerk wird als WU-Betonkonstruktion ausgeführt. Dieses hat auch den Anforderungen des baulichen Brandschutzes zu genügen. Daher ist in den

weiteren Planungsphasen zu untersuchen, ob zum Schutz gegen Abplatzungen im Brandfall Vorkehrungen getroffen werden müssen, z.B. durch Zusatz von PP-Fasern im Beton.

4.5.5 Station „Campus Westend“ (Variante 3i)

4.5.5.1 Allgemeines

Die unterirdische Station „Campus Westend“ wird in offener Bauweise hergestellt. Die Herstellung der Baugrube und des Bauwerks selbst erfolgt im Grundsatz wie die Tunnelbauwerke in offener Bauweise. Daher wird an dieser Stelle auf Kapitel 4.5.2 verwiesen.

Wie unter Kapitel 4.5.3.1 ausgeführt, erhalten die Baugrubenwände in der Schildspur der Tunnelbohrmaschine eine durchhörerbare Bewehrung, z.B. GFK-Bewehrung.

Die Station wird ohne Verteiler- bzw. Zwischenebene (B-Ebene) errichtet. Die Erschließung des in Mittelage geplanten Bahnsteigs erfolgt über vor Kopf angeordnete, eingeschobene Treppenaufgänge und über Fahrtreppen. Es ist durch die Lage der Station auf dem Campus möglich, zur Erschließung auf jeder Kopfseite nur ein Zugangsbauwerk vorzusehen. Die aktuelle Planung berücksichtigt derzeit für die Aufgänge jeweils eine Treppe von ca. 4,0 m lichter Breite sowie zwei Fahrtreppen (abwärts und aufwärts) mit einer Nutzbreite von jeweils ca. 1,00 m.

Für den behindertengerechten Zugang des Bahnsteigs erhält die Station einen Aufzug in Bahnsteigmitte. Die genaue Verortung ist in der weiteren Planung noch festzulegen. Der Aufzug sollte als „Durchlader“ (ein Rollstuhlfahrer kann jeweils vorwärts die Tür passieren) ausgebildet werden.

Die Breite des Bahnsteigs wurde aufgrund der aktuell noch nicht eruierten Fahrgastzahlen zunächst über die geometrische Breite von Treppenzugängen, Bahnsteigrestbreiten und Lichträumen der Gleisanalgen entwickelt. Die genauen Abmessungen können erst in der weiteren Planung unter Berücksichtigung der genauen Fahrgastzahlen sowie der Evakuierungsberechnung für die Entfluchtung ermittelt werden.

Entsprechend den technischen und gestalterischen Anforderungen werden die Bahnsteigbereiche und Zugänge mit einer Beleuchtung und einer Sicherheitsbeleuchtung ausgestattet.

Die Wandflächen können zur architektonischen Raumgestaltung und zur Verbesserung der Raumakustik mit Oberflächenbekleidungen versehen werden. In diesem Falle müssen diese den brandschutztechnischen Anforderungen, den Beanspruchungen aus der Nutzung und dem gestalterischen Gesamtkonzept zum raumbildenden Ausbau entsprechen. Die Bahnsteigbodenflächen sollten leicht zu reinigende Materialien erhalten. Ein taktiles Leitsystem sowie ein Sicherheitsstreifen an den Bahnsteigkanten sind vorzusehen.

Die Festlegungen zur Anordnung der erforderlichen Betriebsräume für die technischen Anlagen des Bahnbetriebs und für die Versorgung der Station sind ebenfalls in der weiteren Planung zu treffen. Die Betriebsräume sind in Anlehnung an das Raumbuch der VGF und nach den Anforderungen an die technischen Einrichtungen mit den erforderlichen technischen Ausrüstungen auszubauen.

Zur Sicherung des Ingenieurbauwerks gegen schädliche Einflüsse aus Bebauungen, welche Lasten auf das Bauwerk aufbringt, sind Mindestabstände festgelegt worden, welche einzuhalten sind. Diese werden durch eine Schutzzone definiert. Außerhalb dieser Schutzzone können Bauvorhaben oder Abgrabungen ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Falls ein Bauvorhaben bei Einhaltung der Schutzzone unmöglich würde oder ansonsten eine Unwirtschaftlichkeit dieser Bauvorhaben erwartet werden kann, sind technische Abstimmungen mit der VGF zu führen sowie ggf. Nachweise zu erbringen, dass die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Ingenieurbauwerks nicht beeinträchtigt wird. In diesem Fall können im Einzelfall Ausnahmen von der Schutzzone zugelassen werden.

4.5.5.2 Stationsgeometrie

Die Stationsgeometrie wird im Wesentlichen von der Trassierung sowie der Anordnung der Zugangsbauwerke bestimmt (in Bahnsteig eingeschoben oder vollständig vor dem Bahnsteigkopf). Im Norden und Süden schließt die Station an den jeweils zweiröhren geschlossenen Tunnel an. Der Querschnitt ergibt sich daher nicht aus der erforderlichen Bahnsteigbreite an den Kopfseiten, sondern aus dem Maß der Ankunfts wand der Tunnelbohrmaschinen sowie dem Abgangsbauwerk (zwei Fahrtreppen und eine Festtreppe) und den zugehörigen Mindestbreiten bis zur Bahnsteigkante sowie seitlich anschließend dem Querschnitt für den Lichtraum des Fahrzeugs nebst Sicherheitsabständen entsprechend der Normale für den Rohbau der VGF.

Die Höhe der Station ergibt sich aus der Gleislage. Die Gleisgradienten schließen nach derzeitiger Planung in einer Höhe von rd. 12 m unter Geländeoberkante an. Dadurch kann ein ausreichend hoher Stationskörper ausgebildet werden. Es besteht so auch die Möglichkeit, Tageslichtöffnungen, gegebenenfalls kombiniert mit dauergeöffneten, wettergeschützten Entrauchungsöffnungen oder auch Betriebsräume (vergleichbar mit der Station „Güterplatz“ im Projekt Stadtbahn Europaviertel) anzuordnen.

Die endgültigen Bauteilstärken des Rohbaus sind noch nicht näher bestimmt und variieren voraussichtlich entlang des Stationsverlaufs und ergeben sich aus den statischen Erfordernissen in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen.

4.5.5.3 Bahnsteig

Die Station hat einen Mittelbahnsteig mit jeweils gerade verlaufenden Bahnsteigkanten entsprechend der Trassierung der Gleise. Die Abstände zur Gleisachse werden

entsprechend der Normalie für den Rohbau der VGF berücksichtigt. Die Bahnsteiglänge beträgt 105 m.

Auf dem Bahnsteig werden mindestens die Zugangsbauwerke (Treppe plus Fahrtreppen) sowie ein Aufzug angeordnet. Die Bahnsteigbreite liegt nach derzeitiger Abschätzung bei rd. 11 m. Die Oberkante des Bahnsteigs wird 81 cm über Schienenoberkante verortet.

4.5.5.4 Zugangsbauwerke/ Aufzug

An der Oberfläche erhalten die Bahnsteigzugänge eine Überdachung als Witterungsschutz. Der Verschluss der Stationen während der betriebsfreien Zeit sollte über Stationsabschlüsse an den Zugängen auf Straßenebene sichergestellt werden.

Die Ausgestaltung der Bahnsteigzugänge, beispielsweise mit vollständiger Einhausung, erfolgt in der weiteren Planung.

4.5.5.5 Entrauchung

Wie unter Kapitel 4.5.5.2 erläutert, besteht die Möglichkeit der Anordnung einer natürlichen Entrauchung der Station. Andernfalls wären entsprechende Rauchwärmeableitungsanlagen (RWA-Anlagen) erforderlich. Für die genaue Festlegung sowie die Festlegung der entsprechenden Abmessungen der Entrauchungsanlagen sollten in der weiteren Planung entsprechende Brandsimulationsberechnungen innerhalb eines Brandschutz-, Lüftungs- und Rettungskonzepts erfolgen. Hierzu wird auch auf Kapitel 5 verwiesen.

4.5.5.6 Baustoffe, Konstruktion

Die Station „Campus Westend“ wird als WU-Betonkonstruktion ausgeführt.

4.5.5.7 Raumbildender Ausbau

Für den raumbildenden Ausbau sollte in der weiteren Planung ein entsprechendes Gestaltungskonzept erstellt werden. In der derzeitigen Planungsphase erfolgen dazu noch keine Aussagen.

4.5.5.8 Anschluss Versorgungsleitungen

Die Station ist mit einem entsprechend dimensionierten Energieanschluss zu versorgen. Die Bereitstellung der entsprechenden Leistungsbedarfs ist frühzeitig mit dem örtlichen Energieversorgungsunternehmen (Mainova) abzustimmen.

Die weitere Ver- und Entsorgung ist ebenfalls in der weiteren Planung zu klären.

4.5.5.9 Oberfläche

Bei Wiederherstellung der Oberflächen sind diese auf die Anforderungen des Stationsbauwerks sowie des Campus-Geländes hin angepasst wiederherzustellen. Neben den unterschiedlichen Einbauten wie Zu- und Abluftschächte, Entrauchungsanlagen, Medieneinführungen, etc., muss eine Anpassung der Oberflächenplanung im Bereich der Ausgänge erfolgen.

4.5.5.10 Grundwasser

Bei Zugrundelegung des Bemessungswasserstandes für den Endzustand liegt der Tunnel, außer im Portalbereich, vollständig im Grundwasser.

4.5.5.11 Tragwerksplanung

Bei der Lastermittlung und der statischen Bemessung sind die „Grundsätzlichen Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken (GVT)“ einzuhalten. Die Tiefen der Bauwerksumschließungen richten sich nach den statischen Anforderungen.

4.5.6 Oberirdische Strecke

4.5.6.1 Gleisquerschnitt

Die oberirdische Strecke wird auf ganzer Länge zweigleisig ausgebildet. Der Gleisachsabstand wird in der geraden Strecke zur Anordnung von Mittelmasten für die Fahrleitung mit 3,40 m angesetzt.

Fahrwegbegleitend erfolgt die Herstellung einer Schachtleerrohranlage zur Führung der erforderlichen Telekommunikations- und Rückleiterkabel.

4.5.6.2 Ausbau

Die Strecke wird mit einer Fahrleitungsanlage ausgestattet. Die Oberbauarten sind in den weiteren Planungsphasen noch festzulegen. Hier kann aber entweder Schottergleis, Feste Fahrbahn oder auch hoch- oder tiefliegendes Grüngleis ausgeführt werden.

4.5.6.3 Bauwerke

Innerhalb der oberirdischen Streckenabschnitte sind (sofern nicht unter „Tunnel“ erfasst) je nach gewählter Variante eine unterschiedliche Anzahl an konstruktiven Bauwerken für die Bahnanlage sowie auch zur Aufrechterhaltung des Verkehrs infolge des Baus der Bahnanlage erforderlich.

Hier sind maßgeblich zu nennen:

- Neubau Brückenbauwerk der Station „Botanischer Garten“ (Außenbahnsteige)
- Neubau der Rad- und Fußwegbrücke über die L 3004 zum Botanischen Garten
- Neubau Brückenbauwerk der Station „Bundesbank“ (Mittelbahnsteig)
- Neubau Straßenbrücke als Ersatzabfahrt zur Wilhelm-Epstein-Straße
- Neubau Straßenbrücke als Zubringer zum Miquelknoten

Bauwerke	Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Brücke Station „Botanischer Garten“	150 m	150 m	
Rad- und Fußwegbrücke L3004	80 m	80 m	
Brücke Zubringer Miquelknoten	80 m	80 m	
Brücke Station „Bundesbank“	125 m	125 m	125 m
Brücke Ersatzabfahrt Wilh.-Epstein-Straße	100 m	100 m	100 m

Abbildung 6: Übersicht Bauwerke oberirdische Strecke je Variante (Angabe Längen je Bauwerk; graue Felder: Maßnahmen fallen in entsprechender Variante nicht an)

Die Stationen erhalten eine Bahnsteighöhe von 81 cm über Schienenoberkante.

4.5.7 Verkehrs- und Grünanlagen sowie Trassenumlegungen

Durch den Bau der Bahnanlage werden außerdem diverse Maßnahmen an Straßenverkehrsanlagen sowie für Grünflächenersatz- und Anpassungsmaßnahmen erforderlich.

Maßgeblich sind dies im Wesentlichen die nachfolgenden mit “x” gekennzeichneten Maßnahmen:

Maßnahmen	Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Temporäre Verkehrsanlagen Zeppelinallee/ Miquelallee	X		
Umgestaltung Grünflächen Botanischer Garten	X	X	
Umgestaltung Grünflächen Campus Westend			X
Verkehrsanlagen Zubringer Miquelknoten Süd	X	X	
Verkehrsanlagen Zubringer Miquelknoten Nord	X	X	X
Umgestaltung Grünflächen Miquelanlage	X	X	X
Verkehrsanlagen Ersatzabfahrt Wilhelm-Epstein-Straße	X	X	X
Verkehrsanlagen Platenstraße	X	X	X

Abbildung 7: Übersicht maßgebliche Maßnahmen Straße und Grünflächen oberirdische Strecke je Variante (graue Felder: Maßnahmen fallen in entsprechender Variante nicht an)

Zudem sind zur Baufeldfreimachung maßgeblich im Bereich der oberirdischen Strecke sowie für die vorgenannten Anpassungsmaßnahmen an den Straßenverkehrsanlagen zahlreiche Trassenumlegungen vorzunehmen. Im Falle der Variante 1a werden zusätzlich umfangreiche Trassenumlegungen im Bereich der Tunnelstrecke in offener Bauweise erforderlich, die zum Teil nach Herstellung und Überdeckung des Tunnels in alter Lage wieder herzustellen sind (temporäre Trassenumlegungen).

Maßnahmen	Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Temporäre Trassenumlegung Tunnelbereich Zeppelinallee/ Miquelallee	X		
Trassenumlegung oberirdische Strecke südlich BAB 66/ Miquelallee	X	X	
Trassenumlegung oberirdische Strecke nördlich BAB 66/ Miquelallee	X	X	X

Abbildung 8: Übersicht maßgebliche Maßnahmen der Trassenumlegung je Variante (graue Felder: Maßnahmen fallen in entsprechender Variante nicht an)

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind diese Maßnahmen alle als Folgemaßnahme zur Herstellung der Bahnanlage einzuordnen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass weitere parallele Maßnahmen im Zuge der jeweiligen Variante mit

umgesetzt werden sollen. Betrachtet werden solche Maßnahmen in der vorliegenden Machbarkeitsstudie jedoch nicht.

4.5.8 Entwässerungskonzept

Für die oberirdischen Streckenabschnitte zwischen den jeweiligen Rampenbauwerken in den verschiedenen Varianten und dem Anschluss an die Bestandsstrecke in Ginnheim sind in den weiteren Planungen entsprechende Entwässerungsanlagen gemäß den VGF-Normalien zu konzipieren und zu planen. Dies erfolgt auf Basis noch zu erstellender, erweiterter Baugrundbegutachtungen insbesondere im Hinblick auf die Versickerungsfähigkeit des anstehenden Bodens.

Alle unterirdischen Bauwerke sind hinsichtlich anfallendem Wasser (Leckagewasser, mit den Bahnen eingetragenes Wasser, Schmutzwasser aus Sanitäreanlagen etc.) mit entsprechenden Entwässerungsanlagen auszustatten und das Wasser über Hebeanlagen in die vorhandenen oder herzustellenden Vorfluter an die Oberfläche zu fördern. Nach Möglichkeit ist das Wasser, sofern keine Verunreinigungen erfolgen, an der Oberfläche durch Versickerung wieder dem Grundwasser zuzuführen.

5. Rettungs-, Lüftungs- und Brandschutzkonzeption

5.1 Allgemeines

Innerhalb der Machbarkeitsstudie wurden noch keine weitergehenden Untersuchungen zu den Themen Rettung, Lüftung und Brandschutz der Tunnelabschnitte erstellt. Für die grundsätzliche Machbarkeit sind jedoch erste Überlegungen erforderlich, welche nachfolgend beschrieben werden.

In den weiteren Planungsphasen sind die Themenbereiche entsprechend vertiefend über jeweilige Fachgutachten zu betrachten, um für die Planung die entsprechenden Randbedingungen bzw. Vorgaben zu liefern.

5.2 Rettungskonzeption

5.2.1 Grundsätze der Rettungskonzeption

Die Rettungskonzeption basiert aufgrund von Erfahrungen mit dem zeitlichen Ablauf von Schadensereignissen in Tunneln in der ersten Phase der Selbstrettung. In zweiter Phase erfolgt ein Fremdrettungseinsatz durch externe Notfalldienste (Feuerwehr, Rettung, Polizei und Fremdfirmen).

Grundlage des Rettungskonzepts der VGF ist, dass bei einem Havarie-Ereignis der Fahrzeugführer grundsätzlich das Fahrzeug in die nächste Station fährt, sofern dies möglich ist. Dort kann die Entfluchtung der Fahrgäste bestenfalls erfolgen.

5.2.2 Selbstrettung

Grundsätzlich wird für eine Rettungskonzeption davon ausgegangen, dass bei einem Notfall, bei dem eine Evakuierung bzw. Selbstrettung erforderlich ist, sich die Fahrgäste in der ersten Phase möglichst aus eigener Kraft aus dem unmittelbaren Gefahrenbereich von Bränden oder sonstiger Gefahrenquellen in einen sicheren Bereich retten. Dabei wird u.a. davon ausgegangen, dass mobilitätseingeschränkte Personen durch andere Fahrgäste unterstützt werden.

Die Evakuierung des Ereignisfahrzeugs (z.B. brennendes Fahrzeug) erfolgt nach Möglichkeit mit Unterstützung des geschulten Fahrzeugführers in einen sicheren Bereich (Stationen, Notausstiege). Endpunkt der Evakuierung ist der endgültig sichere Ort an der Oberfläche im Freien. Diese sicheren Orte wären das Freie im Anschluss an

- die unterirdischen Stationen „Bockenheimer Warte“ bzw. „Campus Westend“,
- die Notausstiege bzw.
- die Tunnelportale.

5.2.3 Fremdrettung

Die Fremdrettung erfolgt durch externe Notfalldienste (i. d. R. die Feuerwehr). Ziel der Fremdrettung ist, jene Personen zu finden, die nicht aufgrund der Selbstrettung den Gefahrenbereich verlassen konnten, diese ist in einen sicheren Bereich zu befördern bzw. auf andere Weise deren Sicherheit zu gewährleisten.

