

Machbarkeitsstudie zum Einsatz der Magnetschwebebahn TSB in Nürnberg

Machbarkeitsstudie und Kosten-Nutzen-Untersuchung für den Korridor zwischen U-Bahnhof Bauernfeindstraße bis zum Klinikum Nürnberg Süd



Nürnberg, Dezember 2024

Machbarkeitsstudie zum Einsatz der Magnetschwebebahn TSB in Nürnberg

Machbarkeitsstudie und Kosten-Nutzen-Untersuchung für
den Korridor zwischen U-Bahnhof Bauernfeindstraße bis
zum Klinikum Nürnberg Süd

Auftraggeber

Planungs- und Baureferat der Stadt Nürnberg
Bauhof 9
90402 Nürnberg

Auftragnehmer

PTV Transport Consult GmbH
Stumpfstraße 1
76131 Karlsruhe
Tel. 0721/9651-0
Fax. 0721/9651-299
e-Mail: info@ttk.de

TransportTechnologie-Consult Karlsruhe GmbH
Durlacher Allee 73
76131 Karlsruhe
Tel. 0721/62503-0
Fax. 0721/62503-33
e-Mail: info@ttk.de

Bearbeiter

Steven Pfisterer (PTV)
Dr.-Ing. Nicolas Kämmerling (TTK)
Niklas Mattern (TTK)
Annmarie Jensen (TTK)

Nürnberg, Dezember 2024

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
Abbildungen.....	4
Tabellen	4
1 Aufgabenstellung und Ziel.....	5
2 Betriebliche Machbarkeit	6
2.1 Ausgangslage	6
2.2 Fahrzeugwahl.....	7
2.3 Betriebssimulation	7
2.4 Betriebsvarianten.....	10
2.4.1 Betriebsvariante 1a.....	11
2.4.2 Betriebsvariante 1b	12
2.4.3 Betriebsvariante 2	13
2.4.4 Ableitung eines optimierten Betriebskonzepts.....	14
3 Technische Machbarkeit	15
3.1 Trassenführung	15
3.2 Infrastrukturkosten	17
4 Verkehrliche Wirkungen und Nutzen-Kosten-Untersuchung.....	19
4.1 Grundlage Bewertung Straßenbahn	19
4.2 Untersuchungsfälle, Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage	22
4.3 Annahmen Betriebskosten TSB.....	23
4.4 Investition Infrastruktur	25
4.5 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Untersuchung.....	27
4.6 Umlegung und Dimensionierung	28
4.7 Analyse der Ergebnisse	28
4.8 Fazit Nutzen-Kosten-Untersuchung	32
5 Fazit.....	33
Anhang 1	35

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Straßenbahnverlängerung im Abschnitt Bauernfeindstraße - Klinikum Süd	6
Abbildung 2: Weg-Geschwindigkeitsdiagramm für eine Trassenvariante.....	9
Abbildung 3: Betriebsvariante 1a.....	11
Abbildung 4: Fahrzeitenrechnung Planfall 1a	11
Abbildung 5: Betriebsvariante 1b	12
Abbildung 6: Fahrzeitenrechnung Planfall 1b.....	12
Abbildung 7: Betriebsvariante 2	13
Abbildung 8: Fahrzeitenrechnung Planfall 2	13
Abbildung 9: Übersichtsplan zur Trassierung des TSB	15
Abbildung 10: Positionierung der Stützen bei Querung der Großen Straße (Hintergrund: Google Maps).....	16
Abbildung 11: Streckenverlauf Tristanstraße – Bauernfeindstraße (– Neuselsbrunn) – Messe – Klinikum Süd (Quelle: Stadt Nürnberg, Geobasisdaten, Bebauungsplan Nr. 4600)	19
Abbildung 12: ÖV-Angebot im Ohnefall – Liniennetzplan Straßenbahn (Quelle: Stadt Nürnberg)....	20
Abbildung 13: ÖV-Angebot im Mitfall 1 und 4 – Liniennetzplan Straßenbahn (Quelle: Stadt Nürnberg).....	21
Abbildung 14: Verlauf TSB.....	23
Abbildung 15: Verlauf TSB.....	28
Abbildung 16: Umstieg auf Straßenbahn / U-Bahn.....	30
Abbildung 17: Umstieg auf Straßenbahn / U-Bahn.....	31

Tabellen

Tabelle 1: Auszug Fahrzeugparameter Betriebssimulation.....	8
Tabelle 2: Betriebliche Rahmenparameter.....	9
Tabelle 3: Investitionskosten für das TSB zwischen Bauernfeindstraße und Klinikum Süd	18
Tabelle 4: Nutzen-Kosten-Indikatoren Straßenbahn.....	22
Tabelle 5: Betriebskosten TSB.....	24
Tabelle 6: Kosten TSB pro Platz-Kilometer	25
Tabelle 7: Indizes zur Umrechnung der Investitionen auf Preisstand 2021	25
Tabelle 8: Überblick Infrastrukturinvestitionen.....	26
Tabelle 9: Nutzen-Kosten-Indikatoren Mitfall 1 + TSB gegenüber Ohnefall im Vergleich zur Straßenbahn	27
Tabelle 10: Nutzen-Kosten-Indikatoren TSB gegenüber Mitfall 1 im Vergleich zur Straßenbahn.....	27

1 Aufgabenstellung und Ziel

Die Stadt Nürnberg plant, die Straßenbahnlinie 7 im Korridor Brunecker Straße / Technische Universität Nürnberg – Bauernfeindstraße – Bertolt-Brecht-Schule / Messe Ost – Klinikum Süd zu verlängern. Das Projekt besteht aus drei Planungsabschnitten. Im ersten Planungsabschnitt der Straßenbahnverlängerung von der bisherigen Straßenbahndehalte Tristanstraße zum U-Bahnhof Bauernfeindstraße mit Umsteigemöglichkeit zur U-Bahnlinie U1 ist bereits die Planfeststellung eingeleitet worden. Für den weiteren Planungsabschnitt zwei, von der Bauernfeindstraße bis Bertolt-Brecht-Schule / Messe Ost bzw. Planungsabschnitt der, bis zum Klinikum Süd wurde im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Untersuchung nach derzeitigen Planungsstand eine Förderfähigkeit in Verbindung mit Planabschnitt 1 nachgewiesen.

Die Entwicklung innovativer Verkehrssysteme im öffentlichen Nahverkehr ist entscheidend, um den wachsenden Anforderungen an Flexibilität, steigendes Verkehrsaufkommen und begrenzten Platzbedarf gerecht zu werden. Insbesondere für Kurz- und Nahstrecken bieten sich moderne, spurgebundene Fahrzeuge als zukunftsweisende Lösung an. Die Magnetschwebbahntechnik, wie sie von der Firma Max Bögl im Transport System Bögl (nachfolgend TSB genannt) umgesetzt wurde, eröffnet dabei Vorteile gegenüber herkömmlichen Rad-Schiene-Systemen: Sie ermöglicht einen schlankeren Fahrweg, reduziert den Geräuschpegel und arbeitet praktisch verschleißfrei, da es keinen mechanischen Kontakt zwischen Fahrzeug und Fahrweg gibt.

In der öffentlichen Diskussion wurde die Magnetschwebbahn TSB als Alternative zur Straßenbahnverlängerung der Linie 7 im zweiten und dritten Planungsabschnitt vorgeschlagen. Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Einführung einer Magnetschwebbahn TSB im Abschnitt zwischen U-Bahnhof Bauernfeindstraße und dem Klinikum Süd mit der bestehenden Planung der Straßenbahnverlängerung zu vergleichen. Für einen qualifizierten Vergleich ist eine Trassenführung einer Magnetschwebbahn TSB im Rahmen der betrieblichen und technischen Machbarkeitsuntersuchung festzulegen. Für die ermittelte Vorzugsvariante erfolgt eine Nutzen-Kosten-Untersuchung anhand der verkehrlichen Wirkungen zur Feststellung der Förderfähigkeit. Die Untersuchungsergebnisse dienen als Grundlage zum Systemvergleich zwischen Straßenbahnverlängerung und Magnetschwebbahn TSB.

2 Betriebliche Machbarkeit

In diesem Kapitel wird das Betriebskonzept für die Magnetschwebbahn als Grundlage für die nachfolgende Infrastrukturplanung und Nutzen-Kosten-Betrachtung festgelegt. Es werden verschiedene Betriebsvarianten entwickelt und vergleichend bewertet. Die Identifizierung der bestmöglichen Infrastruktur für die Magnetschwebbahn ist ein iterativer Prozess im Zusammenspiel mit der betrieblichen Machbarkeit.

2.1 Ausgangslage

Das TSB wird im Abschnitt zwischen der Bauernfeindstraße und dem Klinikum Süd als Fortsetzung der Straßenbahn betrachtet, die künftig bis zur Bauernfeindstraße geführt werden soll. Um eine Vergleichbarkeit mit der Straßenbahnuntersuchung im gleichen Korridor zu gewährleisten, wurde bereits im Vorfeld ein 10-Minuten-Takt als Grundlage für die Untersuchung festgelegt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die bereits untersuchte Trassenführung der Straßenbahnverlängerung der Linie 7 im zweiten und dritten Bauabschnitt zwischen Bauernfeindstraße und Klinikum Süd.



Abbildung 1: Straßenbahnverlängerung im Abschnitt Bauernfeindstraße - Klinikum Süd

Eine bauliche Machbarkeit für das TSB ist im Korridor der Straßenbahnplanung grundsätzlich gegeben, vgl. Kapitel 3. Aufgrund der vorliegenden Erkenntnissen aus den Voruntersuchungen bezüglich der Straßenbahnverlängerung kann abgeleitet werden, dass diese Trassenführung die Vorzugsvariante für die vorliegende Machbarkeitsuntersuchung zum TSB ist. Verschiedene Betriebsvarianten (bezüglich der Anzahl der Haltestellen, Ein- bzw. Doppelspurigkeit) werden im Folgenden zur Identifizierung einer Vorzugsvariante untersucht.

Aufgrund des unabhängigen Fahrwegs sowie des hochautomatisierten Betriebs ist bei dem TSB von einer hohen Fahrplanstabilität auszugehen. Daher stellt sich grundsätzlich die Frage, inwiefern eine einspurige Trasse mit Ausweichhaltestellen gegenüber einer zweispurigen Trasse vorteilhaft ist. Bei einem 10-Minuten-Takt und einer Streckenlänge von ca. 3,7 km erscheint ein Zwei-Fahrzeug-Betrieb auf einspuriger Trasse mit mittiger Ausweichstation als eine mögliche Lösung. Zur Prüfung der betrieblichen Machbarkeit wird eine Betriebssimulation durchgeführt.

2.2 Fahrzeugwahl

Der Korridor Bauernfeindstraße – Klinikum Süd hat eine hohe Affinität für Veranstungsverkehere. Die Messe Nürnberg wird direkt von dem TSB erschlossen. Das Max-Morlock-Stadion ist fußläufig von der Station Poststraße erreichbar. Die genannten Veranstungsverkehere sind derzeit nicht im Verkehrsmodell abgebildet. Folglich liegt keine Grundlage für die verkehrliche Bewertung der Veranstungsverkehere vor.

Aufgrund der hohen Auflagen hinsichtlich der Anwendungsvoraussetzungen des fakultativen Modellbausteins „Veranstungsverkehere“ seitens des Fördermittelgebers sowie der Nichtverfügbarkeit einer entsprechenden Datengrundlage zur verkehrlichen Bewertung hat der Lenkungsreis entschieden, dass im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie der Regelverkehr bewertet werden soll. Darüber hinaus sollen die zusätzlich entstehenden Kosten zur Berücksichtigung von Veranstungsverkehrern berücksichtigt werden.

Im Anwendungsfall Regelverkehr sind Ein-Sektionen-Fahrzeuge mit einer Fahrzeugkapazität von 112 Personen ausreichend. Die Dimensionierungsprüfung ist in Kapitel 4.6 dokumentiert.

Für den Anwendungsfall Veranstungsverkehr wird festgelegt, dass die Beförderungskapazität des TSB mindestens so groß wie diejenige der Straßenbahn im 10-Minuten-Takt sein soll. Eine 4-teilige Straßenbahn von Typ Avenio hat eine Fahrzeugkapazität von 218 Personen. Folglich sind im Anwendungsfall Veranstungsverkehr Zwei-Sektionen-Fahrzeuge mit einer Fahrzeugkapazität von 224 Personen ausreichend.

Im weiteren Verlauf fokussiert sich die Machbarkeitsstudie auf den Anwendungsfall Regelverkehr mit Ein-Sektionen-Fahrzeugen. Der Anwendungsfall mit Zwei-Sektionen-Fahrzeugen Veranstungsverkehr wird bei expliziter Nennung mitbetrachtet.

2.3 Betriebssimulation

Die Betriebssimulation erfolgt mit der Fahrplansoftware OpenTrack. OpenTrack ist ein am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich realisiertes Forschungsprojekt zum Thema interaktive Betriebssimulation von Schienennetzen. Während der Simulation fahren die vordefinierten Fahrzeuge auf der gegebenen Gleistopologie unter den gewünschten Randbedingungen (Fahrplan, Verspätungsverteilung, Umweltbedingungen, etc.). OpenTrack ist international bei Eisenbahnverkehrsunternehmen und bei Metro- und Straßenbahnunternehmen sowie bei Aufgabenträgern im Einsatz. Die Software erlaubt die Modellierung eines theoretischen Betriebs sowie dynamische Simulationen in Abhängigkeit von Betriebsstörungen (Fahrgastwechsel, Wartezeit an Kreuzungen, unterschiedliche Fahrbeziehungen, usw.).

