

BBSR-
Online-Publikation
10/2023

Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum

von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Sundermeier
Felix Theuring
Philipp Galandi

Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum

Durchführbarkeitsstudie anhand eines Pilotvorhabens in der Hamburger
Innenstadt – Untersuchung von rechtlichen und technischen Bedingungen
einer Überbauung von Bahngleisen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.31

Projektlaufzeit: 05.2021 bis 11.2022

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuerin

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Dr. Katja Hasche
katja.hasche@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Sundermeier (Projektleitung)

Felix Theuring
felix.theuring@tu-berlin.de

Philipp Galandi

Redaktion

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb
Felix Theuring

Stand

November 2022

Gestaltung

Technische Universität Berlin
Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb
Felix Theuring

Bildnachweis

Titelbild: Fachgebiet Bauwirtschaft und Baubetrieb, Technische Universität Berlin

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Sundermeier, Matthias; Theuring, Felix; Galandi, Philipp: Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum: Durchführbarkeitsstudie anhand eines Pilotvorhabens in der Hamburger Innenstadt – Untersuchung von rechtlichen und technischen Bedingungen einer Überbauung von Bahngleisen. BBSR-Online-Publikation 10/2023, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
Kurzfassung	8
Abstract	9
1 Einführung	10
1.1 Problemstellung.....	13
1.1.1 Stand der Forschung/Baupraxis	13
1.1.2 Forschungslücke/Entwicklungsbedarf	14
1.2 Zielstellung	14
1.2.1 Konkrete Projektziele.....	14
1.2.2 Arbeitsthesen	15
1.2.3 Methodischer Ansatz/Forschungsdesign.....	16
1.2.4 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner	16
1.2.5 Arbeitspakete und Meilensteine	17
2 Grundlagen zur Überbauung von Bahntrassen	18
2.1 Begriffsabgrenzung im Kontext der Überbauung von Bahntrassen	18
2.1.1 Unterführungen.....	18
2.1.2 Abschirmung	19
2.1.3 Überführung (Unterführung).....	20
2.1.4 Deckelung (Deckel, Überdeckelung)	20
2.1.5 Überbauung.....	21
2.2 Kurzüberblick Historie Überbauung von Verkehrsinfrastruktur	22
2.3 Typologien von Überbauungen	23
3 Auswertung rechtlicher Rahmenbedingungen	25
3.1 Bauplanungs- und Bauordnungsrecht	26
3.1.1 Baugenehmigungsverfahren.....	27
3.1.2 Grunddienstbarkeit als Regelungsmöglichkeit.....	28
3.1.3 beschränkte persönliche Dienstbarkeit als Regelungsmöglichkeit.....	28
3.2 Fachrecht insbesondere Eisenbahnrecht	29
3.2.1 Planfeststellungsverfahren und Plangenehmigung	29
3.2.2 Revitalisierung von Gleisanlagen und Freistellung	32
3.2.3 wesentliche Normen, Verordnungen und Leitfäden	33

3.3	Konsequenzen für die Projektrealisierung	35
3.3.1	Grundstücksbereitstellung	35
3.3.2	Anforderungen Projektorganisation.....	35
3.3.3	Bautechnik und Baubetrieb.....	36
4	Analyse der bautechnischen Realisierbarkeit.....	37
4.1	Anforderungen aus Lichtraumprofilen und Abstandsregelungen	38
4.1.1	Lichtraumprofile Fernbahn, S-Bahn und U-Bahn	38
4.1.2	Horizontale Abstände zu Stützen, Wänden oder Ingenieurbauwerken	41
4.2	Identifikation kritischer Einfluss-/Erfolgsfaktoren.....	44
4.2.1	Einflussfaktor Schall und Erschütterung.....	44
4.2.2	Einflussfaktor Bahnhavarie	46
4.2.3	Einflussfaktor Tunnelbrand	47
4.2.4	Einflussfaktor Bahnstromanlage.....	48
4.2.5	Erfolgsfaktor Bauen im Bahnbetrieb	49
4.3	Analyse und Aufbereitung bautechnischer Lösungsoptionen durch die Tragwerksbetrachtung realisierter und projektierte Gleisüberbauungen.....	49
4.3.1	Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 1, Berlin	50
4.3.2	Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 4, Berlin	53
4.3.3	U-Bahn-Trasse Berne, Hamburg.....	56
4.3.4	Clarenbachplatz 1, Köln	61
4.3.5	Royal Mint Gardens, London.....	65
4.3.6	Überbauungsstudien, London	69
4.3.7	Broadgate Exchange House, London	74
4.3.8	Sunnyside Yard, New York.....	78
4.4	Systematisierung von Tragwerken für Gleisüberbauungen	84
4.4.1	Einfluss von Spannweite und Geschossanzahl.....	84
4.4.2	Schall- und Erschütterungsschutz	89
4.4.3	Anprallschutz.....	90
4.4.4	Tunnelbrandschutz	91
4.4.5	Bauen im Bahnbetrieb.....	91
4.5	Getrennte und integrierte Tragsysteme	92
4.5.1	Getrennte Tragsysteme	94
4.5.2	Integrierte Tragsysteme.....	94
4.6	Zusammenfassung der allgemeinen bautechnischen Realisierbarkeit.....	96
5	Pilotvorhaben Gleisüberbauung Hamburg	98
5.1	Pilotvorhaben – Evaluation Projektgrundlage	101
5.1.1	Rechtliche Projektgrundlagen.....	103
5.1.2	technische Projektgrundlagen.....	104

5.2 Pilotvorhaben – Wirtschaftlichkeitsvoruntersuchung.....	106
5.2.1 Ermittlung der überschlägigen Baumasse.....	107
5.2.2 Analyse und Festlegung der Nutzungsmischung.....	107
5.2.3 Bestimmung Flächenbedarf und Mietpreispotentiale.....	108
5.3 Pilotvorhaben – STOMA.....	108
5.3.1 Makro- und Mikrostandortanalyse.....	109
5.3.2 Marktanalyse.....	111
5.3.3 SWOT-Analyse der Standortfaktoren.....	115
6 Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	116
6.1 Zusammenstellung relevanter Kennwerte/Kostendaten	116
6.2 Residualwertverfahren Pilotvorhaben.....	118
6.3 Risikoanalyse und -bewertung.....	119
6.4 Empfehlung von projektspezifischen Beschaffungsstrategien	121
7 Schlusswort und Ausblick.....	123
8 Mitwirkende	125
Verzeichnisse.....	126
Abbildungsverzeichnis.....	126
Tabellenverzeichnis.....	128
Judikaturverzeichnis	128
Literaturverzeichnis.....	129
Anlagen.....	133
Anlage 1: Liste Referenzprojekte (Kurzform).....	134
Anlage 2: Wirtschaftlichkeitsrechnung Pilotvorgaben Residualwertverfahren	136
Anlage 3: Wirtschaftlichkeitsrechnung Pilotvorgaben Sensitivitätsanalyse.....	138

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AEg	Allgemeines Eisenbahngesetz
BEVVG	Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungsgesetz
BOStrab	Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBA Tunnelrichtlinie	Richtlinie Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln
EBKrG	Gesetz über Kreuzungen von Eisenbahnen und Straßen (Eisenbahnkreuzungsgesetz)
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
FStrG	Bundesfernstraßengesetz
GFZ	Geschossflächenzahl
HBK	HBK Hanseatische BauKonzept GmbH & Co KG
IPA	Integrierte Projektabwicklung
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
ÖPP	öffentliche private Partnerschaft
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
PF-Richtlinie	Planfeststellungsrichtlinien
PPP	Public Private Partnership
ROG	Raumordnungsgesetz
STOMA	Standort- und Marktanalyse
SWOT-Analyse	Stärken, Schwächen, Chancen, Risiken-Analyse
TöB	Träger öffentlicher Belange
TSI	Spezifikationen für die Interoperabilität
UVPG	Umweltverträglichkeitsprüfung
ZOB	Zentraler Omnibusbahnhof

Kurzfassung

Durch kontinuierlichen Zuzug in die Ballungsgebiete in Deutschland herrscht ein Mangel von Wohnraum in selbigen. Studien, wie bspw. ‚Die Wohnsituation in 77 deutschen Großstädten‘ von Holm und Junker (2019) oder Erhebungen der empirica ag belegen den Bedarf an leistbarem Wohnraum. Ein Grund für diesen Mangel ist fehlendes Bauland in innerstädtischen Lagen. Somit können entsprechend große Bauvorhaben zur Wohnraumschaffung meist nur in der Stadtperipherie realisiert werden. Dieser Gegebenheit kann durch die Überbauung von Verkehrsinfrastruktur, wie bspw. Straßen oder Schienen, begegnet werden.

Das Forschungsvorhaben ‚Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum‘ ist eine als Durchführbarkeitsstudie eines Pilotvorhabens in Hamburg angelegte Untersuchung. Neben grundlegenden technischen Voraussetzungen und rechtlichen Rahmenbedingungen für Gleisüberbauungen in Deutschland werden konkrete Voraussetzungen und Gegebenheiten eines Entwicklungsgebiets in Hamburg Wandsbek untersucht. Teil der Untersuchung von Voraussetzungen des Pilotvorhabens sind Analysen der Marktsituation sowie der Wirtschaftlichkeit des Vorhabens. Dafür wurde eine Standort- und Marktanalyse (STOMA) durchgeführt. Die STOMA besteht aus einer Untersuchung des Makro- und des Mikrostandorts, einer Marktanalyse sowie einer SWOT-Analyse des Standorts. Die Wirtschaftlichkeit des Pilotvorhabens wurde durch eine überschlägige Ermittlung der Errichtungskosten für Gleisüberbauungen in Verbindung mit einem Residualwertverfahren bestätigt. Diese Untersuchungen belegten, dass eine Gleisüberbauung im ausgewählten Areal in Hamburg Wandsbek als grundsätzlich technisch und wirtschaftlich realisierbar zu bewerten ist.

Die Analyse der technischen Voraussetzungen von Überbauungen besteht aus einer internationalen Projektrecherche von Gleisüberbauungs-Projekten in Verbindung mit einer ingenieurtechnischen Betrachtung von für Überbauung geeigneten Tragsystemen. So werden neben verschiedenen Konstruktionsarten auch die Unterscheidung von getrennten und integrierten Tragsystemen sowie deren Vor- bzw. Nachteile eröffnet und beleuchtet. Die Ermittlung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Gleisüberbauungen in Deutschland, die auf einer Literaturrecherche basiert, zeigt, dass neben den umfangreichen Regelungen des Fachrechts für Straßenbahnen und Eisenbahnen auch erhöhte Aufwände aus der Absicherung des Überbaurechts sowie dem Beteiligtenmanagement (Stakeholdermanagement) resultieren. Insbesondere kann herausgestellt werden, dass in Abhängigkeit der Nutzung der Bahntrasse unterschiedliche Anforderungen an die Überbauung und damit ein wesentlicher Einfluss auf die Errichtungskosten gegeben ist.

Die Überbauung von Bahntrassen kann somit rechtlich, technisch und wirtschaftlich als realisierbar bestätigt werden. Sollten Gleisüberbauungen weiterhin im Diskurs der Schaffung von Wohnraum in Frage kommen, bedarf es weiterführender Forschung und der Begleitung von Vorhaben in der Umsetzungsphase.

Abstract

Due to the continuous influx into Germany's metropolitan areas, there is a shortage of residential space in these areas. Studies such as 'Die Wohnsituation in 77 deutschen Großstädten' (The housing situation in 77 major German cities) by Holm and Junker (2019) or surveys by empirica ag confirm the need for affordable housing. One reason for this shortage is the lack of building land in inner-city locations. As a result, large housing construction projects can usually only be realised on the city periphery. This situation can be countered by building over transport infrastructure, such as roads or railways.

The research project Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum (railway overbuild for new housing developments) is a feasibility study of a pilot project in Hamburg. In addition to the basic technical prerequisites and legal framework conditions for building over railway tracks in Germany, explicit prerequisites and conditions of a development area in Hamburg Wandsbek are being investigated. The study of the preconditions for the pilot project includes analyses of the market situation and the economic viability of the project. A location and market analysis was carried out for this purpose. The analysis consists of an examination of the macro- and micro-location, a market analysis and a SWOT analysis. The economic viability of the pilot project was confirmed by a rough calculation of the construction costs for track superstructures in combination with the residual value method. These studies proved that the construction of a railway overbuild in the selected area in Hamburg Wandsbek can in principle be assessed as technically and economically feasible.

The analysis of the technical prerequisites for superstructures consists of an international project research of infrastructure overbuild projects in connection with an engineering consideration of load-bearing systems suitable for superstructures. In addition to various types of construction, the distinction between separate and integrated load-bearing systems are drawn and their advantages and disadvantages are examined. The determination of the legal framework conditions for railway overbuilds in Germany, which is primarily based on literature research, shows that in addition to the extensive regulations of the technical law for tramways and railways, increased expenses also result from the safeguarding of the superstructure law as well as stakeholder management. In particular, it can be shown that depending on the use of the tracks, there are different requirements for the superstructure and thus a significant influence on the construction costs.

The overbuild of railway lines can therefore be confirmed as legally, technically and economically feasible. If track superstructures continue to be considered in the public and scientific discourse on the creation of urban residential space, further research and the monitoring and evaluation of projects in the implementation phase will be required.

1 Einführung

Der Bedarf an Gewerbe- und vor allem an Wohnflächen in den ‚Top-7-Städten‘¹ ist hoch und verzeichnet weiterhin einen Anstieg. Insbesondere die bereits sehr verdichteten innerstädtischen Lagen sind und bleiben nachgefragt. Neben einer Bauwirtschaft, welche den nachgefragten Bauleistungen nicht nachkommen kann, u. a. verursacht durch ineffiziente Beschaffungsstrategien und Projektabwicklungsmodelle, mangelnde Fachkräfte, pandemiebedingter sowie geopolitischer Krisen, stellt eine geringe Verfügbarkeit von Bauland eines der wesentlichen Hemmnisse zur Befriedigung der Nachfrage dar. Insbesondere Bauland in Innenstädten ist in sehr geringem Maß vorhanden. Somit sind Kommunen als auch private Marktbeteiligte mit der Aufgabe konfrontiert, Bauland zu schaffen. Während sogenannte ‚Baulücken‘ in den meisten Ballungsgebieten bereits bebaut sind oder anderen für die Stadt wichtigen Nutzungen zugeführt wurden, werden bislang die Potenziale von Überbauungen von Infrastrukturtrassen bzw. Verkehrsinfrastruktur kaum ausgeschöpft.

Historisch bedingt besitzen fast alle deutschen Städte in zentralen Lagen verkehrstechnische Anlagen mit zum Teil beträchtlichem Flächenumfang. Es entstanden Schienen im Stadtgefüge sowohl durch den Ausbau des Schienenverkehrsnetzes ab dem 19. Jh. als auch durch den Umbau deutscher Städte vor allem im späten 20. Jh. zu sogenannten ‚autogerechten Städten‘. Auch die kontinuierliche räumliche Erweiterung von Ballungsgebieten führt dazu, dass ursprüngliche Umfahrungen zu einem Teil der Innenstadtinfrastruktur werden können. Während Infrastrukturtrassen, welche nicht mehr genutzt werden, zurückgebaut und anderen Nutzungen zugeführt werden können, ist die Überlagerung einer Verkehrsnutzung mit anderen Nutzungen bisher kaum beleuchtet. Bei Umnutzung von nicht mehr verwendeter baulicher Infrastruktur wird auch von Reaktivierung gesprochen.²

Das Gros an der innerstädtischen verkehrlichen Infrastruktur wird jedoch weiterhin genutzt. Z.T. sind sogar Erweiterungen bzw. der Ausbau des Schienennetzes notwendig, um der gestiegenen Nachfrage an Mobilität zu begegnen. Ein Treiber dieser Entwicklung bildet die Verkehrswende, welche einen Teil des straßengebundenen Verkehrs auf die Schiene verlagern soll. Ein Beispiel für die Erweiterung von Schieneninfrastruktur stellt ‚Stuttgart21‘ dar. Im Spannungsfeld des gestiegenen verkehrlichen Bedarfs und eines Mangels an Fläche durch die natürliche Topografie Stuttgarts wurde entschieden, die Schieneninfrastruktur vollständig unter die Erde zu verlegen. Somit ist als Nebeneffekt die Schaffung großer Potenziale für Wohnraum gegeben.

Ein gegenläufiges Beispiel bildet die Initiative bzw. das Entwicklungskonzept mit der Bezeichnung ‚neue mitte köln‘. Projektziel dabei ist primär die Verbesserung der Stadtstruktur durch die Verlegung des Hauptbahnhofs Köln an den Stadtrand. Somit liegt der Fokus nicht auf der Erhöhung der Kapazitäten der Schieneninfrastruktur, sondern auf dem ökologischen Umbau der Verkehrssysteme und der Schaffung von Platz für Wohnen, Arbeiten und Grünflächen.³

¹ Als ‚Top-7-Städte‘ werden im immobilienwirtschaftlichen bzw. bauwirtschaftlichen Kontext besonders wichtige Städte für die Branche sowie die nach Einwohnerzahl größten Städte Deutschlands bezeichnet. In Abstufung der Einwohnerzahl ist dies Berlin, Hamburg, München, Köln, Frankfurt am Main, Stuttgart und Düsseldorf.

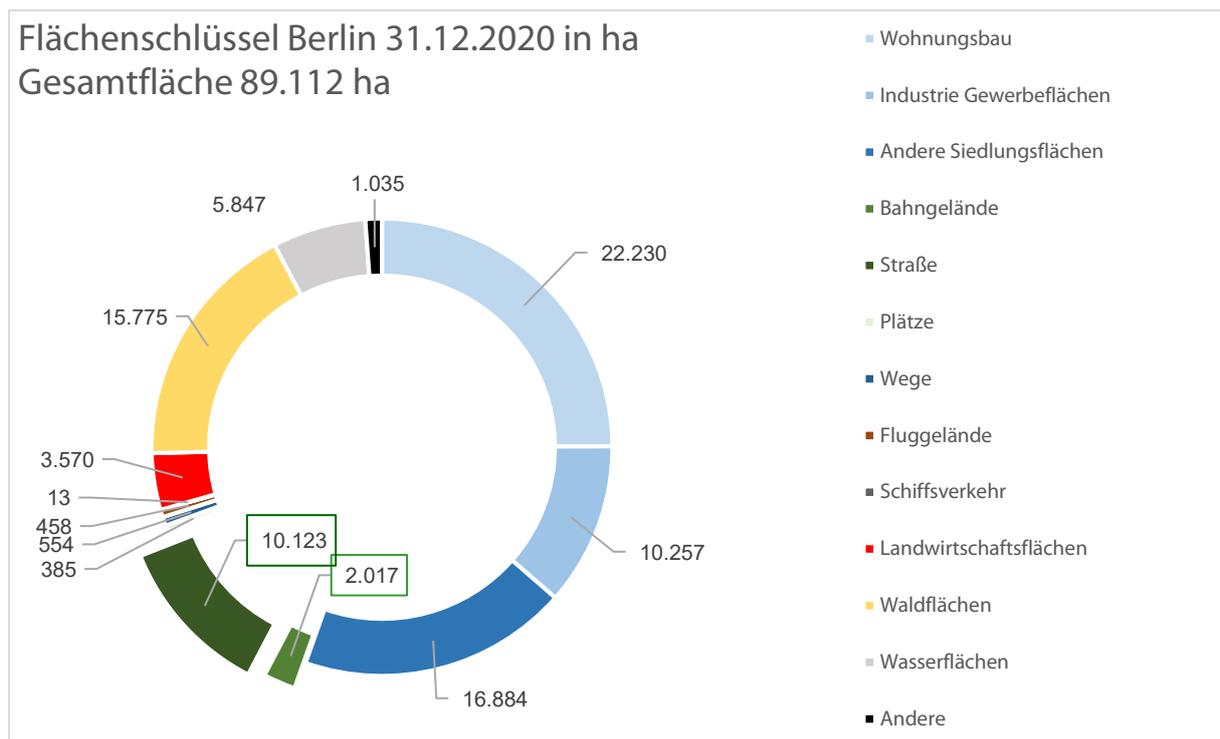
² Die Rückgewinnung von Bahnbrachen und somit die Zuführung der Flächen zu bahnfremden Nutzungen wird als ‚Reaktivierung‘ bezeichnet. Z.T. wird der Begriff ‚Reaktivierung‘ auch für die erneute Inbetriebnahme von Bahninfrastruktur genutzt. Die Rückgewinnung von ehemaligen Militärflächen wird als ‚Konversion‘ bezeichnet.

³ vgl. neue mitte köln e.V. o.J.

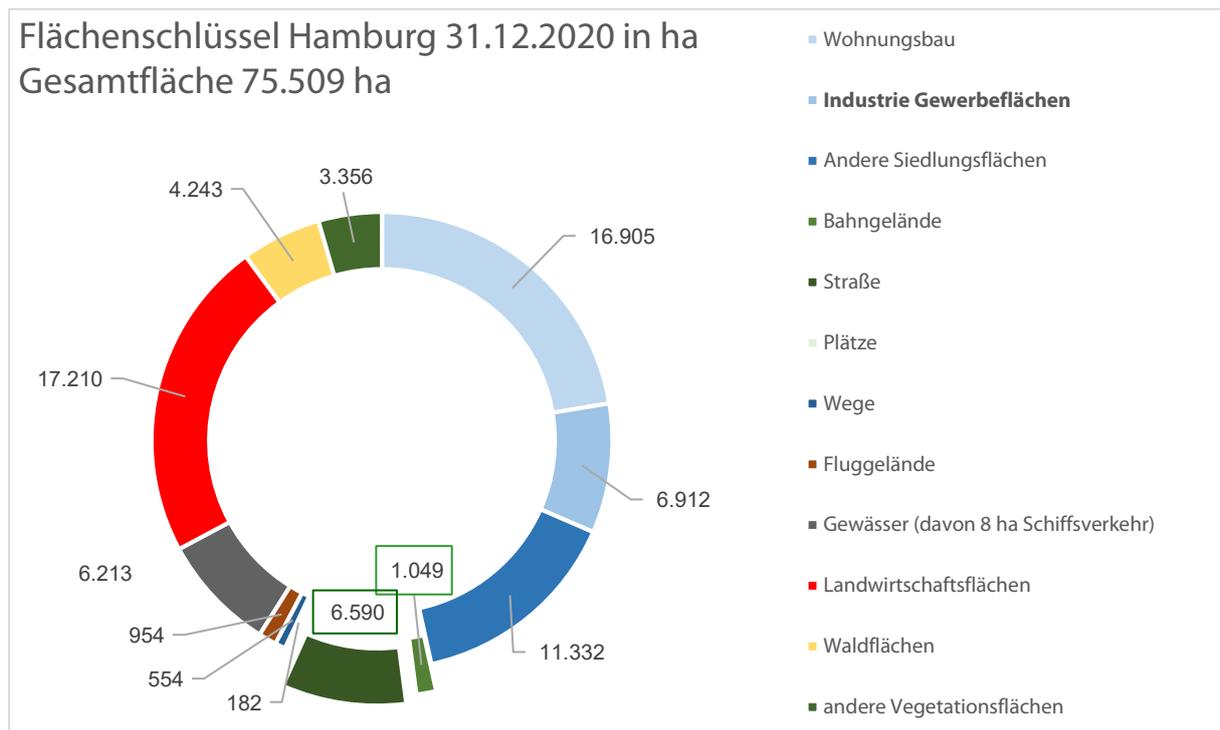
Beide Beispiele stellen jedoch die Konkurrenz der Nutzungen im Stadtgefüge heraus. Dies ist vor allem zwischen den Nutzungen Verkehr und Wohnen zu beobachten. Die Überbauung von Infrastrukturtrassen kann dafür eine Lösungsmöglichkeit bieten.