5.2.4 Flucht- und Rettungswege

5.2.4.1 Tunnelstrecken

In den Tunnelstrecken sind zur Orientierung im Entfluchtungsfall selbstleuchtende und nachleuchtende Fluchtwegkennzeichnungen anzuordnen. Diese sind so beschaffen, dass sie vom jeweiligen Befestigungsort den kürzesten Weg mit Angabe der Richtung und der Entfernung zum nächsten sicheren Ort anzeigen (Notausstiege, Stationen oder Tunnelportale an den Rampenbauwerken). Die Kennzeichnungen sind an die Notstromversorgung anzuschließen.

Die Lage der Notausstiege ist mit maximal 600 m Abstand untereinander bzw. zum nächsten sicheren Ort (Stationen, Tunnelportale) anzuordnen, so dass der Fluchtweg bis ins Freie gem. § 30 BOStrab nicht mehr als 300 m beträgt. Die Notausstiege verfügen über ein von beiden Tunnelröhren aus erreichbares Treppenhaus, welches an die Oberfläche ins Freie führt. Gleichzeitig ist hier auch ein paralleler Schacht mit Leiter angeordnet, der den Feuerwehrrangriff für die Fremdrettung bzw. für Löscheinsätze ermöglicht. Der Feuerwehrrangriff ist auch von der Station bzw. dem Tunnelportal aus möglich.

Unter Umständen könnte auch eine Rettung seitlich in die 2. Tunnelröhre (bei Variante 1d und 3i) möglich werden, wobei dies aktuell als nicht sehr wahrscheinlich angesehen wird. Dies wäre in den weiteren Planungsphasen zu untersuchen. Die Querschläge und Notausstiege sind aktuell mindestens in dem Abstand geplant, den die BOStrab vorsieht (siehe oben).

5.2.4.2 Unterirdische Stationen

Die unterirdischen Stationen müssen zum einen die Rettung aus den anschließenden Tunneln und zum anderen auch aus den Stationen selbst ermöglichen. Dazu sind die Bahnsteigflächen sowie die Treppenanlagen ausreichend breit zu gestalten. Im Falle der Station „Campus Westend“ ist vorgesehen, dass die Treppenanlagen an beiden Stationsenden vor Kopf geradlinig und aufgrund der einfachen Tiefenlage der Station in minimaler Länge ausgeführt werden. Eine Entfluchtung der Station ist somit in kürzester Zeit möglich.

Maßgeblich für die Entfluchtungszeit im Brandfall ist auch eine möglichst maximale Dauer, bis die Station einer vollständigen Verrauchung unterliegt.

5.2.5 Zufahrten und Rettungsplätze

Die Zufahrten an die Noteinstiege müssen gegeben und nachgewiesen sein. Es können auch öffentliche Flächen (Straßen, Wege, Plätze) als Rettungsflächen herangezogen werden, wenn ein entsprechendes und mit den Notfalldiensten abgestimmtes Sperrkonzept vorgelegt werden kann.

Für das gegenständliche Vorhaben wird derzeit davon ausgegangen, dass für alle Notausgänge ausreichende Flächen zur Verfügung stehen. Dies ist aber in den weiteren Planungsphasen durch die entsprechenden Untersuchungen noch zu bestätigen.

5.3 Brandschutz- und Lüftungskonzeption

5.3.1 Übergreifendes

Bei der Neubaustrecke handelt es sich um eine Anlage des öffentlichen Verkehrs, die nicht dem Anwendungsbereich der Hessischen Bauordnung (HBO) unterliegt. Für die Dimensionierung der brandschutztechnischen Anforderungen sind vielmehr die BOStrab und aufgrund der BOStrab erlassene Vorschriften sowie allgemein anerkannte Regeln der Technik zu berücksichtigen.

Betrieblich-organisatorische Belange des Brandschutzes sowohl für die Tunnelstrecken als auch für die unterirdische Personenverkehrsanlage sind seitens der VGF als Betreiber im Einvernehmen mit der Branddirektion Frankfurt am Main festgelegt.

5.3.1.1 Tunnelabschnitte

Die Tragfähigkeit des jeweiligen Tunnelbauwerks muss im Brandfall mindestens für den Zeitraum aufrechterhalten bleiben, der für die Selbstrettung und die Fremdrettung von Fahrgästen und Personal erforderlich ist.

Aufgrund der Länge der Tunnelabschnitte der Varianten 1d und 3i sind zusätzlich zum vorhandenen Notausstieg an der Aufstellanlage der Station „Bockenheimer Warte“ weitere Notausstiege erforderlich. In der Variante 1a kann der Notausstieg weiter auch für die Neubaustrecke genutzt werden. Gegebenenfalls sind sicherheitsrelevante oder technische Anpassungen vorzunehmen.

Die Absicherung der erforderlichen Löschwasserversorgung über das vorhandene, öffentliche Hydrantennetz ist noch in der weiteren Planung zu untersuchen. Dazu ist auch der Nachweis des örtlichen Wasserversorgers erforderlich.

Ob Anlagen zur Branderkennung und Alarmierung von Personen erforderlich werden, ist ebenfalls noch zu untersuchen. Sicherheitsbeleuchtung und Rettungszeichen werden vorgesehen.

5.3.1.2 Station „Campus Westend“

Bei eventueller Anordnung von Betriebs- und Technikräumen innerhalb der Station sind diese vom öffentlichen Bereich durch feuerbeständige Bauteile voneinander zu trennen. Weiterhin sind die Technikräume selbst je nach Nutzung durch feuerbeständige Bauteile untereinander abzutrennen.

Es wird empfohlen, innerhalb eines Brandschutzkonzeptes die Personensicherheit der Fahrgäste mit Hilfe von Evakuierungs- und Brandsimulationsberechnungen für das kritische Brandszenarium, den Brand eines Stadtbahnfahrzeugs, nachweisen zu lassen.

Dabei können beispielsweise natürliche Entrauchungsöffnungen in der Decke der Bahnsteighalle ins Freie oder auch Rauchschürzen vor den Treppenaufgängen berücksichtigt werden, um die Evakuierungszeiten zu verlängern.

Die Verfügbarkeit des Angriffsweges der Feuerwehr ist im vorgenannten Brandschutzkonzeptes gleichfalls nachzuweisen.

Für die Station bietet es sich an, diese durch eine flächendeckende Brandmeldeanlage zu überwachen, um die Besucher durch eine Sprachalarmanlage über mögliche Gefahrensituationen zu informieren. Weiterhin ist die Station mit Handfeuerlöschern und manuellen Notrufeinrichtungen auszustatten. Zur Unterstützung des Löschangriffs der Feuerwehr können auf dem Bahnsteig zusätzliche Wandhydranten vorgesehen werden.

Die Absicherung der erforderlichen Löschwasserversorgung über das vorhandene, öffentliche Hydrantennetz ist noch in der weiteren Planung zu untersuchen. Dazu ist auch der Nachweis des örtlichen Wasserversorgers erforderlich.

6. Ausrüstungstechnische Systeme

Die Betrachtung der technischen Ausrüstung der Neubaustrecke war nicht Gegenstand der Machbarkeitsstudie. Es wurden jedoch grundsätzliche Überlegungen vorgenommen, um den Gesamtumfang der Planungsaufgabe umreißen zu können. Dabei wurden auf die gängigen sowie auf die im Bestand bereits vorhandenen Techniken und Vorgaben der VGF aufgesetzt.

6.1 Bahnstromversorgung und Fahrleitungsanlage

6.1.1 Bahnstromversorgung

Für die Versorgung der jeweiligen Varianten wurde die Anzahl von erforderlichen Gleichrichterunterwerke (GUW) zur Bahnstromversorgung über die Längen der Neubaustrecken abgeschätzt. Die Lage der Unterwerke wurde dabei nicht festgelegt. Bei der Abschätzung wurde von einer Redundanz der Unterwerke ausgegangen, um einen evtl. Ausfall oder auch Wartungsarbeiten kompensieren zu können. Die Fahrstromversorgung wird, wie im Bestandnetz der VGF aktuell in Umsetzung, als 750V-Gleichstromanlage ausgeführt.

Gemäß den überschlägigen Abschätzungen kommt für die verschiedenen Varianten voraussichtlich folgende Anzahl an Gleichrichterunterwerken zur Ausführung:

	Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Anzahl GUW	3 Stück	3 Stück	4 Stück

Abbildung 9: Übersicht Anzahl der GUW je Variante

Genauere Angaben, auch zur Verortung und der Art der Ausführung (oberirdisch oder unterirdisch) sind in den weiteren Planungsphasen festzulegen.

6.1.2 Fahrleitungsanlage

6.1.2.1 Tunnelbereich

Auf der gesamten Tunnelstrecke vom Anschluss an das Bestandsbauwerk bis zum jeweiligen Tunnelportal kommt üblicherweise ein automatisch nachgespanntes Fahrleitungssystem, bestehend aus einem an beweglichen Deckenhaltern befestigten Fahrdraht und Verstärkungsseilen zum Einsatz. Die Fahrdrahthöhe sollte bei mindestens 4,00 m liegen.

Im Bereich der Station „Campus Westend“ könnte die Ausführung der Fahrleitung als Stromschiene erfolgen.

6.1.2.2 Fahrleitungssystem in Rampen und an der oberirdischen Strecke

Auf den Oberflächenstrecken könnte ein automatisch nachgespanntes Hochketten-Fahrleitungssystem, bestehend aus einem Fahrdraht und zwei Tragseilen zum Einsatz kommen. Die Fahrdrahthöhe würde an der Oberfläche standardmäßig mit 5,60 m und die Systemhöhe der Hochkette mit 1,80 m festgelegt.

Zur Befestigung der Fahrleitung an der Oberfläche sind in der Regel Stahlprofilmaste (z.B. Peiner-Maste) vorzusehen. Es könne aber auch Rundmaste oder Sonderformate eingesetzt werden. Dies ist noch mit der Stadtgestaltung in der weiteren Planung abzustimmen – auch hinsichtlich eventuelle Kombimaste mit Beleuchtung und/ oder Lichtsignalanlagen.

Soweit der Achsabstand ausreichend ist und es sich um einen eigenen Bahnkörper handelt, sollten die Maste nach Möglichkeit mittig zwischen die Gleise gestellt werden. Ausnahmen können durch entsprechende geometrische Einschränkungen, der Unterquerung von Straßenbrücken oder auf den Bahnsteigbrücken entstehen.

6.2 Leit- und Sicherungstechnik (LST)

In den Tunnelbereichen ist gemäß BOStrab eine Zugsicherung einzusetzen. Die Zugsicherungsanlagen werden von einem elektronischen Stellwerk (ESTW) gesteuert. In der weiteren Planung ist unabhängig von der Variante u.a. festzulegen, ob für die Neubaustrecke ein eigenes neues Stellwerk erforderlich wird oder ob die Steuerung über die bestehende Technik erfolgen kann.

Auf den oberirdischen Streckenabschnitten gilt das Prinzip „Fahren auf Sicht“ – eine Bahnsignaltechnik ist hier nicht erforderlich. An den Straßenkreuzungen muss die Bahn allerdings – wie auch die anderen Verkehrsteilnehmer – die Lichtsignalanlagen (LSA) beachten; sie erhält hier eigene Signalgeber. Die LSA werden im Zuge der Anpassung bzw. des Neubaus der Straßenverkehrsanlagen realisiert.

Aus derzeitiger Sicht werden nachfolgende technische Anlagen auf der Neubaustrecke unabhängig von der jeweiligen Variante erforderlich:

- Anpassung Betriebsleitstelle
- Leit- und Sicherungstechnik
- Herstellen Erdfreiheit
- Weichensteuerung und Weichenheizungen

6.3 Nachrichten- und Informationstechnik

Die Neubaustrecke und alle zugehörigen (unter- und oberirdischen) Stationen werden bedarfsgerecht und bezüglich der Anlagentechnik in Anlehnung an das vorhandene Stadtbahnnetz der VGF mit Nachrichten- und Informationstechnik ausgestattet. Die unterschiedlichen Erfordernisse für die unterirdische Station „Campus Westend“ in der Variante 3i und die oberirdischen Stationen finden dabei besondere Beachtung.

Aus derzeitiger Sicht werden nachfolgende technische Anlagen auf der Neubaustrecke unabhängig von der jeweiligen Variante erforderlich:

- Fernsprechanlagen
- Tunnelfunk
- Analoger Betriebsfunk
- BOS-Funk (Funk für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben)
- Elektroakustische Anlagen
- Dynamische Fahrgastinformation und Uhren
- Objektschutz, Sicherheit und Service (Industriefernsehen, Videoüberwachung, Informations- und Notrufsprechstellen für Fahrgäste)
- Zentrale Leittechnik
- Mehrpreisverkaufsautomaten (MVA)
- TK-Kabelanlage
- Brandmeldeanlagen

Alle technischen Anlagen werden über die zentrale Leittechnik in das bestehende System der VGF eingebunden.

6.4 50 Hz-Elektroenergieversorgung

6.4.1 Tunnelbereich

Die Elektroenergieversorgung der elektrischen Anlagen (50 Hz) in den Tunnelbauwerken wird über die parallel zu den Gleisanlagen verlaufenden Kabelkanäle verlegt.

Aus derzeitiger Sicht werden nachfolgende technische Anlagen in den Tunnelbereichen der Neubaustrecke unabhängig von der jeweiligen Variante erforderlich:

- Tunnelbeleuchtung
- Abwasserentsorgung über Hebeanlagen

Die Anlagen sind im Normalfall über die Primärenergieversorgung aus dem Mittelspannungsnetz des EVU (derzeit: Mainova AG) und zusätzlich über stationsinterne Netzersatzaggregate (Sekundärenergieversorgung) abgesichert.

6.4.2 Unterirdische Station „Campus Westend“

Die Elektroenergieversorgung der elektrischen Anlagen (50 Hz) in der unterirdischen Station „Campus Westend“ in Variante 3i wird ebenfalls über die parallel zu den Gleisanlagen in den Tunnelbauwerken verlaufenden Kabelkanäle verlegt.

Aus derzeitiger Sicht werden nachfolgende technische Anlagen in der unterirdischen Station erforderlich:

- Beleuchtung
- Stromversorgung der örtlichen Verbraucher (bei Anordnung eines GUW in der Station gesonderter Strombedarf zu berücksichtigen)
- Heizung/ Kühlung/ Klimatisierung/ Lüftung
- Wasserversorgung (Sanitäranlagen, Reinigung, Löschwasserversorgung)
- Abwasserentsorgung über Hebeanlagen
- Förderanlagen (Fahrtreppen und Aufzug)
- Netzersatzaggregat mit Batteriepufferung
- Brandschutzanlagen
- Mess- und Regelungstechnik
- Anlagen der Gebäudeautomation

Die Anlagen sind im Normalfall über die Primärenergieversorgung aus dem Mittelspannungsnetz des EVU (derzeit: Mainova AG) und zusätzlich über ein stationsinternes Netzersatzaggregat (Sekundärenergieversorgung) abgesichert.

6.4.3 Oberirdische Stationen

Die Energieversorgung der Stadtbahnstationen (50 Hz) erfolgt in der Regel über eigene Mittelspannungsanschlüsse durch das örtliche Energieversorgungsunternehmen (EVU).

Aus derzeitiger Sicht werden nachfolgende technische Anlagen an den oberirdischen Stadtbahnstationen unabhängig von der jeweiligen Variante erforderlich:

- Bahnsteigbeleuchtung
- Stromversorgung der örtlichen Verbraucher

Ob der Mittelspannungsanschluss sowie die örtliche Energieverteilung gegebenenfalls in Schaltschränken oder in Unterflurverteilern verortet werden, ist in den weiteren Planungsphasen festzulegen.

6.5 Erdung/ Potentialausgleich

Wesentliche Ursache für die Notwendigkeit von Erdungsanlagen und der Art ihrer Ausbildung sind elektrische Anlagen und Systeme, von denen für Menschen keine Gefährdung z.B. durch elektrischen Schlag ausgehen darf, und die zuverlässig betrieben werden müssen.

Die Erdungsanlage und der Potentialausgleich sind entsprechend der aktuell gültigen Richtlinien in den weiteren Planungsphasen zu planen und auszuführen.

7. Genehmigungsrechtliche Aspekte

7.1 Betroffenenheiten

Im Rahmen des Vorhabens werden Abstimmungen mit zahlreichen Trägern öffentlicher Belange (TöB) sowie mit privaten Betroffenen erforderlich.

Zu den durch das Vorhaben betroffenen Trägern öffentlicher Belange gehören unter anderem:

- Stadt Frankfurt am Main (insbesondere als Baulastträger zahlreicher betroffener Straßen und weiterer Ingenieurbauwerke) sowie die betroffenen Fachämter, Instanzen und Betriebe.
- Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main als Verkehrsinfrastrukturbetreiber und Nahverkehrsunternehmen im Bereich mehrerer betroffener Stadt-/U-Bahn- und Straßenbahnstrecken einschließlich dem Betriebsleiter BOStrab.
- Autobahn GmbH als Baulastträger der BAB 66 (Bereich Unterquerung und Teilabschnitt der L 3004).
- Regierungspräsidium Darmstadt als Technische Aufsicht über Straßenbahnen (TAB) sowie Obere Wasserbehörde (OWB).
- Diverse Leitungsträger und Energieversorgungsunternehmen.
- Goethe-Universität Frankfurt.
- Hessen Mobil.
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG).
- Bundesbank.

Erste Abstimmungen mit privaten Betroffenen wurden teilweise bereits im Vorfeld getätigt, um die grundsätzliche Möglichkeit zu erforderlichem Grunderwerb einschätzen zu können.

7.2 Grunderwerb

Im Rahmen der Erstellung der Neubaustrecke ist der Erwerb von Grundstücken Dritter erforderlich.

Zudem wird während der Bauzeit aller Voraussicht nach die temporäre Inanspruchnahme weiterer teils öffentlicher und teils privater Flächen notwendig. Dazu zählen insbesondere Flächen für Baustelleneinrichtung, die Herstellung aller Bauwerke im Verlauf der Tunnelstrecken, die in offener Bauweise erstellt werden, die Anlagen und Bauwerke der oberirdischen Strecke sowie eventuell Bodenvergütungsmaßnahmen im Bereich der Unterfahrung von anderen Bauwerken (z.B. im Bereich der BAB 66 und gegebenenfalls naheliegender Gründungen von Hochbauten).

Die rechtlichen Grundlagen für den Grunderwerb, bauzeitliche Inanspruchnahmen und dingliche Sicherungen werden im Rahmen des durchzuführenden Planfeststellungsverfahrens geschaffen. Auf dieser Basis schließt die Vorhabenträgerin anschließend mit den jeweiligen Grundstückseigentümern

privatrechtliche Verträge ab, in denen auch Regelungen über Kaufpreise und eventuelle Entschädigungszahlungen enthalten sind.