Für den grundsätzlichen Aufbau des OpenTrack-Modells sind detaillierte Daten zur Infrastruktur des einzubeziehenden Streckennetzes, zu den eingesetzten Fahrzeugen und des vorhandenen/geplanten Betriebs erforderlich. Die folgenden Einzelparameter der Infrastruktur sind im Modell berücksichtigt:

- Längen
- Ein- und Zweigleisigkeiten
- Kurvenradien, Überhöhungen
- Steigungen/Gefälle
- Lage der Haltestellen
- Gleiswechsel
- Maximale Geschwindigkeiten

In Abstimmung mit der Firmengruppe Max Bögl werden die folgende Einzelparameter des Fahrzeugs bezüglich des Anwendungsfalls „Regelverkehr“ im Modell berücksichtigt:

- Fahrdynamische Eigenschaften der Schienenfahrzeuge als Zugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm
- Fahrzeuglängen
- Fahrzeugmasse

Parameter	Wert
Länge Fahrzeug (1 Sektion)	12 m
Gewicht (1 Sektion, leer)	18,5 t
Höchstgeschwindigkeit	150 km/h
Maximaler Beschleunigungswert	1,3 m/s ²
Durchschnittliche Bremsverzögerung	-1,3 m/s ²
Fahrzeugkapazität (1 Sektion, Fahrgäste)	112

Tabelle 1: Auszug Fahrzeugparameter Betriebssimulation

Bei der Untersuchung der betrieblichen Machbarkeit ist zu beachten, dass ein stabiler Betrieb sichergestellt ist. Dies bedeutet ein Ansetzen von technischen und betrieblichen „Worst-Case“-Bedingungen, z. B. hoher Fahrgastandrang. Im Regelbetrieb wie er für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zugrunde zu legen ist, stellt sich in der Regel ein geringerer Fahrgastandrang als zu Spizentagen und -zeiten ein. Dies gilt insbesondere im vorliegenden Anwendungsfall aufgrund der Anbindungsfunktion der Messe Nürnberg.

Zur Berücksichtigung des zuvor beschriebenen Sachverhaltes werden in der vorliegenden Machbarkeitsstudie unterschiedliche Haltezeiten bei der Machbarkeits- und der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung angesetzt. Die Haltezeiten und weitere betriebliche Parameter sind in der folgenden Tabelle dokumentiert.

Parameter	Wert
Haltezeit Machbarkeitsuntersuchung	35 Sekunden
Haltezeit Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	25 Sekunden
Wendezeit	35 Sekunden
Weichenstellzeit	25 Sekunden
Beharrungszeit in der Fahrt	15 Sekunden
Querneigung im Bogen	8 Grad

Tabelle 2: Betriebliche Rahmenparameter

Die nachfolgende Abbildung zeigt die durchgeführte Fahrzeitrechnung als Weg-Geschwindigkeitsdiagramm beispielhaft für eine Trassenvariante.

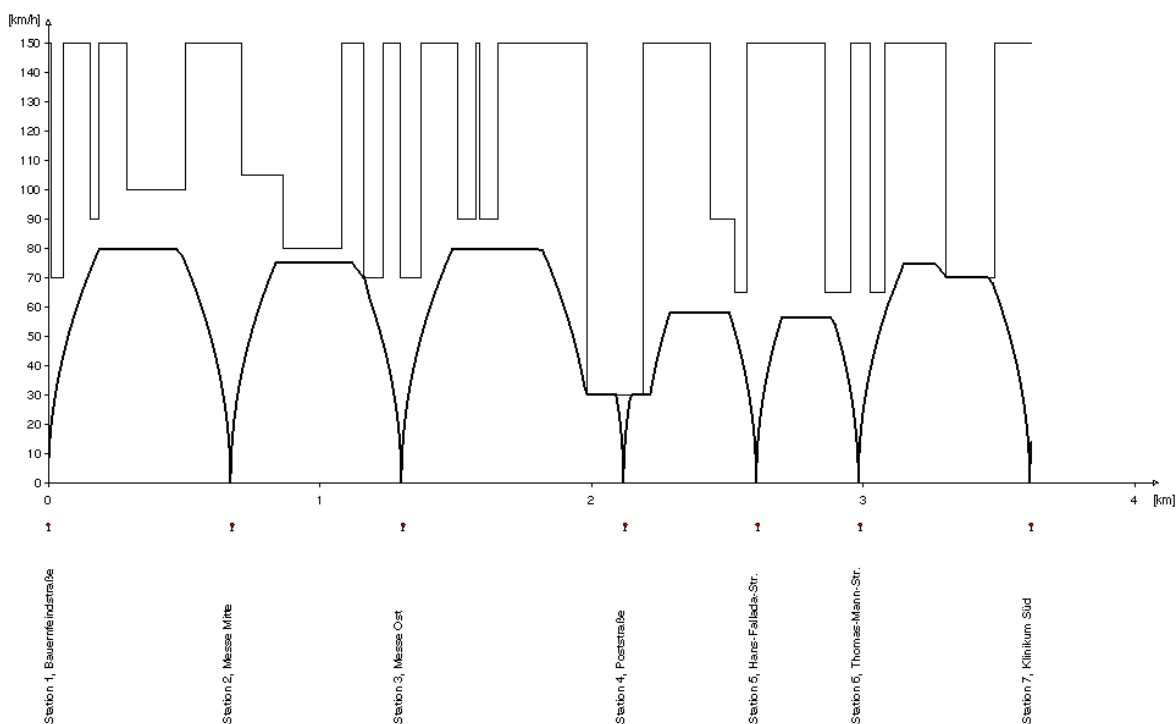


Abbildung 2: Weg-Geschwindigkeitsdiagramm für eine Trassenvariante

Die in dieser Trassenvariante maximal erreichte Geschwindigkeit beträgt 80 km/h und wird auf dem Abschnitt zwischen der Haltestelle Bauernfeindstraße – Messe Mitte sowie auf dem Abschnitt Messe Ost – Poststraße erreicht. Auf den übrigen Abschnitten werden Geschwindigkeiten im Bereich von bis zu 75 und 55 km/h gefahren.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Betriebssimulation mit einem Ein-Sektionen-Fahrzeug durchgeführt wurde. Da die Zwei-Sektionen-Fahrzeugen dieselben fahrdynamischen Eigenschaften haben, besteht nur aufgrund der größeren Fahrzeuglänge ein minimaler Fahrzeitmehrbedarf gegenüber den Ein-Sektionen-Fahrzeugen im Anwendungsfall Regelverkehr. Die Ergebnisse der Betriebssimulation sind folglich auch auf Zwei-Sektionen-Fahrzeug im Anwendungsfall Veranstaltungsverkehr übertragbar.

2.4 Betriebsvarianten

Entsprechend den Vorüberlegungen (vgl. Kapitel 2.1) werden die folgenden Betriebsvarianten untersucht:

- Planfall 1a: Einspurige Trassenführung mit acht Haltestellen und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Große Straße.
- Planfall 1b: Einspurige Trassenführung mit acht Haltestellen und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Poststraße.
- Planfall 2: Einspurige Trassenführung mit sieben Haltestellen durch Zusammenlegen der Station Messe Ost und Große Straße und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Poststraße.

Mithilfe der Fahrplansoftware OpenTrack werden die verschiedenen Betriebsvarianten simuliert und ein optimiertes Betriebskonzept für die weitere Untersuchung abgeleitet.

2.4.1 Betriebsvariante 1a

Die folgende Abbildung zeigt die Betriebsvariante 1a: Einspurige Trassenführung mit acht Haltestellen und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Große Straße.

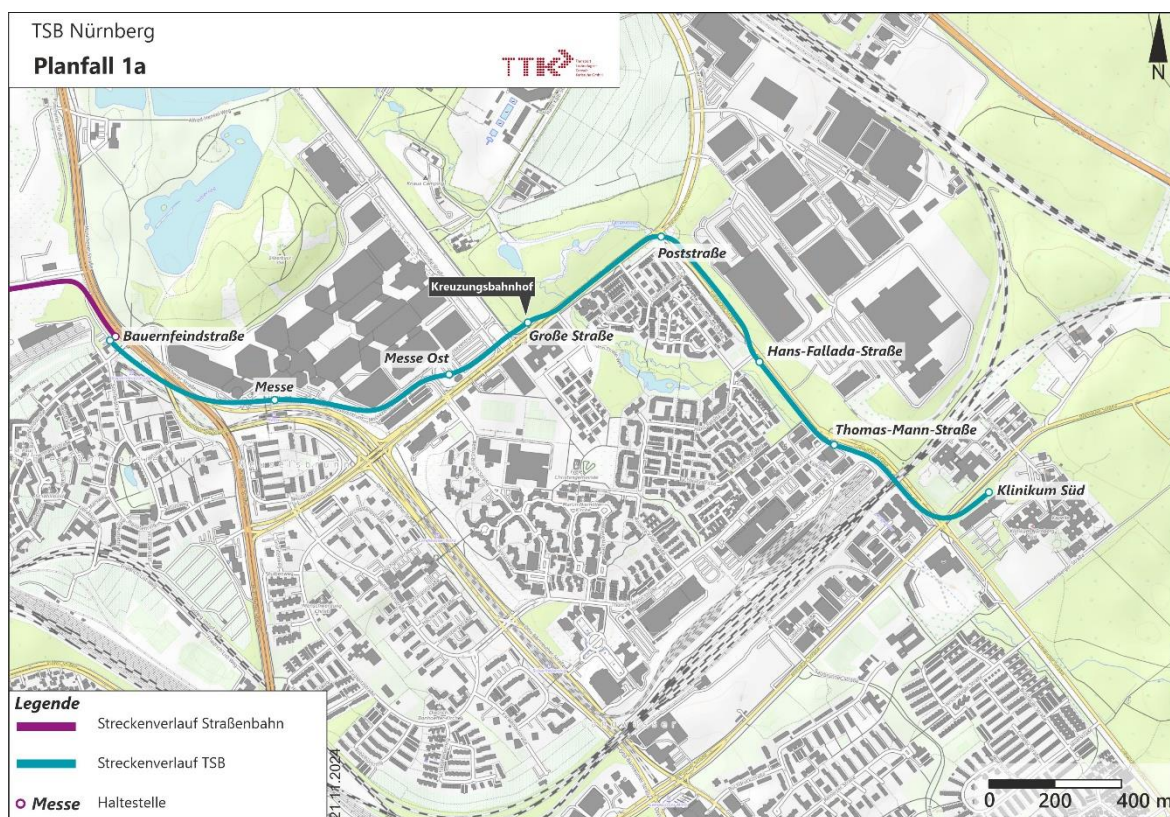


Abbildung 3: Betriebsvariante 1a

In der folgenden Abbildung ist die Fahrzeitenrechnung für den Planfall 1a mit der Kreuzungsstation Große Straße mit einer Haltezeit von 35 Sekunden (Machbarkeitsuntersuchung) dargestellt. Hierfür ergibt sich eine mittlere Beförderungszeit von 08:41 Minuten.

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Bauernfeindstr.		00:00
Messe	00:48	01:23
Messe Ost	02:12	02:47
Große Straße	03:24	03:59
Poststr.	04:46	05:21
Hans-Falada-Str.	06:05	06:40
Thomas-Mann-Str.	07:17	07:52
Klinikum Süd	08:40	

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Klinikum Süd		00:00
Thomas-Mann-Str.	00:48	01:23
Hans-Falada-Str.	02:00	02:35
Poststr.	03:20	03:55
Große Straße	04:37	05:12
Messe Ost	05:55	06:30
Messe	07:18	07:53
Bauernfeindstr.	08:42	

Abbildung 4: Fahrzeitenrechnung Planfall 1a

Der maßgebende Abschnitt für die minimale Zugfolgezeit ist der Abschnitt Große Straße – Klinikum Süd. Aufgrund der Einspurigkeit ergibt sich die minimale Zugfolgezeit aus der Fahrzeit zwischen Große Straße und Klinikum Süd, der Wendezeit an der Station Klinikum Süd, der Fahrzeit zwischen Klinikum Süd und Große Straße sowie der Weichenstellzeit an der Station Große Straße. Die minimale Zugfolgezeit beträgt folglich 10:18 Minuten. Ein 10-Minuten-Takt ist in Betriebsvariante 1a nicht umsetzbar.

2.4.2 Betriebsvariante 1b

Die folgende Abbildung zeigt die Betriebsvariante 1b: Einspurige Trassenführung mit acht Haltestellen und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Poststraße.