Die Flächenanteile der Verkehrsinfrastruktur sind in den folgenden zwei Abbildungen sowohl für Berlin als auch für Hamburg dargestellt. Deutlich wird, dass Straßeninfrastruktur und Bahngelände in erheblichem Umfang in beiden Städten vorhanden sind. Die Gesamtflächen sind jedoch in Bezug auf die Flächen, welche tatsächlich für eine Überbauung geeignet sind, zu relativieren.

Abbildung 1: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Berlin 2020⁴



⁴ eigene Darstellung Datengrundlage Amt für Statistik Berlin-Brandenburg 2021.

Abbildung 2: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Hamburg 2020⁵

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Areal im Hamburger Bezirk Wandsbek zwischen Wandsbeker Chaussee und Pappelallee auf die Eignung zur Überbauung mit einer Wohnbebauung untersucht. In der als Durchführbarkeitsstudie angelegten Forschung wird insbesondere auf die rechtlichen und technischen Bedingungen einer Überbauung von Bahngleisen in Innenstädten eingegangen. Das betrachtete Areal zeichnet sich dadurch aus, dass Trassen sowohl für die S-Bahn als auch für den Güterverkehr, die sogenannte ‚Güterumgehungsbahn‘, bereits bestehen und aus diesem Grund besondere Herausforderungen an die Realisierbarkeit zu erwarten sind. Eine eisenbahntechnische Untersuchung, welche die Notwendigkeit eines vierten Gleises klären sollte, sowie eine städtebaulich-verkehrliche Rahmenplanung für das Quartier wurden während der Laufzeit des Forschungsvorhabens initiiert, jedoch nicht abgeschlossen. Somit konnten verschiedene Eingangsparameter nicht abschließend definiert werden und das Aufstellen von Annahmen war notwendig. Eine weitere Besonderheit des entsprechenden Grundstücks ist eine vorhandene Fernwärmeleitung und ein Haltepunkt der Hamburger S-Bahn. Bei den Untersuchungen wurden insbesondere verschiedene Varianten der Baukonstruktion, aber auch der Zusammenstellung von Nutzungen berücksichtigt und in die Analyse der Eignung einbezogen.

⁵ eigene Darstellung Datengrundlage Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2021.

1.1 Problemstellung

In deutschen Ballungsgebieten fehlt es an Wohnraum. Allein in Berlin gehen Studien aktuell von einer Versorgungslücke mit leistbaren Wohnungen von rd. 268.000 Einheiten aus. Die Versorgungslücke beschreibt dabei die soziale Wohnversorgung zu leistbaren Mieten für alle Einkommensgruppen.⁶ Das gleiche Bild zeigt sich in den meisten anderen Großstädten. Hamburg weist bspw. eine Versorgungslücke von rd. 130.000 Einheiten aus. Somit ist die Unterversorgung pro Einwohner in Hamburg höher als in Berlin. Dieses Phänomen ist keineswegs ausschließlich bei den Top 7 Städten zu beobachten. Auch die ‚kleineren‘ Großstädte wie Jena (8.877 bei insgesamt 64.320 Einheiten), Heidelberg (19.420 bei insgesamt 88.938 Einheiten), Regensburg (17.320 bei insgesamt 106.391 Einheiten) oder Potsdam (10.117 bei insgesamt 84.182 Einheiten) weisen deutliche Wohnraum-Versorgungslücken auf.⁷ Langfristig wird sich diese Problematik angesichts eines ungebrochenen Zuzugs in den größten Städten noch weiter verschärfen.⁸

Ursächlich dafür ist nicht zuletzt fehlendes Bauland. Da die Flächenreserven vielerorts bereits ausgeschöpft sind bzw. Konflikte mit konkurrierenden Planungszielen bestehen, rücken Optionen zur innerstädtischen Nachverdichtung zunehmend in den Fokus. So beschäftigen sich aktuell umfangreiche Studien mit der bundesweiten Erhebung von Bauland- und Innenentwicklungspotenzialen sowie mit Empfehlungen der Gestaltung von Innenentwicklung⁹ oder mit der technischen Umsetzung von Verdichtung durch bspw. Aufstockung von Nichtwohnegebäuden mit Wohnraum.¹⁰

Auch die Überbauung von Verkehrsflächen wird in diesem Kontext regelmäßig als Chance genannt, konkrete Projekte wurden bislang jedoch nur in sehr begrenztem Umfang realisiert. Als Gründe dafür werden i.d.R. planungs- und baurechtliche Schwierigkeiten, komplexe bautechnische Herausforderungen und damit einhergehend einzelwirtschaftlich unverträglich hohe Kosten angeführt. Diese mögen sich ggf. jedoch mit Blick auf mögliche Erschließungskostenersparnisse innerstädtischer Flächen sowie in Hinblick auf die ökonomischen und ökologischen Potenziale der verstärkten Nutzung bestehender ÖPNV-Infrastrukturen relativieren. Eine fundierte Beurteilung scheidet aktuell bereits daran, dass Erkenntnisse bzw. allgemeingültige Standards zur Überprüfung der stadtplanerischen bzw. einzelwirtschaftlichen Potenziale von Gleisüberbauungen bislang entweder nicht vorliegen oder aber nicht strukturiert aufbereitet verfügbar sind.

1.1.1 Stand der Forschung/Baupraxis

Aktuelle wissenschaftliche Ausarbeitungen zur allgemeinen Machbarkeit der Überbauung von Bahntrassen existieren im deutschsprachigen Raum nicht. In sehr geringer Anzahl werden Gleisüberbauungen in Deutschland durchgeführt. Aus den realisierten Gleisüberbauungen hat sich jedoch noch kein breiter, für die Öffentlichkeit zugänglicher Wissenspool ergeben. Teilweise sind sogar Referenzprojekte oder ähnliche Infrastrukturüberbauungen nicht bekannt. Dies wird auch deutlich, wenn bei realisierten Projekten von ‚Einmaligkeit‘ gesprochen wird. International wurden bereits diverse Gleisüberbauungs-Projekte umgesetzt oder befinden sich in einem fortgeschrittenen Planstand. Z.T. sind bei diesen Projekten auch umfangreiche Machbarkeitsstudien verfügbar, wie bspw. bei dem Rail Deck Park in Toronto, dem Broad Gate Tower in London oder dem Sunnyside Yard in New York. Eine allgemeine wissenschaftliche Betrachtung der Thematik Gleisüberbauung, welche bspw. Aufschluss über konstruktionstechnische oder sicherheitstechnische Anforderungen gibt, konnte auch hier nicht aufgefunden werden.

⁶ vgl. Holm und Junker 2019 Datenblatt von Berlin S.29

⁷ ebd. Datenblätter Hamburg, Jena, Heidelberg, Regensburg und Potsdam jeweils S.29

⁸ vgl. Theuring und Sundermeier 2021 S.133 ff.

⁹ vgl. Blum et al. 2022 S.21 ff.

¹⁰ vgl. Tichelmann et al. 2019 S.10 ff.

1.1.2 Forschungslücke/Entwicklungsbedarf

Dem nicht ausgeprägten Stand der Forschung stehen regelmäßige Bestrebungen von Städten und privaten Vorhabenträgern gegenüber, innerstädtische Verkehrsinfrastruktur, darunter meist auch Bahntrassen, zu überbauen, um entweder Wohnraum zu schaffen, Emissionen zu reduzieren oder Stadtteile von einer ‚zerschneidenden Wirkung‘ der Verkehrsinfrastruktur zu befreien. Ein sich in der Umsetzung befindliches Projekt, bei welchem vor allem die Lärminderung sowie die Schaffung von Grünflächen als Ziel genannt wird, ist der Deckel A7 in Hamburg. Überbauungen, die bisher nicht umgesetzt wurden, sind jedoch weiterhin in der Diskussion befinden, sind bspw. ein Deckel im Bezirk Berlin Charlottenburg, welcher die A100 inkl. der S-Bahntrasse überdecken soll, sowie ein eher verworfenes Projekt im Ortsteil Berlin Gesundbrunnen, bei welcher großflächig ein Trog von S-Bahn- und Fernbahngleisen gedeckelt werden sollte.

Um Wohnbedingungen durch Gleisüberbauungen zu verbessern, werden in frühen Projektphasen regelmäßig große zeitliche und finanzielle Aufwände betrieben. Diese großen Aufwände können mit einer frei zugänglichen Wissensbasis gemindert werden und so Entscheidungen für bzw. gegen eine Überbauung in bestimmten Bereichen der Stadt erleichtern. Hier bietet die vorliegende Arbeit erste Hinweise zur Umsetzung bzw. Tendenzen über die Komplexität von verschiedenen Überbauungsprojekten und damit deren Umsetzbarkeit. Außerdem wird weiterführender Forschungsbedarf aufgezeigt.

1.2 Zielstellung

Von der vorliegenden Forschung werden wesentliche Erkenntnisse zur Realisierbarkeit des Gleisüberbauungsprojekts in Wandsbek erwartet, die zukünftig als Basis für die Projektentscheidung im Projekt genutzt werden können. Darüber hinaus werden die Erkenntnisse bundesweit anwendbar für ähnlich gelagerte Projekte sein. Hier soll vor allem in frühen Projektphasen eine Entscheidung ermöglicht werden, eine Überbauung von Bahntrassen weiter zu verfolgen oder zu verwerfen.

Im Forschungsbericht wird unterstellt, dass die Nachverdichtung innerstädtischer Räume durch Überbauung von Verkehrsflächen besonders in zukünftig wachsenden Ballungszentren als Lösungsansatz für die Bewältigung der massiven Bauland- bzw. Wohnungsknappheit diskursfähig bleibt. Der Faktor, dass die Bedarfslücke von Wohnraum, besonders in den größten deutschen Städten, bis zuletzt trotz aller Abhilfearbeitungen stetig gewachsen ist, zeigt die stadtplanerisch-ökonomische Relevanz der Problematik und des ingenieurtechnisch fundierten Aufzeigens gangbarer Lösungsansätze. Der vorliegende Forschungsbericht will somit die Basis für stadtplanerische, demokratisch legitimierte Entscheidungsprozesse stärken. Er erhebt nicht den Anspruch eines stadtsoziologischen Diskussionsbeitrags oder gar einer entsprechenden Bewertung von Nachverdichtungsoptionen.

1.2.1 Konkrete Projektziele

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde im Kontext eines Pilotprojekts untersucht, unter welchen Umständen eine wirtschaftliche Gleisüberbauung möglich ist. Aus den projektspezifisch gewonnenen Erkenntnissen werden allgemeingültig verwendbare Ergebnisse und Handlungsempfehlungen für die Entscheidungsfindung bzw. Prüfung möglicher Überbauungsoptionen abgeleitet.

Ziel des Projekts ist es, einerseits eine generelle und andererseits eine wirtschaftliche Realisierbarkeit festzustellen. Bei der generellen Realisierbarkeit soll ausgearbeitet werden, unter welchen bahn- und baurechtlichen Restriktionen eine Gleisüberbauung am gegebenen Standort überhaupt möglich ist. Aufbauend wird die Wirtschaftlichkeit über den Lebenszyklus unter Berücksichtigung folgender Aspekte untersucht:

- Projektvarianten mit Berücksichtigung der Kosten für Grundstück, Gründungen und Hochbau
- Flächenprogramme (Nutzungsarten)
- Erschließungskosten im Vergleich zum Neubau in Stadt-Peripherie
- Schaffung von Freianlagen für den freiwilligen Landtausch

In Hamburg wurden durch den Praxispartner HBK drei Teilbereiche auf eine perspektivische Gleisüberbauung untersucht. Diese Forschungsarbeit bezieht sich dabei auf den im Rahmen des Pilotprojekts ermittelten Vorzugs-Teilbereich in Wandsbek. Eine spätere Fortführung des Forschungsvorhabens für weitere Areale ist grundsätzlich angedacht.

1.2.2 Arbeitsthesen

Zur Vorbereitung des Forschungsvorhabens wurden die im Folgenden beschriebenen sechs Arbeitsthesen definiert. Neben grundlegenden wirtschaftlichen Abschätzungen wurden Thesen zur Innenbereich-Erschließung, zum Zusammenhang zwischen Nutzungsart und Baukonstruktion, zu bahnrechtlichen Voraussetzungen und zu der Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von Baulandpreisen aufgestellt.

These 1: Gleisüberbauung sind nicht per se unwirtschaftlich.

These 2: Eine wirtschaftliche Gleisüberbauung bedingt keine vollständige und intensive Bebauung. Die Wirtschaftlichkeit ist auch bei einer lockeren Mischnutzungsbebauung (Wohnen und Büro) mit einer Grundflächenzahl von 0,6 möglich.

These 3: Die Erschließungskosten für die Entwicklung neuer Stadtteile übersteigen die Kosten von Gleisüberbauungen. Die Überbauung von Gleisen im innerstädtischen Bereich hat den Vorzug, dass bereits weitestgehend Medien- als auch ÖPNV-Anschlüsse vorhanden sind. Gegenüber der Neuentwicklung von Stadtteilen in der Fläche kann dies ggf. den wirtschaftlichen Ausschlag geben.

These 4: Die Kosten für eine Überbauung sind abhängig von der späteren Nutzung. Je größer und höher die Bebauung ist, desto aufwändiger und damit kostenintensiver muss die Konstruktion der Überbauung erfolgen. Um die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen, können die Flächen der Überbauung als Ausweichquartiere für Kleingärten oder Grünflächen dienen. Gleichzeitig werden die ursprünglichen Flächen bebaut oder verwertet. Somit kann die Wirtschaftlichkeit einer Überbauung bei gleichbleibender Größe der Grünflächen sichergestellt werden.

These 5: Die technische Reglementierung des Tunnelbauwerkes ist abhängig von der Gleisnutzung. Die wirtschaftliche Umsetzbarkeit ist somit primär abhängig von der Nutzungsart der zu überbauenden Gleise.

These 6: Je höher die Grundstückspreise für Bauland im innerstädtischen Bereich werden, desto wirtschaftlicher ist eine Gleisüberbauung für den Sozialen Wohnungsbau.

Diese Thesen wurden während des Forschungsvorhabens aufgegriffen und thematisch bearbeitet. Ausschließlich These 2 wurde aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, da sich während der Bearbeitung zeigte, dass durch die Vielzahl von Einflussfaktoren die aufgestellte Hypothese des Zusammenhangs zwischen Nutzungsart und Wirtschaftlichkeit nicht bestätigt werden konnte.

1.2.3 Methodischer Ansatz/Forschungsdesign

Grundlage dieser Forschungsarbeit bildet eine breite internationale Projektrecherche von Gleisüberbauungsprojekten. Darauf aufbauend wurden Grundlagen von Gleisüberbauungen, wie Typologien oder allgemeine Gestaltungsformen, definiert und voneinander abgegrenzt.

Im ersten Schritt wurden die bahnrrechtlichen Besonderheiten strukturiert und auf die daraus resultierenden bautechnischen Anforderungen hin untersucht. Neben der einschlägigen Fachliteratur und den Vorschriften von Eisenbahnen und Straßenbahnen wurden informelle Gespräche mit Experten durchgeführt.

In der Durchführbarkeitsstudie wurde im folgenden Schritt eine Standort- und Marktanalyse (STOMA) des durch den Praxispartner favorisierten Grundstücks erstellt. Die STOMA besteht dabei aus einer Analyse des Makro- und des Mikrostandorts, einer Marktanalyse sowie einer SWOT-Analyse. Dabei wurde sowohl auf baurechtliche Möglichkeiten und Einschränkungen des Entwicklungsgebiets als auch auf Besonderheiten des Mikrostandorts, wie bspw. Medienanschlüsse und ÖPNV-Erreichbarkeit etc., eingegangen.

Aufbauend wurden unterschiedliche Realisierungsvarianten und Nutzungskonzepte für den Standort erarbeitet, da diese zum wesentlichen Teil die Konstruktion der Überbauung als auch die Finanzierbarkeit beeinflussen. Die Vorzugsvariante wurde anhand von prognostizierten Kosten und nutzungsabhängigen Einnahmen auf Wirtschaftlichkeit untersucht. Dies wurde mithilfe des Residualwertverfahrens durchgeführt.

Methodisch wurde sich primär auf eine Literaturrecherche gestützt, wobei unter anderem auf Presseberichte, Vergabeportale, statistische Datenbanken sowie Branchenanalysen Bezug genommen wurde. Darüber hinaus konnten ergänzende Informationen auch durch eine direkte Kontaktaufnahme zu den beteiligten Vorhabenträgern, Nutzern einer Gleisüberbauung bzw. Planungsunternehmen erhalten werden.

1.2.4 Projektteam und Organisation, Kooperationspartner

Das Forschungsvorhaben wurde durchgeführt durch Mitarbeitende des Fachgebiets Bauwirtschaft und Baubetrieb der Technischen Universität Berlin. Dieses ist Bestandteil des Instituts für Bauingenieurwesen innerhalb der Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt. Unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Sundermeier liegt der Arbeitsschwerpunkt des Fachgebiets auf Fragestellungen aus dem Bereich des Bauprojekt- und Bauprozessmanagements – hier u.a. im Bereich integraler Planungsprozesse sowie des Kosten- und Risikomanagements über den Lebenszyklus von Bauobjekten. Weitere Forschungsfelder des Fachgebiets liegen in der Baumarktentwicklung, dem Branchenstrukturwandel und der Entwicklung innovativer Projektabwicklungsmodelle für komplexe Bauvorhaben. In diesem Kontext beschäftigt sich das Fachgebiet mit der disziplinübergreifenden Zusammenführung wirtschaftlicher bau- bzw. bauverfahrenstechnischer und rechtlicher Belange, die bei der Entwicklung und Durchführung komplexer Bauvorhaben ganz regelmäßig in enger Wechselwirkung stehen und eine gemeinsame Betrachtung erfordern. Innerhalb des Instituts für Bauingenieurwesen sowie innerhalb der Fakultät 'Planen Bauen Umwelt' besteht zudem eine enge fachliche Vernetzung zu den übrigen Fachgebieten, beispielsweise im Bereich der ingenieurtechnisch-baukonstruktiv ausgerichteten Disziplinen oder auch zum Bereich Bahnbetrieb und Infrastruktur.

Als Kooperationspartner aus der Praxis sowie mitfinanzierende Stelle trat die HBK Hanseatische BauKonzept GmbH & Co.KG (HBK) auf. Die HBK ist seit 1999 in Hamburg als Immobilienentwickler tätig und fokussiert sich auf den Mietwohnungsbau. Auch besondere Wohnformen wie Seniorenwohnungen und Wohnungen für Studierende oder Auszubildende werden durch die HBK realisiert.

1.2.5 Arbeitspakete und Meilensteine

Das Forschungsvorhaben wurde vor Beginn in fünf wesentliche Arbeitspakete aufgeteilt. Diese Arbeitspakete konnten auch während der Bearbeitung bestehen bleiben, sodass keine strukturellen Abweichungen vom vorgesehenen Vorgehen notwendig wurden. Da z.T. die Ergebnisse der Arbeitspakete in Abhängigkeit zueinander standen, wurden zeitgleiche Bearbeitungen notwendig. Beispielsweise wurde die Recherche nach Referenzprojekten bis kurz vor Ende des Forschungsvorhabens fortgeführt, um die Datengrundlage weiter zu verbessern.

Die Arbeitspakete gliederten sich wie folgt:

1. Grundlagenermittlung

Die Grundlagenermittlung enthielt eine Recherche und Auswertung des Forschungsstands als auch der Erkenntnisse aus der Baupraxis. Insbesondere realisierte und sich in Konzeption befindliche Projekte, mögliche Typologien und Konstruktionsarten wurden recherchiert. Zudem wurden die Projektgrundlagen des Pilotvorhabens evaluiert. An diesem Punkt ergab sich zudem eine Anpassung des Forschungsinhaltes. Es wurde nicht der zunächst präferierte Teilbereich ausgewählt, sondern der, welcher in der Bearbeitung durch unseren Praxispartner bereits am weitesten vorangetrieben war. Zudem wurde in dieser ersten Phase des Projektes eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsvoruntersuchung durchgeführt.

2. Auswertung rechtlicher Rahmenbedingungen

Im zweiten Arbeitspaket wurde die Analyse des Fachrechts und Baurechts auf Belange von Überbauungen von Bahntrassen durchgeführt. Beachtet wurde hierbei das Eisenbahnrecht. Somit konnten auch daraus resultierende bauliche Konsequenzen ermittelt werden.

3. Analyse bautechnischer Realisierbarkeit

Über die in der Grundlagenermittlung bestimmten Referenzprojekte konnten in einer technischen Voruntersuchung mögliche Konstruktionsvarianten ermittelt werden. Dabei wurden zudem die kritischen Einfluss- bzw. Erfolgsfaktoren identifiziert. Aus den technischen Voruntersuchungen wurden bautechnische Lösungsoptionen aufbereitet. Im nächsten Schritt konnten über Vergleichsstudien relevante Kostenkennwerte ermittelt werden.

4. Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung basiert maßgeblich auf dem Residualwertverfahren. Hierfür wurde sich über die Bauwerkskosten, die Kosten für Überbaurechte und eisenbahnspezifische Kosten einem möglichen Grundstückswert genähert. Diese Kosten wurden den realisierbaren Erträgen je Nutzungsvariante gegenübergestellt.

5. Entwicklung von projektspezifischen Beschaffungsstrategien

Bei der Überbauung von Bahntrassen handelt es sich um komplexe Bauvorhaben, bei welchen alternative Projektabwicklungsstrategien bzw. Beschaffungsstrategien einer effizienten Umsetzung zuträglich sein können. Aus diesem Grund wird ein Überblick über mögliche Modelle gegeben.

Drei maßgebende Meilensteine wurden zu Beginn des Forschungsvorhabens definiert. Meilenstein 1 wurde definiert durch den Abschluss der Bedarfsplanung. Die vorläufige Wirtschaftlichkeitsrechnung konnte eine grundsätzliche Realisierbarkeit der Bebauungsalternative bestätigen. Meilenstein 2 betraf die Machbarkeit durch rechtliche Rahmensetzungen. Hier konnte ebenfalls die grundsätzliche Machbarkeit bestätigt werden. Meilenstein 3 wurde definiert durch die bautechnische Machbarkeit. Auch diese konnte bestätigt werden.