7.3 Planrechtsverfahren

Die Baurechtschaffung für das geplante Vorhaben erfolgt durch ein Planfeststellungsverfahren nach § 28 Personenbeförderungsgesetz (PBefG), welches durch das Regierungspräsidium in Darmstadt durchgeführt wird. In dessen Rahmen ist zunächst auch ein Screening-Verfahren durchzuführen, durch das der Untersuchungsrahmen für die projektbedingten Auswirkungen auf die verschiedenen Schutzgüter festgelegt wird. Im Vorgriff dazu wurde eine allgemeine UVP-Vorprüfung der Umweltverträglichkeit gemäß Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) durchgeführt (siehe Kapitel 8.1.1).

Antragsteller des Planfeststellungsverfahrens ist in der Regel die Vorhabenträgerin. Für das gegenständliche Projekt ist davon auszugehen, dass dies die Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) sein wird. Hierzu wäre die VGF durch Magistratsbeschluss und Gesellschafteranweisung des Magistrats der Stadt Frankfurt am Main (nach erfolgtem Beschluss der Stadtverordnetenversammlung) über die Stadtwerke Frankfurt am Main Holding GmbH (SWFH) zur Durchführung entsprechend anzuweisen.

Die Erstellung der Planung sowie der Genehmigungsunterlagen erfolgt dabei durch die Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH (SBEV) und durch die von ihr zu beauftragenden Planer, Fachgutachter und Experten.

8. Umweltrechtliche Betrachtungen

8.1 Gewässer- und Naturschutz

8.1.1 Allgemeine UVP-Vorprüfung

Entsprechend § 9 Abs. 3 Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) ist sowohl für den Bau als auch für die Änderung einer Bahnstrecke für Straßenbahnen im Sinne des Personenbeförderungsgesetzes, mit den dazugehörigen Betriebsanlagen, gemäß Nr. 14.11 in Anlage 1 (Liste "UVP-pflichtige Vorhaben") eine Vorprüfung der Umweltverträglichkeit durchzuführen.

Aus diesem Grund wurde durch die SBEV eine Zusammenstellung der Angaben als Entscheidungsgrundlage für die allgemeine Vorprüfung der Umweltverträglichkeit beauftragt. Zusätzlich wurde auch eine Artenschutzprognose nach § 44 Bundesnaturschutzgesetz erstellt. Für nähere Angaben dazu wird auf die entsprechenden Gutachten in Anlage 5 verwiesen.

Nachstehend werden Auszüge aus dem Gutachten zur UVP-Vorprüfung aufgeführt:

Die drei zu untersuchenden Varianten unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Linienführung als auch der Lage (oberirdisch oder Tunnel) und der Bauweise (offene Bauweise oder maschineller Tunnelvortrieb).

Für das von den drei Varianten betroffene Planungsgebiet wird eine Bestandsanalyse hinsichtlich der relevanten Schutzgüter gemäß UVPG (Mensch bzw. menschliche Gesundheit, Fläche, Boden, Wasser, Klima/ Luft, Pflanzen, Tiere und Biodiversität, Kulturelles Erbe) durchgeführt. Dabei ist zu bemerken, dass es sich bei dem Bereich mit Palmengarten und Grüneburgpark um einen zwar wenig bebauten aber dennoch innerstädtischen und von Verkehrsachsen umgebenen Bereich handelt, der entsprechenden Vorbelastungen unterliegt. Von den genannten Schutzgütern sind insbesondere die menschliche Gesundheit (Erholungsfunktion), das Lokalklima und die Biotopfunktion sowie das Kulturelle Erbe (u. a. Gartendenkmäler) von hoher bis sehr hoher Bedeutung und Empfindlichkeit. Als fachrechtliche Schutzansprüche an das betroffene Gebiet sind das Landschaftsschutzgebiet „Grüngürtel und Grünzüge der Stadt Frankfurt am Main“, geschützte Biotop (Alleen) und besonders geschützte Arten (v. a. Vögel und Fledermäuse) zu nennen.

Auf Grundlage der Bestandsanalyse werden die möglichen vorhabensspezifischen Auswirkungen ermittelt und die Betroffenheit der einzelnen Schutzgüter abgeschätzt. Mögliche Minderungs- und Vermeidungsmaßnahmen können hierbei einbezogen werden und ggf. dazu beitragen, die Auswirkungen unter die Erheblichkeitsschwelle zu reduzieren. Unter diesem Aspekt sind bei keiner Variante unüberwindbare Restriktionen oder Gefährdungen zu erwarten. Erhebliche Auswirkungen bzw. Beeinträchtigungsrisiken können im Sinne des UVPG jedoch vor allem für den Bodenhaushalt, Pflanzen und Tiere sowie Kulturgüter (Gartendenkmäler) nicht bei allen Varianten ausgeschlossen werden. Der schutzgutübergreifende

Variantevergleich zeigt die geringsten Erheblichkeiten bei Variante 3i, was mit der über weite Strecken unterirdischen Führung und der Herstellung im maschinellen Tunnelvortriebsverfahren, das heißt ohne umfangreiche Eingriff in den Boden und die Vegetation, begründet liegt. Variante 3i stellt demnach die zu empfehlende Vorzugsvariante aus Sicht der Umweltverträglichkeit dar. Variante 1d folgt in der Rangreihung auf Platz 2 als bedingt zu empfehlen. Erhebliche Auswirkungen können jedoch nicht für alle Schutzgüter ausgeschlossen werden. Variante 1a kann im Rahmen des Variantenvergleichs aufgrund der höheren Erheblichkeit der Umweltauswirkungen nicht empfohlen werden.

In der nachstehenden Tabelle sind die Bewertungen der Varianten hinsichtlich der Auswirkungen auf die Schutzgüter gemäß UVPG einander gegenübergestellt. Sie zeigen die jeweilige Erheblichkeit und erlauben einen Vergleich und eine Rangreihung der Planfälle. In der schutzgutübergreifenden Gesamtbewertung erfolgt keine Gewichtung einzelner Schutzgüter.

Schutzgut	Umweltauswirkungen			
		Variante 1a	Variante 1d	Variante 3i
Mensch	Lärm, Verlust Erholungsfunktion	III	II	I
Boden (Fläche)	Flächeninanspruchnahme	III	II	I
	Verlust von Bodenfunktionen	III	III	II
Wasser	Bauzeitige Veränderung des Grundwasserhaushaltes	III	II	II
Klima, Luft	Verlust von Frischluft produzierenden Flächen	II	II	I
Pflanzen, Tiere, Lebensräume	Biotop- und Habitatverlust	III	III	I
Erscheinungsbild	Technisch-funktionale Überformung	II	II	I
Kultur- und Sachgüter	Verlust/ Beeinträchtigung von Denkmalschutzobjekten	III	III	I
Rangreihung		III	II	I

Abbildung 10: Gegenüberstellung der Varianten im Hinblick auf die Umweltauswirkungen

Legende:

- Orange: erhebliche Auswirkungen / Beeinträchtigungsrisiken
- Gelb: gering erhebliche Auswirkungen / Beeinträchtigungsrisiken
- Grün: unerhebliche Auswirkungen / Beeinträchtigungsrisiken
- III nicht zu empfehlende Variante
- II bedingt zu empfehlende Variante
- I zu empfehlende Variante

Die Allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls gemäß § 7 bzw. § 9 UVPG kommt zu dem Ergebnis, dass

- bei keiner der Varianten unüberwindbare Restriktionen oder Gefährdungen aus Umweltschutzsicht zu erwarten sind,
- die Planfälle 1a und 1d bei verschiedenen Schutzgütern mit erheblichen Umweltauswirkungen verbunden sind und von daher für diese Varianten eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht sowie
- Variante 3i als Vorzugsvariante aus Sicht der Umweltverträglichkeit empfohlen werden kann und angesichts der allenfalls gering erheblichen Auswirkungen keine UVP-Pflicht zu sehen ist.

8.1.2 Hydrogeologische Vorerkundung

Zur Bewertung der Auswirkungen der verschiedenen Varianten auf die Hydrogeologie im Untersuchungsraum sind entsprechende Modellberechnungen zu erstellen.

Aus diesem Grund wurde durch die SBEV eine hydrogeologische Vorerkundung beauftragt. Für nähere Angaben dazu wird auf das entsprechende Gutachten in Anlage 3 verwiesen. Nachfolgend wird eine Zusammenfassung des Berichts beschrieben.

8.1.2.1 Allgemeines

Im Rahmen einer Variantenuntersuchung wurden verschiedene Trassenverläufe der Grundstrecke DII untersucht und bewertet.

8.1.2.2 Betrachtete Varianten

- **Variante 1a:** Führt von der Bockenheimer Warte über die Zeppelinallee und Miquelallee westlich um den Palmengarten herum, mit einer oberirdischen Station "Botanischer Garten". Der Tunnel wird in offener Bauweise (oB) errichtet. Hierzu wird die offene Baugrube seitlich durch Verbauwände abgedichtet und das von unten drückende Grundwasser durch Entspannungsbrunnen entspannt.
- **Variante 1d:** Ähnlich wie Variante 1a, jedoch mit einem geschlossenen, maschinell hergestellten Tunnel zwischen Botanischem Garten und Bockenheimer Warte. Ein Grundwasserzutritt in den Tunnel wird beim Bau durch einen künstlichen Gegendruck in einer geschlossenen Arbeitskammer im Vortriebsbereich verhindert, so dass keine Wasserhaltung erforderlich ist. Nur im Bereich der Startbaugrube und des Rampenbauwerks wird eine Wasserhaltung in den Baugruben erforderlich.
- **Variante 3i:** Ein maschinell hergestellter Tunnel von der Bockenheimer Warte unter dem Palmengarten und Grüneburgpark hindurch zum Universitäts-Campus Westend. Von dort führen die maschinell hergestellten Tunnelröhren zur Miquelanlage. Dort wird an der Westseite des Bundesbank-Areals eine Rampe erforderlich. Ein Grundwasserzutritt in den Tunnel wird beim Bau durch einen künstlichen Gegendruck in einer geschlossenen Arbeitskammer im Vortriebsbereich verhindert, so dass keine Wasserhaltung erforderlich ist. An der

Stationsbaugrube, der Startbaugrube und dem Rampenbauwerk wird eine Wasserhaltung erforderlich.

8.1.2.3 Fragestellungen der hydrogeologischen Bewertung

- Untersuchung der geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten der Trassen, einschließlich der hydraulischen Eigenschaften des Baugrundes.
- Erkundung der Grundwasserverhältnisse in den geologischen Formationen, die von den Bauwerken gequert werden.
- Bewertung der Risiken für den Baumbestand und Grünflächen durch bauzeitige und permanente Auswirkungen der Bauwerke.
- Untersuchung der Auswirkungen der Tunnelwärme auf den Bodenwasserhaushalt.
- Bewertung der Risiken für andere Grundwassernutzungen, wie Betriebsbrunnen und geothermische Anlagen.

8.1.2.4 Hydrogeologisches Untersuchungsgebiet

Das hydrogeologische Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Bockenheim im Südwesten bis Ginnheim im Norden und umfasst Teile des Volksparks Niddatal sowie des Palmengartens und Grüneburgparks. Im Osten reicht der Untersuchungsraum bis zum Hauptfriedhof.

8.1.2.5 Erkundungsmaßnahmen

Die Erkundungsmaßnahmen für die hydrogeologische Bewertung der Trassen umfassten mehrere Arbeitsschritte, die darauf abzielen, eine umfassende Datenbasis für die Beurteilung der hydrogeologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet zu schaffen.

Diese Maßnahmen sind:

- Datenübertragung in ein Geografisches Informationssystem (GIS): Übertragung der relevanten Bauwerksabmessungen, einschließlich Kontaktflächen der Abdichtungen und der Bauwerkssohlen.
- Auswertung von Bestandsunterlagen, historischen Daten und Karten.
- Auswertung von Bohrungen: Auswahl und Auswertung von Bohrungen aus dem HLNUG-Bohrarchiv sowie früherer Baugrunduntersuchungen, einschließlich geologischer und hydrogeologischer Einstufung der erbohrten Schichten.
- Schichtenkonstruktion: Konstruktion der Unterkanten der relevanten Schichten auf Grundlage der Bohrdaten.
- Recherche und Bewertung vorhandener Messstellen: Recherche und Bewertung der bestehenden Grundwassermessstellen im Projektumfeld und Zuordnung zu den jeweiligen Grundwasserleitern.
- Langjährige Grundwasserstandsdaten: Recherche und Auswertung langjähriger Grundwasserstandsdaten aus verschiedenen Quellen, einschließlich monatlicher Erfassungen und Betriebsbrunnen.

- Bohrprogramm für neue Grundwassermessstellen (GWM): Festlegung von Bohrpunkten für neue Grundwassermessstellen unter Beteiligung verschiedener städtischer Ämter und Grundbesitzer. Durchführung von Bohrungen an 35 Standorten und Errichtung von Grundwassermessstellen. Je Standort wurden meist zwei unterschiedliche Horizonte durch GWM ausgebaut, sodass die Grundwasserverhältnisse unterschiedlicher Tiefenlagen erfasst werden können.
- Klarpumpen und Probenahme: Klarpumpen der neu errichteten Messstellen und Durchführung von Pumpversuchen zur Ermittlung der hydraulischen Kenndaten der erschlossenen Schichten. Eine Probenahme und hydrochemische Untersuchung erfolgte an 25 Grundwassermessstellen.
- Grundwasserstandsmessung: Aufbau eines Grundwasserstandsmonitorings mit rd. 120 Messstellen, einschließlich der Integration bestehender Messstellen und Nutzung von Datenloggern für kontinuierliche Datenerfassung.
- Stichtagsmessung und Karten: Durchführung einer Stichtagsmessung im November 2023 zur Erstellung von Grundwassergleichenkarten und Berechnung der Flurabstände.
- Recherche und Bewertung von Grundwasserverunreinigungen: Recherche von Altlasten im Untersuchungsgebiet, Auswertung der hydrochemischen Untersuchungen.
- Feststellung der wasserrechtlichen Relevanz: Zusammenstellung der Zielniveaus geplanter Grundwasserhaltungen der drei Trassen und deren Abgleich mit der bauzeitig zu erwartenden Grundwasserspiegellage.
- Erstellung eines hydrogeologischen Strukturmodells und eines numerischen Grundwasserströmungsmodells für eine Prognose der Grundwasserverhältnisse während des Baus sowie der dauerhaften Einwirkungen der Bauwerke.

Die detaillierte hydrogeologische Vorerkundung soll sicherstellen, dass die geplanten Bauarbeiten die bestehenden Umweltbedingungen berücksichtigen und mögliche negative Auswirkungen auf das Grundwasser und die Vegetation minimiert werden.

8.1.2.6 Geologische und hydrogeologische Situation

Der tiefere Untergrund des gesamten Untersuchungsgebietes wird aus den Schichten der Frankfurt-Formation (Hydrobienschichten, „Frankfurter Ton“) und der Niederrad-Formation (Landschneckenmergel) des Tertiärs aufgebaut. Letztere bestehen aus Tonen, Tonmergeln, Kalksteinbänken, Kalksanden und Algenkalken. Die Kalke und Kalksande führen Grundwasser, während die tonigen Partien als hydraulisch dicht gelten können (Grundwasseringeleiter/-nichtleiter).

Darüber folgen die Schichten der Praunheim-Formation (Prososthenien-Schichten), welche aus Tonen sowie häufig einem Braunkohleflöz („Ginnheimer Braunkohle“) bestehen, welches in Ginnheim im 19. Jahrhundert auch abgebaut worden ist. Die Durchlässigkeit für Grundwasser ist sehr gering.

Die Staden-Formation (Congerien-Schichten) besteht aus einer bis zu rd. 20 m starken Wechselfolge aus Ton, Sand, Schluff und Kies. Diese bilden im Bereich des Campus

Westend und der Miquelanlage einen wichtigen Porengrundwasserleiter. Im Grüneburgpark und Palmengarten wurden die Schichten bis auf randliche Vorkommen im Nordteil des Grüneburgparks vollständig abgetragen.

Die Untermain-Basalt-Formation bildet in den höheren Lagen eine bis zu rd. 10 m mächtige Deckschicht aus zumeist stark verwittertem Basalt. Im gering verwitterten Zustand ist dieser als Kluftgrundwasserleiter zu charakterisieren.

Oberflächennah findet sich meist eine Deckschicht des Quartärs. Diese erlangt im Grüneburgpark und Palmengarten meist nur eine geringe Mächtigkeit und besteht hier meist aus Lösslehm. Sande und Kiese finden sich in örtlich vorkommenden Terrassenablagerungen, so im Bereich der südlichen Zeppelinallee. Lokal zu finden sind auch künstliche Auffüllungen. Das Quartär stellt einen Porengrundwasserleiter dar, ist bei geringer Mächtigkeit jedoch auch häufig trocken.

Stratigraphische Gliederung	Lithologie	Hydraulische Funktion
Löss/Lösslehm (Holozän/Pleistozän)	Schluff, feinsandig	überwiegend ungesättigte Bodenzone, geringe Porendurchlässigkeit
Terrassensedimente Untere Mittelterasse des Mains (Quartär - Pleistozän)	Sand, kiesig oder Kies, sandig, teils verlehmt	guter Porengrundwasserleiter, in verlehnten Bereichen mäßig bis gering durchlässig
Limnisch-fluviatile Wechselfolge (Tertiär – Pliozän)	Wechselfolge aus Sand, Ton, Schluff, Kies, Braunkohle, Konglomerat	GW-Geringleiter bis sehr guter Porengrundwasserleiter (GWL1)
Untermain-Basalt-Formation (Tertiär – Miozän)	Tholeiitischer Basalt, Olivinbasalt	Gut durchlässiger Kluftgrundwasserleiter, im verwitterten Zustand gering durchlässig
Staden-Formation (Congerien- Schichten) (Tertiär – Miozän)	Ton, Sand, Schluff, Kies	GW-Geringleiter bis gut durchlässiger Porengrundwasserleiter
Praunheim-Formation (Prosostenien-Schichten) (Tertiär – Miozän)	Ton, Schluff, Braunkohle, Mergelton	GW-Geringleiter
Niederrad-Formation (Landschneckenmergel) (Tertiär – Miozän)	Wechselfolge aus Ton, Mergel, Schluff, Kalkstein, Dolomitstein und Kalksand	GW-Geringleiter bis guter Poren-/ Kluftgrundwasserleiter mit geringer Vertikaldurchlässigkeit
Frankfurt-Formation / Wiesbaden- Formation (Hydrobienschichten) (Tertiär - Miozän)	Wechselfolge aus Ton, Mergel, Schluff, Kalkstein, Dolomitstein und Kalksand	GW-Geringleiter bis guter Poren-/ Kluftgrundwasserleiter mit geringer Vertikaldurchlässigkeit

Abbildung 11: Geologische und hydrogeologische Einheiten des Untersuchungsgebietes

Der Festgesteinsuntergrund ist durch zumeist nord-süd-orientierte Verwerfungen in eine Graben- und Horststruktur gegliedert, bei der tertiäre Schichten unterschiedlichen Alters aneinandergrenzen. Eine für das Gebiet typische Situation ist in Abbildung 12 dargestellt.