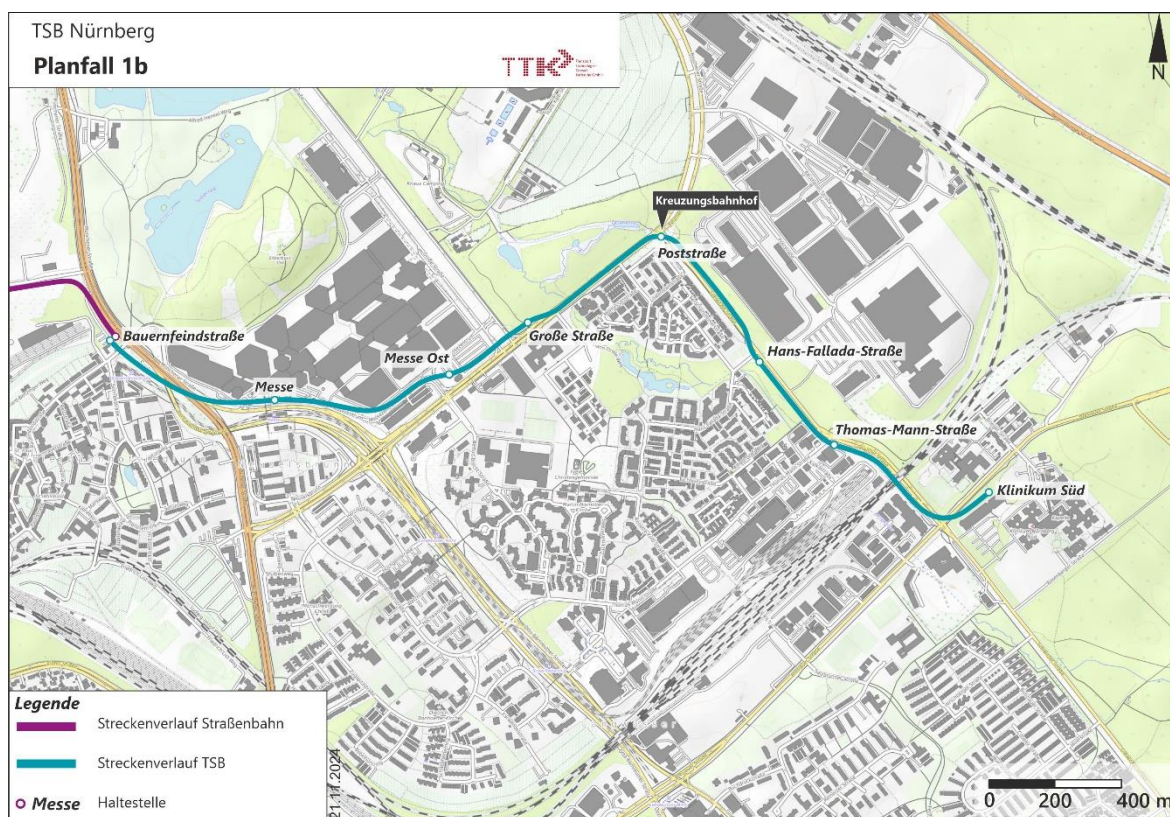


Abbildung 5: Betriebsvariante 1b

In der folgenden Abbildung ist die Fahrzeitenrechnung für den Planfall 1b mit der Kreuzungsstation Poststraße mit einer Haltezeit von 35 Sekunden (Machbarkeitsuntersuchung) dargestellt. Hierfür ergibt sich eine mittlere Beförderungszeit von 08:41 Minuten.

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Bauernfeindstr.		00:00
Messe	00:48	01:23
Messe Ost	02:12	02:47
Große Straße	03:24	03:59
Poststr.	04:48	05:23
Hans-Falada-Str.	06:11	06:46
Thomas-Mann-Str.	07:23	07:58
Klinikum Süd	08:46	

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Klinikum Süd		00:00
Thomas-Mann-Str.	00:48	01:23
Hans-Falada-Str.	02:00	02:35
Poststr.	03:19	03:54
Große Straße	04:38	05:13
Messe Ost	05:50	06:25
Messe	07:13	07:48
Bauernfeindstr.	08:37	

Abbildung 6: Fahrzeitenrechnung Planfall 1b

Der maßgebende Abschnitt für die minimale Zugfolgezeit ist der Abschnitt Bauernfeindstraße – Poststraße. Aufgrund der Einspurigkeit ergibt sich die minimale Zugfolgezeit aus der Fahrzeit zwischen Poststraße und Bauernfeindstraße, der Wendezeit an der Station Bauernfeindstraße, der Fahrzeit zwischen Bauernfeindstraße und Poststraße sowie der Weichenstellzeit an der Station Poststraße. Die minimale Zugfolgezeit beträgt folglich 10:31 Minuten. Ein 10-Minuten-Takt ist auch in Betriebsvariante 1b nicht umsetzbar.

2.4.3 Betriebsvariante 2

Die folgende Abbildung zeigt die Betriebsvariante 2: Einspurige Trassenführung mit **sieben** Haltestellen durch Zusammenlegen der Station Messe Ost und Große Straße und der Kreuzungsmöglichkeit an der Station Poststraße.

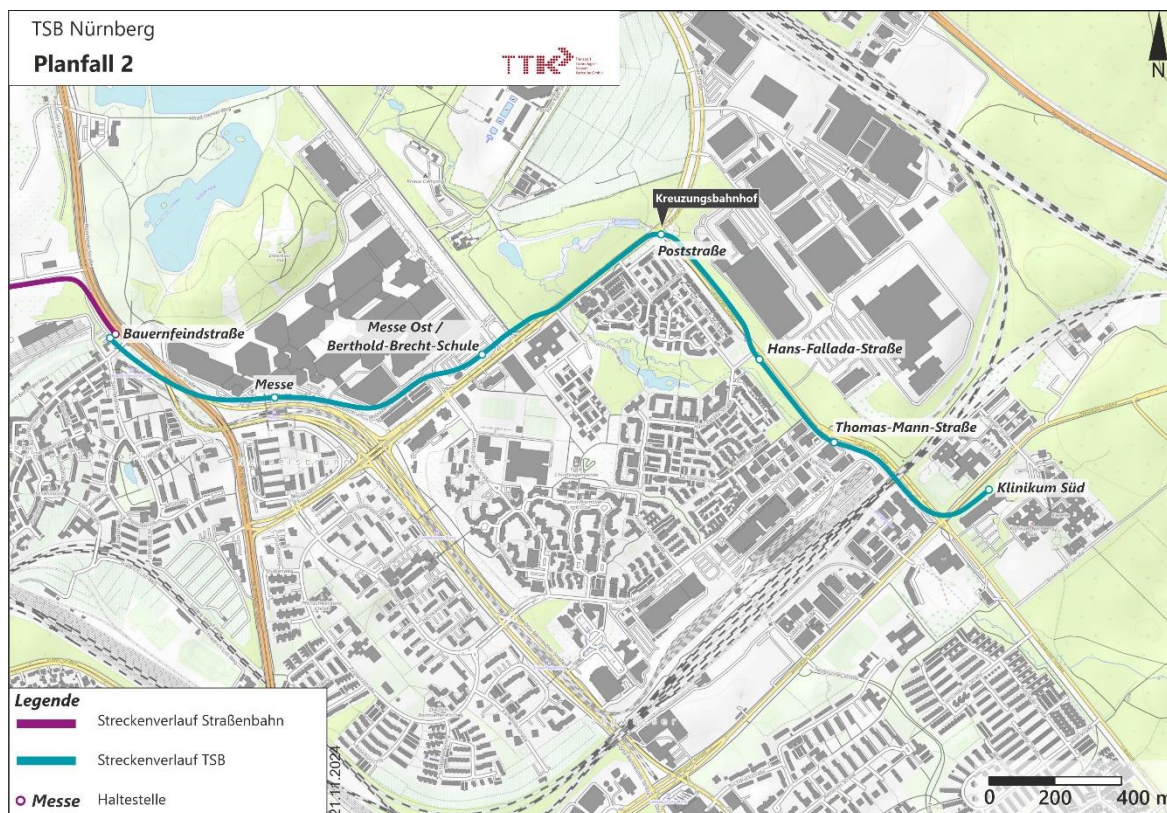


Abbildung 7: Betriebsvariante 2

In der folgenden Abbildung ist die Fahrzeitenrechnung für den Planfall 2 mit der Kreuzungsstation Poststraße mit einer Haltezeit von 35 Sekunden (Machbarkeitsuntersuchung) dargestellt. Hierfür ergibt sich eine mittlere Beförderungszeit von 07:42 Minuten. Reduziert man die Haltezeit sensitiv auf 30 Sekunden, liegt die mittlere Beförderungszeit bei 07:17 Minuten. Auf dem maßgebenden Abschnitt Bauernfeindstraße – Poststraße beträgt die minimale Zugfolgezeit bei einer Haltezeit von 35 Sekunden 08:32 Minuten. Somit ist der angestrebte 10-Minuten-Takt betrieblich stabil umsetzbar.

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Bauernfeindstr.		00:00
Messe	00:48	01:23
Messe Ost / Große Straße	02:10	02:45
Poststr.	03:48	04:23
Hans-Falada-Str.	05:11	05:46
Thomas-Mann-Str.	06:23	06:58
Klinikum Süd	07:46	

Station	Ankunft [mm:ss]	Abfahrt [mm:ss]
Klinikum Süd		00:00
Thomas-Mann-Str.	00:48	01:23
Hans-Falada-Str.	02:00	02:35
Poststr.	03:19	03:54
Messe Ost / Große Straße	04:52	05:27
Messe	06:14	06:49
Bauernfeindstr.	07:38	

Abbildung 8: Fahrzeitenrechnung Planfall 2

Der maßgebende Abschnitt für die minimale Zugfolgezeit ist der Abschnitt Bauernfeindstraße – Poststraße. Aufgrund der Einspurigkeit ergibt sich die minimale Zugfolgezeit aus der Fahrzeit zwischen Poststraße und Bauernfeindstraße, der Wendezeit an der Station Bauernfeindstraße, der Fahrzeit zwischen Bauernfeindstraße und Poststraße sowie der Weichenstellzeit an der Station Poststraße. Die minimale Zugfolgezeit beträgt folglich 07:42 Minuten. Ein 10-Minuten-Takt ist in

Betriebsvariante 2 betrieblich stabil umsetzbar. In Regelbetrieb erfordert das Betriebskonzept einen Einsatz von zwei Fahrzeugen.

2.4.4 Ableitung eines optimierten Betriebskonzepts

Der angestrebte 10-Minuten-Takt ist unter den untersuchten Betriebsvarianten nur in Planfall 2 (einspurige Trassenführung mit sieben Haltestellen) betrieblich stabil umsetzbar. Planfall 2 erfordert den Einsatz von zwei Fahrzeugen im 10-Minuten-Takt sowie eine einspurige Trassenführung mit einer Kreuzungsstation. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen ist die Betriebsvariante aus Planfall 2 die betrieblich-infrastrukturell beste Variante, sodass diese als Vorzugsvariante für die nachfolgenden Untersuchungsschritte ausgewählt wird.

Die sich durch die Infrastruktur – insbesondere durch die Kreuzungsstation an der Poststraße – ergebende Wendezeit des TSB beträgt am Endpunkt Bauernfeindstraße 01:52 Minuten, am Endpunkt Klinikum 02:44 Minuten.

Folgende Hauptumsteigebeziehungen ergeben sich für das TSB an der Station Messe zur U-Bahn-Linie U1 sowie an der Station Bauernfeindstraße zur Straßenbahnlinie 7. Zur U-Bahnlinie U1 bestehen zur Hauptverkehrszeit (HVZ) aufgrund des dichten 3/3/4-Minuten-Takt der U-Bahn-Linie U1 attraktive Umsteigezeiten. Zur Nebenverkehrszeit (NVZ) ist der 6/6/7-Minuten-Takt der U-Bahn-Linie U1 nur bedingt kompatibel mit dem 10-Minuten-Takt des TSB. Die Straßenbahnlinie 7 verkehrt hingegen im 10-Minuten-Takt, so dass ein systematischer Anschluss an das TSB eingerichtet werden kann. Da das TSB die „natürliche Fortsetzung“ der Straßenbahn an der Bauernfeindstraße darstellen würde, ist der Fokus bei der Fahrplanerstellung auf diese Umsteigebeziehung zu legen.

Für die Straßenbahnlinie 7 werden die Fahrzeiten gemäß dem Bericht zur „Standardisierten Bewertung Nürnberg Brunecker Areal“ zur Grunde gelegt. Unter Berücksichtigung der sich aus der Infrastruktur des TSB ergebenden Fahrplanrestriktionen kann in beiden Richtungen jeweils eine Umsteigezeit von ca. 3,5 Minuten zwischen der Straßenbahnlinie 7 und dem TSB angeboten werden. Die Umsteigezeit ist ausreichend bemessen für den erforderlichen Ebenenwechsel zwischen beiden Verkehrssystemen.

3 Technische Machbarkeit

Die technische Machbarkeit des TSB im Korridor Bauernfeindstraße – Klinikum Süd wird auf Basis der Betriebsvariante 2 (vgl. Kapitel 2.4.3) geprüft. Diese Betriebsvariante sieht eine einspurige Trassenführung mit Kreuzungsmöglichkeit an der Station Poststraße vor.