2 Grundlagen zur Überbauung von Bahntrassen

Vergleichsweise großer Bedeutung kommt diesem Kapitel mit definitorischen und historischen Grundlagen bzgl. Überbauungen zu. Insbesondere im Kontext des Baus von Bahnanlagen variieren Begrifflichkeiten stark. Bereits an dieser Stelle ist auf die Abgrenzung zwischen Straßenbahn und Eisenbahn und den daraus entstehenden abweichenden technischen Anforderungen an Bahnanlagen und z.T. auch abweichenden Begrifflichkeiten hinzuweisen. Beispielhaft können die abweichenden Begrifflichkeiten am Begriff ‚Tunnel‘ belegt werden. Die DIN 1076 definiert Fachterminus im Kontext von Ingenieurbauwerken, dies vor allem in Bezug auf Straßen und Wegen. Insbesondere der zur Unterfahrung abzugrenzende Tunnel wird definiert durch ein dem Straßenverkehr dienendes Bauwerk, das in geschlossener Bauweise hergestellt wurde oder bei offener Bauweise länger als 80 m ist. Die EBA Tunnelrichtlinie (Richtlinie Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und Betrieb von Eisenbahntunneln) bestimmt ihren Geltungsbereich und damit die Definition von Tunneln im Sinne der Norm hingegen als Ingenieurbauwerke mit einer Länge von über 500 m. Zudem wird eine Abgrenzung zu langen Tunneln (1000 m bis 20.000 m) und sehr langen Tunneln (ab 20.000 m) vorgenommen. Die Richtlinie beschreibt dabei bauliche und betriebliche Sicherungsmaßnahmen um in Eisenbahntunneln die Selbstrettung sowie den Einsatz von Rettungsdiensten zu ermöglichen. Somit wird deutlich, dass für diese Durchführbarkeitsstudie zunächst ein einheitliches Begriffsverständnis geschaffen werden muss.

2.1 Begriffsabgrenzung im Kontext der Überbauung von Bahntrassen

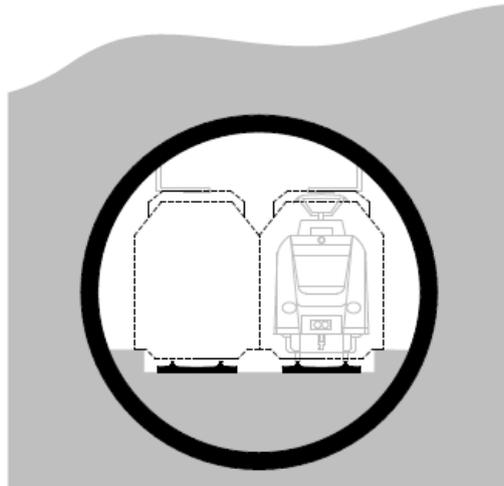
Einheitliche Begrifflichkeiten in Bezug auf Überbauungen haben sich bisher im deutschsprachigen Raum nicht durchgesetzt. Aus diesem Grund wird eine Abgrenzung zwischen den verschiedenen Trassen-Bebauungsverhältnissen vorgenommen. Es werden die Begriffsdefinitionen der Pilotstudie ‚Überbauung von Autobahnen und Eisenbahntrassen‘ 1976 zu Grunde gelegt und um diverse Teilbereiche erweitert und präzisiert.

2.1.1 Unterfahrungen

Eine Unterfahrung bezeichnet ein Ingenieurbauwerk, welches unter bebauten oder unbebauten Grundstücken errichtet ist, ohne dass während der Errichtung oberirdisch Einfluss auf Grundstück oder Bebauung genommen wurde. Z.T. müssen jedoch die Lasten der Bebauung durch eine neue Gründung abgeleitet werden.

Im Regelfall werden Unterfahrungen zwischen Verkehrsträger und Grundstückseigentümer mittels Gestattungsvertrag geregelt. Dieser Gestattungsvertrag koppelt das Recht zur Erstellung, der Unterhaltung und des Betriebs eines Tunnelbauwerks mittels einer in das Grundbuch eingetragenen Grunddienstbarkeit. Im Gestattungsvertrag wird meist eine einmalig gezahlte Entschädigung durch den Verkehrsträger an den Grundstückseigentümer vereinbart.

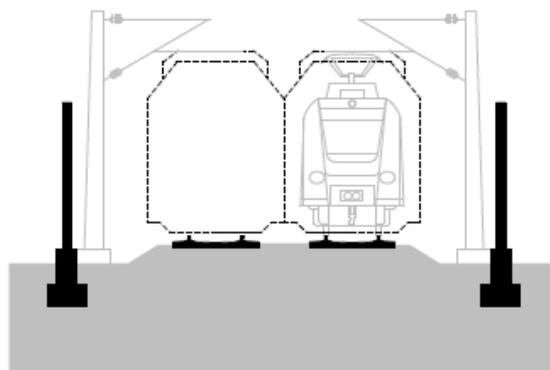
Im Fall, dass zwischen den Parteien kein Gestattungsvertrag geschlossen werden kann, ermöglicht bei Eisenbahn-Unterführungen der § 22 des AEG die Enteignung der entsprechend benötigten Grundstücke. Eine ähnliche Regelung besteht beim allgemeinen öffentlichen Straßenbau bzw. bei Straßen-Unterführungen. Der § 19 des Bundesfernstraßengesetzes (FStrG) bestimmt die Möglichkeit der Enteignung für Träger der Straßenbaulast der Bundesfernstraßen. Für Straßen, die nicht Bundesfernstraße sind, werden Regelungen zur Enteignung in den jeweiligen Landes Wege bzw. Straßen Gesetzgebung geregelt.

Abbildung 3: schematische Darstellung Unterfahrung¹¹

2.1.2 Abschirmung

Abschirmungen bezeichnen Schutzbauwerke oder Schutzvorrichtungen, welche Infrastrukturtrassen von Einwirkungen der Umwelt oder aber der Umwelt vor Einwirkungen der Verkehrsstrasse bewahren bzw. diese abmindern. Abschirmungen können wie folgt kategorisiert werden:

- a) Schutzvorrichtungen vor Massenbewegungsgefahren (Schutznetze, Schutzwände, Schutzgräben),
- b) Schallschutzvorrichtungen,
- c) Schutzvorrichtungen vor Feinstaub und Stickoxide (Mooswand, Grünstreifen)
- d) und Schutzvorrichtungen vor Windeintrag.

Abbildung 4: schematische Darstellung Abschirmung¹²

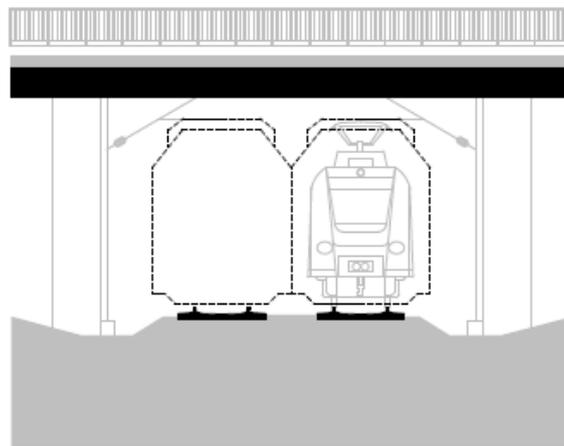
¹¹ eigene Darstellung

¹² eigene Darstellung

2.1.3 Überführung (Unterführung)

Über- und Unterführung stellen höhenungleiche Kreuzungen dar. Während das Bundesfernstraßengesetz beide Begrifflichkeiten beschreibt, wird sowohl im Allgemeinen Eisenbahn Gesetz als auch im Eisenbahnkreuzungsgesetz lediglich die Überführung als mögliche höhenungleiche Kreuzungsart dargestellt. Dabei ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass nach § 2 (1) EBKrG neu zu errichtende Kreuzungen zwischen Eisenbahnen und Straßen, welche aufgrund der Beschaffenheit der Fahrbahn geeignet sind und allgemeinen Kraftfahrzeugverkehr aufzunehmen, immer als Überführung herzustellen sind. Das EBKrG definiert dabei unter dem Begriff Straße neben den Kraftfahrzeugverkehr aufnehmenden Straßen auch Plätze und Wege.

Abbildung 5: schematische Darstellung Überführung¹³



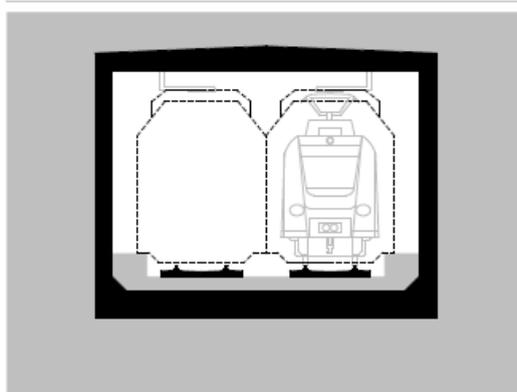
2.1.4 Deckelung (Deckel, Überdeckelung)

Die Ziele der Deckelung sind gleich der Abschirmung. Durch die vollständige Umbauung der Verkehrsstrasse werden zum einen Einflüsse der Umwelt auf die Verkehrsstrasse, zum anderen Einflüsse der Verkehrsstrasse auf die Umwelt verringert bzw. vollständig vermieden. Während eine Abschirmung überwiegend vertikal zur Verkehrsstrasse ausgebildet ist, spannt die Deckelung neben den vertikalen Konstruktionen eine horizontale Ebene über die gesamte Verkehrsstrasse.¹⁴

Die Abgrenzung zur Überführung besteht darin, dass während bei der Überführung die Kreuzung zweier Infrastrukturtrassen beschrieben ist, die Deckelung lediglich einer Schutzwirkung dient. Neben dem Primärziel der Schutzwirkung werden z.T. Ziele wie Schaffung von Freianlagen, Schaffung von Verbindungen von Stadtteilen oder aber Verdichtung der Innenstadt angeführt. Letzteres kann erreicht werden durch Umsiedlung von Freianlagen und Kleingärten auf den Deckel und Bebauung der freigewordenen Flächen.

¹³ eigene Darstellung

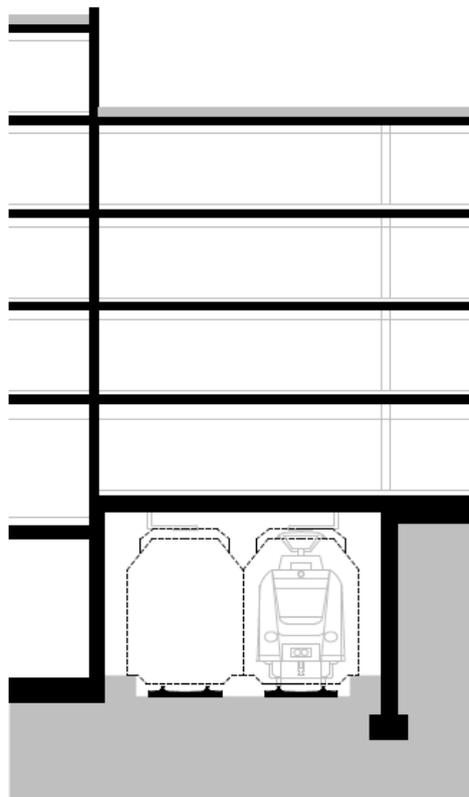
¹⁴ vgl. Heyde und Riepwe 1976, S. 4

Abbildung 6: schematische Darstellung Deckelung¹⁵

2.1.5 Überbauung

Eine Überbauung ist die Überlagerung von Infrastrukturtrassen mit Hochbau für die Wohn- oder Gewerbenutzung. Somit entsteht eine Überlagerung von Verkehrsnutzung und verkehrsfremden Nutzungen. Diese Nutzungsüberlagerung ist bisher im deutschen Baurecht nicht beschrieben.

Die Abgrenzung zur Deckelung besteht darin, dass über Teilen oder dem vollständigen Tunnelbauwerk, anstatt einer öffentlichen Freianlage oder Kleingärten Hochbauten ausgebildet werden.

Abbildung 7: schematische Darstellung Überbauung¹⁶

¹⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an Heyde und Riepwe 1976, S.4

¹⁶ eigene Darstellung in Anlehnung an Heyde und Riepwe 1976, S. 4

2.2 Kurzüberblick Historie Überbauung von Verkehrsinfrastruktur

Eine der wenigen wissenschaftlichen Abhandlungen, die sich ganzheitlich der Thematik Überbauung von Verkehrsinfrastruktur widmet wurde im Jahr 1976 vom Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen veröffentlicht. Bereits zu dieser Zeit wurden das „Zerschneiden“ von Stadtteilen, das Gewinnen von Bauland sowie positive ökologische Effekte als Hauptgrund der Untersuchung angegeben. Die Studie kommt zum Schluss, dass zum damaligen Zeitpunkt bis auf einen Piloten in Passau noch keine Überbauung von Verkehrsinfrastruktur im Bundesgebiet realisiert wurde. Als Gründe dafür, werden die folgenden angegeben:

- aufwendige Konstruktionen, verursacht durch die Forderung der Verkehrsträger nach einem Minimum an Beschränkung
- zum Zeitpunkt der Betrachtung eine zu geringe zugelassene GFZ um ein solches Vorhaben wirtschaftlich zu realisieren
- im Falle einer wirtschaftlichen Überbauung mit hoher Wohndichte, würde kein Bedarf für geschaffenen Wohnraum bestehen
- den Ausschluss der Überlagerung verschiedene Nutzungen im Bundesbaugesetz, so dass privatrechtliche Einigungen notwendig werden¹⁷

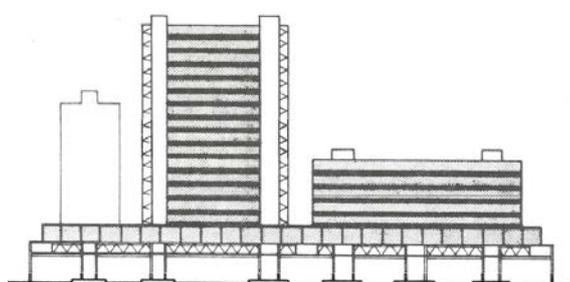
Während der erst genannte Grund durchaus im Jahr 2022 Bestand hat, sind die Gründe zwei bis vier heute nicht mehr zutreffend. Neben Novellierungen rechtlicher, insbesondere baurechtlicher, Sachverhalte ist ein gestiegener Bedarf an Wohnraum in Ballungsgebieten als Haupttreiber bei der erneuten Betrachtung der Thematik zu nennen. Somit wurde aus einem Realisierungshemmnis aus dem Jahr 1976, der zu geringen möglichen Bebauungsdichte für und dem Fehl an Nachfrage von Wohnraum, aus heutiger Sicht einer der stärksten Realisierungstreiber solch gearteter Bauprojekte.

Eine weitere Studie aus dem Jahr 1974 die im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn-Bad Godesberg erstellt wurde untersucht den Sachverhalt in einer eher konstruktiv, wirtschaftlich geprägten Sicht. Auch hier wird ein noch heute treffendes Fazit gezogen. Während der Errichtung der Überbauung darf der Bahnbetrieb nicht wesentlich beeinträchtigt werden, da sonst die Baukosten der Überbauung zu stark beeinflusst würden. Aus diesem Grund wurden in dieser Studie die Realisierung aus Betonfertigteile sowie ein Stahlfachwerkkonstruktion zur Realisierung vorgeschlagen.¹⁸

Abbildung 8: Überbauung eines Hochbahnviadukts¹⁹



Abbildung 9: Überbauung in leichter Bauweise über der Verkehrsebene²⁰



¹⁷ vgl. Heyde und Riepwe 1976, S. Vorwort

¹⁸ vgl. Gesellschaft für wirtschaftliche Bautechnik mbH 1972, S. 123 f.

¹⁹ übernommen aus Heyde und Riepwe 1976, S. 0

²⁰ übernommen aus Gesellschaft für wirtschaftliche Bautechnik mbH 1972, S. 101.

2.3 Typologien von Überbauungen

Grundlegend können Überbauungen, welche durch private Vorhabenträger realisiert werden, unter Betrachtung der Grundstücksverhältnisse bzw. der verfügbaren Konstruktionsflächen in drei Typen aufgeteilt werden. Diese Typen sind zunächst unabhängig von der Tragkonstruktion und haben lediglich Einfluss auf die bestehenden Grundstücksverhältnisse. Folgend werden die drei Typen näher erläutert:

Grundstücksverhältnis-Typus 1:

keine Einschränkung durch Umgebungsbebauung – Bahnanlage auf ‚grüner Wiese‘

In offener Bauweise kann eine Abschirmung, eine Teil-Einhausung, ein Deckel oder eine Überbauung errichtet werden. Die angrenzenden Grundstücke/Nachbargrundstücke sind keine Bahnanlagen und somit nicht gewidmete Flächen. Der Ankauf sowie die Nutzung dieser Grundstücke ist im Vergleich zur Nutzung von gewidmeten Flächen vereinfacht. Bei mehreren zu überspannenden Trassen kann im Gleis-Zwischenraum, insofern der Lichtraum des jeweiligen Schienenfahrzeugs dies erlaubt, Stützen eingefügt werden. Fachrecht wird jedoch unabhängig von der Notwendigkeit von Stützen im Gleiszwischenraum tangiert, da bereits eine Abschirmung Einfluss auf die Bahnanlage bspw. auf die Sichtverhältnisse haben kann.

Grundstücksverhältnis-Typus 2:

bestehender Trog - angrenzende Grundstücke frei

Gleich dem Typus 1 stehen die angrenzenden Grundstücke zur Bahnanlage für die Errichtung von Bauwerken zur Verfügung. Die Bahntrasse befindet sich jedoch in Troglage. Somit besteht die Bahnanlage aus Bahntrasse und Böschungen. In offener Bauweise kann ein Deckel oder eine Überbauung errichtet werden. Da der bestehende Trog den Lichtraum vorgibt, stellt sich die Frage ob dieser nach einer Deckelung oder Überbauung den Anforderungen aus der aktuellen Normung insbesondere den Anforderungen an Entfluchtung sowie Brandschutz aber auch bahnbetrieblichen Vorgaben wie Sichtverhältnissen standhält.

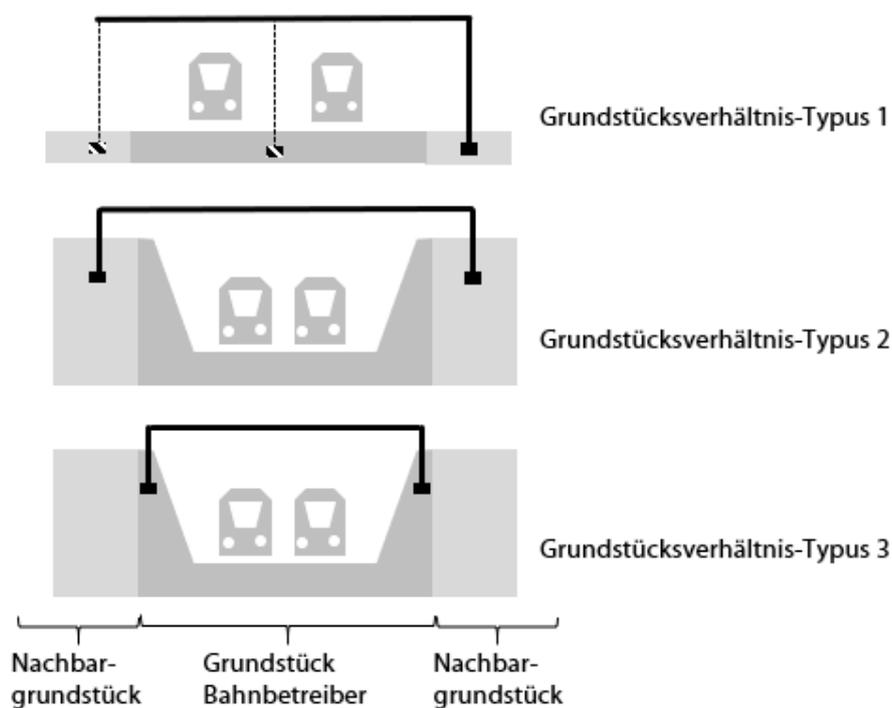
Der Ankauf sowie die Nutzung der angrenzenden Grundstücke ist im Vergleich zur Nutzung von gewidmeten Flächen ebenfalls vereinfacht. Jedoch sind ggf. beengte Verhältnisse bspw. während der Errichtung zu berücksichtigen.

Grundstücksverhältnis-Typus 3:

Bestehender Trog – Eingriff in die Bahnanlage notwendig

Entgegen dem Typus 1 und 2 stehen die angrenzenden Grundstücke der Bahnanlage nicht zur Verfügung oder die Errichtung einer Gründung ist technisch nicht möglich. Teile der Bahnanlage, bspw. Böschungen, müssen für die Gründung der Überbauung genutzt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die entsprechenden Teile der Bahnanlage bspw. die Böschungen als nicht für Bahnbetrieb notwendig eingestuft werden. Je nach Situation des Einzelfalls, kommen die im Kapitel Analyse Fachrecht insbesondere Eisenbahnrecht erläuterten Möglichkeiten der Freistellung der Böschungsflächen in Frage.

Abbildung 10: Typologien Gleisüberbauung²¹



Zwischen den aufgezeigten Typen sind auch Misch-Typen möglich. Bspw. kann im Entwicklungsgebiet nur einseitig eine Böschung vorliegen (Halb-Troglagen) oder einseitig sind nicht gewidmete Grundstücke zur Bebauung verfügbar.

²¹ eigene Darstellung

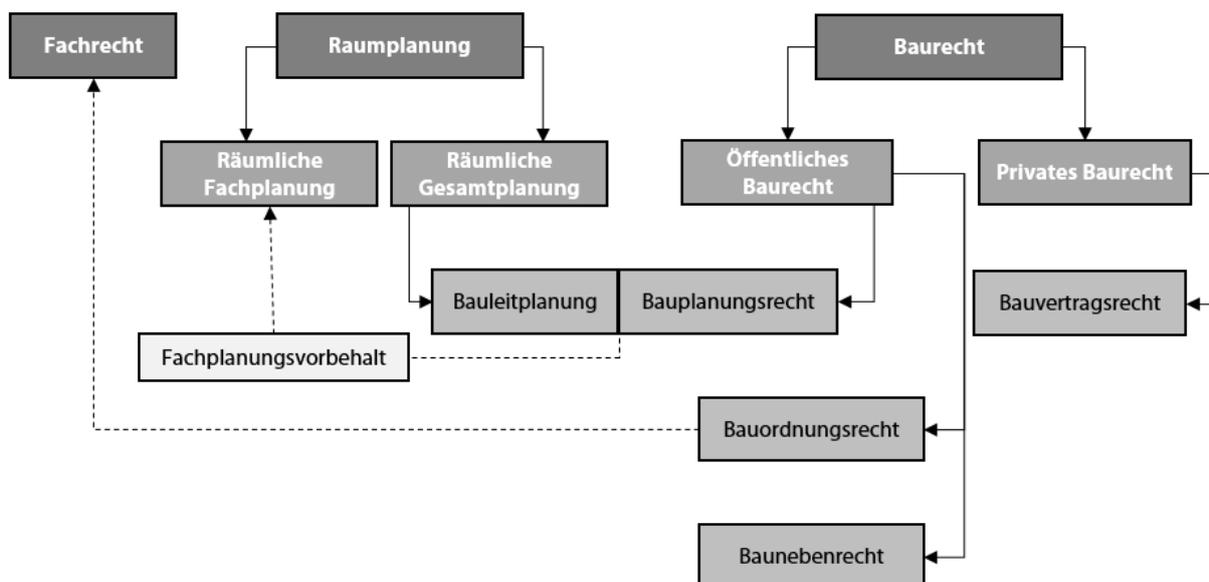
3 Auswertung rechtlicher Rahmenbedingungen

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen und damit die Ausführungen dieses Kapitels basieren auf einer ingenieurtechnischen Betrachtung der Thematik. Eine eigenständige juristische Beurteilung ist nicht im Forschungskonzept vorgesehen. Aus diesem Grund sind die Ausführungen nicht als Rechtsberatung anzusehen.