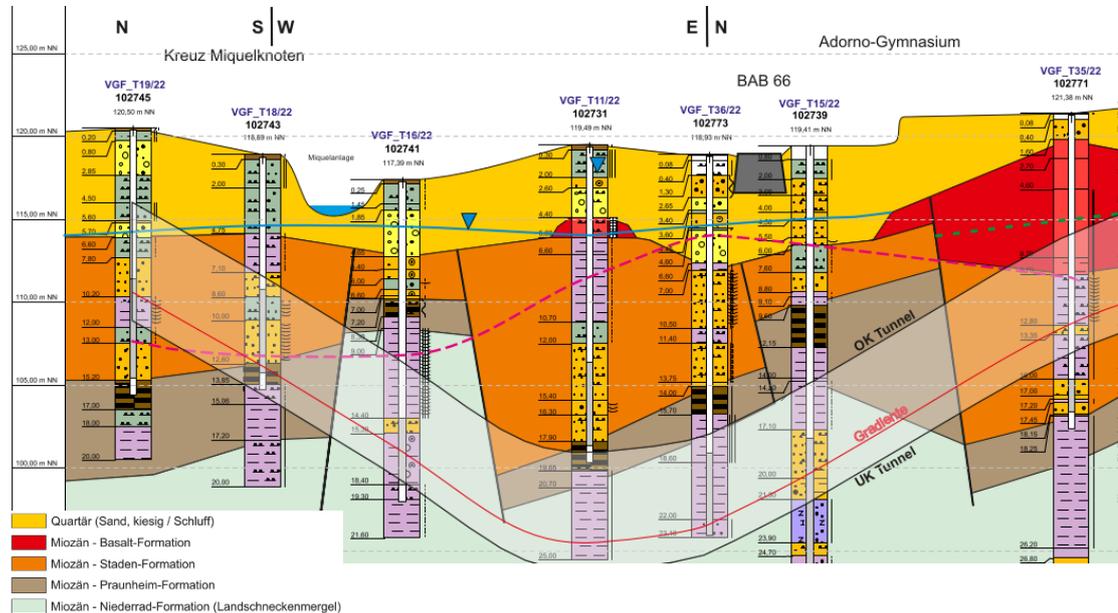


Abbildung 12: Geologischer Schnitt durch den Nordteil der Trassenvariante 3i (Miquelanlage, überhöhte Darstellung)

8.1.2.7 Grundwasserverhältnisse und Flurabstände

Oberflächennah findet sich Grundwasser in den Deckschichten des Quartärs, allerdings ist dieses meist auf eine geringe grundwassererfüllte Mächtigkeit begrenzt oder die Deckschichten sind gänzlich trocken. Erst in der Talauwe der Nidda ist ein teils mächtiger Porengrundwasserleiter entwickelt.

Im Palmengarten und im Südteil des Grüneburgparks folgt die Grundwasserströmung oberflächennah der nach Süden gerichteten Geländemorphologie. Im Norden des Grüneburgparks, dem Campus Westend und der Miquelanlage findet sich Grundwasser in den Sandschichten der Staden-Formation und der Basalt-Deckschicht bei einer meist nach Westen bis Südwesten gerichteten Fließrichtung. In dem darunter folgenden Kluftgrundwasserleiter der Niederrad-Formation fließt das Grundwasser in den Klüften der Kalke und den Kalksandsteinen nach Südwesten. Die Verwerfungen stellen häufig hydraulische Barrieren dar, sodass hier größere Unterschiede der Druckhöhen auftreten können.

Die jahreszeitlichen Schwankungen der Grundwasserstände bzw. der Druckhöhen in den tieferen Schichten sind mit bis zu etwa einem Meter meist nur gering. Das Grundwasser wird aus der Grundwasserneubildung gespeist, welche im zentralen Untersuchungsgebiet etwa 45 bis 60 mm/Jahr ausmacht.

Für die Baumbestände wird vorsorglich eine große für die Wasserversorgung relevante Durchwurzelungstiefe von 3 m sowie ein kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser von

1,3 m zugrunde gelegt, sodass bis zu einem Flurabstand von 4,3 m ein Grundwassereinfluss vorliegen kann. Geringere Flurabstände finden sich in den geringmächtigen quartären Deckschichten des südlichen Grüneburgparks und Teilen des Palmengartens. Im Norden ist das Grundwasser in der Miquelanlage und dem Campus Westend nur vereinzelt in dieser Tiefenlage nachzuweisen, sodass nur lokal ein Grundwasseranschluss besteht, siehe Abbildung 13.

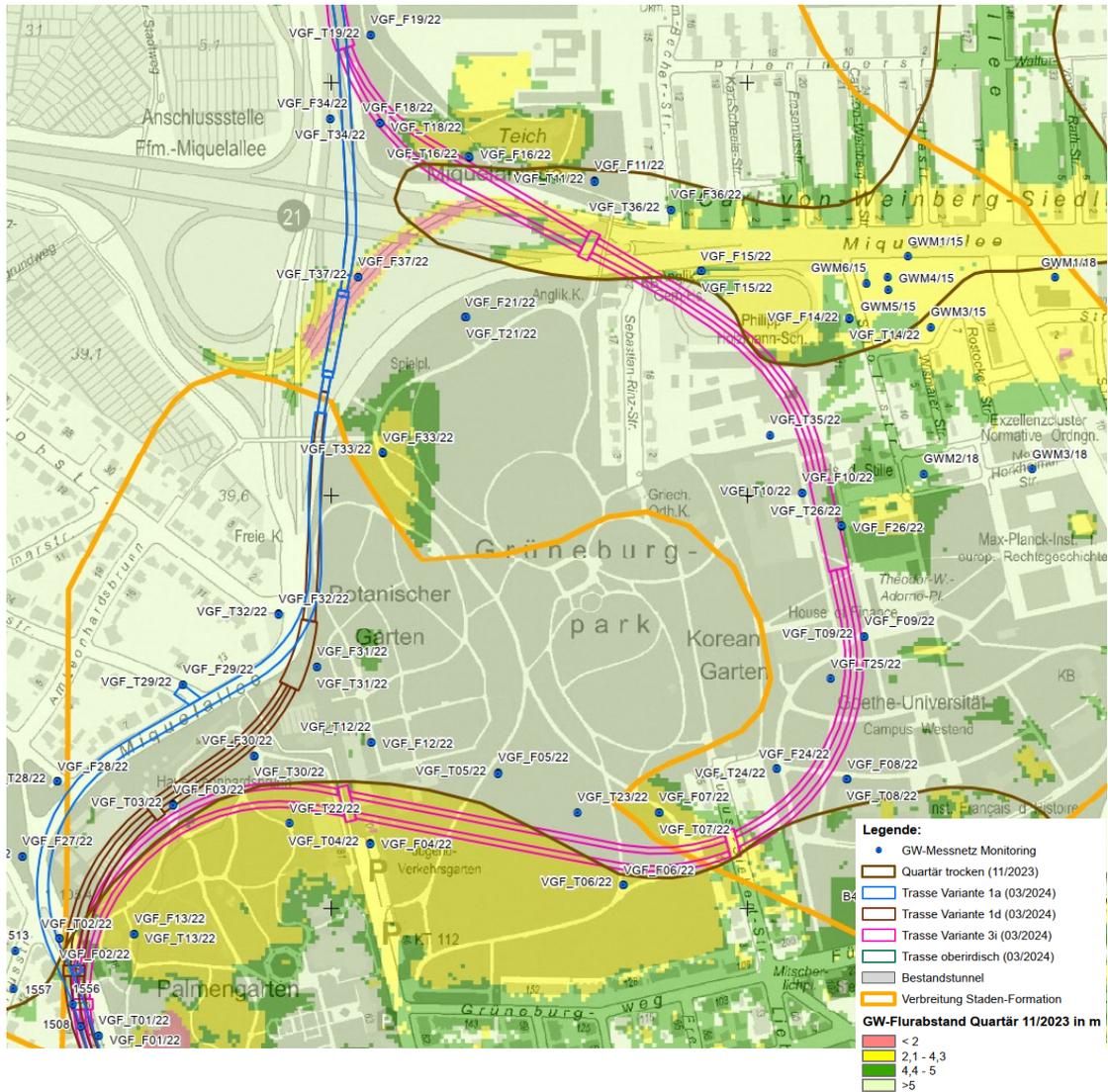


Abbildung 13: Tiefenlage des Grundwassers (Flurabstand, jeweils oberster Grundwasserleiter) (11/2023)

8.1.2.8 Hydrochemie und Grundwasserverunreinigungen

Das Grundwasser des Untersuchungsgebietes ist in der Regel hydrochemisch unauffällig und nicht durch einen Aufstieg salzhaltiger Tiefenwässer beeinflusst. Ein Schwefelwasserstoffgeruch in den tiefen Messstellen ist für den „Frankfurter Ton“ charakteristisch.

Verunreinigungen durch Altlasten zeigen sich in geringen Spuren von leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen (LCKW) im Grundwasser, welche für das städtische Umfeld jedoch als ubiquitär zu bewerten sind. Vereinzelt wurden leicht erhöhte Schwermetallkonzentrationen nachgewiesen, welche aus den oberflächennah verbreiteten künstlichen Auffüllungen ausgetragen werden können. Stärkere Grundwasserverunreinigungen, welche eine spätere Wasserhaltung erschweren könnten, wurden in den drei Trassenkorridoren nicht nachgewiesen.

8.1.2.9 Einrichtung und Kalibrierung Grundwassermodell

Das Modellgebiet deckt das gesamte Umfeld der Trassen ab und erreicht eine Größe von rd. 11 km². Die nördliche, westliche und östliche Berandung folgt einer (Trenn-) Stromlinie der Grundwasserströmung, sodass kein randlicher Zustrom erforderlich wird und das Grundwasser ausschließlich aus der Grundwasserneubildung gespeist wird. In das Netz der Modellelemente wurden neben den Bauwerken der drei Trassen auch die größeren Kanäle integriert, da diese über Schadstellen bzw. ihre Hinterfüllung Grundwasser aufnehmen und abführen können (Fremdwasser). Die bereits bestehenden Tunnel der Stadtbahn können die Grundwasserströmung beeinflussen und wurden daher ebenfalls gemäß ihrer Einbautiefen berücksichtigt. Das dreidimensionale Modell umfasst 21 Modellschichten.

Zum Einsatz kam ein Modell der Finite Elemente Methode, SPRING[®]. Durch eine Variation der Durchlässigkeit der einzelnen Modellschichten erfolgt eine Anpassung der Grundwassersimulation an die gemessenen Grundwasserstände (Kalibration). Das Kalibrierergebnis ist zugleich Ausgangszustand für die nachfolgend betrachteten Veränderungen.

Im Modell lassen sich nun die unterschiedlichen Randbedingungen der Trassenvarianten simulieren. Folgende Auswirkungen wurden berechnet:

- In der Bauzeit wird für die Stabilität der Baugruben (Tunnel oB und Station „Campus Westend“) eine Grundwasserhaltung erforderlich. Durch die Simulation lassen sich die Reichweiten von Absenkungen und Entspannungen als auch die zu fördernden Wassermengen ermitteln. Eine Grundwasserhaltung kann über verschiedene Grundwasserleiter wirken.
- Durch die Grundwasserförderung kann es in der Bauzeit im Umfeld zu einer Veränderung der Fließrichtungen kommen.
- Die Verbauwände bzw. Tunnelwände der unterirdischen Bauwerke wirken im Untergrund als hydraulische Barrieren und können die Grundwasserströmung behindern. Die Tiefenlage der Verbauwände richtet sich dabei nach den Abmessungen der offenen Baugruben und statischen Erfordernissen. Durch die dauerhafte Unterbrechung der durchströmten Schichten zeigt sich in der Regel im Zustrom ein Aufstau und im Abstrom eine Absenkung (Sunk).
- Für die Notausstiege der Varianten 1d und 3i wird aufgrund der teils großen Tiefenlage eine Errichtung ohne Wasserhaltung (alternativ: Vereisung, Unterwasserbetonsohle, Druckluft) zugrunde gelegt.

8.1.2.10 Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 1a

Aufgrund der offenen Bauweise und der vergleichsweise großen Tiefenlage im südlichen Abschnitt wird mit rd. 55 m³/Tag eine erhöhte Grundwasserförderrate erforderlich. Die Entnahme erfolgt über Entspannungsbrunnen an der Sohle der Baugrube. Ein seitlicher Zustrom aus den oberen Schichten wird hingegen durch die seitlichen Verbauwände verhindert. Die Grundwasserentnahme führt in der Bauzeit zu einer weitreichenden Entspannung der Grundwasserdruckhöhen im tieferen Untergrund.

Hingegen sind die oberflächennahen Schichten vorrangig durch die Barrierewirkung betroffen, welche durch den Einschnitt der Verbauwände des Tunnelbauwerks entsteht. Diese unterbrechen dauerhaft die vorwiegend nach Süden gerichtete Grundwasserströmung und führen im nördlichen Palmengarten zu einem zusätzlichen Trockenfallen der geringmächtigen Deckschichten. In den Senken des Palmengartens im Bereich des Weihers sind die Flurabstände vegetationsrelevant, sodass diese permanente Grundwasserabsenkung problematisch ist. An der nordwestlichen Zustromseite ist hingegen mit einem Aufstau von Grundwasser in einer Höhe von bis zu 3 m zu rechnen.

8.1.2.11 Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 1d

Im Gegensatz zu Variante 1a beschränkt sich die Grundwasserentnahme in der Bauzeit auf das Startbauwerk der Tunnelbohrmaschine sowie die Rampe. Für den mit einer Tunnelbohrmaschine errichteten Tunnel wird hingegen keine Wasserhaltung erforderlich. In der Bauzeit zeigt sich bei einer berechneten Förderrate von rd. 18 m³/Tag nur eine moderate Entspannung im Umfeld des Startbauwerks. Eine geringe Absenkung reicht im Osten bis zum Einzugsgebiet des Teiches im Botanischen Garten.

Da die Grundwasserströmung vorwiegend nach Süden und damit parallel zum Bauwerk ausgerichtet ist, bleibt die Barrierewirkung mit bis zu rd. 0,5 m eher gering. Der Aufstau erfolgt dabei auf der Ostseite und begünstigt die Grundwasserverhältnisse im Botanischen Garten. Die Barrierewirkung der Tunnelröhren ist auf die jeweilige Tiefenlage begrenzt.

8.1.2.12 Modelluntersuchung der Auswirkungen - Trassenvariante 3i

In der Bauzeit erfolgt eine Wasserhaltung an der Startbaugrube des Tunnelvortriebs mit der Rampe sowie im Bereich des Stationsbauwerks. Mittels des Grundwassermodells wurde für die Baugrube in der Miquelanlage eine Förderrate von 13,5 m³/Tag und für die Station eine Rate von 8,1 m³/Tag ermittelt. Wie in Variante 1d ist für die Auffahrung der Tunnelröhren mit Ausnahme des Lenzwassers keine Grundwasserentnahme erforderlich. In der Basalt- und Staden-Formation, welche den oberflächennahen Grundwasserleiter bilden, sind die Auswirkungen der Entnahme auf eine Absenkung von etwa 0,25 m begrenzt.

Die permanente Stauwirkung der Bauwerke erlangt lediglich Beträge $<0,25$ m und ist nicht vegetationsrelevant. Die Barrierewirkung der Tunnelröhren ist auf die jeweilige Tiefenlage begrenzt.

8.1.2.13 Potenzielle Auswirkungen Grundwasserentnahmen/ Permanente Wirkungen

Die Ergebnisse der Erkundungsmaßnahmen sowie der Modelluntersuchung werden für eine Bewertung der potenziellen Auswirkungen auf die einzelnen Schutzgüter herangezogen. Folgende Schlussfolgerungen sind zu ziehen:

- **Auswirkungen auf Gehölze und Baumbestände:** Eine Beeinträchtigung der Vegetation ist lediglich in Bereichen möglich, in denen bereits zum Ausgangszustand ein vegetationsrelevanter Grundwasserflurabstand vorherrscht. Hier zeigt sich in der Variante 1a eine potenzielle Beeinflussung aufgrund der deutlichen Abschnürung des von Norden oberflächennah zufließenden Grundwassers im nördlichen Palmengarten. Das Trockenfallen des oberflächennahen Grundwasservorkommens wird durch die Wasserhaltung zusätzlich verstärkt.

Aufgrund der Wasserhaltung an der Startbaugrube und Rampe der Variante 3i ist eine schwache Absenkung von bis zu 0,25 m in der Miquelanlage zu erwarten, welche in der zentralen Senke um den Teich auch vegetationsrelevant sein kann. Die Barrierewirkung der Bauwerke der Trassenvarianten 1d und 3i gehen hingegen nicht mit Auswirkungen auf die Vegetation einher.

- **Grundwasserqualität:** Da keine Hinweise auf relevante Grundwasser-Verunreinigungen vorliegen, ist das Risiko einer Verschleppung sowie einer Verunreinigung bislang unbelasteter Bereiche durch die Wasserhaltungen in allen Varianten sehr gering. Auch ein Einfluss von (salzhaltigem) Tiefenwasser ist nicht zu erwarten.

Eine hydrochemische Veränderung durch den Kontakt mit Baustoffen/ Beton ist in der Zeit nach der Einbringung möglich. So erfolgt ein Eintrag von Betoninhaltsstoffen (insbesondere Trübung, pH-Wert-Änderung, Sulfat) aus den Bauwerksoberflächen in das Grundwasser. Die potenzielle Veränderung ist auf die Zeit nach dem Einbau beschränkt und lässt sich mittels eines hydrochemischen Monitorings überwachen.

- **Auswirkungen auf Teiche:** Am Weiher des Palmengartens wird eine stärkere Aussickerung durch eine Sohlabdichtung verhindert und der Wasserstand durch eine Einleitung von Dach- und Brunnenwasser stabilisiert. Da der Teichwasserstand oberhalb des Grundwasserstands liegt, ist keine Beeinflussung zu erwarten.

Der Teich im Botanischen Garten verfügt auf der Nordseite über einen oberflächennahen Zulauf. Dieser wird ausschließlich aus oberflächennahen Abflüssen gespeist, welche durch die bauzeitige Grundwasserentnahme lediglich beim Bau der Trassenvariante 1a geringfügig beeinflusst werden.