3.1 Trassenführung

Bei der Planung der Trassenführung werden sowohl die bestehenden als auch die geplanten baulichen Anlagen sowie die daraus entstehenden Zwangspunkte berücksichtigt. Aufgrund der Trassenführung in Hochlage sind beim TSB naturgemäß nur wenige Konflikte mit dem Oberflächenverkehr zu erwarten. Bei einem Trassenverlauf in Längsrichtung einer bestehenden Versorgungsleitung ist hingegen zur Gründung der Stützen gegebenenfalls eine Leitungsverlegung erforderlich. Die zur Bearbeitung erforderlichen Planungsgrundlagen wurden im Vorfeld von der Stadt Nürnberg zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden wird die im Rahmen der Machbarkeitsstudie entwickelte optimierte Trassenführung beschrieben. Hierbei erfolgte eine enge Abstimmung mit der Firmengruppe Max Bögl in ihrer Funktion als Systemhersteller.

Die folgende Abbildung zeigt den Übersichtsplan zur Trassierung. Eine besser lesbare Darstellung ist Anhang 1 zu entnehmen. In Anhang 1 befinden sich zusätzlich Lagepläne sowie ein Höhenplan für die Trasse des TSB

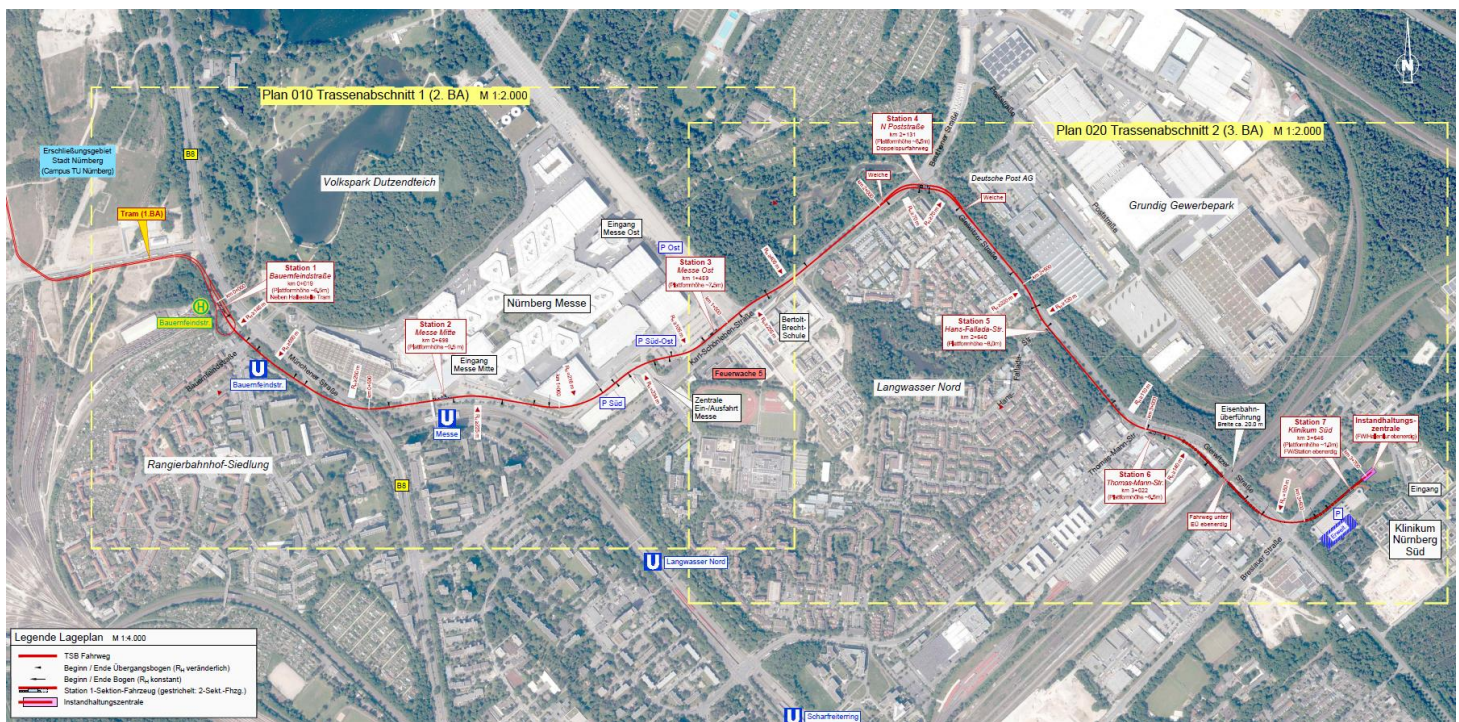


Abbildung 9: Übersichtsplan zur Trassierung des TSB

Die Anordnung und Konzeption der Haltestellen berücksichtigt die betrieblichen Anforderungen und ermöglicht eine bestmögliche Erschließung. Die Haltestellen haben eine Bahnsteiglänge von 12,60 m für Ein-Sektionen-Fahrzeuge. Für Zwei-Sektionen-Fahrzeuge sind 25,20 m lange Bahnsteige erforderlich. Der erforderliche Platzbedarf ist in den Lageplan mit gestrichelter Linie markiert. Die Zuwegung zu der Endhaltestelle Klinikum Süd erfolgt ebenerdig. Die Zuwegung zu

den anderen Haltestellen erfolgt über einen Aufzug und Festtreppen. Eine höhenfreie Zuwegung zu den Haltestellen Poststraße, Hans-Fallada-Straße und Thomas-Mann-Straße von allen Kreuzungsecken ist jeweils kostenseitig berücksichtigt. Die bestehende Straßeninfrastruktur wird 14-mal in Hochlage gekreuzt.

Die Trasse des TSB beginnt an der Haltestelle Bauernfeindstraße. Zur Herstellung von kurzen Umsteigewegen zur Straßenbahn befindet sich die Haltestelle in unmittelbarer Entfernung zur Straßenbahnhaltestelle innerhalb der noch zu errichtenden Wendeschleife. Auf kurze Umsteigewege zur U-Bahn-Haltestelle Bauernfeindstraße wird bewusst verzichtet, da an der Haltestelle Messe bereits ein kurzer Umsteigeweg zwischen TSB und der U-Bahn-Linie U1 besteht. Im weiteren Verlauf überquert die Trasse in einem weiten Bogen die Münchener Straße sowie die Fußgängerbrücke zwischen der U-Bahnstation Messe und dem Messeeingang Mitte. An diese Fußgängerbrücke wird die Haltestelle Messe Mitte angebunden. Dort bestehen kurze Umsteigewege zur U-Bahnlinie 1 unter Nutzung der bestehenden Fußgängerbrücke.

Der Trassenverlauf zur Station Messe Ost verläuft auf dem Messegelände. Die Station Messe Ost erschließt neben dem Messeeingang Ost auch die Berthold-Brecht-Schule auf der gegenüberliegenden Straßenseite der Karl-Schönleben-Straße.

Unmittelbar im Anschluss zur Station Messe Ost wird die Große Straße gequert. Unter Verwendung eines Durchlauf-Sonderträgers ist ein Stützenabstand von 36 bis 42 Metern möglich. Durch Positionierung der Stützen am Rand der Mittelinsel – wie in nachfolgender Abbildung dargestellt – bleibt die bestehende Sichtachse im Verlauf der Großen Straße weitgehend erhalten.

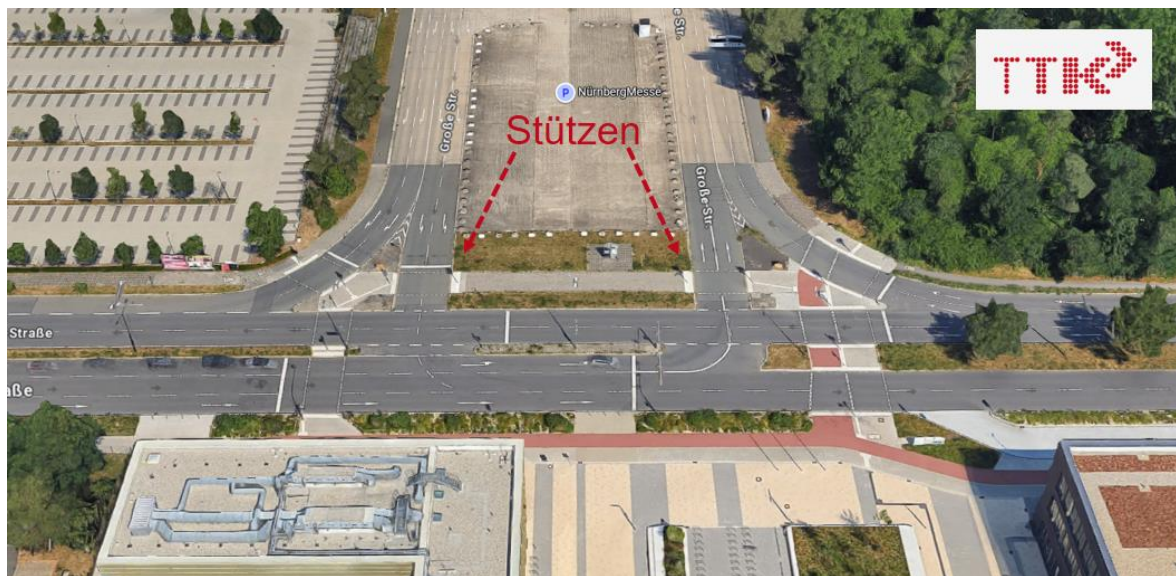


Abbildung 10: Positionierung der Stützen bei Querung der Großen Straße (Hintergrund: Google Maps)

Im weiteren Verlauf schwenkt die Trasse in Mittellage der Karl-Schönleben-Straße. Im Bereich der Linksabbiegespuren in die Ursula-Wolfring-Straße sind aufgrund der beengten Platzverhältnisse Hammerkopfstützen erforderlich. Durch die Verschwenkung in Mittellage kann auf einen Eingriff in das Waldgebiet nordwestlich der Karl-Schönleben-Straße weitgehend verzichtet werden. Die Station Poststraße hat als Kreuzungsstation einen Mittelbahnsteig. Vor und hinter der Station befindet sich jeweils eine Weiche – die einzigen beiden Weichen in Trassenverlauf. Von der Station Poststraße ist fußläufig das Max-Morlock-Stadion zu erreichen.

Es folgen die Stationen Hans-Fallada-Straße und Thomas-Mann-Straße im Verlauf der Gleiwitzer Straße. Nordwestlich der Station Hans-Fallada-Straße wird die Trasse nordöstlich der Gleiwitzer Straße geführt, im weiteren Verlauf südwestlich der Gleiwitzer Straße.

Zwischen den Stationen Thomas-Mann-Straße und Klinikum Süd quert die Trasse die Eisenbahnstrecken 5962 Nürnberg Rangierbahnhof – Nürnberg-Dutzenteich und 5963 Nürnberg Rangierbahnhof – Nürnberg Reichswald. Die Querung erfolgt ebenerdig in dem Brückenfeld, welches derzeit als Parkplatz genutzt wird. Im Anschluss hat die Trasse eine Längsneigung von 7,5%, um die Kreuzung Gleiwitzer Straße / Breslauer Straße mit ausreichender lichter Höhe in einem Bogen zu queren. Die Endstation Klinikum Süd befindet sich direkt neben dem Parkhaus in der Nähe des Haupteingangs des Klinikum Süd. In der Fortführung der Station Klinikum Süd befindet sich die Instandhaltungszentrale zur Wartung der Fahrzeuge im Bereich des zukünftig nicht mehr benötigten Hubschrauberlandeplatzes.

Die Trasse hat eine Länge von 3,7 km. Die Trassierung in der Lage weist Horizontalradien von mindestens 108 m auf. Der systemspezifische Grenzwert von 45 m muss nicht ausgenutzt werden. Zur Erreichung der in Kapitel 2.4 ermittelten Fahrzeiten ist in mehreren Bögen eine Höchstfahrwegquerneigung von 8° erforderlich. 2.4 Die höchste Längsneigung tritt mit 7,5 % zwischen der Querung der Einbahnstrecken 5962/5963 und der Kreuzung Gleiwitzer Straße / Breslauer Straße auf. Die systemspezifische Höchstlängsneigung von maximal 10 % wird deutlich unterschritten. Eine Verfeinerung und Optimierung der Trassierung bleibt den nachfolgenden Planungsphasen vorbehalten.

3.2 Infrastrukturkosten

Die zu erwartenden Infrastrukturkosten für das TSB werden auf Grundlage von der Firmengruppe Max Bögl zur Verfügung gestellten Kostenkennwerte ermittelt. In folgenden Tabelle sind die Investitionskosten anlagenteilspezifisch in Anlehnung an die Verfahrensanleitung der Standardisierten Bewertung untergliedert. In der Tabelle sind die Investitionskosten für beide Anwendungsfälle Regelbetrieb (Variante Ein-Sektionen-Fahrzeuge) und Veranstaltungsverkehr (Variante Zwei-Sektionen-Fahrzeuge) in jeweils einer eigenen Spalte ermittelt. Die Planungskosten werden nach Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GFVG) mit einer Planungskostenpauschale i.H.v. 10 % der Investitionskosten gewährt. Die Kosten sind nach Kostenstand 2024 angegeben.