Die Besonderheit bei der Überbauung von aktiven Trassen mit bahnfremd genutzten Bauwerken ist, dass es zu einer Kollision zwischen dem Bauplanungsrecht und der Raumplanung²² im Sinne des § 38 BauGB kommt. Zudem ist vor bauordnungsrechtlichen Belangen das Fachrecht zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind besondere rechtliche Rahmenbedingungen bei Gleisüberbauungsprojekten zu beachten. Folgend werden nach einem Kurzüberblick über die Regelungsbereiche des Bauplanungs- und Bauordnungsrecht, inklusive der für Gleisüberbauung wesentlichen Gestaltungselemente, auf Besonderheiten der Raumplanung sowie des Eisenbahnrechts eingegangen.

In der folgenden Abbildung sind die Rechtsfelder Baurecht, Raumplanung sowie Fachrecht dargestellt. Während der Standort und die Umsetzung von regulären Bauvorhaben hauptsächlich durch das Baurecht, genauer durch das Bauplanungsrecht und das Bauordnungsrecht, bestimmt werden sind bei Überbauungen Vorgaben und Verwaltungsverfahren aus dem Rechtsfeld Raumplanung sowie aus dem Fachrecht zu berücksichtigen.

Abbildung 11: Gliederung deutsches Baurecht, Raumplanung und Fachrecht²³



²² Dieser Arbeit wird der Begriff der ‚Fachplanung‘ zugrunde gelegt, der die Planung, Zulassung und Durchführung von Infrastrukturprojekten betrifft.

²³ eigene Darstellung

3.1 Bauplanungs- und Bauordnungsrecht

Der Geltungsbereich des Bauplanungsrechts beschränkt sich auf die Errichtung, Änderung und Nutzungsänderung von baulichen Anlagen sowie der Aufschüttung, Abgrabung, Ausschachtung und Ablagerung (§ 29 BauGB). Somit unterliegen zunächst alle Baumaßnahmen diesem Rechtsfeld. Im Bauplanungsrecht wird die flächenbezogene Machbarkeit von Vorhaben bestimmt.

Aus dem § 38 BauGB ergibt sich jedoch, dass grundsätzlich für Vorhaben von überörtlicher Bedeutung die §§ 29 bis 37 BauGB bei Beteiligung der entsprechenden Gemeinde und Berücksichtigung städtebaulicher Vorgaben nicht anzuwenden sind und somit die kommunale Bauleitplanung nachrangig zur räumlichen Fachplanung gestellt wird. In diesem Zusammenhang wird auch vom Fachplanungsvorbehalt gesprochen.

Diesen Grundsatz schränkt die aktuell gültige Rechtslage, welche durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 16.12.1988 - Az.: 4 C 48.86 und seit 2005 durch den § 23 AEG, geschaffen wurde, ein. Das Urteil bestätigt zum ersten Mal eine mögliche Überlagerung von Bauleitplanung und räumlicher Fachplanung. Somit können Flächen, die nach § 18 AEG sowie § 38 BauGB unter den Fachplanungsvorbehalt fallen, trotzdem einer städtebaulichen Nutzung zugeführt werden.²⁴ Weitere Ausführungen zu diesem Sonderfall finden sich im Kapitel Revitalisierung von Gleisanlagen und Freistellung.

Das Bauordnungsrecht wird in Landesbauordnungen geregelt und steht somit wesentlich im Regelungsbereich der Bundesländer. Ziele des Bauordnungsrechts sind u.a. die Gefahrenabwehr, die Einhaltung öffentlicher rechtlicher Vorschriften und die Gewährleistung sozialer Mindeststandards. Für die Plangenehmigung/Baugenehmigung zuständig sind die Bauaufsichtsbehörden bzw. Bauämter der Landkreise und kreisfreien Städte. Im Bauordnungsrecht ist die objektbezogene Machbarkeit von Vorhaben bestimmt.

Die Musterbauordnung (MBO), welche Standards vorgibt und der Angleichung der 16 Landesbauordnungen dient, regelt im § 1 Abs. 1 MBO den Anwendungsbereich. Der § 1 Abs 2 MBO legt Ausnahmen vom Abs. 1 MBO fest und schließt im Satz 1 insbesondere Anlagen des öffentlichen Verkehrs einschließlich Zubehör, Nebenanlagen und Nebenbetrieben aus. Explizit werden jedoch Gebäude von dieser Regelung ausgenommen. Verkehrsfremde Nutzungen werden somit von der Ausnahme nicht erfasst und unterfallen dem Geltungsbereich der MBO.

Die Schwierigkeit der Abgrenzung der Zuständigkeiten der beteiligten Behörden wird deutlich. Dies ist bspw. auch bei der Umnutzung von Bahnhofsgebäuden der Fall und kann Vorhaben deutlich verzögern. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass bei dem Eingriff in die Schieneninfrastruktur, welchen eine Gleisüberbauung in der Regel mit sich führt, die plangenehmigende Behörde das Eisenbahnbundesamt ist. Das EBA hat jedoch die Möglichkeiten einen Erlass zur Mischnutzung auszusprechen oder ein Freistellungsverfahren durchzuführen. Der Mischnutzungserlass beschreibt Möglichkeiten der Übertragung der Planungshoheit von bahnfremd genutzten Bahnhofsempfangsgebäuden an die Untere Bauaufsichtsbehörde, auch wenn keine Entwidmung möglich ist. Bei dem Erlass der Mischnutzung ist wesentlich, dass die bahnfremde Nutzung den Bahnbetrieb nicht negativ beeinflusst. Im Genehmigungsprozess wird in diesem Fall das EBA lediglich als Träger öffentlicher Belange durch die Bauaufsichtsbehörde bzw. Bauämter herangezogen. Der aus dem Jahr 2008 stammende Mischnutzungserlass ist keine gesetzliche Grundlage, sondern als Arbeitsanweisung zu verstehen und wird aktuell vom EBA überarbeitet.²⁵

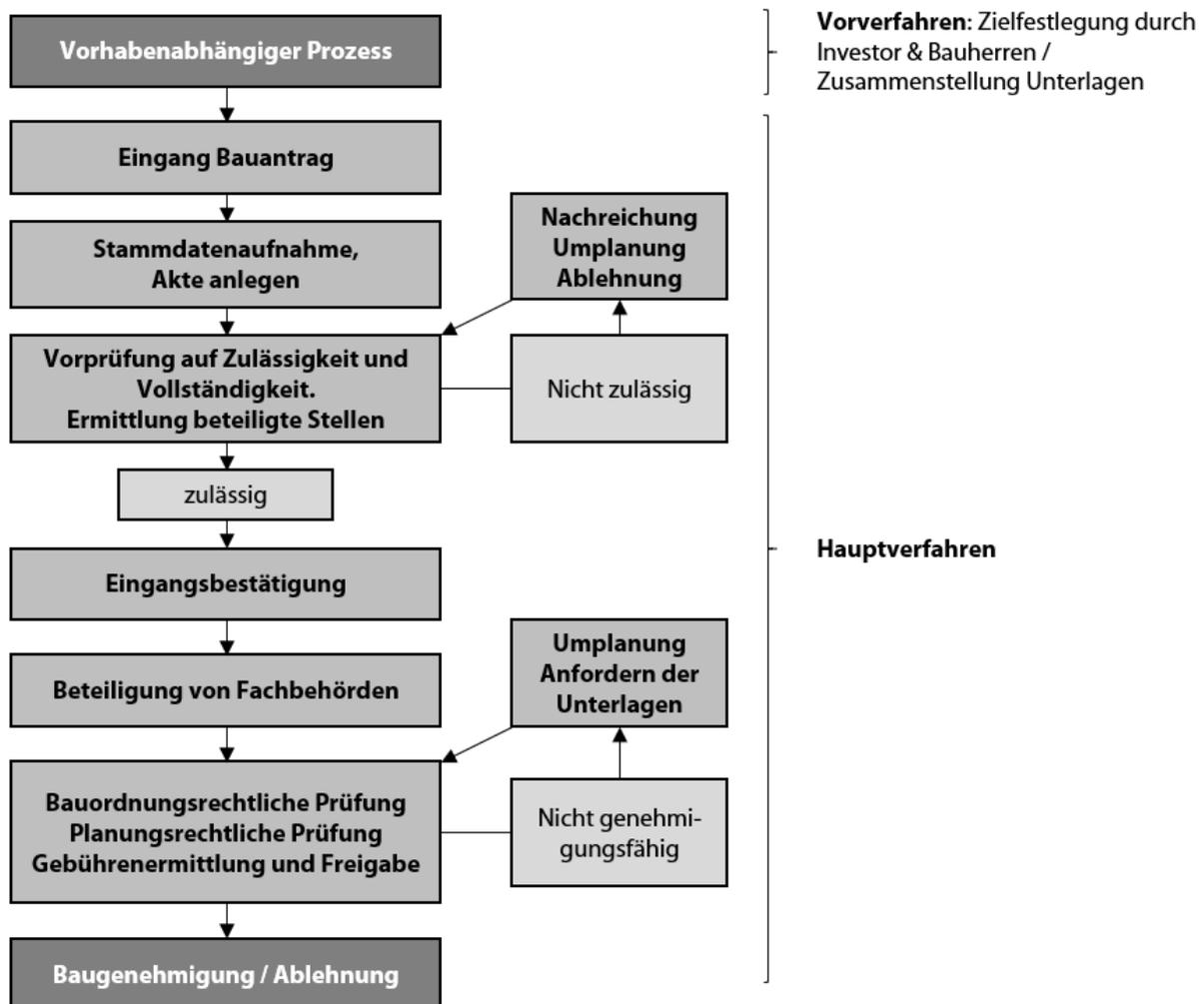
²⁴ vgl. BVerwG, Urteil vom 16.12.1988 - Az.: 4 C 48.86

²⁵ vgl. VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg GmbH o.J. o.S.

3.1.1 Baugenehmigungsverfahren

Beim Baugenehmigungsprozess handelt es sich um ein Verfahren des Bauordnungsrechts. Durch die Prozesshoheit, die bei den unteren Baubehörden liegt, unterscheidet sich der tatsächliche Ablauf des Baugenehmigungsprozesses z.T. stark. Anhand eines Entitätsbeziehungsdiagramms kann sich dem Regelablauf jedoch genähert werden (siehe folgende Abbildung).

Abbildung 12: Phasen des Baugenehmigungsverfahrens²⁶



Die Dauer des Verfahrens ist abhängig von den Vorgaben der jeweiligen Landesbauordnungen sowie der Anzahl der beteiligten Stellen und Behörden. Beispielsweise legt die Bauordnung Berlin im § 69 BauOBln fest, dass die Bauaufsichtsbehörde eine zweiwöchige Prüffrist auf Vollständigkeit des Bauantrags in Anspruch nehmen darf. Eine Entscheidung muss dem folgend innerhalb einer Frist von einem Monat, beginnend mit der Vorlage aller notwendigen Stellungnahmen und Nachweise, getroffen werden. Die Prüffrist der Stellen und Behörden entspricht i.d.R. ebenfalls vier Wochen. Somit ergibt sich eine Genehmigungszeit bei der Beteiligung von fünf Stellen und Behörden von 26 Wochen. Gleiche Regelungen trifft die Bauordnung Hamburg im § 70 Abs. 2 i. V. m. Abs. 6 HBauO.

²⁶ eigene Darstellung in Anlehnung an Icks, Annette/Richter, Michael 2001.

3.1.2 Grunddienstbarkeit als Regelungsmöglichkeit

Die Einsichtnahme in Grundbücher von realisierten Gleisüberbauungen belegte, dass die Sicherung des Rechts der Überbauung und Nutzung mittels Grunddienstbarkeit auch bei Infrastrukturtrassen möglich ist. Unter Grunddienstbarkeiten sind nach § 1018 BGB dingliche Rechte eines Eigentümers eines Grundstücks zur unmittelbaren Nutzung eines anderen Grundstücks in einzelnen Beziehungen gemeint. Darüber hinaus können gewisse Handlungen ausgeschlossen werden oder die Ausübung von Rechten ausgeschlossen sein (§ 1018 BGB).

Die konkreten Formulierungen bzw. Ausgestaltung solcher Belastungen bei realisierten Gleisüberbauungen variierten jedoch. Als Beispiel zu nennen sind hier:

- Grunddienstbarkeit Nutzung des Luftraums
- Grunddienstbarkeit zum Haben eines Gebäudes
- Grunddienstbarkeit (Überbaurecht)
- Grunddienstbarkeit (Dulden wesentlicher Immissionen)

Dabei ist darauf hinzuweisen, dass bei Überbauungen nicht nur das Infrastrukturgrundstück, sondern auch das angrenzende Grundstück regelmäßig belastet sind. Folgend werden beispielhaft Belastungen/Formulierungen aus den Grundbüchern aufgelistet:

- Eigentümer des Infrastrukturgrundstücks ist berechtigt Fahrleitungsanlagen zu errichten und zu unterhalten
- Maßnahmen sind zu unterlassen, die den Bestand der Fahrleitungsanlagen gefährden
- Ausübung des Lichtrechts wird ausgeschlossen
- Grunddienstbarkeit Pflicht zur Duldung von Immissionen
- Verzicht von Überbaurenten
- Grunddienstbarkeit (Dulden wesentlicher Immissionen)

3.1.3 beschränkte persönliche Dienstbarkeit als Regelungsmöglichkeit

Die Einsichten in die Grundbücher belegten ebenfalls, dass die Regelungsmöglichkeit der Rechtsverhältnisse durch eine beschränkte persönliche Dienstbarkeit besteht. Beschränkte persönliche Dienstbarkeiten sind grundsätzlich nicht übertragbare dingliche Rechte von natürlichen oder juristischen Personen zur unmittelbaren Nutzung eines Grundstücks in einzelnen Beziehungen oder sonstige grunddienstbarkeitsähnliche Befugnisse (§ 1090 BGB).

So ist bspw. die Regelung zur Herstellung, Unterhaltung und zum Betrieb einer Bahn zugunsten eines Bahnbetreibers möglich. Voraussetzung dafür ist, dass kein gewidmetes Grundstück vorhanden ist und erst im Rahmen der Erstellung der Überbauung oder im Anschluss der Erstellung der Überbauung eine Bahntrasse errichtet wird. Auf diese Weise wird keine gewidmete Bahntrasse geschaffen, sondern der Bahnbetreiber sichert sich lediglich das Recht, das Grundstück der Überbauung zu nutzen.

Grundsätzlich vorstellbar ist auch die Belastung eines gewidmeten Grundstücks mit einer beschränkten persönlichen Dienstbarkeit. So können die Rechte zur Erstellung und Nutzung eines Gebäudes (Überbauung) an eine juristische oder natürliche Person übertragen werden, ohne dass dafür ein angrenzendes Grundstück notwendig ist. Für diese Gestaltungsmöglichkeit konnte in den eingesehenen Grundbüchern jedoch kein Nachweis gefunden werden.

3.2 Fachrecht insbesondere Eisenbahnrecht

Bei der Überbauung von Verkehrsinfrastruktur – dabei ist unwesentlich ob es sich um einen öffentlich gewidmeten Weg, eine Straße, einen Platz oder aber eine gewidmete Bahnanlage handelt – kollidiert die kommunale Bauleitplanung (Bauplanungsrecht) mit der Raumplanung und das Bauordnungsrecht mit dem Fachrecht. Planungshoheit über gewidmete Flächen, und damit die Prüfung der Einhaltung fachrechtlicher Anforderungen, haben immer Fachdienststellen des Bundes oder die der Länder, Gebietskörperschaften und sonstige rechtliche Körperschaften.

Grundlegend erstreckt sich die Fachplanung über die Krankenhausbedarfsplanung, die Abfallwirtschaftsplanung, die wasserwirtschaftlichen Rahmenpläne, die Energieversorgungsplanung und der Verkehrsplanung. Neben den für die verschiedenen Fachplanungsbereiche geschaffenen Rechtsgrundlagen, wie dem Bundesfernstraßengesetz oder dem Allgemeinen Eisenbahngesetz, bindet der § 4 Abs. 1 des Raumordnungsgesetzes (ROG) die fachgesetzlichen Anordnungen an die Ziele der Raumordnung.²⁷

3.2.1 Planfeststellungsverfahren und Plangenehmigung

Unter ‚Planfeststellungsverfahren‘ versteht man ein besonderes Verwaltungsverfahren, welches in gesetzlich angeordneten Fällen die Zulässigkeit von Infrastrukturmaßnahmen oder anderer raumbedeutsamer Vorhaben bestimmt. Die §§ 72-78 des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) gelten für das Planfeststellungsverfahren nach Maßgabe des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG). Dabei wird die Zulässigkeit des Vorhabens einschließlich der benötigten Folgemaßnahmen an der Gleisanlage im Hinblick auf alle berührten öffentlichen Belange festgestellt. Die öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Vorhabenträger und den durch den Plan Betroffenen werden durch die Planfeststellung rechtsgestaltend geregelt (§ 75 VwVfG).²⁸ Das Vorhaben einer Gleisüberbauung, insofern dieses Eisenbahntrassen betrifft, wird i.d.R. unter den § 18 AEG fallen, welche den Bau oder eine Änderung von Betriebsanlagen einer Eisenbahn, einschließlich der Bahnstromfernleitung, an eine Planfeststellung knüpft.²⁹ Inhalt und Aufbau der für die Planfeststellung notwendigen Unterlagen bietet die Planfeststellungsrichtlinien (PF-Richtlinie)³⁰ des EBA vom August 2022.

In Abhängigkeit des Bahnbetreibers, des Vorhabenträgers sowie der Beeinflussung Dritter ist es denkbar, dass bei Gleisüberbauungen eine Plangenehmigung nach § 74 Abs.6 VwVfG in Verbindung mit § 18 b AEG in Frage kommt. Dies würde gegenüber einer Planfeststellung das Planrechtsverfahren beschleunigen und vereinfachen. Voraussetzungen für eine Plangenehmigung sind, dass Rechte Dritter nicht oder nur unwesentlich berührt sind bzw. Beteiligte ein schriftliches Einverständnis der Beeinträchtigung erklären. Zudem muss das Benehmen mit den Trägern öffentlicher Belange hergestellt sein und andere Rechtsvorschriften dürfen keine Öffentlichkeitsbeteiligung vorschreiben (§ 74 Abs.6 VwVfG). Beachtet werden muss jedoch, dass eine Planfeststellung dann nicht in Frage kommt, wenn eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich ist.³¹

²⁷ vgl. Kraft 1999, S.930

²⁸ vgl. Clausen in Spang 2016. S. 248

²⁹ in Bezug auf Straßeninfrastruktur vgl. hierzu auch Clausen in Spang 2016. S. 248 f.

³⁰ Richtlinien über den Erlass von Planrechtsentscheidungen für Betriebsanlagen der Eisenbahnen des Bundes nach § 18 Abs.1 AEG sowie der Magnetschwebebahnen nach § 1 (MBPIG)

³¹ siehe hierzu auch Clausen in Spang 2016 S.248 ff.

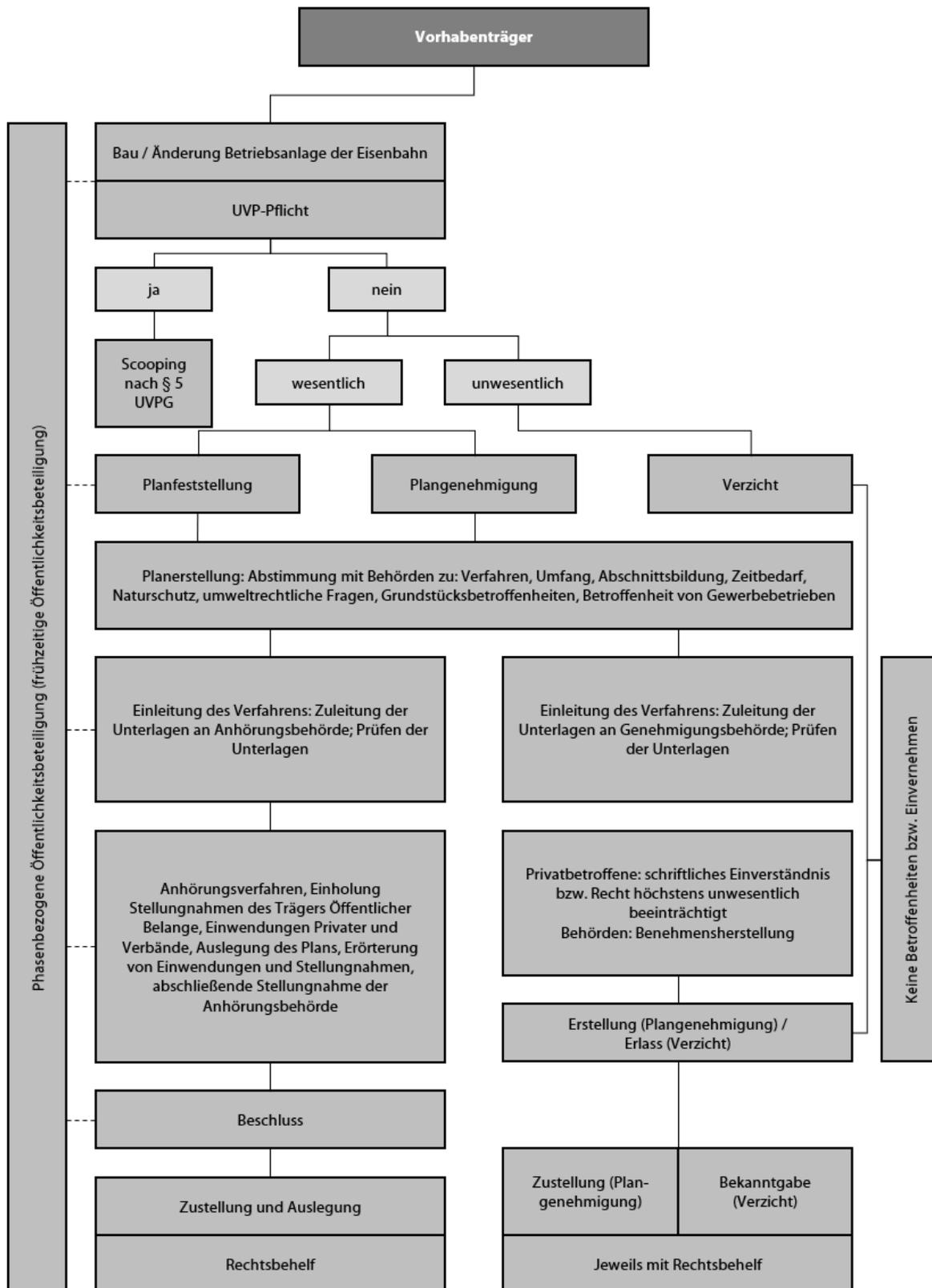
Es ist davon auszugehen, dass ein Entfallen von Planfeststellung und Plangenehmigung, ein sogenannter Planverzicht, bei Gleisüberbauungen nicht möglich sein wird. Ein Planverzicht kommt nach dem § 74 Abs. 7 VwVfG nur in Frage, wenn die Baumaßnahme von unwesentlicher Bedeutung ist. Dies ist der Fall, wenn öffentliche Belange nicht berührt sind oder behördlich erforderliche Entscheidungen vorliegen und dem Plan nicht entgegenstehen. Auch Rechte anderer Beteiligten dürfen nicht beeinflusst werden bzw. müssen in entsprechenden Vereinbarungen mit selbigen geregelt sein.³² Bei Gleisüberbauungen wird dies i.d.R. nicht der Fall sein, da sowohl im Bereich Eingriff in die Schieneninfrastruktur als auch bei großvolumigen Hochbauvorhaben eine Umweltverträglichkeitsprüfung nach der Anlage 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchzuführen ist und somit öffentliche Belange berührt werden.³³

In der folgenden Abbildung werden die Verfahrensarten der räumlichen Fachplanung: Planfeststellung, Plangenehmigung und Planverzicht in ihren Regelabläufen dargestellt. Es gibt keine festgelegten Dauern für die Verfahrensarten, da je nach Umfang des Projektes diese stark variieren. Bei Planfeststellungsverfahren kann jedoch überschlägig von einem Zeitraum von 3 Jahren und bei Plangenehmigung von 1 bis 2 Jahren gerechnet werden.