Der Teich der Miquelanlage stellt ein künstlich angelegtes Gewässer dar, dessen Wasserstand oberhalb des Grundwasserstandes liegt. Eine Beeinflussung durch die Baumaßnahmen ist nicht zu erwarten.

- **Auswirkungen auf geschützte Biotope und Naturschutzgebiete:** Innerhalb oder in der Nähe der von einer Grundwasserabsenkung potenziell betroffenen Bereiche der Varianten sind keine Biotope der hessischen Biotopkartierung, gesetzliche geschützte Biotope oder Naturschutzgebiete vorhanden. Eine Betroffenheit liegt somit nicht vor.
- **Auswirkungen auf externe Grundwassernutzungen:** Im Palmengarten befindet sich ein zu Bewässerungszwecken genutzter Brunnen. Dieser liegt im Bereich einer bauzeitigen Grundwasserstandsänderung von 0,75 m der Trassenvariante 1a. Das Risiko einer hydrochemischen Veränderung infolge der eingebauten Baustoffe ist eher gering.

Der Notbrunnen VII am Südwestrand des Grüneburgparks kann in der Bauzeit der Trasse 1a von einer geringen Absenkung (0,4 m) betroffen sein, erfährt dadurch jedoch keine Nutzungseinschränkung.

Ein Betriebsbrunnen der Goethe-Universität im Bereich des Poelzig-Gebäudes (ehemals I.G. Farben) wird zukünftig nur noch zur Bewässerung von Grünanlagen verwendet. Eine potenzielle Beeinflussung durch die nächstgelegene Trasse 3i ist nicht zu erwarten. Entferntere Brunnenstandorte sind ebenfalls nicht betroffen.

- **Permanente Einwirkung von Wärme auf den Untergrund:** Aufgrund der geringen Temperaturunterschiede zwischen Tunnelröhren und Grundwasser erwächst keine für die Vegetation relevante Veränderung des Wasserhaushalts infolge eines Wärmeeintrags.

8.1.2.14 Vergleichende Bewertung der Trassenvarianten

Unter hydrogeologischen Aspekten sind die Varianten 1d und 3i näherungsweise gleichwertig und führen allenfalls zu geringen Veränderungen des Bodenwasserhaushalts im näheren Umfeld der Bauwerke. Der in offener Bauweise errichtete Tunnel der Variante 1a hingegen ist aufgrund der vollständigen Abriegelung der oberflächennahen Schichten insbesondere für den Bodenwasserhaushalt des nördlichen Palmengartens als problematisch zu bewerten.

8.1.3 Naturschutz und Biodiversität

Zur Bewertung der Auswirkungen der jeweiligen Streckenvariante auf dem Naturschutz und die Biodiversität hat das Umweltamt der Stadt Frankfurt eine Ersteinschätzung abgegeben. Für nähere Angaben dazu wird auf den entsprechenden Bericht in Anlage 9 verwiesen.

8.1.4 Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen

Zur Bewertung des Eingriffs der jeweiligen Streckenvariante in den Baumbestand wurde durch das Grünflächenamt der Stadt Frankfurt eine gutachterliche Stellungnahme zu Bestand und Wert von Bäumen und Grünanlagen in Auftrag gegeben. Für nähere Angaben dazu wird auf das entsprechende Gutachten in Anlage 4 verwiesen.

Nachstehend wird als Auszug aus dem Gutachten das dort enthaltene Kapitel 11 „Fazit und Trassenempfehlung“ aufgeführt:

„Bei Betrachtung der Bäume auf den untersuchten Trassenvarianten in den vier städtischen Parkanlagen Palmengarten, Grüneburgpark, Botanischer Garten und Miquelanlage, dem Campus Westend (Land Hessen) sowie den Grünstrukturen im Miquel-Knoten, der Zeppelin- und Miquelallee hat sich gezeigt, dass die Bäume zum großen Teil als sehr wertvoll einzustufen sind. Dies gilt - mit kleineren Abstrichen - auch für die städtischen Alleen, Schulhöfe und waldartigen Bestände. Quantitativ bewertet wurden insgesamt mehr als 1500 Einzelbäume und Baumgruppen des Baumkatasters und rund 4000 Bäume in sieben waldartigen Beständen (ein Baum auf rund zehn Quadratmeter Fläche).

Die Parkflächen sind von ihrer Ausgestaltung und von ihrem Alter recht unterschiedlich. Dieser Umstand wirkt sich auch auf die Bewertung aus. Nur im Palmengarten erreichen einzelne Bäume eine 100-Prozent-Faktoring, und zwar bei allen Parametern - Biodiversität, Klima, Erholung, Denkmalschutz und Gartenreich. Im Palmengarten stehen somit die wertvollsten Einzelbäume im Kontext der untersuchten Trassen der gutachterlichen Stellungnahme. Der durchschnittlich ermittelte Gesamtwert aller Bäume, Baumgruppen und waldartigen Bestände, die vom U-Bahnbau mittelbar oder unmittelbar betroffen sein werden, beläuft sich je Trasse auf rund 12,37 Mio. Euro.

Neben dem Sachwert, ermittelt über das gerichtsfeste Verfahren KOCH (Gutachter Markus Langer) wurden - im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung - für die Parameter Arten- und Klimaschutz, Erholung, Denkmalschutz (Gartendenkmalpflege) und Zugehörigkeit zum Frankfurter Gartenreich gesonderte Betrachtungen angestellt. Somit konnte ein Gesamtwert eines Gehölzes oder einer Baumgruppe ermittelt werden.

Diese im Kontext von Baumgutachten bislang nicht praktizierte Koppelung dieser Parameter an den Sachwert war wegen der Bedeutung und des Umfangs dieses

Projekts geboten. Sie war, von kleineren Schwächen abgesehen, evident bzw. unmittelbar einleuchtend, als diese Aspekte beim Sachwert nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Ein linearer bzw. direkter Zusammenhang besteht bei den beiden Parametern Klima und Erholung. Ein nach KOCH hoch eingestufte/gesunder/vitaler Baum kann seine Wohlfahrtswirkungen für das Klima, die Erholung besser entfalten. Dagegen kann ein niedrig eingestufte/gesunder/vitaler Baum (über dem Baumzenit stehend, absterbend) seine Wohlfahrtswirkungen für das Klima, die Erholung schlechter entfalten.

Dieser direkte Zusammenhang rechtfertigt bei Klima und Erholung eine prozentuale Koppelung an den Sachwert, denn dieser bei Koch unberücksichtigte Umstand wird durch die Multiplikation seines Sachwerts, sei er hoch, mittel oder niedrig, mit dem Prozentsatz für Klima und Erholung gut kompensiert.

Ein nicht linearer bzw. nicht direkter Zusammenhang besteht bei den Parametern Arten- und Denkmalschutz/Gartenreich. Erst ein Baum, der sich über sein Sachwert-Baumoptimum hinausentwickelt hat, hat - in der Regel - für den Arten- und Denkmalschutz eine besonders hohe Bedeutung. Dieser bei Koch unberücksichtigte Umstand wird durch die Multiplikation seines niedrigen Sachwerts mit einem hohen Prozentsatz für Biodiversität, Denkmalschutz und Gartenreich nur ansatzweise kompensiert. Eine vollständige Kompensation ist hier bei weitem noch nicht gegeben. Hier besteht Spielraum „nach oben“.

Neben dem Schwerpunkt der gutachterlichen Stellungnahme, der monetären Erfassung der Bäume in Euro auf den 3 Trassen 1a, 1d und 3i fand zusätzlich eine Quantifizierung der tatsächlich zu fällenden Bäume in Stückzahlen statt. In dem Zusammenhang wurden die von den Fällungen und Eingriffen akut gefährdeten Bäume bestimmt, sei es durch Freistellung (Sonnenbrand und Windwurf) u. a.

Var.	Bäume gesamt	davon zu fällen	davon akut gefährdet	davon zu erhalten
1a	3.528	3.060	468	0
1d	3.503	2.894	413	196
3i	2.159	713	174	1.272

Abbildung 14: Übersicht Anzahl betroffenen Bäume je Variante (Angabe in Stück)

Bei Var. 1a bleibt von den 3.528 Bäumen voraussichtlich kein Baum erhalten, zählt man die akut gefährdeten hinzu. Bei Var. 1d sieht die Verlustzahl mit zusammen 3.307 bei 3.503 Stück bewerteter Bäume nur unwesentlich günstiger aus. Darunter sind die sehr wertvollen Bäume im Buchenrevier des Botanischen Gartens, ein für die Frankfurter Innenstadtlage einmaliger Naturraum. Dieser Bereich kann bei den 1er-Varianten nicht erhalten werden.

Aus Sicht der Bäume auf der Trasse schneidet die Variante 3i deutlich besser ab. Hier muss zwar auch jeder dritte Baum sicher gefällt werden, diese liegen jedoch im Bereich Miquelanlage, wo bei den anderen Varianten ebenfalls in gleicher Größenordnung gefällt werden muss. Das Buchenrevier im Botanischen Garten bleibt hier ebenso unberührt wie die nördliche Randzone im Palmengarten mit samt der anschließenden prägnanten Alleen und die westliche Randzone des Grüneburgparks, die den Landschaftspark auch vor den vielfältigen Emissionen des autobahnähnlichen Miquelknotens schützt.

Wir empfehlen die Variante 3i zur weiteren Ausarbeitung. Hier ist die Reduzierung des teils sehr wertvollen Baumbestands am niedrigsten. Die Wohlfahrtswirkungen des Klima-, Arten- und Denkmalschutzes sowie der Erholung im Kontext des Frankfurter Gartenreichs können bei Var. 3i am ehesten erhalten werden. Auch sind bei 3i keine im erweiterten Baumkataster der Stadt Frankfurt am Main gelisteten Habitatbäume betroffen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass es bei den Varianten 1a/d keine praktikable Wegeverbindung zwischen der geplanten Station „Botanischer Garten“ und dem Uni-Campus Westend gibt. Hier steht zu erwarten, dass sich Trampelpfade diagonal über die große nördliche Wiese des denkmalgeschützten Grüneburgparks bilden. In dieser Sache ist der Denkmalschutz zu beteiligen.

Ausblick: Würde man die Trasse 3i auch in der Miquelanlage und bis zur Wilhelm-Eppstein-Straße unterirdisch führen, könnte man die Zahl der sicher zu fallenden Bäume auf ca. 100 (statt 713 Stück) reduzieren, die Zahl der akut gefährdeten Bäume von 174 auf ca. 50 Stück.“

Differenzbetrachtung im Untersuchungsraum: Ein Ausblick auf die Auswirkung der nördlich betroffenen Areale der oberirdischen Streckenführung erfolgte derzeit noch nicht.

Allgemeiner Hinweis zum Baumgutachten und den darin enthaltenen Zahlen zu den Baumbeständen und Gehölzwerten:

Das Baumgutachten von grün³ bezieht sich bzgl. der Ermittlung der Gehölzwerte des Baumbestands nach dem modifizierten Sachwertverfahren nach Koch auf ein entsprechendes Gutachten des Sachverständigen Markus Langer.

In diesem Sachwertgutachten Langer wurden nur die Anzahl der Bäume des Zuwachses/ der Änderung zu einem ersten Gutachten, welches bereits 2022 erstellt wurde, aufgeführt. Die Bereiche in der Miquelanlage bis zur Wilhelm-Eppstein-Straße wurden aktuell nicht nochmals gesondert aufgeführt. Das Baumgutachten von grün³ berücksichtigt diese bereits in 2022 ermittelten Daten aber, so dass eine durchgängige Bewertung aller betroffenen Bäume erfolgt ist.

Auch im Hinblick auf die Kosten des Sachwerts innerhalb der den beiden Gutachten beigelegten Listen gibt es Abweichungen zwischen den Ermittlungen von grün³ und Langer. Im Gutachten Langer wurden in einigen Bereichen kleinere Flächen der waldartigen Bestände angesetzt. Dies wurde jedoch im Gutachten von grün³ beachtet

und eine korrigierte Kartierung und Bewertung auf Basis von CAD-Programmen vorgenommen.

Beide vorgenannten Abweichungen wurden nicht nochmals im Sachwertgutachten Langer nachgezogen, da sie im vorliegenden Baumgutachten von grün³ Berücksichtigung fanden.

Die vorgenannten Erläuterungen beziehen sich auf alle Varianten 1a, 1d und 3i.

8.1.5 Ersteinschätzung zu Altstandorten und Altablagerungen

Zur Bewertung der Auswirkungen der jeweiligen Streckenvariante auf dem Naturschutz und die Biodiversität hat das Umweltamt der Stadt Frankfurt eine Ersteinschätzung abgegeben. Der entsprechende Bericht ist unter Anlage 8 einzusehen.

8.2 Schall- und Erschütterung

8.2.1 Schallschutz

8.2.1.1 Betriebsbedingte Immissionen

Zu möglichen Schutzmaßnahmen aus Schallemissionen liegen derzeit noch keine Untersuchungen vor. Diese sind im Zuge der weiteren Planungsphasen über entsprechende Gutachten zu erarbeiten.

Die Beurteilung der Luftschallimmissionen eines Schienenverkehrsweges erfolgt nach der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV). In der 16. BImSchV sind das Rechenverfahren zur Ermittlung und die Immissionsgrenzwerte zur Beurteilung der Luftschallimmissionen eindeutig festgelegt.

Sofern sich in den Untersuchungen zeigen sollte, dass die Immissionsgrenzwerte der 16 BImSchV überschritten werden, sind entsprechende Schutzvorkehrungen als aktive oder passive Maßnahmen zu bewerten.

8.2.1.2 Baustellenbedingte Immissionen

Die Beurteilung der Luftschallimmissionen von Baustellen erfolgt nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm (AVV Baulärm) von August 1970. In der AVV Baulärm sind Immissionsrichtwerte zur Beurteilung der Schallimmissionen von Baustellen festgelegt.

Mögliche Maßnahmen zum Umgang mit den schallbedingten Immissionen der Baustelle können z.B. sein:

- Durchführung einer Lärminderungsplanung im Rahmen der Arbeitsvorbereitung durch die Baufirma unter Kontrolle des Bauherrn

- Information der Anlieger über die immissionsrelevanten Bauphasen
- Einsatz lärmarmen Baugeräte
- Begleitende Kontrollmessungen (Messprogramm)

8.2.2 Erschütterungsschutz

8.2.2.1 Betriebsbedingte Immissionen

Zu möglichen Schutzmaßnahmen aus Emissionen durch Erschütterungen und Körperschall liegen derzeit noch keine Untersuchungen vor. Diese sind im Zuge der weiteren Planungsphasen über entsprechende Gutachten zu erarbeiten.

Erschütterungsimmissionen:

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen eines Schienenverkehrsweges existieren keine rechtlich bindenden Beurteilungsverfahren. Hinsichtlich der Erschütterungsimmissionen wird üblicherweise auf die DIN 4150 – Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – abgestellt. In der DIN 4150-2 werden ein Beurteilungsverfahren beschrieben und Anhaltswerte zur Beurteilung der Erschütterungsimmissionen genannt.

Körperschallimmissionen (sekundärer Luftschall):

Für die Beurteilung von Körperschallimmissionen eines Schienenverkehrsweges existieren ebenfalls keine rechtlich bindenden Beurteilungsverfahren. Weiterhin werden auch in keinem technischen Regelwerk entsprechende Regelungen getroffen. Bei vielen Planungen von Gleisanlagen des Öffentlichen Personennahverkehrs erfolgte in der Vergangenheit eine Orientierung an den Anhaltswerten für zulässige Innenraumpegel nach VDI 2719 – Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen.

Sofern sich in den Untersuchungen zeigen sollte, dass die Immissionsgrenzwerte nach DIN 4150 bzw. VDI 2719 überschritten werden, sind entsprechende Schutzvorkehrungen als aktive oder passive Maßnahmen zu bewerten.

8.2.2.2 Baustellenbedingte Immissionen

Erschütterungsimmissionen:

Für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen von Baustellen existiert kein rechtlich bindendes Beurteilungsverfahren. Hier wird üblicherweise auf die DIN 4150 – Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen – abgestellt. In der DIN 4150-2 werden ein Beurteilungsverfahren beschrieben und Anhaltswerte zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen genannt.

Körperschallimmissionen (sekundärer Luftschall):

Für die Beurteilung von Körperschallimmissionen von Baustellen existiert kein rechtlich bindendes Beurteilungsverfahren. Weiterhin werden auch in keinem technischen Regelwerk entsprechende Regelungen getroffen. Daher kann eine orientierende Beurteilung anhand der Regelungen der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) erfolgen.

Mögliche Maßnahmen zum Umgang mit den erschütterungsbedingten Immissionen der Baustelle können z.B. sein:

- Auswahl erschütterungsarmer Bauweisen
- Reduzierung der Einwirkzeiten von Erschütterungen auf das notwendige Minimum
- Beweissicherung der Gebäudesubstanz durch einen Bausachverständigen
- Begleitende Kontrollmessungen (Messprogramm)

8.3 Streustrom und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Zur Verringerung von Streuströmen unter Berücksichtigung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag sowie die zutreffenden Blitzschutzmaßnahmen müssen im Zuge der Umsetzung des Projektes unabhängig von den verschiedenen Varianten entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Zudem sind evtl. Auswirkungen durch elektromagnetische Felder zu betrachten, um gesundheitliche Beeinträchtigung von Personen auszuschließen.

Zu den vorgenannten Themenbereichen sollte daher in der weiteren Planung die Erstellung eines Streustrom- und EMV-Gutachtens erfolgen.

8.4 Kampfmittel

Bei allen oberflächennahen Arbeiten im Stadtgebiet von Frankfurt ist grundsätzlich mit dem Vorhandensein von Kampfmitteln zu rechnen. Zur Verifizierung sollte nach Festlegung der auszuführenden Variante in der folgenden Planungsphase eine Kampfmittelanfrage beim Kampfmittelräumdienst des Regierungspräsidiums in Darmstadt gestellt werden. Auf dieser Grundlage kann dann ein entsprechendes Kampfmittelräumkonzept durch einen Fachgutachter erstellt werden.

8.5 Sicherstellung 2. Rettungsweg

Zum Nachweis der Sicherstellung des 2. Rettungsweges liegen derzeit noch keine Untersuchungen vor. Diese sind im Zuge der weiteren Planungsphasen über entsprechende Gutachten zu erarbeiten.

Grundsätzlich ist der Nachweis für die gesamte oberirdische Neubaustrecke sowie für bauzeitliche Eingriffe (z.B. für die Tunnelstrecken in offener Bauweise) zu erbringen. Dabei sind die seitens der Bauaufsichtsbehörde bzw. der Brandschutzdienststelle (Branddirektion) festgelegten Auflagen für die Aufstell- und Bewegungsflächen der Feuerwehr an den Gebäuden im Zuge der Neubaustrecke zu beachten.