Pos.	Anlagenteilbezeichnung	Investitionskosten (Preisstand 2024) in [T€]	Investitionskosten (Preisstand 2024) in [T€]
10	Grunderwerb		
20	einmalige Aufwendungen	1.792	1.792
30	Trassen (Oberbau Bahnen und Straßen, Erdbauwerke, ...)	7.918	8.350
40	Stützbauwerke		
50	Tunnel		
60	Brücken inkl. Bahnsteigunter-/überführungen	21.112	21.112
71	Gleise: Schotteroberbau		
72	Gleise: Feste Fahrbahn		
73	Weichen inkl. Heizungen und Antriebe	926	926
74	Oberbau Straßen und Wege inkl. Busspuren		
81	Betriebs-, Verkehrs- und Sozialgebäude (oberirdisch)	1.602	2.744
82	unterirdische Haltestellenbauwerke		
90	Haltestellenausstattung und Zubehör	1.638	3.163
100	Bahnsteige und Rampen (inkl. Überdachungen)	2.363	4.268
110	Zugsicherungs- und Signalanlagen inkl. BÜ-Sicherungsanlagen	944	944
120	Fernmeldeanlagen, Leitsysteme, Telekommunikationsanlagen, DFI	456	456
131	Fahr- und Speiseleitungen (inkl. Masten), Stromschienen	3.018	3.018
132	Umformerwerke, Unterwerke (elektrischer und mechanischer Teil)	1.935	1.935
140	Lichtversorgungsnetz Außenbeleuchtung	58	115
150	technische Gebäudeausstattung (Maschinenartige Anlagen)	780	780
160	Lärmschutzwände und -fenster		
170	Landschaftsbau, Bepflanzungen	50	50
181	Seilbahn: Antrieb und technische Ausrüstung		
182	Seilbahn: Stützen		
183	Seilbahn: Tragseil		
184	Seilbahn: Zug-/Förderseil		
190	Wasserstofftankstelle		
Verlegung von Anlagen Dritter			
300	Straßen und Wege inkl. Ausstattung		
310	Stützmauern		
320	Tunnel		
330	Brücken		
340	Leitungen für Strom, Telekom, Gas, Öl, Wasser, Abwasser, Fernwärme		
350	Gewässer		
360	Gebäude/Bewuchs/Sonstiges		
		Investitionskosten (Preisstand 2024) in [T€]	Investitionskosten (Preisstand 2024) in [T€]
	Zwischensumme	44.600	49.700
	Kostenzuschlag für Risiken und Unvorhergesehenes (30%)	13.400	14.900
	Zwischensumme (inkl. Kostenzuschlag)	58.000	64.600
	Planungskosten (10%)	5.800	6.500
	Gesamtsumme (inkl. Planungskosten)	63.800	71.100

Tabelle 3: Investitionskosten für das TSB zwischen Bauernfeindstraße und Klinikum Süd

Im Anwendungsfall Regelbetrieb (Variante Ein-Sektionen-Fahrzeuge) ist mit Investitionskosten inkl. Planungskosten in Höhe von 63,8 Mio. EUR nach Preisstand 2024 zu rechnen. Die zu erwartenden Mehrkosten für den Anwendungsfall Veranstaltungsverkehr (Variante Zwei-Sektionen-Fahrzeuge) betragen 7,3 Mio. EUR nach Preisstand 2024.

Die ermittelten Investitionskosten sind von der Firmengruppe Max Bögl validiert worden.

4 Verkehrliche Wirkungen und Nutzen-Kosten-Untersuchung

4.1 Grundlage Bewertung Straßenbahn

Grundlage der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung TSB ist die Standardisierte Bewertung Nürnberg Brunecker Areal (Bericht vom 14.08.2024).

In dieser Standardisierten Bewertung wurde die Verlängerung der Straßenbahnlinie 7 vom heutigen Endhaltepunkt Tristanstraße über das Gelände des ehemaligen Südbahnhofs (Brunecker Areal) zur U-Bahnhaltestelle Bauernfeindstraße untersucht. Aufbauend auf die Straßenbahnverlängerung bis zur U-Bahnhaltestelle Bauernfeindstraße wurde zudem eine weitere Verlängerung bis zur Messe und zum Klinikum untersucht.

Die folgende Abbildung zeigt den Streckenverlauf der geplanten Straßenbahn:



Abbildung 11: Streckenverlauf Tristanstraße – Bauernfeindstraße (– Neuselsbrunn) – Messe – Klinikum Süd (Quelle: Stadt Nürnberg, Geobasisdaten, Bebauungsplan Nr. 4600)

Im Ohnefall wurde die bis 2030 geplante Angebotsausweitung berücksichtigt. Im Straßenbahnnetz sind die Verlängerung der Linie 7 von der Haltestelle Tristanstraße zur Bayernstraße, die Wiederinbetriebnahme des Abschnitts Marientunnel – Scheurlstraße – Schweiggerstraße (Linie 8) sowie eine Angebotsverdichtung mit den neuen Linie 10 und 11 geplant.

Insgesamt wurden die folgenden Mitfälle untersucht, jeweils im Vergleich zum Ohnefall:

- ✧ Mitfall 1: Tristanstraße – Bauernfeindstraße
- ✧ Mitfall 2: Tristanstraße – Bauernfeindstraße – Messe – Messe Ost
- ✧ Mitfall 3: Tristanstraße – Bauernfeindstraße – Neuselsbrunn – Messe Ost
- ✧ Mitfall 4: Tristanstraße – Bauernfeindstraße – Messe – Messe Ost – Klinikum Süd

Für die Untersuchung TSB sind die Mitfälle 1 und 4 relevant: Mitfall 1 mit der Verlängerung bis Bauernfeindstraße (und daran anschließend die TSB-Strecke), Mitfall 4 mit der Straßenbahn bis Klinikum Süd als Vergleichsmaßnahme zum TSB.

Die folgenden schematischen Liniennetzpläne zeigen das Straßenbahnliniennetz im Ohnefall sowie die Verlängerung bis Bauernfeindstraße oder Klinikum Süd (Mitfälle 1 und 4):

Straßenbahnliniennetz **Ohnefall 2030/2035** Straßenbahnverlängerung „Brunecker Straße“

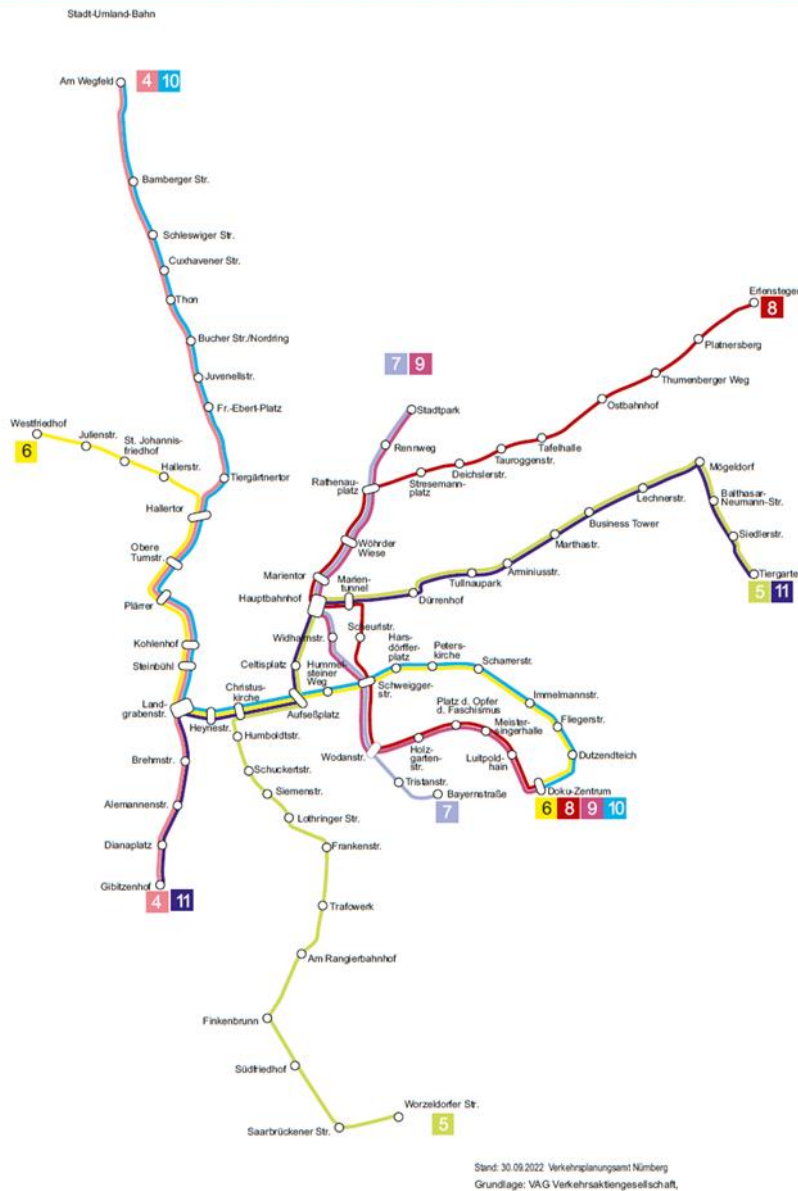


Abbildung 12: ÖV-Angebot im Ohnefall – Liniennetzplan Straßenbahn (Quelle: Stadt Nürnberg)

Straßenbahnliniennetz **MITFALL 2030/2035** Straßenbahnverlängerung „Brunecker Straße“

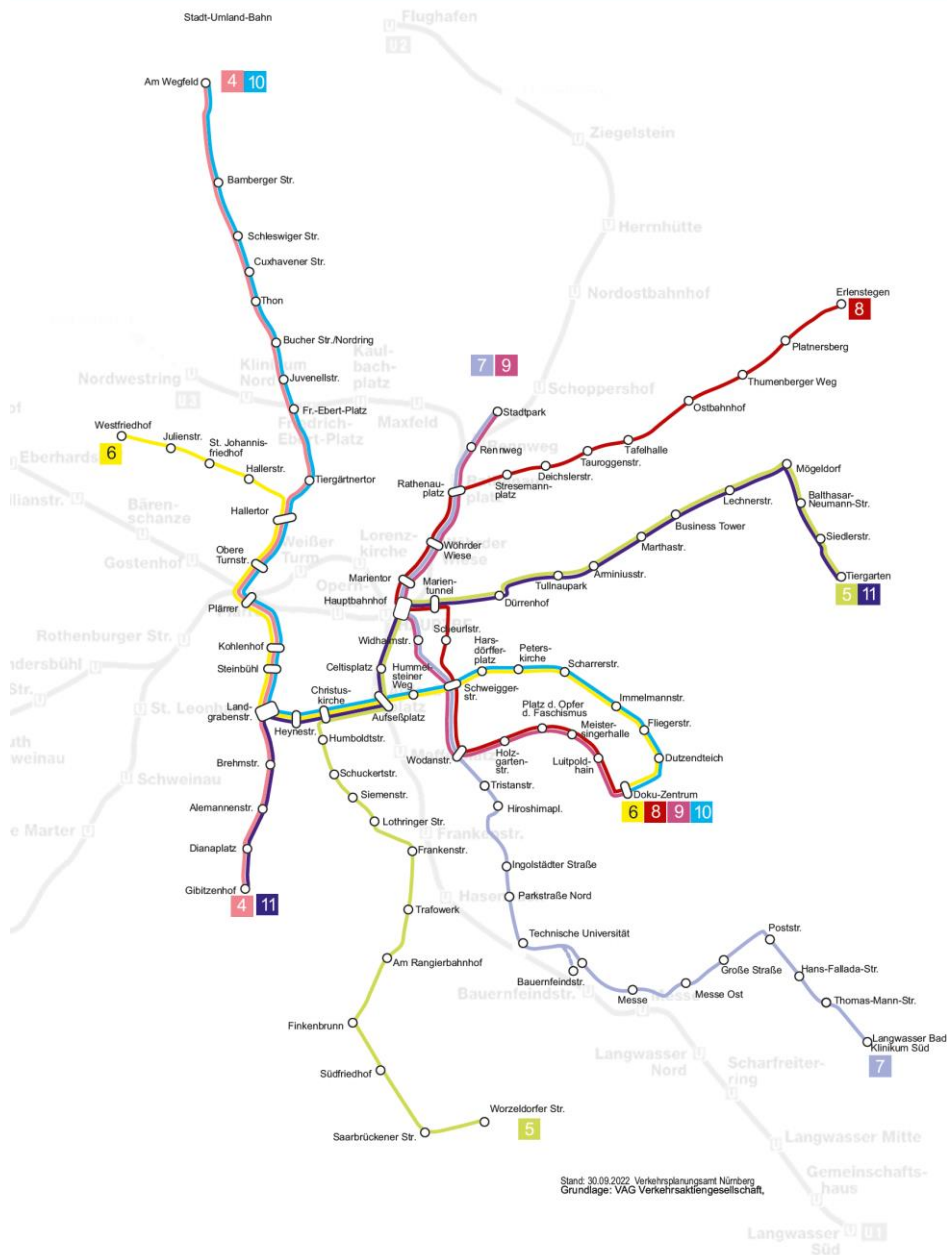


Abbildung 13: ÖV-Angebot im Mitfall 1 und 4 – Liniennetzplan Straßenbahn (Quelle: Stadt Nürnberg)

Die Erschließung des Klinikums durch die verlängerte Straßenbahn ermöglicht eine umsteigefreie Verbindung zum Hauptbahnhof und zum östlichen Teil der Altstadt.