³² vgl. Clausen in Spang 2016 S. 249 f.

³³ ebd.

Abbildung 13: Phasen des fachplanungsrechtlichen Genehmigungsverfahrens³⁴



³⁴ übernommen aus Clausen aus Spang 2016 S.254

3.2.2 Revitalisierung von Gleisanlagen und Freistellung

Durch die Vielzahl an Fragestellungen, die sich aus der Thematik der Freistellung von Bahnbetriebszwecken und der Überlagerung von kommunaler Bauleitplanung und Fachplanung ergeben, hat das EBA im Jahr 2005 die Präsidialverfügung Pr. 2320 Paw 2005 (Freistellung) inkl. diverser sich regelmäßig aktualisierender Anlagen geschaffen.

Die Freistellung von Bahnbetriebszwecken und somit die Eröffnung für bahnbetriebsfremde Nutzungen wird im § 23 Abs. 1 AEG i. V. m. § 3 Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 2 S. 2 BEVVG i. V. m. § 18 AEG geregelt und bestimmt das EBA als Planfeststellungsbehörde für Eisenbahnen des Bundes.³⁵

Folgend der § 23 Abs. 1 AEG Freistellung von Bahnbetriebszwecken:

(1) Die zuständige Planfeststellungsbehörde stellt für Grundstücke, die Betriebsanlage einer Eisenbahn sind oder auf denen sich Betriebsanlagen einer Eisenbahn befinden, auf Antrag des Eisenbahninfrastrukturunternehmens, des Eigentümers des Grundstücks, der Gemeinde, auf deren Gebiet sich das Grundstück befindet, oder des Trägers der Straßenbaulast einer öffentlichen Straße, der diese Grundstücke für Zwecke des Straßenbaus zu nutzen beabsichtigt, die Freistellung von den Bahnbetriebszwecken fest, wenn kein Verkehrsbedürfnis mehr besteht und langfristig eine Nutzung der Infrastruktur im Rahmen der Zweckbestimmung nicht mehr zu erwarten ist. Satz 1 gilt auch für Grundstücke, auf denen sich keine Betriebsanlage mehr befindet. Befindet sich auf dem Grundstück eine Betriebsanlage, für deren dauerhafte Betriebseinstellung eine Stilllegung nach § 11 zu erwirken ist, so kann die Freistellung von Eisenbahnbetriebszwecken erst nach Eintritt der Bestandskraft der Stilllegungsentscheidung erfolgen. Für die Freistellungsentscheidung ist die vollständige oder teilweise Beseitigung von nicht betriebsnotwendigen Eisenbahnanlagen keine Voraussetzung. Mit der Freistellungsentscheidung endet die eisenbahnrechtliche Fachplanungshoheit.

Aus § 23 Abs. 1 AEG wird deutlich, dass die Beantragung der Freistellung beim EBA lediglich durch das Eisenbahninfrastrukturunternehmen, den Grundstückseigentümer oder die Gemeinde, auf deren Gebiet sich das Grundstück befindet, durchgeführt werden kann. Grundsätzlich kann der Antrag auf Freistellung dabei formlos gestellt werden. Die EBA ‚Checkliste für Anträge auf Freistellung von Bahnbetriebszwecken‘ erläutert die beizubringenden Unterlagen sowie weitere notwendige Angaben. Im Verfahren ist es notwendig, ein Beteiligungsverfahren im Bundesanzeiger durchzuführen und im Vorfeld die Freistellbarkeit/Entbehrlichkeit mit dem Bahnbetreiber zu klären. Ist die freizustellende Fläche weiterhin Betriebsanlage der Eisenbahn, so ist eine Freistellung nicht möglich. Ist das Freistellungsverfahren erfolgreich, endet die Eigenschaft als Betriebsanlage und der damit verbundene Fachplanungsvorbehalt. Eine Übergabe der Planungshoheit an die Kommune erfolgt. Das EBA erhebt für seine Amtshandlungen Gebühren und Auslagen.

Neben dem regulären Freistellungsverfahren kann eine Freistellungsentscheidung auch im Rahmen eines Verfahrens nach § 18 AEG getroffen werden. Eine erforderliche Änderung der Betriebsanlage ist dabei Voraussetzung.³⁶

³⁵ vgl. Präsident Eisenbahn-Bundesamt 2005, S.3

³⁶ vgl. Eisenbahn-Bundesamt Bonn - Referat 51 10/2018, S.2ff

Bei Flächen, welche noch geringfügigen eisenbahnbetrieblichen Nutzungen unterliegen, kann das Verfahren zur Freistellung nicht durchgeführt werden. Für diese Flächen bietet die geschaffene Rechtslage durch das Urteil des Bundesverwaltungsgerichts vom 16.12.1988 - Az.: 4 C 48.86 jedoch die Möglichkeit einer Überlagerung. Somit können Flächen, die unter den Flächenvorbehalt fallen, städtebaulich genutzt werden. Gleichzeitig weist das EBA im ‚Leitfaden zum Umgang mit Flächen unter Fachplanungsvorbehalt‘ darauf hin, dass eine solche Festsetzung von der ursprünglichen Zweckbindung und damit dem Einzelfall abhängig ist. Weiterhin wird ein planungsrechtliches Zulassungsverfahren (§ 18 AEG) notwendig, wenn bauliche Änderungen der bahntechnischen Anlagen notwendig sind.³⁷

Einschränkungen der Überlagerungsmöglichkeit werden zudem durch die folgenden Grundsätze bestimmt:

- Eine städtebauliche Nutzung ist nur möglich, wenn keine Gefährdung der Sicherheit des Bahnverkehrs zu erwarten ist.
- Das Fachplanungsrechts behält unabhängig des Eigentümers des Grundstücks bestand.

Weitere Ausführungen bzgl. der Rückführung von gewidmeten Flächen in die Planungshoheit von Gemeinden und dem theoretischen Konstrukt einer faktischen Enteignung können dem Bericht des Wissenschaftlichen Dienstes des Deutschen Bundestag WD 5 - 3000 – 101/18 entnommen werden.

3.2.3 wesentliche Normen, Verordnungen und Leitfäden

Grundlegend zu unterscheiden sind Betrieb und Bau von Bahnanlagen, Straßenbahnen und Eisenbahnen. Straßenbahnen sind nach der Definition des § 4 Abs 1 Personenbeförderungsgesetz (PBefG) Bahnen, die den Verkehrsraum öffentlicher Straßen oder eigene Bahnkörper nutzen und sich den Eigenarten des Straßenverkehrs anpassen. Nach § 4 Abs 2 PBefG gelten außerdem Bahnen als Straßenbahn, die als Hoch- oder Untergrundbahn, Schwebbahn oder sonstige Bahnen, die überwiegend der Beförderung von Personen dienen, eingestuft werden. Die Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BOStrab) regelt auf Grundlage dieses Gesetzes den Bau und Betrieb der benannten Bahnen.

Eisenbahnen³⁸ können über die § 1 Abs 2 i.V.m. § 2 Abs 3 AEG definiert werden. Dementsprechend sind Eisenbahnen Bahnen, die Güter oder Personen befördern und keine Magnetschwebbahnen, Straßenbahnen, Bergbahnen oder sonstige bauartbesondere Bahnen sind. Die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) regelt für regelspurige öffentliche Eisenbahnen Bau, Betrieb und Benutzung der Bahnanlage.

Grundlegende Anforderungen an europäische Bahnsysteme werden in den Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) festgelegt, so beispielhaft Anforderungen an Spurbreiten oder die Sicherheit in Tunneln. Die europäische Richtlinie TSI SRT, welche seit 01.01.2015 in Deutschland in Kraft ist und am 16.06.2019 letztmalig geändert wurde, bestimmt Maßnahmen, die der Schaffung von Sicherheit in Eisenbahntunneln dienen. Der Geltungsbereich der Richtlinie beschränkt sich nach Artikel 2.4 Absatz a auf Tunnel mit einer Länge von mindestens 100 m. Im Artikel 4.2.1. TSI SRT sind technische Spezifikationen des Teilsystems Infrastruktur festgelegt; so bspw. Anforderungen an den Brandwiderstand, Brandmeldeanlagen und Fluchtwege sowie Kommunikationseinrichtung und Beleuchtung.

³⁷ vgl. Eisenbahn-Bundesamt Bonn - Referat 51 10/2018, S.3f.

³⁸ Abweichend zur Begriffsbestimmung ‚Eisenbahn‘ des AEG §1 Abs 1 = öffentliche Einrichtungen oder privatrechtliche Unternehmen, die den Eisenbahnverkehrsdienste erbringen oder eine Eisenbahninfrastruktur betreiben.

Weiterführende Regelungen an den Bau von Eisenbahntunneln stellt die Richtlinie Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln. Zudem erlässt die Deutsche Bahn Richtlinien, die Bereiche um den Bahninfrastrukturbau und Betrieb regeln. Hervorzuheben ist hier in Bezug auf Überbauungen die Richtlinie 853 Eisenbahntunnel planen, bauen und insGleisstand halten (Ril 853), die mit Einführung durch das EBA bauaufsichtlich relevanter Bestandteil des bautechnischen Regelwerks wurde. Nicht öffentliche Eisenbahnen und Schmalspurbahnen unterliegen weiterhin an dieser Stelle nicht weiter genannten Verordnungen.

Für den Bau von Straßenbahnen sind grundlegend die Bestimmungen der BOStrab heranzuziehen. Der § 3 Abs 1 Satz 3 BOStrab bestimmt einen Grundsatz, der für den Bau von Straßenbahnbetriebsanlagen³⁹ gilt. Dieser besagt, dass die Entstehung und Ausbreitung von Bränden durch vorbeugende Maßnahmen erschwert werden und im Brandfall die Möglichkeit zur Selbst- oder Fremddrettung von Personen sowie zur Brandbekämpfung bestehen muss. Anforderungen an Sicherheitsräume, Raum zum Schutz von Personen außerhalb des Lichtraums, werden im §19 BOStrab geregelt. Die §§ 23 und 27 BOStrab legen die Anforderungen für nachrichtentechnische Anlagen sowie Beleuchtungsanlagen, insbesondere Sicherheitsbeleuchtung, in Tunneln fest. § 30 BOStrab legt Anforderungen für durch Straßenbahnen genutzte Tunnel fest. In dieser Verordnung wird bspw. in Bezug auf Tunnel bestimmt, dass der nächste Bahnsteig, Notausgang, oder die nächste Tunnelmündung nicht mehr als 300 m entfernt sein darf. Zudem werden sichere Bereiche zum Erreichen des nächsten Notausgangs/Tunnelendes vorgeschrieben, wenn diese mehr als 100 m entfernt sind.

Die EBA Richtlinie Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln enthält Grundsätze/anerkannte Regeln der Technik, welche für Tunnel von Eisenbahnen einzuhalten sind. Geltungsbereich der Richtlinie sind Tunnel Bauwerke mit einer Länge von mehr als 500 m. Diese gilt jedoch nicht für Stadtbahnschnelltunnel.⁴⁰ Beispielhaft werden in dieser Richtlinie vorgeschrieben, dass sichere Bereiche von jeder Stelle eines Fahrtunnels in einer Entfernung von maximal 500 m liegen dürfen.⁴¹ Die Ril 853 definiert Tunnel hingegen als Bauwerke in geschlossener Bauweise ab dem ersten Meter und in offener Bauweise ab 250 m. Jedoch werden auch für kürzere Bauwerke bzgl. der Standsicherheit und Konstruktion Vorgaben in der Modulgruppe 853.42xx gemacht.

Wie mit Überbauungen im Sinne dieses Forschungsprojektes umgegangen werden kann, wird in den Leitfäden des EBA nicht erläutert. Herauszustellen ist jedoch der EBA ‚Leitfaden zum Umgang mit Flächen unter Fachplanungsvorbehalt‘ (Stand 10/2018). Dieser geht auf die Integration von unter- und oberirdischen Leitungen sowie die Einbindung von Anlagen wie Stellwerken, Masten oder Schalträumen in öffentlichen Verkehrsanlagen oder Grünflächen ein. Außerdem wird die Einbindung in private Freiflächen beschrieben. Umnutzung bzw. Umbau einer Böschungswand einer Bahntrasse in Troglage, welche bei Gleisüberbauungen von Bedeutung sein können, werden nicht beschrieben.

³⁹ Straßenbahnbetriebsanlagen sind bau-, maschinen-, elektrotechnische Anlagen und Hilfsbauwerke.

⁴⁰ Abgrenzung zwischen Stadtschnellbahn (S-Bahn) und Straßenbahn (Straßenbahn, U-Bahn, Hochbahn sonst. Bahnen) wesentlich.

⁴¹ Nicht gültig für Tunnel mit Zweiröhrenkonzept – TSI SRT ist anzuwenden.

3.3 Konsequenzen für die Projektrealisierung

Aus den beschriebenen rechtlichen Rahmenbedingungen ergeben sich Auswirkungen sowohl für die Bereitstellung von Grundstücken, die Anforderungen an die Projektorganisation sowie die Bautechnik und den Baubetrieb. Die herausgearbeiteten Auswirkungen sind als besonders wesentlich für die Projektrealisierung zu beachten. Die Darstellung der Konsequenzen kann nur überblicksartig geschehen, da die konkreten Einflüsse des Fachrechts projektspezifisch bewertet werden müssen.

3.3.1 Grundstücksbereitstellung

Die Analyse von Referenzprojekten sowie der aktuellen Rechtsprechung stellt heraus, dass für Überbauungen sowohl eine städtebauliche Nutzung des entsprechenden Gebiets vorgegeben und zudem i.d.R. ein angrenzendes nicht gewidmetes Grundstück vorhanden sein muss. Das angrenzende Grundstück dient dazu die Überbauung mittels Grunddienstbarkeit abzusichern. Grundsätzlich ist auch eine Absicherung der Überbauung mittels beschränkter persönlicher Dienstbarkeit denkbar, wodurch das Vorhandensein eines angrenzenden Grundstücks nicht notwendig wird. Für diese Regelungsmöglichkeit konnten jedoch in der Literatur und in der herrschenden Praxis kein Referenz-Fall gefunden werden.

Der Regelfall bei Gleisüberbauungen wird sein, dass angrenzend zur Bahnanlage, bspw. zum Trog, keine Grundstücke für eine Überbauung zur Verfügung stehen. Dies ist auf die beengte innerstädtische Lage, mit bereits verdichteten Bebauungssituation in den Gebieten in denen Gleisüberbauungen in Frage kommen, zurückzuführen. Somit bedarf es einer Bereitstellung solcher Flächen durch die Stadt oder den Bahnbetreiber. Es muss eine Prüfung erfolgen, ob Teile der Bahnanlage, bspw. Trogwände, oder angrenzende Wege oder Plätze entbehrlich sind bzw. deren Funktionen durch eine Überbauung übernommen werden können. Damit die kommunale Bauordnung und Bauplanung greifen, dürfen die Flächen nicht unter eine Widmung fallen und müssten zunächst entwidmet werden. Dies ist jedoch nur unter einer intensiven Mitwirkung des Eigentümers der gewidmeten Fläche möglich.

3.3.2 Anforderungen Projektorganisation

Eine Überbauung im ersten Schritt rechtlich abzusichern und folgend alle fachrechtlichen Anforderungen an das Bauwerk zu bestimmen und bei der Umsetzung zu berücksichtigen, ist ein umfangreicher Prozess. Deshalb bedarf es aus Sicht der Forschenden einer Integration des Bahnbetreibers in die Projektorganisation. Diese direkte Beteiligung kann dadurch erfolgen, dass der Bahnbetreiber als:

- Vorhabenträger auftritt,
- Nutzer der Überbauung wird oder
- eine anderweitige intrinsische Motivation besitzt.

Intrinsische Motivationen des Bahnbetreibers können bspw. in der unabhängig von der Überbauung anstehenden Neugestaltung eines Knotenpunktes oder der Erweiterung von Bahntrassen sowie der Erneuerung von Haltepunkten oder Bahnhöfen liegen. Auch politische Anreize oder Willensbekundungen können als Treiber fungieren. Gewinne aus den Veräußerungen von Grundstücken/Teilen von Bahnanlagen werden voraussichtlich keinen maßgebenden Anreiz darstellen können.

Sollte der Bahnbetreiber nicht selbst Vorhabenträger sein, ist eine frühzeitige Einbindung der verantwortlichen Stellen in der Organisation des Bahnbetreibers notwendig. Frühzeitig bedeutet hier, eine Einbindung bereits zu Beginn der Projektierungsphase. Ohne eine verbindliche Zusage einer grundsätzlichen Kooperation und ggf. Abgabe von angrenzenden Grundstücken, wird keine private Entwicklung ermöglicht.

3.3.3 Bautechnik und Baubetrieb

Die vorangegangenen Ausführungen belegen, dass es keine allgemeingültigen baulichen Konsequenzen für Gleisüberbauungen gibt. Vielmehr ist eine individuelle Beurteilung jedes Projektes notwendig. In Abhängigkeit der Bahntrasse, Straßenbahn oder Eisenbahn – Personenverkehr oder Güterverkehr – Regelspur oder Schmalspur – etc., unterscheiden sich die Vorgaben erheblich. Zudem sind sicherheitsrelevante Anforderungen, wie Entfluchtung, Beleuchtung und Entrauchung, an weitere Faktoren wie bspw. die Streckenführung oder den Tunneldurchmesser gekoppelt.

Eine definierte Länge von Überbauungen (Tunneln), ab welcher in besonderem Maß Sicherungsmaßnahmen anfallen, und dadurch erhöhte Herstellkosten entstehen, konnte nicht ermittelt werden. Eingriffe in bestehende Bahninfrastruktur bedeuten i.d.R., dass die vorhandenen Anlagen unter den jeweils aktuellen Richtlinien und Normen bewertet werden und diesen angepasst werden müssen. Für Überbauungen von Straßenbahnen mit einer Länge von über 100 m gehen erweiterte technische Anforderungen aus der BOStrab hervor. Erhöhte technische Anforderungen für Überbauungen ergeben sich bei Eisenbahnen von über 100 m aus der TSI SRT und von über 500 m aus der Tunnelrichtlinie des EBA. Dies ist jedoch ausdrücklich nicht gleichbedeutend damit, dass bei Überbauungen von unter 100 m Länge der Gleisachse keine Sicherungsmaßnahmen zu treffen sind.

Durch Regelungen des Bahnbetriebs sind im Fall, dass keine Sperrung der Strecke vorgesehen ist, ebenfalls starke Auswirkungen auf den Baubetrieb zu erwarten. Dem gegenüber stehen Kosten für Schienenersatzverkehre, bei Sperrung der Strecke, die sich i.d.R. außerhalb einer Relation des Volumens von Bauvorhaben bewegen.

4 Analyse der bautechnischen Realisierbarkeit

Dieses Kapitel beleuchtet die bautechnische Realisierbarkeit von Gleisüberbauungen mit einem besonderen Fokus auf die Umsetzung der Tragsysteme von derartigen Bauwerken. Dazu werden zunächst die für die Planung und Ausführung von Überbauungstragwerken wesentlichen Grundlagen und kritischen Einflussfaktoren thematisiert. Darauf aufbauend werden bautechnische Lösungsoptionen anhand ausgewählter Überbauungsprojekte skizziert und systematisiert.