9. Bauausführung und Bauzeit

9.1 Allgemeines zur Bauausführung

Die Betrachtung der Bauausführung und die daraus resultierenden Bauzeiten der verschiedenen Varianten erfolgen zunächst unter maßgeblicher Berücksichtigung der Herstellung der Tunnelbauwerke. Die dort zeitbestimmenden Abläufe entwickeln sich zum einen aufgrund der gewählten Bautechnologie, zum anderen durch die bei den jeweiligen Varianten in unterschiedlicher Ausprägung erforderlichen Baugrubensicherungen. Die in den jeweiligen oberirdischen Abschnitten zu realisierenden Bauwerke und Anlagen können nach aktuellem Stand weitestgehend parallel zu den unterirdischen Abschnitten hergestellt werden.

9.2 Bauausführung Tunnel Variante 1a in offener Bauweise

Die Ausführung des Tunnelabschnitts der Variante 1a ist geprägt durch die Herstellung des Bauwerks in offener Bauweise. Diese Art der Herstellung in den Straßenzügen von Zeppelinallee und Miquelallee bedingt zunächst eine provisorische Verlegung der Straßenverkehrsanlage sowie eine umfangreiche Umverlegung der im Straßenraum vorhandenen Tiefbautrassen zur Herstellung der Baufreiheit, bevor die Baugrubensicherung erfolgt. Aufgrund der jederzeit aufrecht zu erhaltener grundsätzlicher Andienung der Anlieger (Rettungsfahrzeuge, Müllabfuhr, Zugang zu den Häusern) kann dabei die Maßnahme nicht in einem Zug, sondern nur blockweise nacheinander ausgeführt werden.

Beginnend mit dem ersten Block zum Anschluss der Neubaustrecke an die unterirdische Abstellanlage der Station „Bockenheimer Warte“ wären somit bis zum Ende der etwa 1.000 m langen unterirdischen Strecke an der Westseite des Botanischen Gartens (Rampenbauwerk) je nach umsetzbarer Blocklänge von etwa 100 - 150 m zwischen 7 und 10 Blöcke herzustellen. Zur Ausführung wären jeweils folgende Einzelmaßnahmen erforderlich:

- temporäre Verkehrsumlegung und Trassenumverlegung
- umlaufender Baugrubenverbau
- Aushub mit Herstellung Steifenlagen
- Herstellung Bauwerk mit Rückbau Steifenlagen
- Überschüttung Bauwerk
- ggf. Trassenrückverlegung und Rückverlegung Verkehrsanlage

Aufgrund der oben beschriebenen nacheinander auszuführenden Maßnahmen ist von einer die Gesamtbaumaßnahme bestimmenden Bauzeit von rd. acht Jahren auszugehen. Die nördlich gelegenen Bauwerke und Verkehrsanlagen der oberirdischen Strecke sind innerhalb dieses Zeitraums parallel realisierbar.

Ob zur Optimierung dieses Bauablaufs des Tunnelabschnitts gegebenenfalls die Herstellung der Blöcke im sogenannten Pilgerschrittverfahren (Bau des 1., 3., 5., etc. Blocks parallel sowie danach Herstellung der Zwischenblöcke) erfolgen kann, ist erst

im Zuge der weiteren Planungsphasen u.a. auch unter Berücksichtigung der technischen, verkehrlichen und privatrechtlichen Randbedingungen zu eruieren.

9.3 Bauausführung Tunnel Variante 1d in geschlossener Bauweise

Die Ausführung des Tunnelabschnitts der Variante 1d erfolgt über eine Herstellung des Bauwerks in geschlossener Bauweise. Dazu wird zunächst eine Startbaugrube für die Tunnelbohrmaschine (TBM) im Bereich vor dem Rampenbauwerk (in etwa an gleicher Stelle wie die Rampe der Variante 1a an der Westseite des Botanischen Gartens) hergestellt. Für die Herstellung der Startbaugrube und das Rampenbauwerk in offener Bauweise gelten grundsätzlich die gleichen Voraussetzungen zur Baufeldfreimachung wie in Variante 1a, wobei sich die Lage der Baugruben nicht mehr im unmittelbaren Straßenraum befindet, sondern im Seitenraum. Dies bedingt wesentlich weniger Vorarbeiten auf einer Gesamtlänge von nur rd. 300 m.

Für die Herstellung der zwei zusätzlich erforderlichen Notausstiege im Mittelstreifen der Zeppelinallee sowie im Palmengarten wird jeweils ebenfalls eine Ausführung in offener Bauweise erforderlich. Allerdings ist hier der räumliche Eingriff jeweils sehr begrenzt.

Die Herstellung des Tunnelbauwerks selbst erfolgt maschinell mit einer TBM in geschlossener Bauweise. Dazu werden aus der Startbaugrube heraus zwei Einzelröhren aufgefahren. Diese enden jeweils unmittelbar vor dem Bauwerk der unterirdischen Abstellanlage der Station „Bockenheimer Warte“. Die Anschlüsse an das Bestandsbauwerk erfolgen im Kleinmaschinenvortrieb, gegebenenfalls mit Sicherung durch lokale Vereisung.

Aufgrund der oben beschriebenen Maßnahmen, welche eine wesentlich geringere Abhängigkeit zur bestehenden Infrastruktur aufweisen, ist von einer die Gesamtbaumaßnahme bestimmenden Bauzeit von rd. sechs Jahren auszugehen. Die nördlich gelegenen Bauwerke und Verkehrsanlagen der oberirdischen Strecke sind die gleichen, wie in der Variante 1a beschrieben und ebenfalls innerhalb des vorgenannten Zeitraums parallel realisierbar.

9.4 Bauausführung Tunnel Variante 3i in geschlossener Bauweise

Die Ausführung des Tunnelabschnitts der Variante 3i erfolgt über eine Herstellung des Bauwerks in geschlossener Bauweise. Dazu wird zunächst eine Startbaugrube für die Tunnelbohrmaschine (TBM) im Bereich vor dem Rampenbauwerk im Bereich westlich der Bundesbankzentrale hergestellt. Zudem ist bei dieser Variante eine unterirdische Station im Bereich des Campus Westend vorgesehen.

Zur Herstellung der Startbaugrube, des Rampenbauwerks sowie der Station in offener Bauweise gelten grundsätzlich die gleichen Voraussetzungen zur Baufeldfreimachung wie in Variante 1a, wobei sich die Lage der Baugruben nicht im Straßenraum oder anderweitig bebauten Fläche befindet. Dies bedingt geringere Vorarbeiten als in Variante 1a.

Für die Herstellung der insgesamt vier zusätzlich erforderlichen Notausstiege im Mittelstreifen der Zeppelinallee, in der Siesmayerstraße, in der August-Siebert-Straße sowie im Mittelstreifen der BAB 66 wird jeweils ebenfalls eine Ausführung in offener Bauweise erforderlich. Allerdings ist hier der räumliche Eingriff jeweils sehr begrenzt.

Die Herstellung des Tunnelbauwerks selbst erfolgt maschinell mit einer TBM in geschlossener Bauweise. Dazu werden aus der Startbaugrube heraus zwei Einzelröhren aufgeföhren. Diese enden jeweils unmittelbar vor dem Bauwerk der unterirdischen Abstellanlage der Station „Bockenheimer Warte“. Die Anschlüsse an das Bestandsbauwerk erfolgen im Kleinmaschinenvortrieb, gegebenenfalls mit Sicherung durch lokale Vereisung. Für die Station „Campus Westend“ werden zunächst die Baugrubenwände erstellt, die die TBM bei Herstellung der zwei Einzelröhren durchörtert. Erst nach vollständiger Herstellung der Tunnelröhren werden diese im Bereich der Stationsbaugrube mit dem Aushub rückgebaut und anschließend das Bauwerk selbst hergestellt. Nach derzeitiger Erkenntnis erhält die Station einen Deckel und wird nach Fertigstellung mit Erdmaterial überschüttet.

Aufgrund der oben beschriebenen Maßnahmen, welche eine sehr geringe Abhängigkeit zur bestehenden Infrastruktur aufweisen, ist von einer die Gesamtbaumaßnahme bestimmenden Bauzeit von rd. sieben Jahren auszugehen. Die nördlich gelegenen Bauwerke und Verkehrsanlagen der oberirdischen Strecke sind aufgrund des Auftauchens erst nördlich der BAB 66 gegenüber den Varianten 1a und 1d wesentlich reduziert und können ebenfalls innerhalb des vorgenannten Zeitraums parallel realisiert werden.

9.5 Bauausführung oberirdische Strecke

Die Ausführung des Streckenabschnitts jeweils nördlich der Tunnelstrecken erfolgt bei den Varianten 1a und 1d aufgrund der fast gleichen Lage des Rampenbauwerks nahezu identisch. Bei beiden Varianten sind zwei oberirdische auf Brückenbauwerken gelegene Stationen zu errichten (Station „Botanischer Garten“ mit Überbrückung der Zu- und Abfahrten der BAB 66 von und nach Osten sowie die Station „Bundesbank“ mit Überbrückung der Wilhelm-Epstein-Straße). Für die Unterquerung der zwischen den beiden Stationen gelegenen BAB 66 ist ein Tunnelbauwerk von rd. 100 m Länge auszubilden. Nördlich der Station „Bundesbank“ verläuft die Strecke etwa auf Straßenniveau und ab der Station „Platensiedlung“ unter der Hochstraße (Rosa-Luxemburg-Straße) bis zur geplanten neuen Station „Ginnheim“. Eine Anknüpfung an die in Hochlage verlaufenden Bestandstrecken (der Linien U1 und U9 zwischen den Richtungsfahrbahnen der Rosa-Luxemburg-Straße) ist vorgesehen.

Aufgrund des bei Variante 3i wesentlich weiter nördlich endenden Tunnels – unmittelbar südlich der Station „Bundesbank“ – entfallen die oben genannten Maßnahmen der oberirdischen Strecke bis zu dieser Stelle. Die Station „Bundesbank“ selbst sowie die weiter nördlich gelegenen Anlagen und Bauwerke werden dann wieder wie in den beiden anderen Varianten 1a und 1d beschrieben ausgeführt.

9.6 Konzeption TBM–Vortriebe

Zur Verifizierung, welche Tunnelbohrmaschine für die beschriebenen Varianten 1d und 3i zum Einsatz kommen könnten, wurde innerhalb der Machbarkeitsstudie ein Bericht einer tunnelbautechnischen Vorbetrachtung erstellt. Nachfolgend wird eine Zusammenfassung des Berichts beschrieben. Für nähere Angaben dazu wird auf die tunnelbautechnische Vorbetrachtung in Anlage 2 verwiesen.

Bei Variante 1a wurde die Ausführung zur Herstellung des Tunnelabschnitts bereits im Vorfeld zur Machbarkeitsstudie als offene Bauweise festgelegt. Daher erübrigt sich eine weitere Differenzierung des Bauverfahrens bei dieser Variante.

Bei den beiden anderen Trassierungs-Varianten 1d und 3i, bei denen Teilstrecken in geschlossener Bauweise mittels einer Tunnelbohrmaschine (TBM) aufgeföhren werden sollen, erfolgt die Maschinenauswahl auf Basis der DAUB-Empfehlung zur Auswahl von Tunnelbohrmaschinen. Damit der Tunnelvortrieb vor dem Hintergrund der projektspezifischen Randbedingungen zukünftig auch erfolgreich durchgeführt werden kann, ist die Untersuchung und die Auswahl einer geeigneten Vortriebsmaschine frühzeitig sinnvoll.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand werden die Tunnel der beiden Varianten 1d und 3i im Tertiär in den Bodenschichten 4a (tertiäre Sande), 4b (tertiäre Schluffe und Tone) und 4c (tertiärer Fels) gemäß dem geotechnischem Untersuchungsbericht (siehe Anlage 1) aufgeföhren. Es wird aufgrund der vorgesehenen Trassierung der unterschiedlichen Tunnel-Varianten Abschnitte geben, in denen der vollständige Querschnitt des Tunnels an der Ortsbrust (anstehender, abzubauender Boden vor dem Schneidrad der TBM) in nur einer Bodenschicht liegt. In anderen Abschnitten wird es jedoch auch Ortsbrustverhältnisse mit gemischten Bodenschichten geben.

Aufgrund der wechselnden Bodenverhältnisse entlang der unterirdischen Trassenvarianten, in welcher der gesamte Tunnelquerschnitt innerhalb der tertiären Schichten liegt, werden Anforderungen an die Maschinenteknik, insbesondere zur Stützung der Ortsbrust, gestellt. Um auf die vorliegenden, unterschiedlichen Bodenverhältnisse zu reagieren, kommen Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit Vollschnittabbau und aktiver Stützung in Betracht:

- Erddruckschild (Earth Pressure Balance Shield, EPB)
- Flüssigkeitsschild (Slurry Shield, SLS)
- Variable-Density-Schild (Variable Density Shield, VDS)

Als weitere Möglichkeit wäre ein Hybridschild möglich. Dieses erlaubt durch verschiedene Umbauten innerhalb einer Tunnelstrecke den Wechsel zwischen Flüssigkeitsstützung, Erddruckstützung und offenem Modus (ohne Stützung):

- Hybrid-/Multimode-Schild (Hybrid Shield, HYS)

Grundsätzlich ist ein Flüssigkeitsschild (Stützung der Ortsbrust durch eine unter Druck stehende Bentonitsuspension) eher für Vortriebe in gemischtkörnigen Böden geeignet,

während ein Erddruckschild (Stützung der Ortsbrust durch einen Brei aus abgebauten Boden) in schluffigen Böden sein Haupteinsatzgebiet hat.

Bei Betrachtung des Baugrunds kann theoretisch sowohl eine Tunnelbohrmaschine mit Erddruckschild (EPB-TBM) als auch mit Flüssigkeitsschild (SLS-TBM) verwendet werden.

Im Bereich der Tunneltrasse werden die Kornfraktionen fein bis grob abgedeckt, da überwiegend Sande und Schluffe vorzufinden sind. Im Bereich der Schluffe ist mit einem höheren Verklebungspotenzial zu rechnen, welches sich bei dem Einsatz einer SLS-TBM auf die Vortriebsgeschwindigkeit auswirken kann, da die Suspension getauscht und gegebenenfalls Druckluftestiege (z.B. zur Schneidradreinigung oder zum Werkzeugwechsel) eingeplant werden müssen. Eine EPB-TBM ist in der Lage, unter Zugabe von Additiven das Verklebungspotential zu minimieren. Daher liegen die Vorteile bei dem Einsatz einer EPB-TBM. Hierbei wären allerdings die Druckluftestiege sowohl logistisch als auch zeitlich aufwendiger.

Im Hinblick auf die Aspekte Verschleiß und Werkzeugwechsel empfiehlt sich eine SLS-TBM aufgrund des geringeren Verschleißes und des einfacheren Werkzeugwechsel unter Druckluft.

Mit Blick auf die Setzungsempfindlichkeit können sowohl eine EPB-TBM als auch eine SLS-TBM im Projektgebiet eingesetzt werden. Es wurden bisher jedoch noch keine Setzungsberechnungen durchgeführt. Grundsätzlich unterscheidet sich die Regelgenauigkeit des Stützdrucks prinzipiell bei EPB- und SLS-Schild, da eine EPB-TBM kein fein regelbares Druckluftpolster hat. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die EPB-TBM durch entsprechende Konditionierung des Abbaumaterials mit annähernd der gleichen Regelgenauigkeit wie eine SLS-TBM arbeiten kann und sowohl in bindigen als auch in sandigen Böden Anforderungen an einen setzungsarmen Vortrieb erfüllt.

Zur Beherrschung der geringen Trassenradien und der daraus resultierenden Korrekturradien für die TBM ist ein Schildschwanzgelenk in der Konzeptionierung der Maschine zu berücksichtigen. Dies ist bei allen im Rahmen der tunnelbautechnischen Voruntersuchung behandelten Tunnelbohrmaschinen möglich.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz einer TBM als Hybridlösung (Multi-Mode-TBM). Diese Methode zeichnet sich durch die Umbaumöglichkeit von einer EPB-TBM zu einer SLS-TBM und umgekehrt aus und ist somit prädestiniert für Trassen mit variabler Geologie. Durch diese Umbaumöglichkeit des Vortriebsmodus beinhaltet die Hybrid-Methode alle Vorteile der EPB-TBM und der SLS-TBM.

In der Theorie würde sich daher die Verwendung einer Hybrid/Multi-Mode-TBM anbieten, da diese sowohl mit den Speise- und Förderleitungen für einen SLS-Vortrieb, als auch mit der für einen EPB-Vortrieb notwendigen Förderschnecke ausgestattet ist. Diese Möglichkeit wird im vorliegenden Fall vermutlich aber aufgrund der relativ kurzen Tunnellängen, einem zusätzlichen logistischen Aufwand, Platzbedarf und Abtransport

wirtschaftlich unattraktiv sein. Zudem ist für die Umstellung von einem Vortriebsmodus in den anderen ein längerer Stillstand der Vortriebsmaschine erforderlich.

Die weitere Alternativmöglichkeit der Variable Density TBM ermöglicht zwar einen kurzfristigen Wechsel zwischen Flüssigkeitsstützung und Erddruckstützung, benötigt aber sowohl eine Konditionierung des Bodens als auch eine Separation des Aushubs und verursacht dadurch einen erheblich höheren Aufwand mit Blick auf Konditionierung, Logistik und Platzbedarf und sollte daher im Projekt nicht weiterverfolgt werden.

Zum Einsatz sollten daher entweder eine EPB-TBM oder eine SLS-TBM kommen.

	EPB	Slurry
Baugrund	✓	○
Bodenbehandlung	✓	✓
Setzungsempfindlichkeit / Regelgenauigkeit	○	✓
Verschleiß	○	○
Werkzeugwechsel	○	○
Parallelität der weiteren Arbeiten	○	○

Abbildung 15: Eignung EPB-TBM und SLS-TBM / Slurry (✓ = gute Eignung; ○ = Eignung grundsätzlich vorhanden)

In der Aufstellung der Wertungskriterien zur Eignung ist zu erkennen, dass sich keiner der beiden Maschinentypen deutlich hervorhebt – es gibt zum jetzigen Zeitpunkt und auf Basis der betrachteten Kriterien also keinen favorisierten Maschinentyp.