Der Mitfall 1 erreichte in der Standardisierten Bewertung ein sehr gutes Ergebnis. Aufgrund der hohen Nachfrage im Brunecker Areal, des geringen Betriebsaufwands und eines auch im Ohnefall anfallenden Investitionsaufwands liegt das Nutzen-Kosten-Verhältnis deutlich über 1. Beim Mitfall 4 sinkt das Nutzen-Kosten-Verhältnis sowie die Nutzen-Kosten-Differenz gegenüber dem Mitfall 1. Der Abschnitt Bauernfeindstraße – Klinikum Süd erreicht in allen separat betrachteten Mitfällen ein Nutzen-Kosten-Verhältnis unter 1.

Die folgende Tabelle zeigt den Fahrgastgewinn und das Nutzen-Kosten-Verhältnis ohne Zuschläge auf die Infrastrukturinvestitionen sowie mit Zuschlägen (20% / 30% je nach Planungstiefe):

	Mitfall 1 (Tristanstraße bis Bauernfeindstr.) ggü. Ohnefall	Mitfall 4 (Tristanstraße bis Klinikum Süd) ggü. Ohnefall	Mitfall 4 (Bauernfeindstr. bis Klinikum Süd) ggü. Mitfall 1
Fahrgastgewinn [Pers./Werktag]	1.470	3.110	1.640
Summe Einzelnutzen [T€/a]	1.878	2.641	762
Saldo Kapitaldienst [T€/a]	519	1.800	1.280
Nutzen-Kosten-Differenz [T€/a]	1.358	842	- 518
Nutzen-Kosten-Verhältnis	3,62	1,47	0,60
NKV sensitiv (Zuschlag Invest 20%/30%)	2,97	1,10	0,40

Tabelle 4: Nutzen-Kosten-Indikatoren Straßenbahn

4.2 Untersuchungsfälle, Verkehrsangebot und Verkehrsnachfrage

Ziel dieser Untersuchung ist eine Bewertung des TSB, die mit der bestehenden Bewertung der Straßenbahnverlängerung möglichst vergleichbar ist. Die Verkehrsnachfrage und das Angebot für den Ohnefall sowie für die beiden relevanten Straßenbahn-Mitfälle 1 und 4 wurden daher übernommen.

Für das TSB wurden folgende Mitfälle untersucht:

- ✧ Straßenbahn Mitfall 1 + TSB gegenüber dem Ohnefall
Der Ohnefall wird aus der Straßenbahnuntersuchung übernommen. Der Mitfall besteht aus der Verlängerung der Straßenbahn Tristanstraße – Bauernfeindstraße und dem TSB Bauernfeindstraße – Klinikum Süd.
- ✧ TSB gegenüber dem Straßenbahn Mitfall 1
Als Ohnefall wird der Mitfall 1 aus der Straßenbahnuntersuchung übernommen, die Verlängerung der Straßenbahn Tristanstraße – Bauernfeindstraße ist bereits im Ohnefall umgesetzt. Im Mitfall wird nur die Verlängerung TSB Bauernfeindstraße – Klinikum Süd untersucht.

Beim TSB werden Fahrzeuge mit einer Sektion unterstellt. Für den Betrieb sind zwei Fahrzeuge notwendig, ein weiteres Fahrzeug wird als Reserve unterstellt. Da beim TSB nicht auf einen bestehenden Fahrzeugpool zurückgegriffen werden kann, wird nicht mit der in der Standardisierten Bewertung üblichen Reserve von 10%, sondern aufgerundet auf ganze Fahrzeuge gerechnet.

Das Busangebot in den Mitfällen TSB wird entsprechend den Annahmen im Straßenbahn-Mitfall 4 angepasst.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf des TSB im Verkehrsmodell:

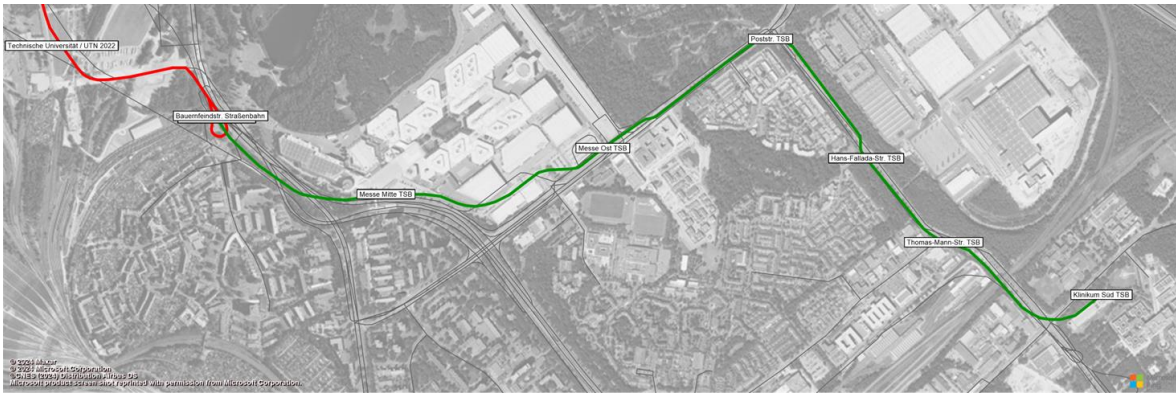


Abbildung 14: Verlauf TSB

Für das TSB wird ein 10-Minuten-Takt, abends ein 20-Minuten-Takt angenommen. Dies entspricht dem Straßenbahnangebot der Linie 7, sodass von oder auf jede Fahrt der Straßenbahn ein Übergang zum TSB möglich ist. Für den Anschluss auf die Linie 7 an der Bauernfeindstraße werden 3,5 Minuten für Geh- und Wartezeit angesetzt.

Die Fahrzeit des TSB für die gesamte Strecke beträgt 7 min, die Fahrzeiten wurden für die Abbildung im Verkehrsmodell entsprechend der Straßenbahn-Untersuchung jeweils auf 30 Sekunden gerundet.

Die Haltestellen des TSB liegen bis auf die Haltestelle Klinikum Süd in Hochlage. Um den zeitlichen Mehraufwand beim Zugang zu berücksichtigen, sind die Zugangszeiten bei Haltestellen in Hochlage gegenüber der Straßenbahn um 30 Sekunden erhöht.

4.3 Annahmen Betriebskosten TSB

Die aktuelle Standardisierte Bewertung enthält keine Vorgaben zu den Betriebskosten des TSB oder einem vergleichbaren System. Die Betriebskosten wurden daher aus den folgenden Quellen ermittelt und im Arbeitskreis abgestimmt:

- ✧ Aktuelle Verfahrensanleitung der Standardisierten Bewertung (Version 2016+) mit Übernahme von vorliegenden Bewertungsansätzen, sofern sinnvoll
- ✧ Machbarkeitsstudie zum Einsatz alternativer Verkehrssysteme im spurgeführten ÖPNV:
Erstellung: Mai 2021, nach Standi 2016
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Auftragnehmer: TTK, PTV Transport Consult, CE cideon engineering
- ✧ Berechnungen von Max Bögl

Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen zu den Betriebskosten für das TSB mit einem Ein-Sektion-Fahrzeug sowie zum Vergleich die Betriebskosten der Straßenbahn:

	Straßenbahn Avenio Nürnberg	TSB 2x1 2x Eine Sektion im Betrieb, 1x Eine Sektion als Reserve	TSB: Quelle
Anschaffungs- kosten	3,1 Mio. € (2019) pro Fahrzeug	2,45 Mio. € (2021) pro Fahrzeug	TSB-Studie BMDV
Gesamtplätze	62 Sitzplätze + 156 Stehplätze = 218	22 Sitzplätze + 90 Stehplätze = 112	Berechnung Bögl
Leermasse	46 t	18,5 t	TSB-Studie BMDV
Nutzungsdauer	30 Jahre	30 Jahre	TSB-Studie BMDV
Energieverbrauch Strecke	4,2 kwh/km	3,3 kwh/km	Berechnung Bögl
Personalbedarf	1 Pers. je Umlauf	1 Pers./ Betriebsstunde + 1 Pers Leitstelle (vgl. U- Bahn N (KUSS))	Berechnung Bögl/ Abstimmung VAG
Kosten Personal	46 €/h pro Umlauf (enthält Fahrpersonal, Kontroll-/ Sicherheitspers., Leitstelle)	46 €/h	Stand. Bewertung
Unterhaltung zeitabhängig	29.900 €/a (2016)	0 €/a (nur laufleistungsabhängige Betrachtung) ¹	Berechnung Bögl
Unterhaltung laufleistungs- abhängig	0,87 €/km (2016)	2024: 0,2688 €/km (2,40 €/ 1.000 Platzkm,) 2016: 0,2150 €/km (1,92 €/ 1.000 Platzkm,)	TSB-Studie BMDV
Unfallkosten	101,2 ct/km (BOStrab sonst., 2016)	19,8 ct/km (BOStrab unabhängig, 2016)	Stand. Bewertung
Emissionsfakt. THG Fahrzeuge	94 kg CO ₂ / t Leerm. x Jahr	94 kg CO ₂ / t Leerm. x Jahr	Stand. Bewertung
Malus Fahrweg/ Systemeigenschaf- ten	0,6 min/Teilweg + 6% Fahrzeit (überwiegend ohne Mischverkehr)	0,0 min/Teilweg + 0% Fahrzeit (grundsätzlich ohne Mischverkehr)	Stand. Bewertung
Reserve	10%	50% (ein Fahrzeug)	Stand. Bewertung

Tabelle 5: Betriebskosten TSB

¹ Unterhaltungskosten (zeit- und laufleistungsabhängig) wurden kombiniert betrachtet. Zeitabhängige Unterhaltungskosten sind in Angaben der laufleistungsabhängigen Unterhaltungskosten enthalten.

Anhand der jährlichen Fahrleistung (264.600 km/a) und anhand der berechneten Betriebskosten können die Kosten pro Platz-Kilometer ermittelt werden. In der Berechnung wird der Kapitaldienst der Fahrzeuge (inkl. Reserve) bzw. die Betriebskosten (inkl. Reserve) durch die jährliche Fahrleistung * Platzangebot im Regelbetrieb dividiert.

		Kosten pro Platz-km Gesamtplätze	Kosten pro Platz-km Sitzplätze
Ein-Sektionen-Fahrzeuge (2x1)	Anschaffungskosten Fahrzeuge pro Platz-Kilometer [€/Pl.km]	0,0100	0,0511
	Betriebskosten pro Platz-Kilometer [€/Pl.km]	0,0349	0,1775

Tabelle 6: Kosten TSB pro Platz-Kilometer

4.4 Investition Infrastruktur

Für die Straßenbahnverlängerung erfolgte die Ermittlung der Investitionskosten durch die Stadt Nürnberg (Verkehrsplanungsamt und Servicebetrieb Öffentlicher Raum (SÖR)) und die VAG. Der verwendete Preisstand der VAG ist das Jahr 2021; der von SÖR verwendete Preisstand ist das Jahr 2023.

Für das TSB wurden die Investitionskosten in Kapitel 3.2 mit Preisstand 2024 ermittelt.

Verfahrensgemäß werden die Investitionskosten auf den Preisstand 2016 zurückgerechnet. Die Investitionskosten TSB wurden zunächst anhand der Werte des Statistischen Bundesamtes vom Preisstand 2024 Q2 auf den Preisstand 2021 zurückgerechnet. Im nächsten Schritt wurden die Investitionskosten mit Preisstand 2021 auf 2016 gemäß den Ansätzen der bestehenden Untersuchung zurückgerechnet (siehe Standardisierte Bewertung Nürnberg Brunecker Areal (Bericht vom 14.08.2024), Kapitel 6.5).

Die Rückrechnung von 2024 auf 2021 erfolgte mit den folgenden Indizes des Statistischen Bundesamtes:

	2021	2022	2023	2024 Q2
Straßenbau	100	116,1	128,0	132,8
Brücken im Straßenbau	100	117,3	124,3	125,1
Elektrische Ausrüstungen	100	109,5	117,3	118,6

Tabelle 7: Indizes zur Umrechnung der Investitionen auf Preisstand 2021

Die vermiedenen Investitionen im Ohnefall wurden aus der bestehenden Straßenbahn-Untersuchung übernommen (Verfüllung der Bayernwanne sowie die Bustrasse im Brunecker Areal).