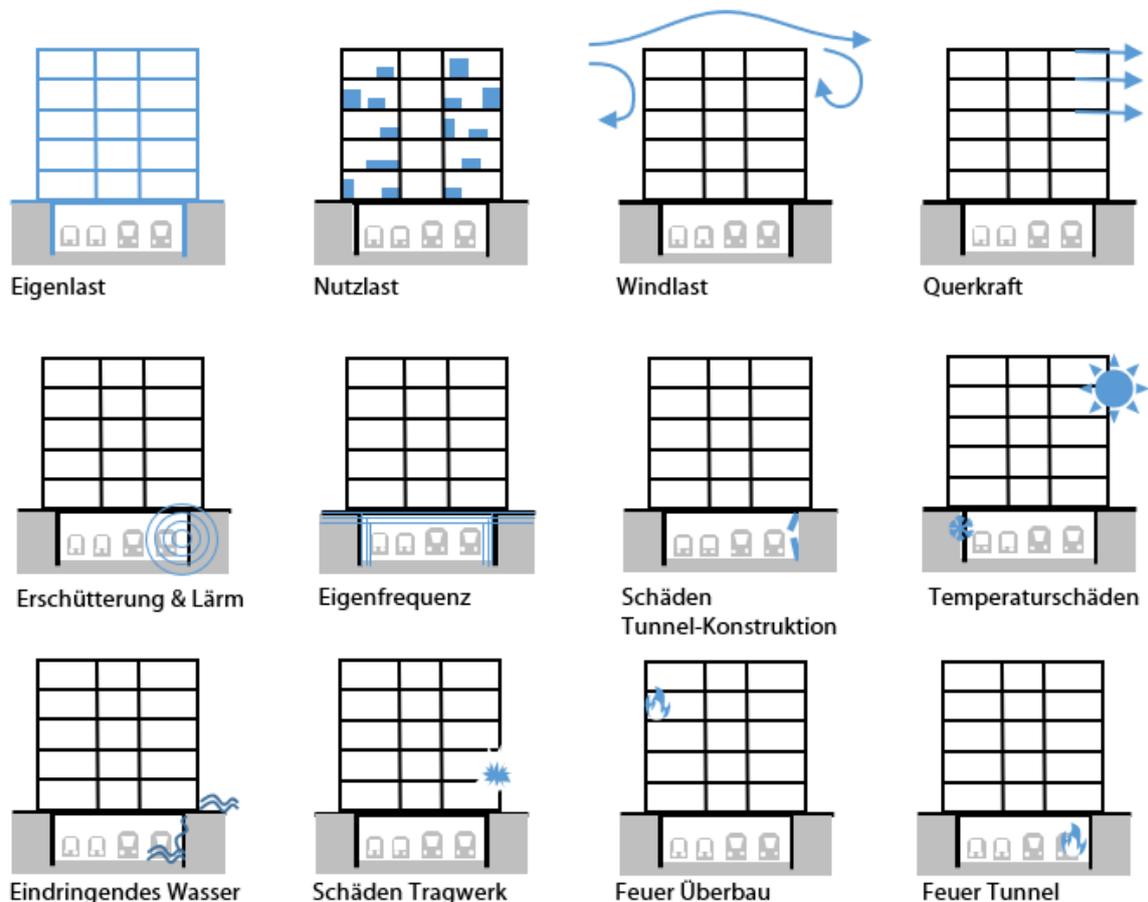
Das Tragwerk eines Bauwerks hat die Aufgabe, alle auftretenden Lasten sicher in den Baugrund abzuleiten, sodass Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit gewährleistet werden. Die Ausbildung des Tragwerkes ist dabei nicht nur durch die einwirkenden Lasten, sondern auch durch die raumbildende Funktion des Gebäudes, wie z.B. eine Stützenfreiheit von bestimmten Bereichen, bedingt. Anforderungen an Tragwerke resultieren demnach stets aus Einwirkungen und geometrischen Vorgaben – bei der Tragwerksplanung von Gleisüberbauungen ergeben sich aus beiden Aspekten besondere Herausforderungen.

Eine der Grundaufgaben von Tragwerken und die Voraussetzung für die raumbildende Funktion eines Gebäudes ist das sog. Überspannen.⁴² Die zentrale geometrisch bedingte Grundanforderung von Überbauungstragwerken ist das Überspannen der Bahntrassen. Beim Überbauen von Trassen mit mehreren Gleisen müssen die Lasten eines Wohnungsbaus über hohe Spannweiten seitlich abgeleitet werden. Da Tragwerke i.d.R. desto wirtschaftlicher und effizienter sind, je kürzer der Weg der Lastabtragung in den Baugrund ist, ist das Abtragen von hohen Lasten über große Spannweiten möglichst zu vermeiden. Bei der Konstruktion und Umsetzung von Gleisüberbauungstragwerken ist diese Maßgabe jedoch durch den frei zu haltenden Lichtraum der Trasse eingeschränkt. Die Entwicklung von effizienten Abfangungskonstruktionen ist somit eine Kernaufgabe bei der Planung von Gleisüberbauungen.

Tragwerke im Bereich von Gleisanlagen sind zudem besonderen Einwirkungen ausgesetzt. Eine vom britische Schienennetzbetreiber Network Rail beauftragte Machbarkeitsstudie, welche das Potenzial von Gleisüberbauungen zur Schaffung von neuem Wohnraum in London betrachtet, hat die wesentlichen Einwirkungen auf derartige Bauwerke zusammengetragen. Neben den für Geschossbauten typischen Einwirkungen wie Eigen-, Nutz-, Schnee- und Windlasten sind Gleisüberbauungen Einflüssen wie Schalleinwirkungen bzw. Erschütterungen, Brandeinwirkungen und möglichen Anpralllasten ausgesetzt, welche durch den Zugverkehr unterhalb des Bauwerks entstehen. Auch Einwirkungen wie die Strahlung der Oberleitung von elektrifizierten Trassen oder die Abgasemissionen bei nicht elektrifizierten Trassen müssen berücksichtigt werden.

Für das Tragsystem von Gleisüberbauungen ergeben sich somit neben dem Abfangungserfordernis insbesondere spezifische Anforderungen hinsichtlich des Schall- und Erschütterungsschutzes, des Anprallschutzes sowie des Tunnelbrandschutzes.

⁴² vgl. Jaksch 2006, S.59

Abbildung 14: Einwirkungen auf Tragwerke von Gleisüberbauungen⁴³

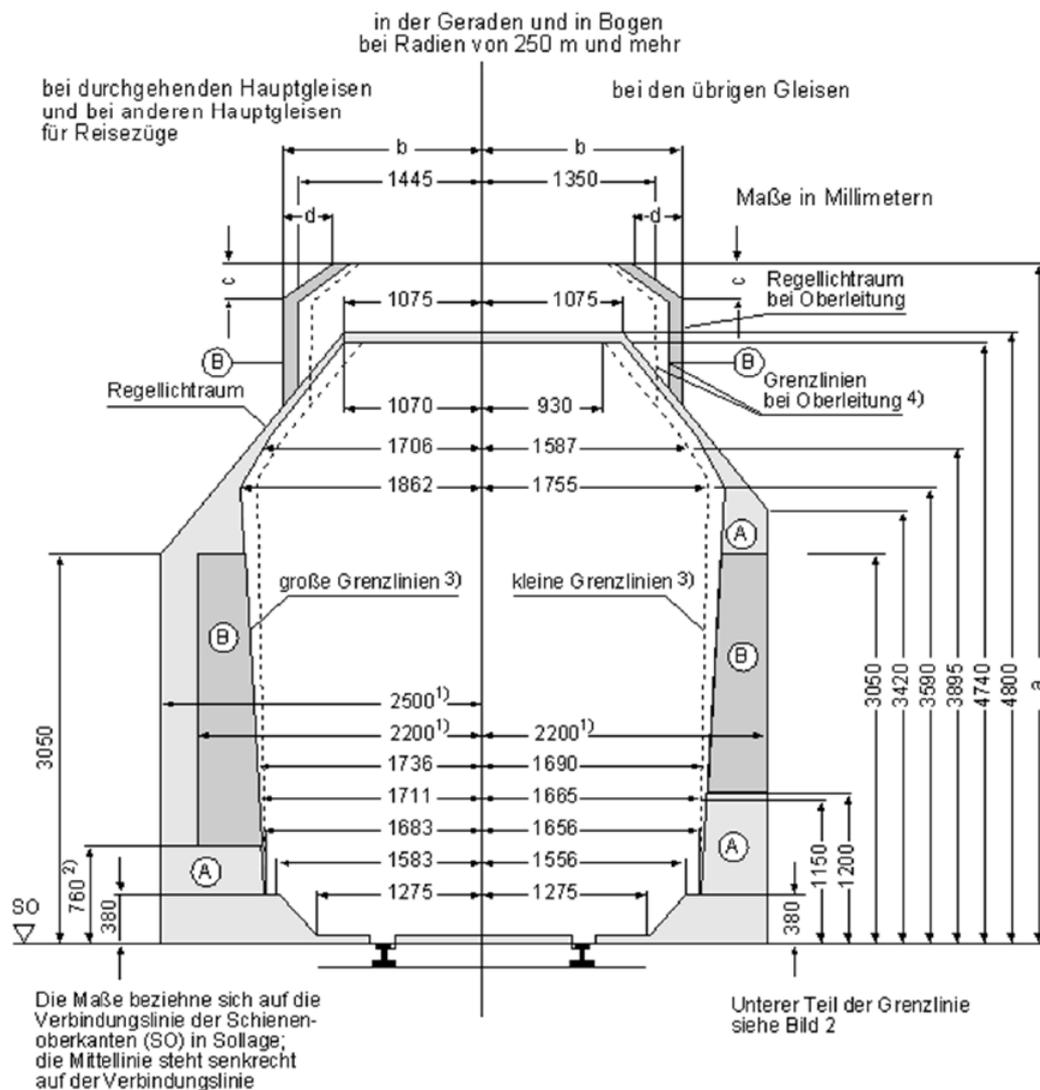
4.1 Anforderungen aus Lichtraumprofilen und Abstandsregelungen

Im Rahmen der Analyse der bautechnischen Realisierbarkeit von Gleisüberbauungen sind die spezifischen Anforderungen an die Bau- bzw. Tragkonstruktion zu betrachten, welche sich aus den besonderen rechtlichen Rahmenbedingungen sowie technischen Gegebenheiten ergeben. Für die Konzeption des Tragsystems einer Überbauung stellen insbesondere die freizuhaltenden Lichträume und die daraus resultierenden horizontalen und vertikalen Abstände zu möglichen Stützkonstruktionen maßgebliche Randbedingungen dar.

4.1.1 Lichtraumprofile Fernbahn, S-Bahn und U-Bahn

Um den Zugverkehr unterhalb des Gebäudes nicht zu beeinträchtigen, dürfen keine Baukonstruktionen innerhalb der Lichtraumprofile oder innerhalb der Gleis- und Sicherheitsräume platziert werden. Die frei zu haltenden Lichträume unterscheiden sich je nach der Art des zu überbauenden Schienenverkehrs (z.B. Fernbahn, S-Bahn, U-Bahn oder Straßenbahn). Die nachfolgende Abbildung zeigt den in Deutschland gültigen Regellichtraum für Schienenbahnen gemäß Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO), welcher für Fern- und S-Bahnen gilt. Die entsprechenden Regelungen finden sich im § 9 EBO sowie der Anlage 1 wieder. Der Raum innerhalb der großen bzw. kleinen Grenzlinien berücksichtigt die Fahrzeugabmessungen sowie den Spielraum für die horizontalen und vertikalen Bewegungen des Schienenfahrzeuges und ist daher grundsätzlich freizuhalten. Bei S-Bahnen ist eine Verringerung der Maße um 100 mm zulässig. In Tunneln darf die halbe Breite des Regellichtraums ausnahmsweise auf 1900 mm verringert werden, sofern besondere Fluchtwege vorhanden sind.

⁴³ eigene Darstellung – Erweiterung von Price und WSP 2018 S.37

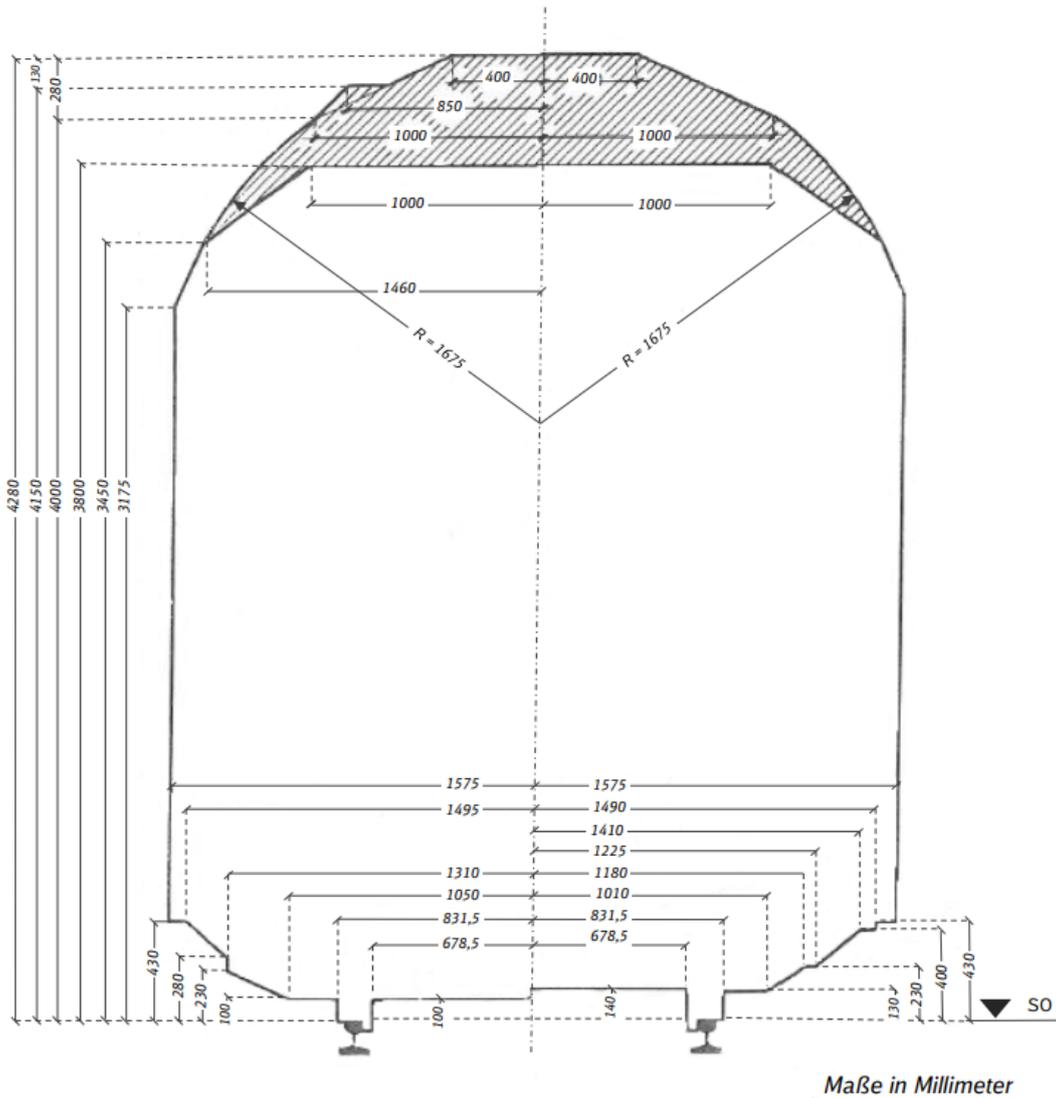
Abbildung 15: Regellichraum nach EBO⁴⁴

Zusätzlich zu den Grenzlinien, welche den Bewegungsspielraum der Fahrzeuge kennzeichnen, umfasst der Regellichraum nach EBO die Bereiche A und B. Im Bereich A sind Einragungen von baulichen Anlagen zulässig, soweit diese für den Bahnbetrieb erforderlich sind. Dazu zählen beispielsweise Signalanlagen. Innerhalb des Bereichs B sind grundsätzlich keine fest installierten Einragungen erlaubt.⁴⁵ Die Platzierung von Tragwerkselementen wie Stützen oder Wände ist somit nur außerhalb der Regellichraumprofile der Gleise möglich.

Die vorgeschriebenen Lichträume für die Gleichstrom-S-Bahn in Berlin und Hamburg sind kleiner als der in der EBO festgelegte Regellichraum. Die DB Netz AG weist für das Streckennetz der Hamburger S-Bahn die nachfolgend dargestellte statische Begrenzungslinie aus.

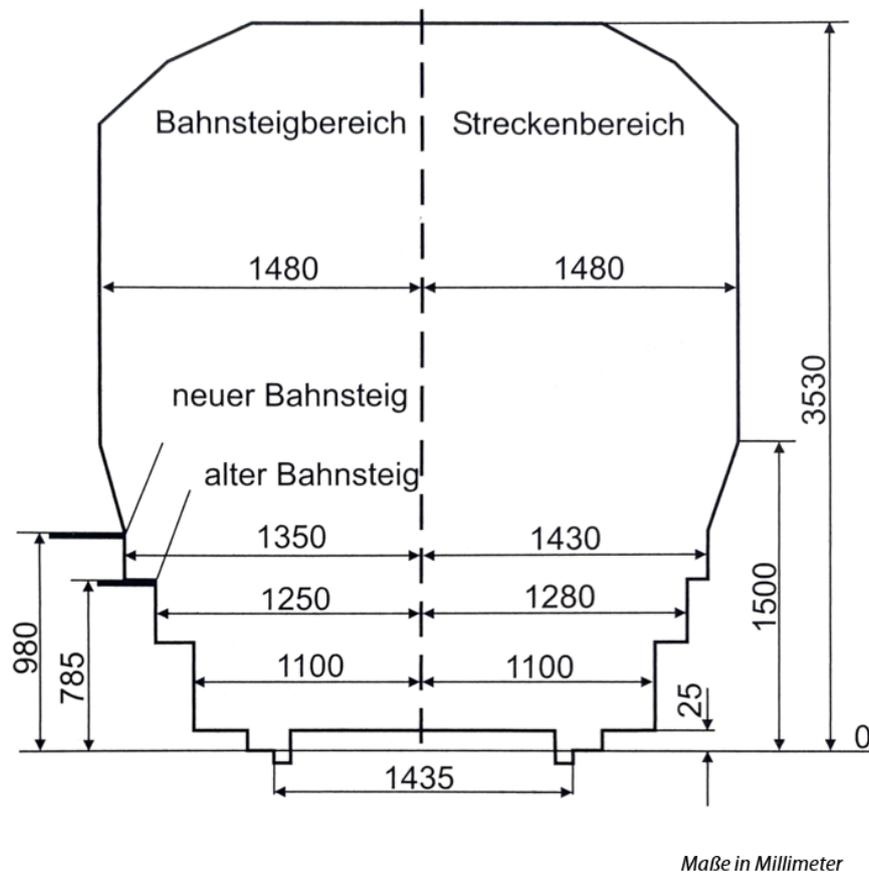
⁴⁴ übernommen aus EBO - Anlage 1 - Bild 1

⁴⁵ vgl. EBO Anlage 1 (zu § 9)

Abbildung 16: Lichtraumtechnische Anforderungen S-Bahn Hamburg⁴⁶

U-Bahnen, wie beispielsweise die Hamburger Hochbahn, orientieren sich wiederum an gesonderten Normungen, welche kleinere Lichträume zulassen. Je nach eingesetztem Schienenfahrzeug kann das erforderliche Lichtraumprofil variieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft das Lichtraumprofil der Hamburger Hochbahn für das gerade Gleis.

⁴⁶ übernommen aus DB Netz AG o.J.c und DB Netz AG o.J.b.

Abbildung 17: Lichtraumtechnische Anforderungen Hochbahn (U-Bahn)⁴⁷

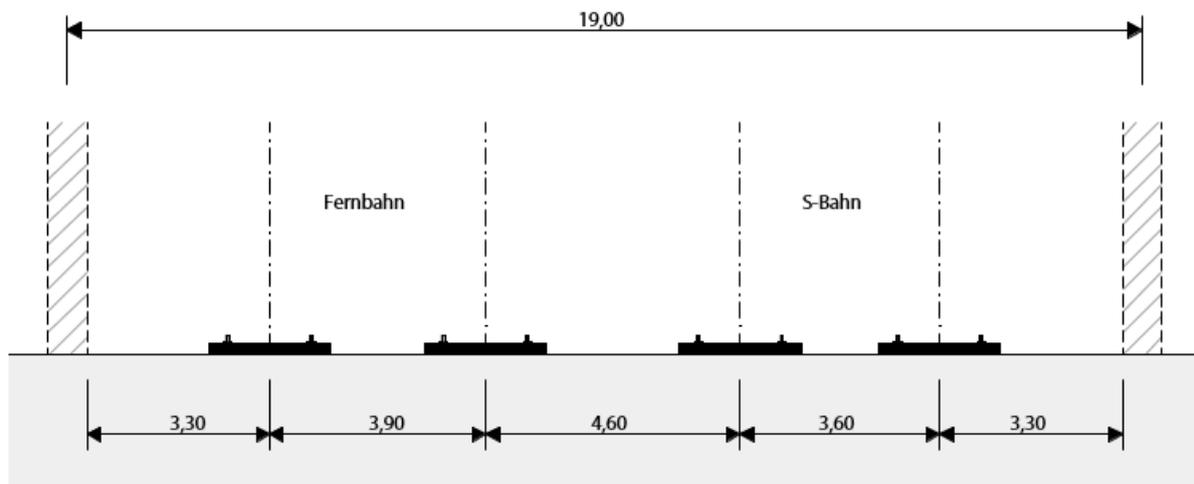
4.1.2 Horizontale Abstände zu Stützen, Wänden oder Ingenieurbauwerken

Für die erforderlichen Stützweiten der Überbauungskonstruktion sind neben den Lichtraumprofilen insbesondere die horizontalen Mindestabstände zu Stützen, Wänden oder Ingenieurbauwerken maßgebend. Die einzuhaltenden Mindestabstände ergeben sich durch die vorgeschriebenen Breiten der Gleis- bzw. Gefahrenbereiche sowie der Sicherheitsräume gemäß den Regelwerken der Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Unter der Annahme, dass die Züge eine innerstädtische Gleisüberbauung mit maximal 160 km/h passieren, beträgt die Breite des Gleisbereiches 2,50 m ausgehend von der Gleismitte. Hinzu kommt ein Sicherheitsraum mit einer Mindestbreite von 0,80 m.⁴⁸ Damit ergibt sich ein horizontaler Mindestabstand zwischen Gleisachse und Bauwerk von 3,30 m.

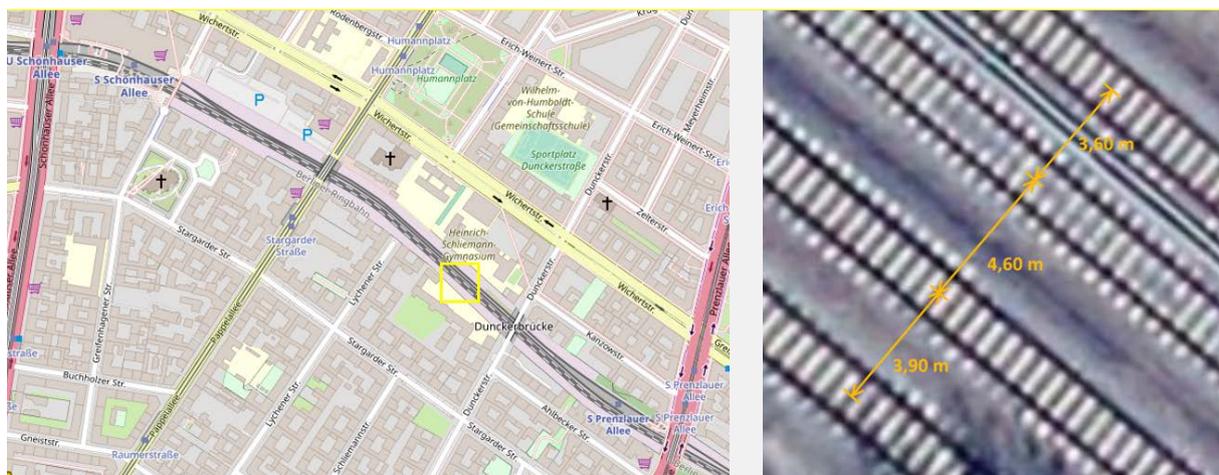
Potenziell überbaubare Schienenanlagen können eingleisige Strecken bis hin zu Rangierbahnhöfen mit einer Vielzahl an Gleisen sein. Eine typische innerstädtische Situation, für die eine Überbauung in Betracht gezogen wird, ist beispielsweise eine viergleisige Trasse, bestehend aus zwei S-Bahn- und zwei Fernbahngleisen. Eine derartige Trasse liegt beispielsweise zwischen den Berliner S-Bahnstationen Schönhauser Allee und Prenzlauer Allee vor, deren Querschnitt in der nachfolgenden Abbildung dargestellt ist. Auch bei dem Hamburger Pilotvorhaben ist eine derartige Trasse zu überbauen.