Der Einsatz einer EPB-TVM im Frankfurter Untergrund für die Verlängerung der Stadtbahnlinie U5 wurde sicher durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Da es hier keine eindeutige Empfehlung gibt, aber bereits positive Erfahrungen mit einer EPB-TBM im Frankfurter Stadtgebiet gemacht wurden, empfiehlt sich die Verwendung einer reinen EPB-TBM für den Tunnel der Trassenvarianten in geschlossener Bauweise.

9.7 Baustelleneinrichtungsflächen und verkehrliche Anbindung

Eine detaillierte Betrachtung des Vorhandenseins von Baustelleneinrichtungsflächen wurden zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vorgenommen.

Wesentliche Baustelleneinrichtungsflächen befinden sich jedoch im Bereich der Startbaugruben der Tunnelvortriebsmaschinen für die Varianten 1d und 3i.

Bei der Variante 1a muss zusätzlich zur Baufeldfreimachung (Trassenumlegung) sowie zur Herstellung des Tunnels in offener Bauweise eine temporäre Verkehrsführung im gesamten Tunnelbereich erfolgen, um die Andienung der angrenzenden Gebäude sicherzustellen. Hierbei ist mit öfters wechselnder Verkehrsführung zu rechnen, da der Tunnelbereich nach derzeitiger Einschätzung in Teillängen von rund 100 bis 150 m hergestellt (vgl. Kapitel 9.2) und die Ver- und Entsorgungsleitungen nach Herstellung des Tunnelbauwerks zumindest teilweise wieder über dem Bauwerk zurückverlegt werden müssen.

Entlang der oberirdischen Streckenverläufe befinden sich insbesondere dort, wo Dammlagen, Einschnitte, Brücken oder Trogbauwerke bzw. Stützwände entstehen, ebenfalls Baustelleneinrichtungsflächen.

Zufahrtsstraßen zu den vorgenannten Flächen sind derzeit noch nicht näher definiert. Nach Möglichkeit sollten dies jedoch immer eine bevorzugte Anbindung in Richtung der Autobahn (BAB 66) erhalten. Aufgrund der innerstädtischen Lage der Maßnahmen ist ein grundsätzliches Vorhandensein von Zufahrt- und Abfahrtmöglichkeiten vorauszusetzen.

10. Grobkostenschätzung

10.1 Allgemein

Die Ermittlung der Grobkosten erfolgt auf Grundlage der nachfolgend dargestellten Kostenstruktur der VGF:

Kostenträger	Titel-Nr.	Titelbezeichnung
VGF	1	Zentrale Aufgaben
VGF	2	Fahrweg
VGF	3	Systemtechnik
VGF	4	Haltestellen und Gebäude (oberirdisch)
VGF	5	Fahrstromtechnik
VGF	6	Folgemaßnahmen (für Titel 1 – 5)
Stadt Frankfurt	7	Grunderwerb, Entschädigungen, Versicherungen
Stadt Frankfurt	8	Planungs- und Bauüberwachungskosten, Gutachten (für Titel 7 und 9 – 11)
Stadt Frankfurt	9	Ingenieurbauwerke
Stadt Frankfurt	10	Ausbau und Ausstattung (unterirdisch)
Stadt Frankfurt	11	Folgemaßnahmen (für Titel 7 – 10)

Abbildung 16: VGF - Projektkostenstruktur

Abweichend davon wurde für die Betrachtung der Varianten innerhalb der standardisierten Bewertung eine Kostenaufstellung entsprechend der dortigen Vorgaben vorgenommen (siehe Ziffer 10.7).

Anteile Dritter, die über entsprechende Vereinbarungen oder Verträge (z.B. Konzessionsverträge der Stadt Frankfurt) entstehen können, wurden zum jetzigen Zeitpunkt nicht berücksichtigt.

10.2 Übergeordnete Kostenanteile

In den jeweiligen Titeln für die beiden Kostenträger sind mit dem Titel 1 für die VGF sowie dem Titel 8 für die Stadt Frankfurt übergeordnete Kostenanteile für Planungs- und Verwaltungskosten aufgeführt.

Für die Maßnahmen in Titel 7 wird davon ausgegangen, dass diese Kosten nur in Bezug auf die städtischen Maßnahmen (Titel 9 – 11) anfallen.

10.3 Betriebserschwerungskosten

Betriebserschwerungskosten, welche durch notwendige Bauarbeiten im Bereich der Bestandsstrecken entstehen können (z.B. durch Schienenersatzverkehr), wurden zum jetzigen Zeitpunkt nicht ermittelt.

10.4 Preisstand und Risikozuschläge

Die Erstermittlung der Investitionskosten für die jeweiligen Varianten erfolgte bereits 2019. Zur Fortschreibung der Kosten auf den aktuellen Preisstand wurde daher eine Anpassung der Einzelkosten über den Baupreisindex des statistischen Bundesamtes vorgenommen. Aufgrund des hohen Anteils an Gebäudestruktur im Bereich der Tunnelstrecken und den daraus resultierenden maßgeblichen Kosten wurde zur Indexierung die Kategorie „Gewerbliche Betriebsgebäude“ herangezogen.

Die Anpassung der Baukosten erfolgte für den Zeitraum vom 4. Quartal 2019 bis zum 4. Quartal 2023 und beträgt 40,8 %.

In allen Titeln ist ein Ansatz für Unvorhergesehenes in Höhe von 5 % pauschal in die Preisbildung eingeflossen.

Weitere Risikozuschläge oder Preisfortschreibungen in Bezug auf den Zeitraum der Bauausführung wurden zum jetzigen Zeitpunkt nicht ermittelt.

10.5 Hinweise zur Ermittlung der Kosten

10.5.1 Bautechnik

Für die Ermittlung der Kosten der Bautechnik wurden für die verschiedenen Anlagen die maßgeblichen Querschnitte der auszuführenden Bauwerke entwickelt und über die jeweiligen Längen die entsprechenden Bauwerksgeometrien hergeleitet. Diese wurden dann mit entsprechenden Kostenansätzen hinterlegt. Die Betrachtung der 3 Varianten erfolgte dann als Zusammenstellung der Einzelkosten der jeweiligen Bauwerke.

10.5.2 Technische Ausrüstung

Für die technische Ausrüstung wurden die Kosten anhand von Vergleichswerten aus verschiedenen Maßnahmen der letzten Jahre herangezogen, da diese, wie unter Kapitel 6 ausgeführt, nicht Gegenstand der Machbarkeitsstudie war. Dabei wurde auf die gängigen sowie auf die im Bestand bereits vorhandenen Techniken und Vorgaben der VGF aufgesetzt.

10.5.3 Grunderwerb, Entschädigungen, Versicherungen

Die Kosten in Titel 7 wurden auf Grundlage vergleichbarer Maßnahmen, insbesondere der aktuell in Bau befindlichen Verlängerung der U5 ins Europaviertel (Stadtbahn Europaviertel), über prozentuale Ansätze gebildet.

10.5.4 Vorlaufende Untersuchungen und Gutachten

Aufgrund der Herleitung der Kosten für die Titel 1 und 8 über prozentuale Ansätze wurden die bereits entstandenen Kosten für die Planung und die Gutachten zur Erstellung der Machbarkeitsstudie nicht gesondert berücksichtigt.

10.6 Ergebnisse

Für die verschiedenen Varianten ergeben sich nach überschlägiger Kostenschätzung die Gesamtkosten entsprechend der vorgenannten Randbedingungen in einer Spanne von etwa 300 bis 400 Millionen Euro netto.

10.7 Betrachtung der Varianten innerhalb der standardisierten Bewertung

Die in der ersten Planungsstufe – neben der ursprünglichen Planfeststellungsvariante (Variante 0) – untersuchte Variantenschar wurde in Bezug auf die Investitionskosten und den gegenüberzustellenden Nutzen innerhalb einer vereinfachten standardisierten Bewertung untersucht. Preisstand der jeweiligen Investitionskosten war 2020.

Aus den jeweiligen Ergebnissen der standardisierten Bewertung ergaben sich für alle untersuchten Varianten NKU-Werte von deutlich über 1,0. Somit waren alle Varianten im Grundsatz förderfähig.

Bezüglich der hier behandelten drei Varianten innerhalb der Machbarkeitsstudie (1a, 1d, 3i) sollte eine weitergehende Untersuchung in der standardisierten Bewertung 2016+ (inkl. Berücksichtigung der bei Herstellung der jeweiligen Anlagen entstehenden Treibhausgasemissionen) im Zuge der weiteren Planungsphasen vorgenommen werden. Es wird derzeit davon ausgegangen, dass diese trotz des nun höheren Kostenansatzes, u.a. auch durch die in der standardisierten Bewertung 2016+ angepassten Bewertungsverfahren, deutlich im förderfähigen Bereich verbleiben werden.

11. Hinweise zur Machbarkeitsstudie

Die Erstellung der Machbarkeitsstudie erfolgte auf Basis der zur Verfügung stehenden Grundlagen sowie in Anlehnung an bereits durchgeführte und vergleichbare Bauausführungen im Frankfurter Raum und basiert in großen Bereichen auf realistischen Annahmen. Naturgemäß kann die Studie Erkenntnisse, die in dieser frühen Projektphase noch nicht vollumfänglich zur Verfügung stehen, nicht oder nicht sicher abbilden, da sie erst in späteren Planungsphasen oder durch weitergehende Untersuchungen erarbeitet werden.

Diesbezüglich bleiben also Risiken und Chancen für das Projekt, die es in den weiteren Planungsphasen zu untersuchen und zu optimieren, im Falle von Risiken möglichst zu minimieren, gilt. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurden somit lediglich einige größere Risiko- bzw. Chancenbereiche identifiziert, ohne diese einer gesonderten Bewertung zu unterziehen. Die nachfolgende Auflistung besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Bautechnik

In den vorangegangenen Abschnitten dieses Berichts wurden die verschiedenen Bauverfahren im Rahmen des Gesamtprojektes ausführlich beschrieben. Dabei wurde deutlich aufgezeigt, dass es insbesondere durch die vielen Zwangspunkte im Frankfurter Stadtgebiet sowie die Grundwasser- und Bodenverhältnisse im Untersuchungsraum erforderlich wird, zahlreiche Bauhilfsmaßnahmen zur Errichtung der eigentlichen Bauwerke umzusetzen.

Insbesondere die sehr großen Tiefen der Bauwerke und deren Gründungen im Grundwasser sowie die geringen Abstände zu zahlreichen Zwangspunkten sind u.a. Ursachen für mögliche Risiken. Daher wird empfohlen, die Realisierung mit einem spezialisierten Monitoring auf Basis bewährter Überwachungs- und Messkonzepte zu begleiten. Dadurch können im Falle von auftretenden Reaktionen im Baugrund frühzeitig entsprechende Gegensteuerungsmaßnahmen ergriffen werden.

Die Auswirkungen dieses Risikobereiches sind weitestgehend unabhängig von der gewählten Variante.

Baugrund

Die Frankfurter Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sind – auch im nationalen und im internationalen Vergleich – die mit Abstand am besten und mit großer bautechnischer und wissenschaftlicher Sorgfalt erkundeten Untergrundverhältnisse in einem städtischen Umfeld.

Insofern sind aus den boden- und felsmechanischen Grundlagendaten des Frankfurter Baugrunds nur wenige Risiken zu besorgen – die boden- und felsmechanischen Kennwerte sind bekannt und seit rund 50 Jahren durch umfangreiche Messungen im Feld und im Labor validiert und abgesichert; gleiches gilt sinngemäß für die das Projekt maßgeblich beeinflussenden Grundwasserverhältnisse.

Risiken im Baugrund sind durch noch nicht bekannte Kampfmittel sowie durch Verunreinigungen und Altlasten vorhanden. Durch vorlaufende Erkundungsmaßnahmen wird das Kampfmittelrisiko minimiert. Altlastenstandorte sind im Allgemeinen bekannt und können daher in den Planungen und Ausführungen entsprechende Berücksichtigung finden.

Die Auswirkungen dieses Risikobereiches sind weitestgehend unabhängig von der gewählten Variante.

Abwicklung des Bahnbetriebes / verkehrliche Einschränkungen

Beeinträchtigungen des U-Bahnbetriebs sind aus derzeitiger Sicht maßgeblich nur bei der Anbindung an die Bestandsstrecken an der Bockenheimer Warte sowie in Ginnheim zu erwarten. Diese sind jedoch im Allgemeinen gut beherrschbar.

Auswirkungen auf den Straßenbahn- und Busbetrieb im oberirdischen Streckenbereich können ebenfalls entstehen, werden aber derzeit als untergeordnet angesehen.

Auswirkungen auf die verkehrliche Abwicklung sind aufgrund der innerstädtischen Lage ebenfalls zu befürchten. Hierbei wird insbesondere die Variante 1a die größten Beeinträchtigungen haben, da sie durch die offene Bauweise im Bereich der Tunnelstrecke in der Zeppelinallee und der Miquelallee weitreichende Verkehrsumlegungsmaßnahmen nach sich ziehen wird.

Abhängigkeiten zu anderen Großvorhaben

Für den Großraum Frankfurt sind derzeit noch weitere Großvorhaben in der Planung. Hieraus ergeben sich unter Umständen gegenseitige Abhängigkeiten im Hinblick auf den Bauablauf und die Dauer der Bauzeit.

Flächenverfügbarkeit

Für die Umsetzung des Bauvorhabens wird es erforderlich sein, im bereits stark bebauten innerstädtischen Bereich Großbaustellen über mehrere Jahre hinweg zu betreiben. Dies gilt insbesondere für die Tunnelstrecken, welche in offener Bauweise herzustellen sind (Variante 1a, die Startbaugruben der Varianten 1d und 3i, die Station „Campus Westend“ in der Variante 3i sowie die Tunnelportale in allen drei Varianten).

Es ist daher davon auszugehen, dass verfügbare Flächen nur in geringem Umfang bzw. nur in größerer Entfernung zur eigentlichen Baustelle oder unter bauzeitlicher Inanspruchnahme bereits anderweitig genutzter Flächen vorhanden sind.

Genehmigungsverfahren

Aufgrund der im stark bebauten innerstädtischen Bereich vorhandenen zahlreichen Betroffenen ist auch im Rahmen des Genehmigungsverfahrens mit einer Vielzahl zu behandelnder Ansprüche und Einreden zu rechnen. Des Weiteren stellt insbesondere der Eingriff in das Grundwasser in den Bereichen der in offener Bauweise zu errichtenden Bauwerke im genehmigungsrechtlichen Sinne ein Risiko dar.

Die Auswirkungen dieses Risikobereiches sind weitestgehend unabhängig von der gewählten Variante.

Kosten

Die Kostenschätzung in einer Machbarkeitsstudie unterliegt aufgrund der frühen Projektphase naturgemäß entsprechenden Unwägbarkeiten. Dies gilt insbesondere auch für die Gewerke der technischen Ausrüstung, welche auf Basis von Anhaltswerten aus vergleichbaren Projekten hergeleitet wurden.

Zudem können aus den oben dargestellten Risikobereichen heraus Folgekosten entstehen. Nicht zuletzt besteht eine große Abhängigkeit von Bauzeit und Anzahl der Bauphasen, durch die Abweichungen in der Kostenschätzung möglich werden können.

12. Variantenbewertung aus Sicht der Nachhaltigkeit

12.1 Allgemeines

Zur Bewertung der Varianten wurde innerhalb der Machbarkeitsstudie eine Nachhaltigkeitsbewertungs- und Entscheidungsgrundlage erstellt. Nachfolgend wird eine Zusammenfassung beschrieben. Für nähere Angaben dazu wird auf die entsprechende Unterlage in Anlage 6 verwiesen.

Die Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH (SBEV) verantwortet die Planung und Umsetzung der U4-Verlängerung zwischen den Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“. Derzeit stehen noch drei Trassierungsvarianten zur Auswahl, aus denen mit Hilfe geeigneter Entscheidungskriterien eine Vorzugsvariante hervorgehen und festgelegt werden soll. Die Variantenentscheidung soll nicht nur auf Basis von (prozess-)technischen und ökonomischen Aspekten, sondern auch unter Einbezug der generellen Sichtweise der Nachhaltigkeit getroffen werden. Eine derartige Bewertung folgt der grundsätzlichen Nachhaltigkeitsdefinition, dass ein Bauvorhaben den heute notwendigen Bedarf deckt, ohne die jetzige und zukünftige Generationen negativ zu beeinflussen. Auf Grundlage dieser Definition erfolgt eine Bewertung auf Basis ökologischer, soziokultureller sowie städtebaulicher und standortbezogener Aspekte und schließt auch die bereits oben beschriebenen prozesstechnischen und ökonomischen Aspekte mit ein.

Anders als im Hochbau existieren jedoch aktuell für die Nachhaltigkeitsbetrachtung von Ingenieur- oder Infrastrukturbauwerken keine allgemeingültigen oder etablierten Bewertungssysteme und Methoden. Dies kann auch darauf zurückgeführt werden, dass entgegen typischen Hochbauvorhaben, die Nachhaltigkeitsanforderungen an ein Ingenieur- und Infrastrukturprojekt sehr individuelle Randbedingungen auf Grund von Standort, Nutzungsart und Bauwerkstyp aufweisen, welche unterschiedliche Anforderungen und Bedürfnisse zu erfüllen haben und unterschiedlich ausgeprägte Einflüsse auf die Umgebung und die Menschen haben können. Daher sind die relevanten Nachhaltigkeitsthemen und deren Anforderungen an das Projekt projektspezifisch festzulegen und z. B. im Rahmen eines Variantenentscheides zu bewerten.

Als standardisierbare und verallgemeinerbare Methode zur Erarbeitung einer projektspezifischen Nachhaltigkeitsbewertungs- und Entscheidungsgrundlage für den Variantenentscheid der „Verlängerung U4“ wird ein für den Ingenieurbau entwickeltes Verfahren verwendet, das einerseits übliche Bewertungsschemata der Nachhaltigkeitsbewertung des Hochbaus beinhaltet (z.B. Drei-Säulen-Modell) und andererseits Methoden aus der Unternehmensberatung zur Nachhaltigkeitsstrategieentwicklung adaptiert, u.a. die Wesentlichkeitsanalyse. Eine genauere Beschreibung der Bestandteile und des methodischen Vorgehens kann den Kapiteln des Erläuterungsberichtes der Anlage 6 entnommen werden.

12.2 Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung

Die Trassierungsvarianten 1a, 1d und 3i wurden mit der oben benannten Methodik bewertet. Insgesamt wurden 16 projektspezifische Nachhaltigkeitsthemen herausgearbeitet, die den drei Hauptsäulen der Nachhaltigkeit „Ökologie“, „Ökonomie“ und „Soziokultur“ und den Querschnittsthemen „Standort und Städtebau“ und „Prozesse“ zugeordnet werden.