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Infrastrukturinvestitionen sowie der jährlichen Kosten für Kapitaldienst und Unterhaltung. Dargestellt werden die Investitionen im Ohnefall, die Investitionen in den bestehenden Straßenbahn-Fällen (Mitfall 1 Tristanstraße – Bauernfeindstraße, Abschnitt Bauernfeindstraße – Messe Ost – Klinikum Süd, Summe Mitfall 4 Tristanstraße –Klinikum Süd) sowie die TSB-Fälle (nur TSB, TSB plus Straßenbahn Mitfall 1 Tristanstraße – Bauernfeindstraße):

Infrastruktur- investitionen	Ohnefall (100%)	Straßen- bahn Mitfall 1	Straßen- bahn Bauernf. – Klinikum Süd	Straßen- bahn Mitfall 4	TSB Bauernf. – Klinikum Süd	Mitfall 1 + TSB
Investitionskosten (T€) Preisstand 2024 ohne Planung	-	-	-	-	44.592	-
Investitionskosten (T€) Preisstand 2021 ohne Planung	18.141	29.266	37.798	67.064	35.427	64.693
Investitionskosten (T€) Preisstand 2016 ohne Planung	15.160	24.626	31.871	56.497	29.178	53.805
Jährliche Kosten (T€/a) Kapitaldienst ohne Planung	484	817	1.225	2.043	936	1.754
Jährliche Kosten (T€/a) Unterhaltung	131,1	215,5	346,1	561,7	177,4	392,8

Tabelle 8: Überblick Infrastrukturinvestitionen

Die Planungstiefe für die einzelnen Bauabschnitte unterscheidet sich. Dementsprechend wurden je Bauabschnitt bei der Sensitivitätsbetrachtung folgende Kostenzuschläge für Risiken und Unvorhergesehenes verwendet:

- ✧ Ohnefall
Kostenschätzung Kostenzuschlag 20%
- ✧ Straßenbahn BA 1 Abschnitt Tristanstraße – Bauernfeindstraße
Kostenschätzung Kostenzuschlag 20%
- ✧ Straßenbahn BA 2+3 Bauernfeindstraße – Messe Ost – Klinikum Süd
Machbarkeitsstudie Kostenzuschlag 30%
- ✧ TSB Bauernfeindstraße – Messe Ost – Klinikum Süd
Machbarkeitsstudie Kostenzuschlag 30%

Die Planungskosten werden gemäß der Verfahrensanleitung mit 10% der Investitionskosten berücksichtigt.

4.5 Ergebnisse Nutzen-Kosten-Untersuchung

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Straßenbahn Mitfall 1 + TSB gegenüber dem Ohnefall:

	Mitfall 4 (Tristanstraße bis Klinikum Süd) ggü. Ohnefall	Mitfall 1 + TSB ggü. Ohnefall
Fahrgastgewinn [Pers./Werktag]	3.110	1.980
Summe Einzelnutzen [T€/a]	2.641	1.769
Saldo Kapitaldienst [T€/a]	1.800	1.506
Nutzen-Kosten-Differenz [T€/a]	842	263
Nutzen-Kosten-Verhältnis	1,47	1,17
NKV sensitiv (Zuschlag Invest 20%/30%)	1,10	0,89

Tabelle 9: Nutzen-Kosten-Indikatoren Mitfall 1 + TSB gegenüber Ohnefall im Vergleich zur Straßenbahn

Hauptsächlich aufgrund des zusätzlichen Umstiegs sinkt der Fahrgastgewinn gegenüber der Straßenbahn um rund 1.100 Pers./Werktag. Unter zusätzlicher Berücksichtigung des Mitfall 1 (Straßenbahn Tristanstraße – Bauernfeindstraße) liegt das Nutzen-Kosten-Verhältnis mit 1,17 über 1, bei der sensitiven Berücksichtigung des Zuschlags auf die Infrastrukturinvestitionen sinkt er auf 0,89. Bei Annahme von 0% Reserve beim TSB steigt das Nutzen-Kosten-Verhältnis auf 1,24 (0,94 mit der sensitiven Berücksichtigung des Zuschlags auf die Infrastrukturinvestitionen).

Die zweite Tabelle zeigt das Ergebnis des TSB gegenüber dem Straßenbahn-Mitfall 1:

	Mitfall 4 (Tristanstraße bis Klinikum Süd) ggü. Mitfall 1	Mitfall 1 + TSB ggü. Mitfall 1
Fahrgastgewinn [Pers./Werktag]	1.640	510
Summe Einzelnutzen [T€/a]	762	- 107
Saldo Kapitaldienst [T€/a]	1.280	987
Nutzen-Kosten-Differenz [T€/a]	- 518	- 1.094
Nutzen-Kosten-Verhältnis	0,60	< 0
NKV sensitiv (Zuschlag Invest 20%/30%)	0,40	< 0

Tabelle 10: Nutzen-Kosten-Indikatoren TSB gegenüber Mitfall 1 im Vergleich zur Straßenbahn

Beim TSB werden die zusätzlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt nicht vollständig durch den Fahrgastnutzen, Unfall- und Umweltaspekte ausgeglichen. Die Summe des Einzelnutzens sowie das Nutzen-Kosten-Verhältnis liegen unter 0.

Im Anhang befinden sich die Formblätter 20 (Nutzen-Kosten-Indikator) für beide TSB-Berechnungen (jeweils inklusive Zuschlag Invest 20%/30%).

4.6 Umlegung und Dimensionierung

Die folgende Abbildung zeigt die Umlegung der Nachfrage für die Variante Mitfall 1 + TSB (TSB in violett, restliches Liniennetz in blau):

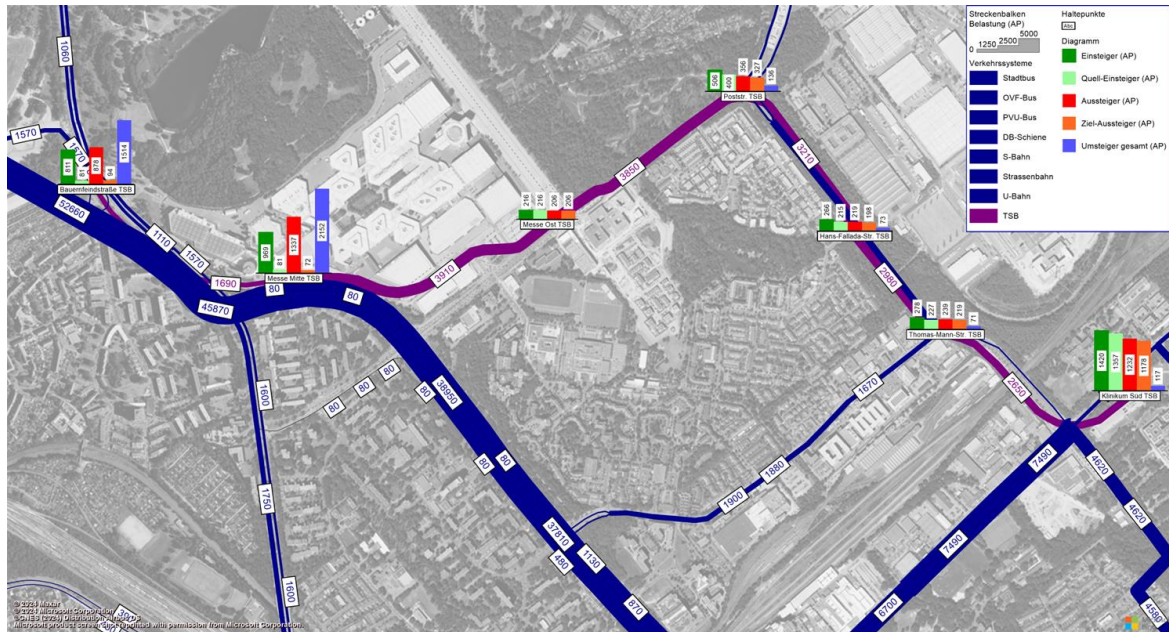


Abbildung 15: Verlauf TSB

Die maximale Belastung im Querschnitt beträgt 3.910 Personen/Weritag. Bei einem Spitzenstundenanteil von 15% beträgt die Belastung in der Spitzenstunde pro Richtung 293 Personen/Weritag.

Bei einem Angebot von sechs Fahrten pro Stunde und Richtung und einem Gesamtplatzangebot von 112 Plätze/Fahrzeug ergibt sich eine Auslastung von 44% in der Spitzenstunde und liegt damit unter dem Grenzwert von 65%.

4.7 Analyse der Ergebnisse

Vergleich der Ergebnisse TSB – Straßenbahn

Das TSB bietet gegenüber der Straßenbahn mehrere Vorteile:

- ✧ Geringere Anschaffungskosten, Unterhaltungskosten, Energieverbrauch (bedingt durch ein gegenüber der Straßenbahn auf den Bedarf angepasstes, kleineres Fahrzeug)
- ✧ Geringere Unfallkosten (komplett unabhängiger Fahrweg)
- ✧ Kein Fahrwegmalus (Betrieb grundsätzlich ohne Mischverkehr)

- ✧ Schneller (7 min statt 9 min Fahrzeit bei Einsparung einer Haltestelle)
Das TSB bietet eine höhere Geschwindigkeit, wobei das volle Potenzial seiner Systemvorteile auf der geplanten Strecke nur eingeschränkt genutzt wird.

Nachteile gegenüber der Straßenbahn:

- ✧ Bruch der Verkehrssysteme an der Bauernfeindstraße: zusätzlicher Umstieg auf die Straßenbahn nötig
- ✧ Haltestellen außer beim Klinikum in Hochlage: erhöhte Zugangszeit
- ✧ Neues System: zusätzliches Reservefahrzeug notwendig

Der zusätzliche Umstieg hat in der Widerstandsbetrachtung der Standardisierten Bewertung einen deutlichen Einfluss: Neben der zusätzlichen Gehzeit und Wartezeit werden für die Unannehmlichkeiten eines Umstiegs ein Umsteigemalus von acht Minuten sowie ein weiterer Zuschlag in Abhängigkeit der Fahrzeit der Teilwege berücksichtigt. Die Vorteile des Systems können diesen entscheidenden Nachteil in der volkswirtschaftlichen Bewertung nicht ausgleichen.

Umstieg Straßenbahn / U-Bahn

Der beim TSB für viele Fahrgäste zusätzlich notwendige Umstieg führt in der Umlegung zu einem deutlichen Unterschied bei der Verkehrssystemwahl.

Die folgenden Abbildungen zeigt die Wege der Fahrgäste pro Werktag im stärksten Querschnitt zwischen Messe Mitte und Messe Ost (rot). Die erste Abbildung zeigt den Straßenbahn-Mitfall 4 (Belastung 5.820 Personen/Werktag), während die zweite Abbildung zeigt das TSB + Mitfall 1 (Belastung 3.910 Personen/Werktag) darstellt.

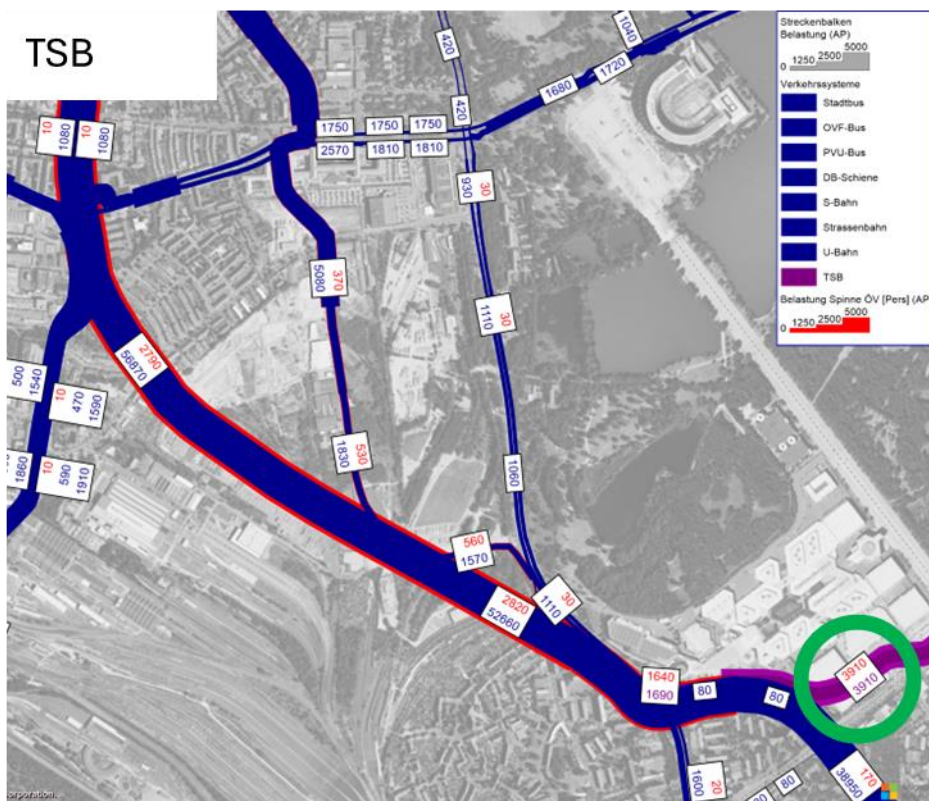
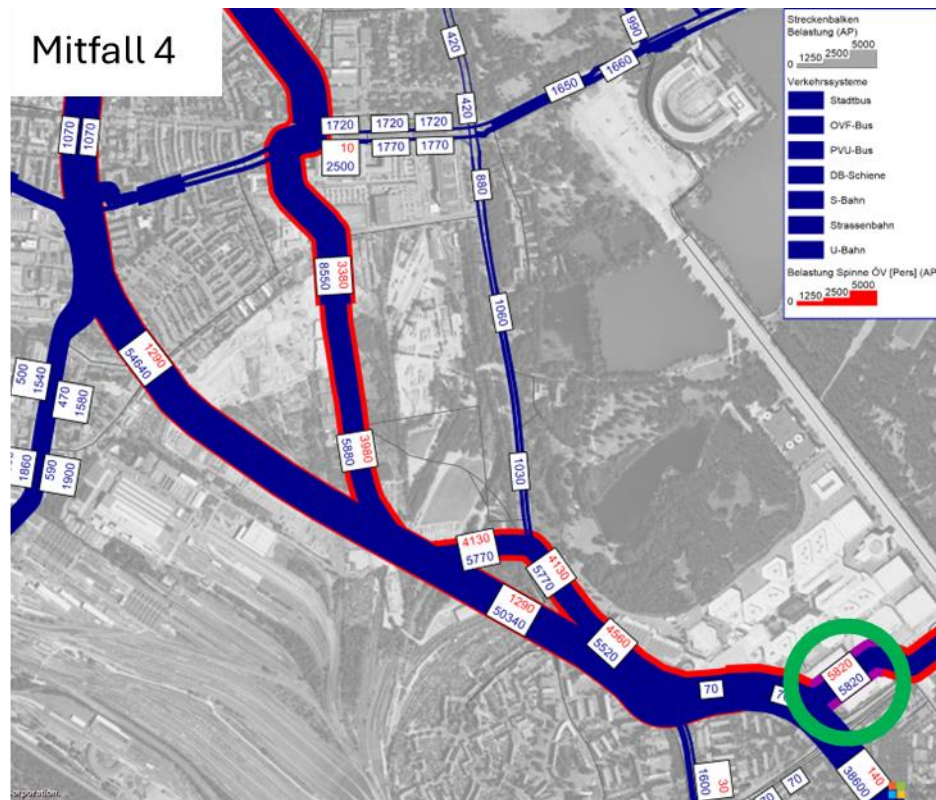