⁴⁷ übernommen aus Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hg.) 2007. S.107

⁴⁸ vgl. Menius und Matthews 2020, S. 78

Abbildung 18: Bahntrasse zwischen Schönhauser und Prenzlauer Allee⁴⁹

Zur Messung der Gleisabstände wurde mangels Zugriffes auf Bestandspläne der entsprechenden Trasse auf Kartenanbieter und deren Abstandsmessfunktion zurückgegriffen. Die so gemessenen Abstände sind lediglich als Annäherung zu sehen entsprechen jedoch den in der Normung vorgeschriebenen Mindestwerten.

Abbildung 19: Abstandsmessung Gleislage⁵⁰

Am Beispiel der dargestellten Trasse wird die tragwerkstechnische Herausforderung des Überbaus bestehender Gleiswege deutlich. Die Anordnung einer zentralen Stützenreihe, welche die Spannweite halbieren und damit die Wirtschaftlichkeit der Überbauung steigern würde, ist unter Einhaltung des Mindestabstandes von 3,30 m zwischen Gleisachse und Baukonstruktion nicht möglich. Für die gegebene Trasse wäre folglich eine stützenfreie Überspannung aller vier Gleise mit einer effektiven Spannweite von mindestens 19,0 m nötig. Falls die Gleisüberbauung im Bereich eines S-Bahnhofs errichtet werden soll, erhöht sich die Spannweite weiter auf über 30,0 m.

⁴⁹ eigene Darstellung

⁵⁰ übernommen aus Geo-Daten von Openstreetmap.org

Weiterhin ist zu beachten, dass lange Gleisüberbauungen als Tunnelbauwerke einzuordnen sind.⁵¹ Diese Klassifizierung verlangt die Anwendung gesonderter Richtlinien und führt zu weiteren erhöhten Anforderungen an Flucht- und Rettungswege sowie an die Abstände zwischen Gleisen und Überbauungskonstruktion.

Die Planung von Bauwerken im Bereich von Bahntrassen unterliegt somit einer Reihe an limitierenden geometrischen Einschränkungen. Die oben aufgeführten Abstandsregeln bilden dabei nur einen Ausschnitt der bestehenden Bestimmungen ab. Sie beziehen sich zudem nicht auf U-Bahnen und Straßenbahnen, für welche nochmals gesonderte Richtlinien zu beachten sind. Dennoch macht die vorläufige Betrachtung deutlich, dass der Bau von Abstützungen zwischen bestehenden Gleisen aufgrund der geltenden Abstandregelungen oftmals problematisch ist.

Die Realisierung von Überbauungsabstützungen zwischen den Gleisen von bestehenden Trassen scheint daher nur mithilfe von Geschwindigkeitsbegrenzungen, Ausnahmeregelungen und gesonderten Sicherheitsmaßnahmen denkbar. Darüber hinaus wird der Bau von Zwischenabstützungen durch verfahrenstechnische Aspekte erschwert. Die Herstellung von Stützen und Fundamenten im bestehenden Gleisbett ist sehr aufwändig und geht mit erheblichen Einschränkungen für den Bahnbetrieb einher.⁵²

An das Tragsystem von mehrgeschossigen Gleisüberbauungen stellt sich damit stets die spezifische Anforderung, ein Gebäude zu realisieren, dessen unterstes Geschoss eine lichte Weite besitzt, welche die Stützweiten von üblichen Geschossbauten um ein Vielfaches übersteigt. Gleisüberbauungen müssen daher weitspannende Abfangungen umfassen. Durch die Lage der Gleise unterhalb bzw. im Untergeschoss des Gebäudes ergibt sich die besondere Herausforderung, dass das gesamte obere Gebäude abgefangen werden muss – d.h. das Gewicht aller Geschosse muss durch das Tragwerk zu den beiden Rändern der Trasse abgetragen werden.

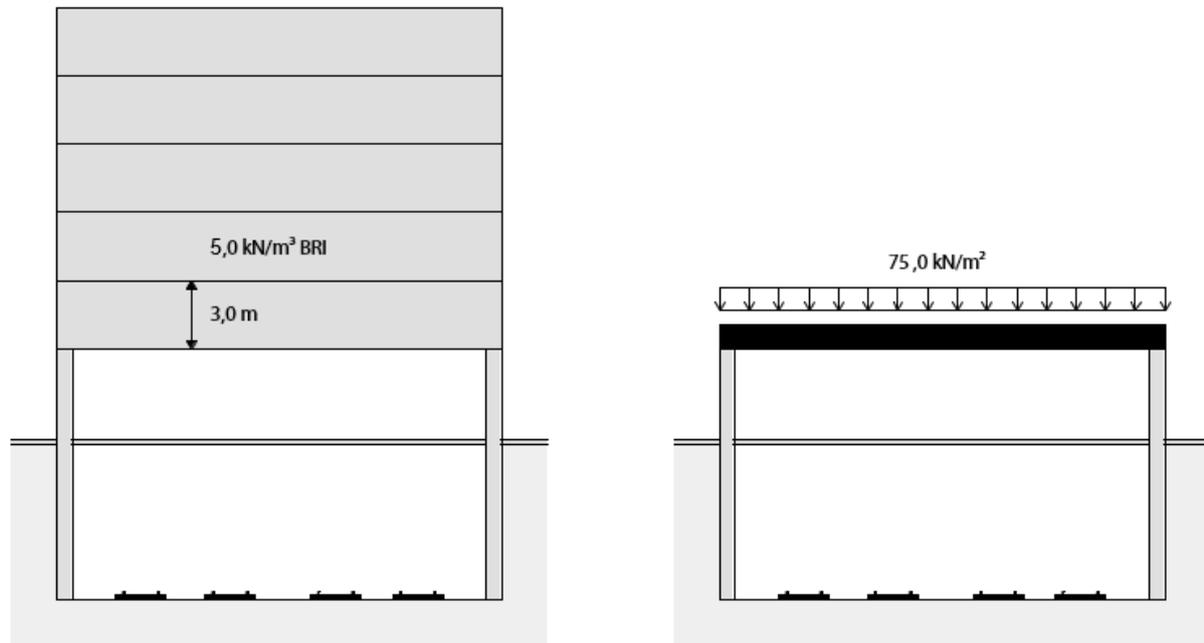
Zur ersten Abschätzung dieser Einwirkungen kann das Gebäudegewicht als Flächenlast idealisiert werden. Für ein fünfgeschossiges Gebäudes mit einer Geschosshöhe von 3,0 m und einer Wichte von 5,0 kN/m³ BRI⁵³, folgt beispielsweise eine charakteristische Flächenlast von 75 kN/m². Zum Vergleich: Die Lasten aus Eigengewicht und Verkehr von typischen Stahlbetonbrücken bewegen sich in Größenordnungen von 30 bis 40 kN/m².⁵⁴

⁵¹ vgl. Fendrich und Fengler, Wolfgang (Hg.) 2019, S. 406

⁵² vgl. Jaeger 2019.

⁵³ Die Eigen- und Nutzlasten eines Massivbaus können mit 5 bis 6 kN/m³ BRI vorgeschätzt werden. Mit einer leichteren Skelettbauweise ließen sich die Eigenlasten von Gleisüberbauungen reduzieren, jedoch führen die erforderlichen Abfangungen zu zusätzlichen Massen. Daher wird eine Wichte von 5 kN/m³ BRI angesetzt.

⁵⁴ vgl. Nguyen et al. 2015 S.3 ff.: Für die 12 m breite Brücke mit einem Eigengewicht von 217 kN/m einer Ausbaulast von 47 kN/m und einer angenommenen, gleichmäßig verteilte Verkehrslast von 12 kN/m² ergibt sich eine verschmierte Gesamtlast von 34 kN/m². Vgl. Holst, R.; Holst, K. H. (2014), S. 727 ff.: Für die 10 m breite Brücke mit einer Eigen- und Ausbaulast von 200 kN/m und einer angenommenen, gleichmäßig verteilte Verkehrslast von 20 kN/m² ergibt sich eine verschmierte Gesamtlast von 40 kN/m².

Abbildung 20: Abschätzung der vertikalen Lasten einer Gleisüberbauung⁵⁵

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Tragwerke von Gleisüberbauungen besondere statisch-konstruktive Anforderungen bewältigen müssen. Da die zu überbrückenden Bahngleise die direkte Fortführung und Gründung der tragenden Stützen und Wände aus den Wohngeschossen einschränken, können hochbelastete Abfangkonstruktionen mit anspruchsvollen Spannweiten erforderlich werden. Die besonderen Last-Spannweite-Verhältnisse, welcher an Situationen aus dem Brückenbau erinnern, stellen eine besondere Herausforderung bei der Planung und Umsetzung von Gleisüberbauungen dar. Das Überspannen der Gleise erfordert somit eine hochspezifisches Tragsystem, welches die Eigenschaften eines Hochbautragwerkes und eines Ingenieurbauwerkes möglichst wirtschaftlich miteinander verbindet.

4.2 Identifikation kritischer Einfluss-/Erfolgsfaktoren

Neben den Lichtraumprofilen und Mindestabständen, welche die Baukonstruktion einer Gleisüberbauung maßgeblich bedingen, können weitere technische bzw. baubetriebliche Anforderungen identifiziert werden, welche die konstruktive Umsetzung von Gleisüberbauungen wesentlich beeinflussen. Diese Einflussfaktoren und deren Bedeutung für die Konzeption des Überbauungstragwerkes werden nachfolgend grundlegend skizziert.

4.2.1 Einflussfaktor Schall und Erschütterung

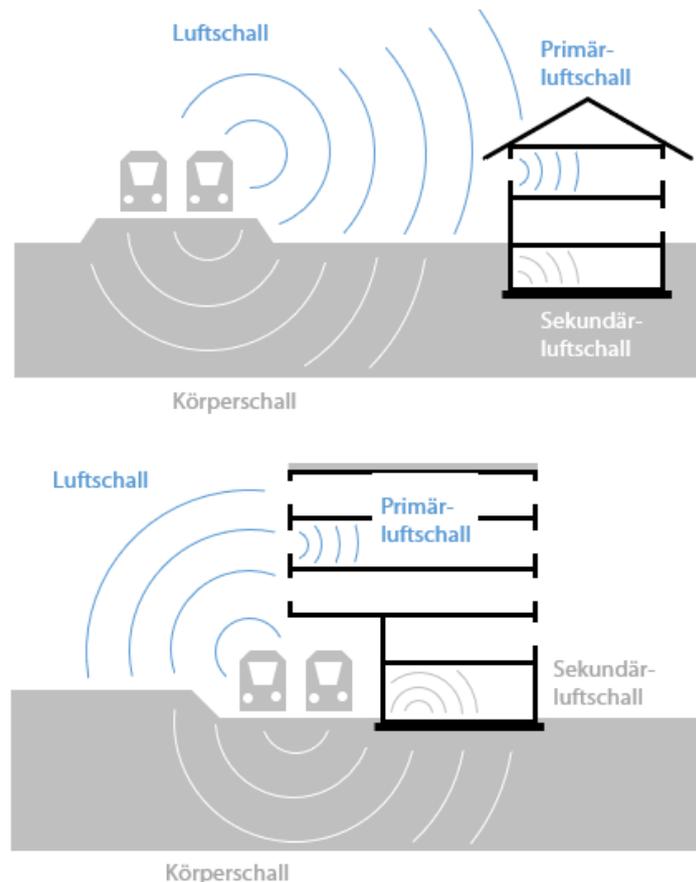
Lärm und Erschütterungen können die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen beeinträchtigen. Eine der wesentlichen Aufgaben von Gebäuden ist daher der Schutz der Nutzer vor unzumutbaren Schalleinwirkungen. Im Wohnungsbau ist ein ausreichender Schallschutz besonders wichtig, da Wohnungen von ihren Nutzern zum Ausruhen und Entspannen genutzt werden.⁵⁶ Ein ausreichender Schall- und Erschütterungsschutz wird daher in Deutschland u.a. durch die Landesbauordnungen und das Bundes-Immissionsschutzgesetz gefordert sowie durch DIN- und VDI-Normen weitergehend geregelt.

⁵⁵ eigene Darstellung

⁵⁶ vgl. Aschenbrenner et al. 2009, S. 263

Zugverkehr verursacht ein hohes Maß an Schall- und Erschütterungsemissionen. Die durch fahrende Züge erzeugten Schallwellen bzw. Schwingungen werden entweder durch die Luft als *Luftschall* oder durch den Boden als *Körperschall* zum Gebäude übertragen. Bei den innerhalb des Gebäudes wahrgenommenen Schallimmissionen kann zwischen *Direktschall*, *Sekundärschall* und *Erschütterungen* unterschieden werden.⁵⁷

Abbildung 21: Schallimmissionen auf Bebauung und Gleisüberbauung durch Bahntrasse⁵⁸



Luftschall

Der Direktschall bzw. Primärschall wird vom emittierenden Zugverkehr direkt als Luftschall zum Gebäude übertragen. Bei den relevanten Zuggeschwindigkeiten werden die Direktschallemissionen durch die Roll-, Kurven- und Brems- sowie Aggregatgeräusche der Schienenfahrzeuge bestimmt.⁵⁹ Um gewöhnliche Wohngebäude vor dem Luftschall von benachbarten Bahntrassen zu schützen, kommen planerische Schallschutzmaßnahmen (z.B. eine zweckmäßige Grundrissgestaltung und Gebäudeausrichtung), aktive Maßnahmen (z.B. Lärmschutzwände an der Trasse) oder passive Maßnahmen (z.B. Lärmschutzfenstern) zur Anwendung.⁶⁰

⁵⁷ vgl. Hamöller et al. 2020, S. 34

⁵⁸ eigene Darstellung in Erweiterung von Müller und Möser 2004, S. 529

⁵⁹ vgl. Hamöller et al. 2020, S. 34

⁶⁰ vgl. Fendrich und Fengler, Wolfgang (Hg.) 2019, S. 936 ff.

Körperschall

Sekundärschall und Erschütterungen sind Immissionen, welche auf Körperschallübertragung zurückgehen. Bei Schienenfahrzeugen entstehen Körperschallemissionen am Rad-Schiene-Kontaktpunkt durch geometrische Formabweichungen von Rad und Schiene sowie durch Steifigkeitsschwankungen des Gleis-Oberbau-Systems.⁶¹ Von den Schienen ausgehend wird der Körperschall durch den Oberbau in den Erdboden und über die Fundamente in das Gebäudetragwerk übertragen. Körperschall in den Decken und Wänden induziert hörbaren sekundären Luftschall. Niederfrequente Anteile des Körperschalls werden zudem von Menschen als Erschütterungen bzw. Vibrationen wahrgenommen.⁶² Eine Verringerung von Sekundärschall- und Erschütterungsimmissionen kann durch eine Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges erfolgen. Bei herkömmlichen Bauvorhaben in der Nähe von Gleisanlagen wird die Körperschallentkopplung u.a. durch eine elastische Lagerung der Schienen oder durch eine elastische Gebäudelagerung umgesetzt.

Bei der Realisierung von Gleisüberbauungen ist der Schall- und Erschütterungsschutz in mehrfacher Hinsicht ein kritischer Faktor. Die schutzbedürftigen Wohnungen befindet nicht nur direkt oberhalb oder neben der Emissionsquelle, sondern die Körperschallemissionen von Schienenfahrzeugen und damit die mögliche Sekundärschall- und Erschütterungsbelastung sind im Vergleich zum Straßenverkehr auch noch besonders ausgeprägt.⁶³ Zudem gründen die Stützelemente der Überbauung zwangsläufig neben den befahrenen Gleisen und stellen damit einen potenziellen Körperschallübertragungsweg dar.

Der Schutz der Gebäudenutzer vor diesen Schalleinwirkungen wird maßgeblich durch die Bauweise und einzelne Tragwerkselemente wie Lagerungen beeinflusst. Die Umsetzung der Schallschutzanforderung und somit der Schall- und Erschütterungsschutz ist ein wesentlicher Bestandteil der Tragwerksplanung eines Überbauungsvorhabens.

4.2.2 Einflussfaktor Bahnhavarie

Bei befahrenen Bahntrassen muss stets das Risiko der Entgleisung eines Schienenfahrzeuges und die damit verbundenen Einwirkungen auf die Umwelt berücksichtigt werden. Für Bauwerke, welche sich neben Gleisen befindet, besteht somit die Gefahr des Anpralls von entgleisten Zügen.⁶⁴ Massenreiche Schienenfahrzeuge besitzen je nach Fahrgeschwindigkeit große mechanische Impulse, welche bei einem abrupten Abbremsen zu hohen dynamischen Kräften führen. Diese Anprallkräfte können nicht nur zu einer Schädigung einzelner Bauelemente, sondern zum Versagen des gesamten Tragwerks führen.

Um einen Verlust der Standsicherheit auszuschließen, sind Tragwerke mit potenziellen Anpralleinwirkungen gemäß den Regelungen der DIN EN 1991-1-7 Kapitel 4.5 auf den besonderen Lastfall zu bemessen. Die Anpralllast muss im Einzelfall in Abhängigkeit der Schienenfahrzeuge, der Fahrgeschwindigkeit und des Gleisabstandes bestimmt werden. Der dynamische Anprall-Lastfall kann anschließend durch eine statische Ersatzlast, welche in Anprallrichtung auf die kritischen Bauteile wirkt, modelliert werden. Die zusätzliche Anpralleinwirkung wirken sich somit auf die erforderlichen Wand- und Stützenquerschnitte sowie den Bewehrungsgrad aus.

⁶¹ vgl. Müller und Möser 2017, S. 5

⁶² vgl. Fendrich und Fengler, Wolfgang (Hg.) 2019, S. 943

⁶³ vgl. Fendrich und Fengler, Wolfgang (Hg.) 2019, S. 943

⁶⁴ vgl. Bergmeister, Konrad (Hg.) et al. 2015, S. 952

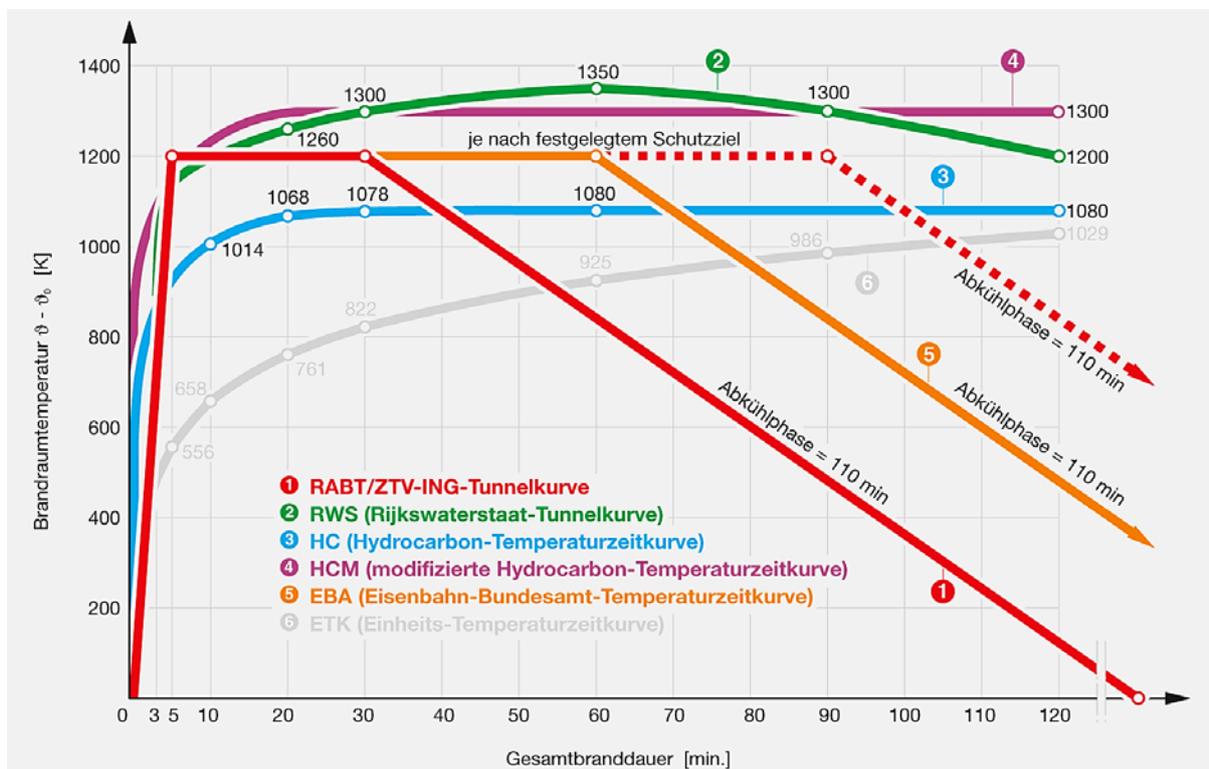
Um die erforderlichen Verstärkungsmaßnahmen am Tragwerk zu reduzieren, sind Maßnahmen zur Minderung der Anpralleinwirkungen möglich. Bei Brückenbauwerken werden beispielsweise Schutzschienen, Führungen oder Fangvorrichtungen eingesetzt, um den Anprall entgleister Fahrzeuge auf Stützpfeiler zu verhindern oder zu dämpfen.⁶⁵ Die DIN EN 1991-1-7 Kapitel 2 führt weiter aus, dass zum zusätzlichen Schutz von Tragwerkselementen, teilweise auch starre Anprallblöcke oder energieverzehrende Anprallschutzkonstruktionen einzusetzen sind.

Gleisüberbauungen sind im Hinblick auf potenzielle Anpralleinwirkungen besonders schutzbedürftig. Da Überbauungen zur Schaffung von Wohnraum im Gegensatz zu Brückenbauwerken dem dauerhaften Aufenthalt von Menschen dienen, müssen erhöhte Sicherheiten bei der Bemessung von Anprall-Lastfällen berücksichtigt werden.⁶⁶ Das Sicherstellen eines ausreichenden Widerstandes bzw. Schutzes gegenüber Anpralllasten bildet somit eine weitere spezifische Anforderung an Tragsysteme von Gleisüberbauungen, welche in die ganzheitliche Optimierung des Systems einfließt.