Die 16 Hauptthemen (=Kriterien) umfassen Klima, Ressourcenverbrauch, Hydrogeologie und Grundwasser, Baumbestand und Grünanlagen, Baukosten, Fördermittel, Lebenszykluskosten Bauwerk, Immission und Schallschutz, Denkmalschutz, Sicherheit, Städtebauliche Potenziale und Erschließung, Verdichtung Stadtraum, Bildung, Forschung und Entwicklung, Beitrag Mobilitätswende, Baubedingte Eingriffe sowie Bauweise. Jedes Kriterium wurde für sich bewertet. Dabei stand ein relativer Vergleich zwischen den Varianten im Vordergrund, so dass ein Ranking im jeweiligen Kriterium entstand.

Für eine Gesamtbewertung wurde außerdem eine projektspezifische Wichtung der Themen für den Variantenentscheid im städtischen Kernteam des Projektes erarbeitet. Unter Berücksichtigung der jeweils einzelnen Kriterienbewertungen, der Wichtung der Kriterien zueinander und der erreichbaren Gesamtpunktzahl kann ermittelt werden, wie nah eine Variante dem Optimum einer bestmöglichen Erfüllung aller Kriterien kommt (auch „Gesamterfüllungsgrad“ genannt).

Innerhalb der „Ökologie“ als eine Hauptsäule der Nachhaltigkeit erfolgte zudem eine Treibhausgas-Bilanzierung mit dem Schwerpunkt auf der Herstellungsphase des erweiterten Rohbaus bis zur Fertigstellung. Einzelheiten dazu können dem Erläuterungsbericht zur Treibhausgas-Bilanzierung in Anlage 7 entnommen werden.

Zur Darstellung des Gesamtergebnisses bietet sich die in der Nachhaltigkeitsbewertung von Hochbauvorhaben etablierte Form der „Nachhaltigkeitsblume“ an.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Ergebnisse der drei Varianten. Die jeweiligen Kriterien sind als Segmentteile des Diagramms dargestellt, wobei die Breite der Segmente deren anteiliges Gewicht am Gesamtergebnis beschreibt. Die Erfüllung eines Kriteriums durch eine Variante wird durch die farbliche Füllung des Segmentteils visuell verdeutlicht. In der Mitte der Blume wird die Gesamterfüllung anhand der Prozentzahl verdeutlicht.

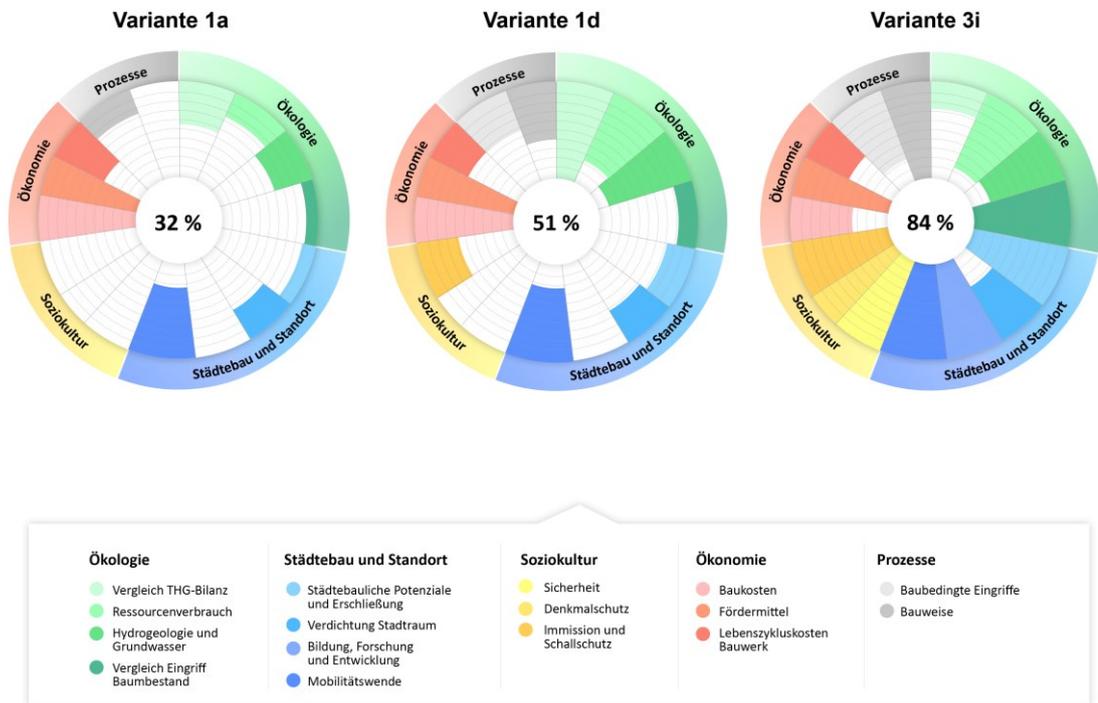


Abbildung 17: Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung der Trassierungsvarianten

Auf Grundlage der Darstellung wird ersichtlich, dass die Variante 3i mit 84 % den größten Gesamterfüllungsgrad im Vergleich zu den anderen beiden Varianten erreicht.

Das heißt: Unter Berücksichtigung der hier getroffenen projektspezifischen Auswahl an Nachhaltigkeitsthemen und deren Wertung besitzt die Variante 3i die größte Erfüllung aller Kriterien und stellt somit insgesamt die nachhaltigste Variante unter dieser Betrachtungsform dar.

13. Fazit und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde die technische Machbarkeit der Realisierung des DII-Abschnitts zwischen den U-Bahn-Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Ginnheim“ untersucht. Hinsichtlich der Bewertung wurde maßgeblich der südliche Abschnitt zwischen den Stationen „Bockenheimer Warte“ und „Bundesbank“ betrachtet, da sich die drei Varianten in diesem Abschnitt voneinander unterscheiden. Mit der Maßnahme will die Stadt Frankfurt eine Lücke im U-Bahn-Netz schließen.

Dafür wurden die drei Varianten 1a, 1d und 3i tiefergehend auf ihre Machbarkeit untersucht und anhand von einschlägigen Kriterien in Anlehnung an den anerkannten Zertifizierungsstandard der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) bewertet. Grundlage für die Bewertung waren neben den technischen Aspekten eine projektspezifische Bewertung der Nachhaltigkeit aller Varianten, basierend auf Planungen, Gutachten und Fachbeiträgen.

Die Bewertung der im Zuge der Machbarkeitsstudie ermittelten Kriterien erfolgte einerseits qualitativ (ohne Wichtung der Kriterien untereinander) sowie andererseits quantitativ über ein für den Ingenieurbau entwickeltes Nachhaltigkeitsbewertungsverfahren als standardisierbare und verallgemeinerbare Methode zur Erarbeitung einer projektspezifischen Nachhaltigkeitsbewertungs- und Entscheidungsgrundlage (siehe Anlage 6). Diese bildet die Ergebnisse der Variantenuntersuchung ab und dient als Grundlage zur Empfehlung der Vorzugsvariante.

Nachfolgend werden die maßgeblichen Aspekte der innerhalb der Machbarkeitsstudie behandelten Variantenuntersuchung inkl. ihrer jeweiligen Bewertung nochmals zusammengefasst.

Zunächst erfolgt dies resultierend aus den einzelnen Untersuchungen und Fachbeiträgen:

Umweltverträglichkeit

Nach Durchführung der allgemeinen Vorprüfung des Einzelfalls zur Umweltverträglichkeit gemäß § 7 bzw. § 9 Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) zeigt der schutzgutübergreifende Variantenvergleich die geringsten Erheblichkeiten bei Variante 3i. Sie stellt demnach die zu empfehlende Vorzugsvariante aus Sicht der Umweltverträglichkeit dar. Angesichts der allenfalls gering erheblichen Auswirkungen ist keine UVP-Pflicht zu erwarten. Auch der Eintritt von artenschutzrechtlichen Verbotstatbeständen ist bei der Variante 3i weniger wahrscheinlich.

Bei keiner der 3 Varianten sind unüberwindbare Restriktionen oder Gefährdungen aus Umweltschutzsicht zu erwarten. Die Varianten 1a und 1d sind bei verschiedenen Schutzgütern mit erheblichen Umweltauswirkungen verbunden, weshalb für diese eine Pflicht zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht.

Baumbestand

Bei Variante 1a kann von 3.528 Bäumen voraussichtlich kein Baum erhalten bleiben. Bei Variante 1d sieht die Verlustzahl mit zusammen 3.307 bei 3.503 Stück bewerteter Bäume nur unwesentlich günstiger aus. Bei beiden Varianten sind darunter die sehr wertvollen Bäume im Buchenrevier des Botanischen Gartens, ein für die Frankfurter Innenstadtlage einmaliger Naturraum.

Bezüglich des Baumbestands auf der Trasse schneidet die Variante 3i deutlich besser ab. Hier entfällt zwar auch jeder dritte Baum (713 von 2.159 Bäumen), diese liegen jedoch im Bereich Miquelanlage, wo bei den anderen Varianten ebenfalls Bäume in gleicher Größenordnung entfallen. Das Buchenrevier im Botanischen Garten bleibt hier ebenso unberührt wie die nördliche Randzone im Palmengarten mit samt der anschließenden prägnanten Alleen und die westliche Randzone des Grüneburgparks.

Es wird die Variante 3i zur weiteren Ausarbeitung empfohlen. Hier ist die Reduzierung des teils sehr wertvollen Baumbestands am niedrigsten. Die Wohlfahrtswirkungen des Klima-, Arten- und Denkmalschutzes sowie der Erholung im Kontext des Frankfurter Gartenreichs können bei Variante 3i am ehesten erhalten werden. Auch sind hier keine im erweiterten Baumkataster der Stadt Frankfurt am Main gelisteten Habitatbäume betroffen.

Hydrogeologie

Unter hydrogeologischen Aspekten sind die Varianten 1d und 3i näherungsweise gleichwertig und führen allenfalls zu geringen Veränderungen des Bodenwasserhaushalts im näheren Umfeld der Bauwerke.

Der in offener Bauweise errichtete Tunnel der Variante 1a hingegen ist aufgrund der vollständigen Abriegelung der oberflächennahen Schichten insbesondere für den Bodenwasserhaushalt des nördlichen Palmengartens als problematisch zu bewerten.

Naturschutz und Biodiversität

Die Varianten 1 a und 1d beeinträchtigen durch ihre oberirdische Führung im Bereich Botanischer Garten und Grüneburgpark sowie innerhalb des Parks an der Bundesbank (Miquelanlage) erheblich die Funktionsfähigkeit der Parkanlagen und deren ökologische Funktion.

Die Variante 3i verläuft in den sensiblen Bereichen (Palmengarten, Botanischer Garten, Grüneburgpark und Park an der Bundesbank) komplett unterirdisch. Die Flächenverluste der Varianten 1a und 1d finden hier nicht statt.

Treibhausgas-Bilanzierung

In der aktuellen frühen Projektphase (Grundlagenermittlung, Machbarkeitsstudie) liegt der Fokus der vorliegenden Treibhausgas-Bilanzierung (Treibhausgas = THG) auf der Herstellungsphase des erweiterten Rohbaus bis zur Fertigstellung.

Im derzeitigen Verlauf ergibt sich für die Variante 1a ein Gesamt-THG-Potenzial für den erweiterten Rohbau von ca. 39.701 t CO₂-Äquivalent (CO₂-Äq.). Die Variante 1d unterschreitet diesen Wert mit einem Gesamt-THG-Potenzial im erweiterten Rohbau von ca. 25.921 t CO₂-Äq. Da beide Varianten eine vergleichbare Streckenlänge aufweisen, stellt die Variante 1d auf Grund einer THG-effizienteren Bauweise die THG-ärmere Variante dar. Im Absolutvergleich der THG-Emissionen weist die Variante 3i mit einem erwarteten THG-Gesamtpotenzial im erweiterten Rohbau von etwa 45.238 t CO₂-Äq. die größten THG-Emissionen auf. Dies ist insbesondere auf die längere Strecke und einen größeren Tunnelanteil zurückzuführen.

Im relativen Vergleich, also bezogen auf eine Streckenlänge von jeweils 1km, liegt die Variante 3i mit einem THG-Gesamtpotenzial von 11.720 t CO₂-Äq./km im Vergleich zwischen den Varianten 1a (13.449 t CO₂-Äq./km) und 1d (9.032 t CO₂-Äq./km).

Anzumerken ist, dass die innerhalb des Nachhaltigkeitsbereichs „Ökologie“ ermittelte CO₂-Bilanz als vergleichende Bilanzierung auf Basis der gewählten projektspezifischen Parameter der einzelnen Varianten erfolgt und daher nicht als absolute Bilanzierung zum Vergleich mit anderen Baumaßnahmen herangezogen werden kann.

Städtebauliche Anforderungen

Es wurden verschiedene Themenfelder im Hinblick auf das städtebauliche Umfeld und die zu erwartenden Auswirkungen durch die Varianten untersucht.

Im Hinblick auf zukünftige städtebauliche Potenziale und Erschließungen sind dabei

- die Barrierewirkung der Trasse,
 - die Vernetzung Stadträume,
 - die Anbindung / Verknüpfung mit anderer Verkehrsinfrastruktur (Linienbusse, Ringstraßenbahn) sowie
 - die Erschließung / Einzugsbereiche der Stationen
- betrachtet worden.

Weiterhin wurden die Verdichtung des Stadtraums, das Entwicklungspotenzial des Wissenschaftsstandorts Frankfurt im Hinblick auf den Bereich Bildung, Forschung und Entwicklung sowie der Beitrag zur Mobilitätswende (Verlagerung von Fahrten vom MIV zum ÖPNV) bewertet.

Im Ergebnis bietet die Variante 3i, maßgeblich durch den Anschluss des Campus Westend sowie die zum Großteil unterirdische Trassenführung, bei allen vorgenannten Themenfeldern wesentliche Vorteile gegenüber den beiden Varianten 1a und 1d. Lediglich bei der Anbindung/ Verknüpfung mit anderer Verkehrsinfrastruktur ist die Variante 1d als gleichwertig zu bewerten.

Als Entscheidungsgrundlage zur Empfehlung einer Vorzugsvariante erfolgt die Betrachtung der vorgenannten Themen aus Sicht der Nachhaltigkeit, zugeordnet zu den nachfolgend aufgeführten Nachhaltigkeitsqualitäten:

- Ökologie
- Ökonomie
- Soziokultur
- Städtebau und Standort
- Prozesse

Danach ergibt sich für die Variante 3i der größte Gesamterfüllungsgrad im Vergleich zu den anderen beiden Varianten. Unter Berücksichtigung der projektspezifischen Auswahl an Nachhaltigkeitsthemen und deren Wertung stellt somit die Variante 3i die nachhaltigste Variante dar.

Gemäß vorgenannter Ergebnisse ergibt sich die Variante 3i als Vorzugsvariante gegenüber den Varianten 1a und 1d. Es wird daher empfohlen, die Vorzugsvariante 3i innerhalb einer Vorplanung entsprechend weiter auszuarbeiten.

14. Abkürzungsverzeichnis

A

Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft (z.B. Mainova AG)
AVV Baulärm	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Schutz gegen Baulärm

B

BAB 66	Bundesautobahn A66
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BOSTrab	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen)
bzw.	beziehungsweise

C

ca.	circa
CAD	computer-aided design
cm	Zentimeter
CO ₂ (-Bilanz)	Kohlendioxid (-Bilanz)
CO ₂ -Äq.	CO ₂ -Äquivalent (Index für Angabe, in welchem Verhältnis ein Treibhausgas in Bezug zur Wirkung des Kohlenstoffdioxids auf die Erderwärmung innerhalb eines definierten Zeitraums steht)
CO ₂ -Äq./km	Wie vor, jedoch relativ zur Streckenlänge von 1 km

D

DAUB	Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsche Industrienorm

E

EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EPB	Earth Pressure Balance Shield
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen
ESTW	Elektronisches Stellwerk
etc.	et cetera (und so weiter)

EVU	Energieversorgungsunternehmen
F	
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
G	
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
ggf.	Gegebenenfalls
GIS	Geografisches Informationssystem
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GUW	Gleichrichterunterwerk
GVT	Grundsätzliche Vereinbarungen für Statik und Konstruktion von Tunnelbauwerken
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermesspegel
H	
HBO	Hessische Bauordnung
HLNUG	Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HYS	Hybrid Shield
Hz	Hertz
I	
i. d. R.	in der Regel
inkl.	inklusive
K	
KSG	Bundes-Klimaschutzgesetz
km/h	Kilometer pro Stunde
km ²	Quadratkilometer
L	
LCKW	leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
Linie 16	Straßenbahnlinie 16 der VGF
LSA	Lichtsignalanlage
LST	Leit- und Sicherungstechnik
L 3004	Landesstraße 3004

M

m/ mm/ m ³	Meter/ Millimeter / Kubikmeter
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Anteil im Individualverkehr
MVA	Mehrpreisverkaufsautomaten

N

NKU	Nutzen-Kosten-Untersuchung
NÖT	Neue Österreichische Tunnelbauweise

O

oB	Offene Bauweise
o.g.	oben genannter
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OWB	Obere Wasserbehörde

P

PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PP-Fasern	Polypropylen-Fasern (im Beton)

R

RAST 06	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen, Ausgabe 2006
RegFNP	Regionaler Flächennutzungsplan
Rd.	rund
RWA	Rauchwärmeableitungsanlage

S

S-Bahn	Stadtschnellbahn
SBEV	Stadtbahn Entwicklung und Verkehrsinfrastrukturprojekte Frankfurt GmbH
SLS	Slurry Shield
SO	Schienenoberkante
SWFH	Stadtwerke Frankfurt am Main Holding GmbH

T

t	Tonne
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TBM/ TVM	Tunnelbohrmaschine/ Tunnelvortriebsmaschine

THG	Treibhausgas
TK	Telekommunikation
TöB	Träger öffentlicher Belange
TraffiQ	Lokale Nahverkehrsgesellschaft in Frankfurt
TuS Makkabi	Turn- und Sportverein Makkabi Frankfurt 1965 e.V.
U	
U4, U5	Stadtbahnlinien im Frankfurter Stadtbahnnetz
u.a.	unter anderem
U-Bahn	Ungergrundbahn
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
UWB	Untere Wasserbehörde
V	
V	Volt
v.a.	vor allem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDS	Variable Density Shield
VGF	Stadtwerke Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mit beschränkter Haftung
vgl.	vergleiche
W	
WU-Beton	Wasserundurchlässiger Beton
Z	
z. B.	zum Beispiel
ZTV-Ing	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten
Sonstige	
%/ ‰	Prozent/ Promille
</ >	kleiner als/ größer als
3D-Modell	Dreidimensionales Modell