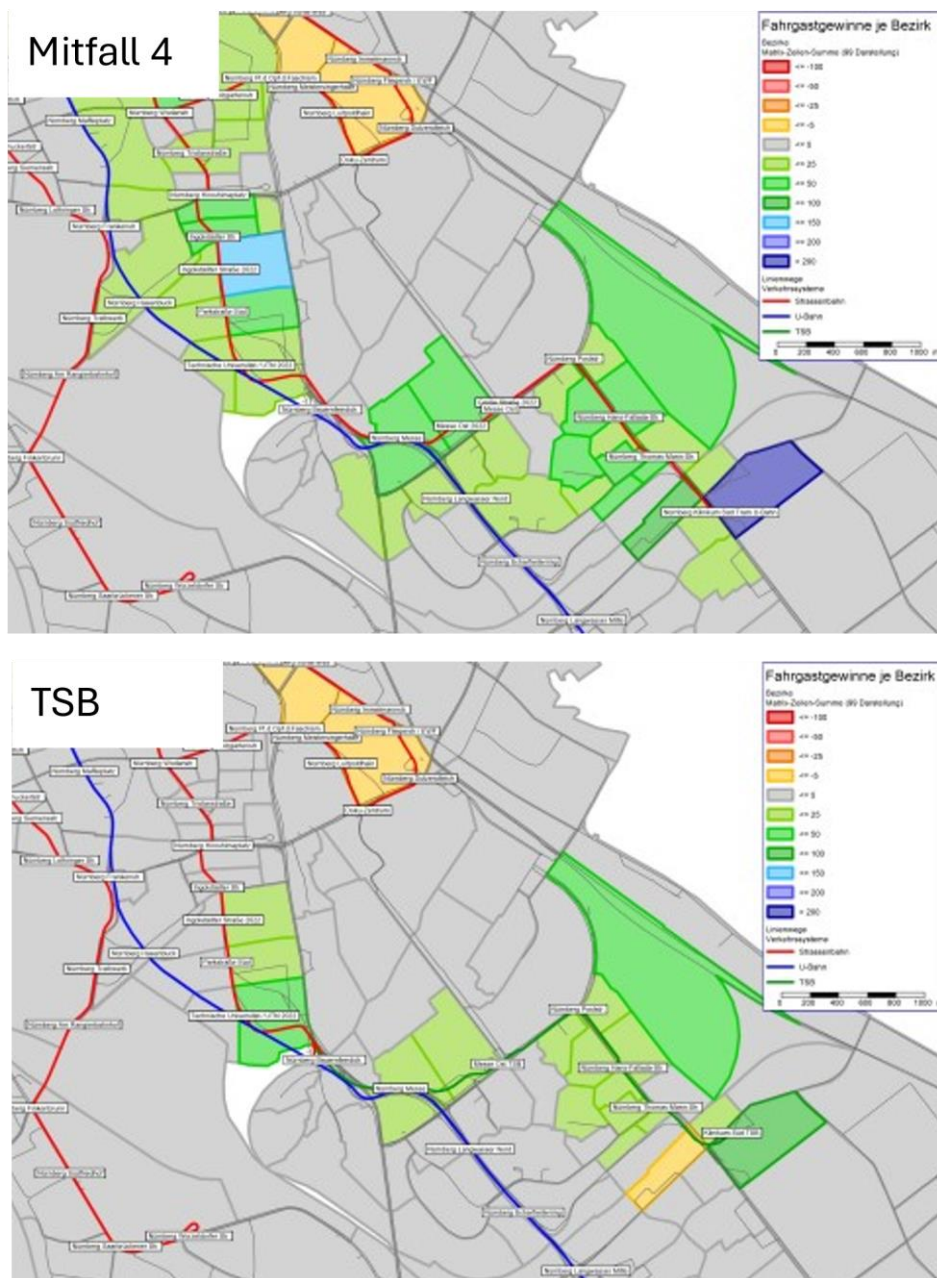
Abbildung 16: Umstieg auf Straßenbahn / U-Bahn

Bei der durchgehenden Straßenbahnverbindung verbleiben von den 5.820 Fahrgästen am maximalen Querschnitt 4.130 Fahrgäste (71%) nördlich der Bauernfeindstraße in der Straßenbahn. 1.290 Fahrgäste (22%) steigen auf die U-Bahn Richtung Innenstadt um. Der Großteil der Fahrgäste nutzt die umsteigefreie Straßenbahnverbindung Richtung Innenstadt.

Beim TSB steigen von 3.910 Fahrgästen 560 (14%) auf die Straßenbahn um. 2.820 Fahrgäste (72%) steigen auf die U-Bahn Richtung Innenstadt um. Da in Richtung Innenstadt umgestiegen werden muss, nutzt der Großteil der Fahrgäste die schnellere Verbindung mit der U-Bahn.

Fahrgastgewinne

Die folgenden Abbildungen zeigen den Fahrgastgewinn der Straßenbahn im Vergleich zum TSB. Dargestellt werden die Gewinne bei der Verlängerung über die Bauernfeindstraße hinaus (Straßenbahn Mitfall 4 gegenüber Mitfall 1: 1.640 Personen/Werktag; TSB: 510 Personen/Werktag).



Durch den Umsteigezwang beim TSB können deutlich weniger Fahrgäste gewonnen werden. Bei der Verlängerung der Straßenbahn werden deutlich mehr Fahrgäste auf den neuen Direktverbindungen Klinikum Süd – Langwasser – Brunecker Areal – Südstadt gewonnen, die beim TSB teilweise entfallen.

4.8 Fazit Nutzen-Kosten-Untersuchung

Im Nutzen-Kosten-Vergleich schneidet das TSB schlechter als die Straßenbahn ab. Der Umsteigezwang beim TSB führt zu einer etwa um ein Drittel geringeren Nachfrage im Vergleich zur in die Innenstadt durchgebundenen Straßenbahn. Bei der isolierten Betrachtung des Abschnitts Bauernfeindstraße – Klinikum Süd beträgt der Nachfragerückgang zwei Drittel. Für diesen Abschnitt besteht keine Aussicht auf Förderwürdigkeit.

In Kombination mit der Verlängerung der Straßenbahn bis Bauernfeindstraße besteht eine Perspektive auf Förderwürdigkeit, jedoch ist die Akzeptanz der Kombination zweier Verkehrssysteme seitens der Fördermittelgeber keinesfalls gesichert.

5 Fazit

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie zum Einsatz der Magnetschwebebahn TSB in Nürnberg im Untersuchungskorridor Bauernfeindstraße – Klinikum Süd werden im Folgenden aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet.

Förderfähigkeit

Bei ausschließlicher Betrachtung des Abschnitts Bauernfeindstraße – Klinikum Süd kann keine Wirtschaftlichkeit nach dem Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GFVG) des Bundes nachgewiesen werden. Erst in Kombination mit der Verlängerung der Straßenbahn bis zur Bauernfeindstraße kann sich grundsätzlich eine Perspektive auf Förderwürdigkeit ergeben. Die Überprüfung der Förderfähigkeit des Vorhabens, insbesondere der Kombination zweier Verkehrssysteme, ist durch den Vorhabenträger im nächsten Schritt zu klären.

Verkehrliches Potential

Dabei sind die direkt erschließbaren Potentiale entlang des Abschnitts eher gering, was letztendlich sowohl bei der Straßenbahn als auch beim TSB dazu führt, dass der verkehrliche Nutzen bei isolierter Betrachtung nicht ausreicht. Der ergibt sich erst durch die Nachfrage im Gesamtkorridor. Der Umsteigezwang beim TSB führt dabei zu einem deutlich reduzierten Fahrgastgewinn (mindestens 1.100 Personen weniger) im ÖPNV im Vergleich zur durchgebundenen Straßenbahn. Bei isolierter Betrachtung des Abschnitts Bauernfeindstraße – Klinikum Süd ist festzustellen, dass aufgrund des zu erwartenden niedrigen Verkehrsaufkommens eine eingeschränkte Wirtschaftlichkeit vorliegt.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde der Regelverkehr mit Ein-Sektionen-Fahrzeugen unterstellt. Gleichzeitig hat der Untersuchungskorridor aufgrund der Nähe zur Messe bzw. zum Max-Morlock-Stadion eine hohe Affinität für Veranstaltungsverkehre. Es sich davon auszugehen, dass die Ein-Sektionen-Fahrzeuge keine ausreichende Kapazität im Veranstaltungsverkehr aufweisen und dass folglich Zwei-Sektionen-Fahrzeuge im Veranstaltungsverkehr erforderlich sind.

Bautechnische Umsetzbarkeit / Raumwiderstände

Das TSB ist baulich umsetzbar und ermöglicht aufgrund seiner aufgeständerten Trassenführung höhenfreie Kreuzungen mit der Bestandsinfrastruktur. Dadurch ergeben sich keine Zielkonflikte mit dem sonstigen Verkehr. Darüber hinaus erfordert das TSB aufgrund der einspurigen Trassenführung einen geringeren Platzbedarf und folglich einen geringeren Eingriff in Bestandsbegrünung gegenüber der Straßenbahntrasse. Weiterhin können Eingriffe in den Baumstand auf der nördlichen Seite der Karl-Schönleben-Straße durch die Trassenführung in der Mittellage weitgehend verhindert werden.

Betriebskonzepte und -kosten

Das TSB ist im Abschnitt Bauernfeindstraße – Klinikum Süd mit sieben Minuten Fahrzeit schneller als die Straßenbahn. Für auf die Straßenbahnlinie 7 umsteigende Fahrgäste verlängern sich aufgrund des Umsteigezwangs die Reisezeiten.

Beim TSB können die Fahrzeuggrößen und Haltestellen präziser auf den tatsächlichen Bedarf ausgelegt werden, so dass gegenüber der Straßenbahn geringere Betriebs- und Unterhaltungskosten vorliegen. Wesentliche Gründe sind hierfür ein geringer Energiebedarf durch kürzere Fahrzeuge, geringer Unterhaltungskosten, sowie geringer Personalbedarf dank Automatisierung.

Infrastrukturkosten

Die Errichtungskosten für die Verkehrssysteme TSB und Straßenbahn im Abschnitt Bauernfeindstraße – Klinikum Süd sind vergleichbar: 63,8 Mio. EUR (Anwendungsfall Regelbetrieb) bzw. 71,1 Mio. EUR (Anwendungsfall Veranstaltungsverkehr) für das TSB, 68,1 Mio. EUR für die Straßenbahn [Preisstand 2024]. Weiterhin ist beim TSB durch die aufgeständerte und kreuzungsfreie Verkehrsführung auf eigenem Bahnkörper mit geringerer Unfallfolgekosten im Vergleich zur Straßenbahn zu rechnen.

Genehmigungsfähigkeit

Die Zuständigkeit für Magnetschwebbahnen in Deutschland liegt beim Eisenbahnbundesamt (EBA). Es wurde bereits eine Zusicherung der Zulassungsfähigkeit für TSB durch das Eisenbahnbundesamt erteilt. Für das vorliegende Vorhaben ist ein Planrechtsverfahren nach dem Magnetschwebbahnplanungsgesetz (MBPIG) unter Anwendung der Planfeststellungsrichtlinien des Eisenbahnbundesamts². Es ist daher grundsätzlich von einer Genehmigungsfähigkeit des TSB im Korridor Bauernfeindstraße – Klinikum Süd auszugehen.

² Richtlinien über den Erlass von Planrechtsentscheidungen für Betriebsanlagen der Eisenbahnen des Bundes nach § 18 Abs. 1 AEG sowie der Magnetschwebbahnen nach § 1 MBPIG

Anhang 1

Gesamtübersichtsplan

Lageplan Trassenplanabschnitt 1

Lageplan Trassenplanabschnitt 2

Höhenlängsschnitt