4.2.3 Einflussfaktor Tunnelbrand

Brände sind eine Gefahr für das Leben von Menschen und für die Integrität von Gebäuden. Die Musterbauordnung § 14 und somit auch die Landesbauordnungen fordern daher einen vorbeugenden baulichen Brandschutz. Gebäude sind demnach so zu planen, dass der Entstehung und Ausbreitung von Bränden vorgebeugt wird und eine Rettung der Bewohner im Brandfall möglich ist. Insbesondere das Tragwerk muss in der Lage sein, im Brandfall seine Tragfähigkeit für eine bestimmte Zeit sicherzustellen, um Evakuierungen zu ermöglichen.

Abbildung 22: Tunnelbrandkurven und Einheits-Temperaturbrandkurve im Vergleich⁶⁷



⁶⁵ vgl. Menius und Matthews 2020, S. 2020

⁶⁶ vgl. Bergmeister, Konrad (Hg.) et al. 2015, S. 953

⁶⁷ übernommen aus Schlüter, A. (2021).

Neben den für Wohngebäuden typischen Brandszenarien besteht bei einer Gleisüberbauung das zusätzliche Risiko eines Tunnelbrandes. Gleisüberbauungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich hohe Brandlasten in Form von Schienenfahrzeugen unter- bzw. innerhalb des Bauwerkes aufhalten. Im Falle des Brandes eines Schienenfahrzeuges wird die Wärmeableitung durch die Tunnelwirkung der Überbauung behindert, sodass in kürzester Zeit besonders hohe Temperaturen entstehen können (siehe vorangegangene Abbildung).⁶⁸ Diese schockartigen Temperatureinwirkungen können zu einer Schwächung von angrenzenden Tragwerkselementen führen.⁶⁹

Der Brand von Schienenfahrzeugen stellt somit einen besonderen Lastfall für diejenigen Tragwerkselemente der Überbauung dar, welche die Bahntrasse direkt umschließen. Die Brandeinwirkungen auf das Tragwerk können durch anlagentechnische, organisatorische und abwehrende Brandschutzmaßnahmen abgemindert werden. Ein wesentlicher Teil des Brandschutzkonzeptes bleibt jedoch der konstruktive Brandschutz, d.h. die Planung eines Tragsystems mit einer ausreichenden Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Tunnelbrandszenario.

4.2.4 Einflussfaktor Bahnstromanlage

Die elektrische Energieversorgung von Eisenbahnen wird über Oberleitungen realisiert. Im deutschen Fernverkehr wird Wechselstrom im Niederfrequenzbereich von 16,7 Hz verwendet. Straßen- und U-Bahnen werden i.d.R. mit Gleichstrom betrieben. Mit dem Stromfluss innerhalb des Fahrdrachts entstehen elektrische und magnetische Felder, die je nach Stromart in Form von Wechselfeldern oder statischen Feldern auftreten. Somit bestehen um die stromführenden Leiter bei mit Wechselstrom betriebenen Bahnen niederfrequente Wechselfelder und bei gleichstrombetriebenen Bahnen statische Felder.

Niederfrequente elektrische Felder lassen sich wirkungsvoll abschirmen, wobei schon übliche Baumaterialien wirkungsvoll sind.⁷⁰ Die Abschirmung magnetischer Wechselfelder ist mit hohem technischen Aufwand verbunden, weshalb Maßnahmen zur Minimierung der Felder im Rahmen der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes zu prüfen sind.⁷¹ Die Langzeitfolgen von niederfrequenten Magnetfeldern auf den Menschen sind noch Gegenstand der Forschung, wobei bisherige Studien keine belastbare Grundlage für eine Verschärfung der gesetzlichen Vorgaben und damit besonderen Anforderungen an Abschirmung etc. bieten.⁷² Die Akutwirkung der niederfrequenten Wechselfelder ist aus wissenschaftlicher Sicht als unbedenklich belegt.⁷³

Die statischen elektrischen und magnetischen Felder im Fall der Gleichstromversorgung haben ebenfalls keine gesundheitlich relevanten Auswirkungen auf den Menschen.⁷⁴ Lediglich indirekte Auswirkungen durch statische elektrische Felder können bei Akutwirkung in Form von Entladungen zwischen Personen und Objekten auftreten. Diese sind gesetzlich per geeigneter Maßnahmen zu vermeiden.⁷⁵

Wie aufgezeigt, sind von Bahnstromanlagen keine Auswirkungen auf Material oder Mensch in einem relevanten Umfang belegbar. Zudem sind durch einfache bautechnische Umsetzungen elektrische Wechselfelder, welche bei Fernverkehr-Bahnstromanlagen auftreten, sehr gut abschirmbar. Dies ist analog zu Vorhaben, welche sich in direkter Nachbarschaft von Bahntrassen befinden, zu behandeln. Aus diesem Grund finden keine weiterführenden Betrachtungen in dieser Forschungsarbeit statt.

⁶⁸ vgl. Silka GnbH 2019, S. 3.3

⁶⁹ vgl. Bergmeister, Konrad (Hg.) et al. 2013, S. 101

⁷⁰ vgl. Bundesamt für Strahlenschutz 2022.

⁷¹ § 4 II 26. BImSchV

⁷² 26. BImSchVVwV Anlage Begründung III

⁷³ vgl. Bundesamt für Strahlenschutz o.J.

⁷⁴ vgl. 26. BImSchVVwV Anlage Begründung III

⁷⁵ § 3a Nr. 2 26. BImSchV

4.2.5 Erfolgsfaktor Bauen im Bahnbetrieb

Eine weitere spezifische Herausforderung bei der Ausführung von Gleisüberbauungen ist das Bauen unter Bahnbetrieb. Das Ausmaß der Beeinträchtigung des Bahnverkehrs während der Bauphase ist ein wesentlicher Faktor, welcher den Gesamtnutzen bzw. die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projektes beeinflusst. Muss beispielsweise die Bahntrasse für die Dauer der Bauarbeiten durchgängig geschlossen werden, so würde der neue Wohnraum die langandauernden Einschränkungen für die Pendler und Bahnreisenden kaum rechtfertigen. Ein Teilziel von Überbauungsprojekten ist daher stets die Minimierung der erforderlichen Beeinträchtigung des Bahnbetriebs.

Das Ausmaß der Störung des Bahnbetriebs wird maßgeblich durch die Bau- und Konstruktionsweise bestimmt. Das Bausystem beeinflusst beispielsweise, ob das zeitweise Aufstellen von Kranen im Gleisbereich zum Heben von Bauteilen erforderlich ist. Der durch die Tragkonstruktion mitbestimmte Bauablauf legt zudem fest, in welchem zeitlichen Umfang der Zugverkehr aufgrund von sicherheitstechnischen Aspekten unterbrochen werden muss. Besteht bei bestimmten Montageschritten die Gefahr von herunterfallenden Objekten, dürfen in diesen Phasen keine Schienenfahrzeuge die Baustelle passieren. Bei der Auslegung und Optimierung des Tragwerks sind daher das Bauverfahren und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Zugverkehr zu berücksichtigen.

In diesem Zusammenhang muss auch die Instandhaltungsphase der Überbauung berücksichtigt werden. So bestimmt die Position und Zugänglichkeit von kritischen Bauteilen, ob Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten zwangsläufig eine Unterbrechung des Bahnbetriebes erfordern. Auch die Lebensdauer der eingesetzten Tragwerkselemente beeinflusst den Umfang von instandhaltungsbedingten Sperrpausen.

4.3 Analyse und Aufbereitung bautechnischer Lösungsoptionen durch die Tragwerksbetrachtung realisierter und projektierte Gleisüberbauungen

Tragsysteme sind stets im Hinblick auf die individuellen Projektrandbedingungen zu gestalten und zu optimieren. Bei Gleisüberbauungen ergeben sich aus den oben beschriebenen Anforderungen besondere Vorgaben für die Tragwerkskonzeption. Um einen Überblick über geeignete Tragwerkslösungen zu erhalten, welche die spezifischen Überbauungsanforderungen umsetzen, werden nachfolgend konkrete Überbauungsprojekte analysiert. Da die Daten zu realisierten Gleisüberbauungen zur Schaffung von Wohnraum derzeit noch begrenzt sind, erstreckt sich die Betrachtung auch auf Nichtwohngebäude und auf Machbarkeitsstudien zu konzipierten Überbauungsprojekten.

Folgende Gleisüberbauungsprojekte bzw. -studien werden betrachtet:

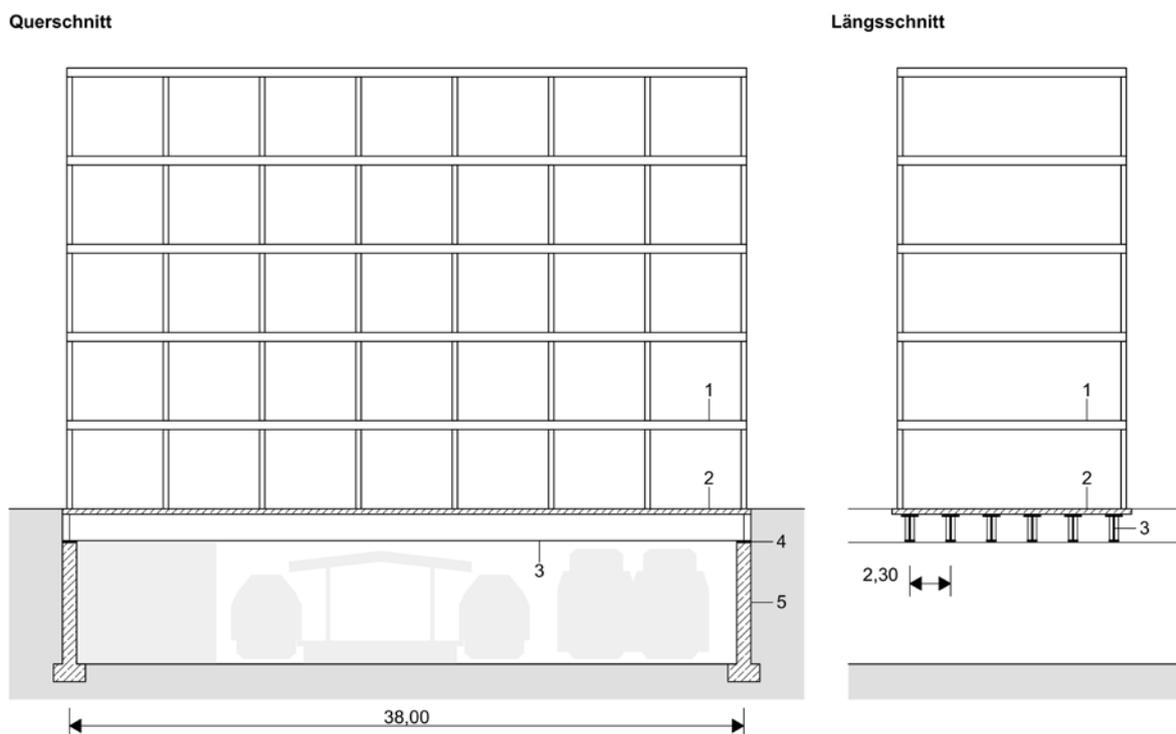
- | | |
|---|---|
| • Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 1, Berlin | Realisiertes Nichtwohngebäude |
| • Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 4, Berlin | Realisiertes Nichtwohngebäude |
| • U-Bahn-Trasse Berne, Hamburg | Projektiertes Wohngebäude |
| • Clarenbachplatz 1, Köln | Realisiertes Wohngebäude |
| • Royal Mint Gardens, London | Realisiertes Wohngebäude |
| • Überbauungsstudien, London | Projektierte Wohngebäude |
| • Broadgate Exchange House, London | Realisiertes Nichtwohngebäude |
| • Sunnyside Yard, New York | Projektierte Wohn- und Nichtwohngebäude |

4.3.1 Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 1, Berlin

Das 1999 fertiggestellte Einkaufszentrum *Schönhauser Allee Arcaden* umfasst zwei Gebäudeteile, welche sich oberhalb einer Bahntrasse befinden. Die als *Bauteil 1* und *Bauteil 4* bezeichneten Gleisüberbauungen überspannen die angrenzenden S- und Fernbahngleise, einschließlich des S-Bahnhofes. Die Bahntrasse befindet sich in Troglage, sodass sich die Gleise auf dem Niveau des Untergeschosses der Gebäude befinden. Beide Gleisüberbauungen überspannen eine Stützweite von 38,0 m, da sie neben den Gleisen und dem Bahnsteig ebenso die gemauerte Bestandsstützwand ohne Zwischenabstützung überbrücken. Trotz der gleichen Spannweite basieren Bauteil 1 und Bauteil 4 auf verschiedenartigen Tragsystemen.⁷⁶

Die Gleisüberbauung **Bauteil 1** verbindet den Haupteingang des Einkaufszentrums mit den Bestandsgebäuden auf der gegenüberliegenden Seite der Bahntrasse und schafft damit eine durchgehende straßenseitige Häuserflucht. Das Erdgeschoss ist überwiegend als Luftgeschoss ausgebildet, während die vier Obergeschosse Verkaufs- und Büroflächen bereitstellen. Die Länge der Überbauung in Gleislängsrichtung beträgt etwa 14,0 m.⁷⁷

Abbildung 23: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 1 – Tragwerk⁷⁸



- 1 Verbundkonstruktion, Decken als Trägerrost mit Stahlbetondecke
- 2 Stahlbetondecke, Dicke 30 cm
- 3 Schweißträger, Höhe 150 cm
- 4 Elastomerlager
- 5 Stützwand aus Stahlbeton

⁷⁶ vgl. *Arnold, M.* (2000), S. 202

⁷⁷ vgl. *Arnold, M.* (2000), S. 202

⁷⁸ eigene Darstellung in Anlehnung an *Arnold, M.* (2000), S. 202 f.

Der Hochbau stellt die geforderten Nutzflächen bereit und erfüllt damit den eigentlichen Zweck des Bauwerkes, ohne sich jedoch an der Überspannungsaufgabe zu beteiligen. Die Tragkonstruktion des Hochbaus gleicht einem gewöhnlichen Skelettbau, welcher in seiner Gesamtheit keine Biegesteifigkeit besitzt und eine regelmäßige Lagerung bzw. Abfangung unterhalb der Erdgeschossstützen erfordert. Das Hochbautragwerk bewirkt somit keine seitliche Ableitung der vertikalen Lasten in Richtung der Trassenränder.

Das statische Überspannen der Trasse, d.h. das Abfangen der Geschosslasten, wird erst auf der Ebene der unteren Decke realisiert. Die gesamten vertikalen Lasten des Hochbaus werden durch die primäre Verbunddecke über Biegung seitlich zu den Stützwänden geleitet. Die hohen Einwirkungen auf die Decke führen in Kombination mit der großen Spannweite zu sehr hohen Biegemomenten, welche von der Deckenkonstruktion aufzunehmen sind. Der hohe erforderliche Biege­widerstand der Decke wird durch den Einsatz der 150 cm hohen Stahlträgern, welche in Abständen von nur 2,30 m angeordnet sind, deutlich. Der Querschnitt der primären Decke gleicht damit mehr einer Brückenkonstruktion als einer gewöhnlichen Geschossdecke.

Wesentliches Merkmal dieses Überbauungssystems ist die Tatsache, dass die trennende Decke zwischen Gleisbereich und Hochbau selbständig tragfähig ist. Die Decke ist zwar auf die Lasten aus den sekundären Geschossen bemessen, der Lastabtrag funktioniert jedoch auch ohne einen aufgesetzten Hochbau. Durch dieses Tragprinzip und durch die Lage der primären Geschossdecke direkt oberhalb der Trasse auf Straßenniveau kann das Abfangungssystem von Bauteil 1 zusammenfassend als tragender *Gleisdeckel* bezeichnet werden.

Schall- und Erschütterungsschutz

Die Stahlträger des Gleisdeckels sind mithilfe von Elastomerlagern auf den Trogwänden gelagert. Die elastische Lagerung dient dem Vibrations- und Erschütterungsschutz der Überbauung.⁸¹ Die Elastomerlager sorgen für eine schalltechnische Entkopplung von Hochbau und gründenden Stahlbetonwänden. Durch diese Maßnahme soll die Übertragung des vom Bahnverkehr emittierten Körperschalls so weit reduziert werden, dass innerhalb der Nutzungsbereiche der Überbauung zumutbare Schallpegel herrschen. Da die Überbauung jedoch ausschließlich Einzelhandels- und Büroflächen umfasst, muss hinterfragt werden, ob die Schallschutzmaßnahmen auch den erhöhten Anforderungen einer Wohnnutzung genügen.

Tunnelbrandschutz

Im Falle des Brandes eines Schienenfahrzeuges unterhalb der Überbauung ist die Unterseite des Gleisdeckels in kürzester Zeit sehr hohen Temperaturen ausgesetzt. Da Stahl ab einer Temperatur von 500 °C seine Tragfähigkeit verliert, sind die Stahlträger des tragenden Deckels zwingend vor einem zu starken Temperaturanstieg zu schützen. Als Brandschutzmaßnahme mussten die Träger daher mit Kammerbeton versehen werden, um eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten zu erreichen.⁸²

Anprallschutz

Da der Gleisdeckel keine tragenden Zwischenabstützungen besitzt, stellen lediglich die beiden Trogwände mögliche Angriffspunkte für den Anprall von entgleisten Schienenfahrzeugen dar. Bei einem seitlichen Anprall von Fahrzeugen auf kontinuierliche Wände wird hauptsächlich die Bewegung senkrecht zur Wandachse gestoppt, sodass auch nur die Aufprallimpulse aus der seitlichen Bewegungsrichtung aufgenommen werden müssen.⁸³ Da die Wände parallel zu den Gleisen verlaufen, sind die möglichen Anprallkräfte aus entgleisten Fahrzeugen bei diesem System daher begrenzt. Lediglich die Stirnseiten der Wände sind einem potenziellen Frontalanprall ausgesetzt und sind daher besonders zu bemessen bzw. zu schützen, um die Tragfähigkeit des Systems sicherzustellen.

⁸¹ vgl. Arnold, M. (2000), S. 202

⁸² vgl. Arnold, M. (2000), S. 206: Bei einer Besichtigung der Überbauung ergibt sich der Eindruck, dass die Träger des Deckels – genau wie die Deckenträger von Bauteil 4 – mit Kammerbeton versehen wurden. Es kann zudem angenommen werden, dass bei Bauteil 1 ebenso eine Feuerwiderstandsklasse von 90 Minuten gefordert war.

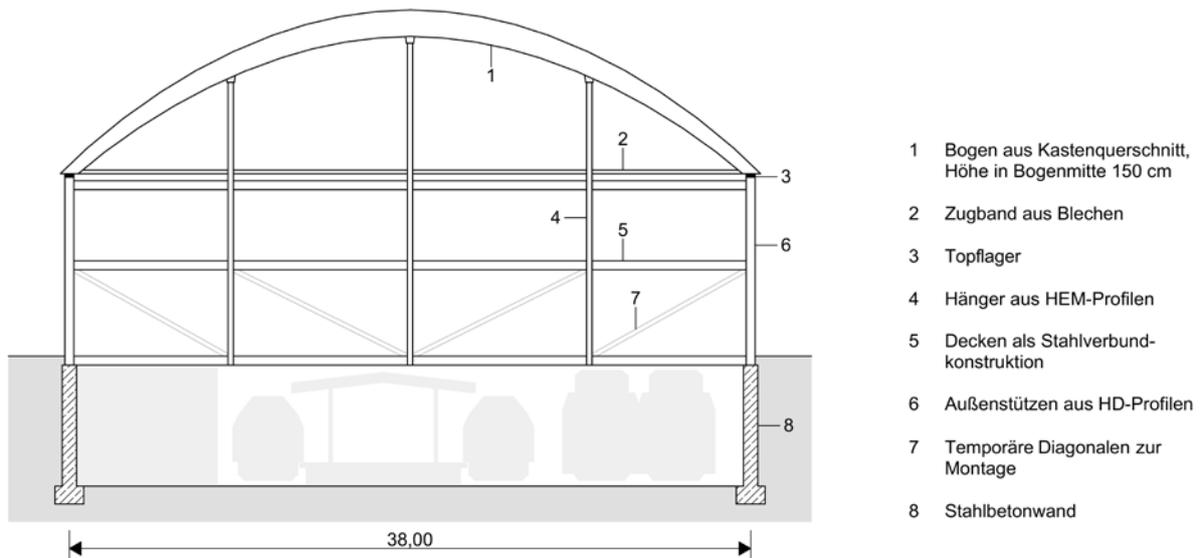
⁸³ vgl. Bundesamt für Strassen ASTRA (Schweiz) (2005), S. 18 f.

4.3.2 Schönhauser Allee Arcaden – Bauteil 4, Berlin

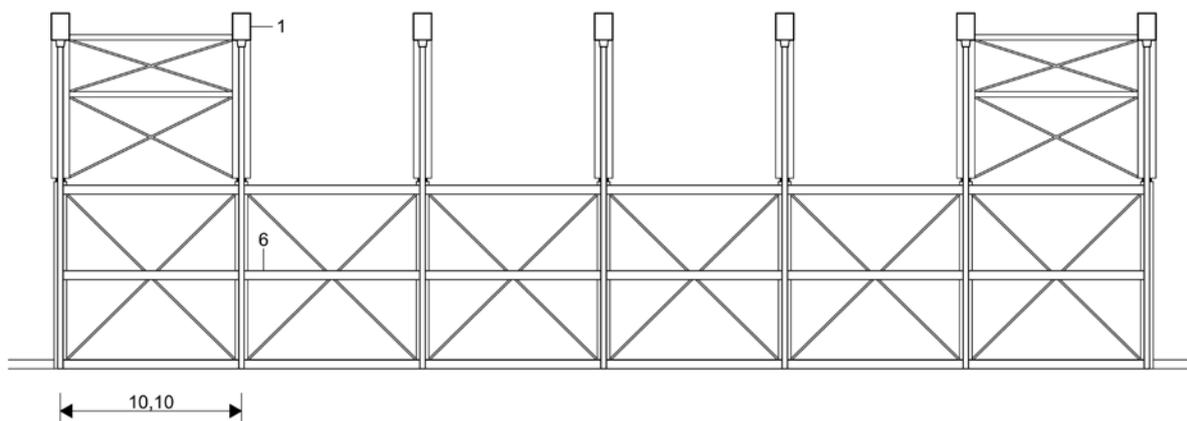
Die zweite Gleisüberbauung der Schönhauser Allee Arcaden – das sog. **Bauteil 4** – erweitert den hinteren Bereich des Einkaufszentrums. Die Überbauung schafft auf zwei Geschossen oberhalb der Trasse zusätzliche Verkaufs- und Ladenflächen. Bauteil 4 erstreckt sich über eine Länge von ca. 61,0 m in Gleislängsrichtung.⁸⁴

Abbildung 25: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 4 – Tragwerk⁸⁵

Querschnitt



Längsschnitt



⁸⁴ vgl. *Arnold, M.* (2000), S. 202

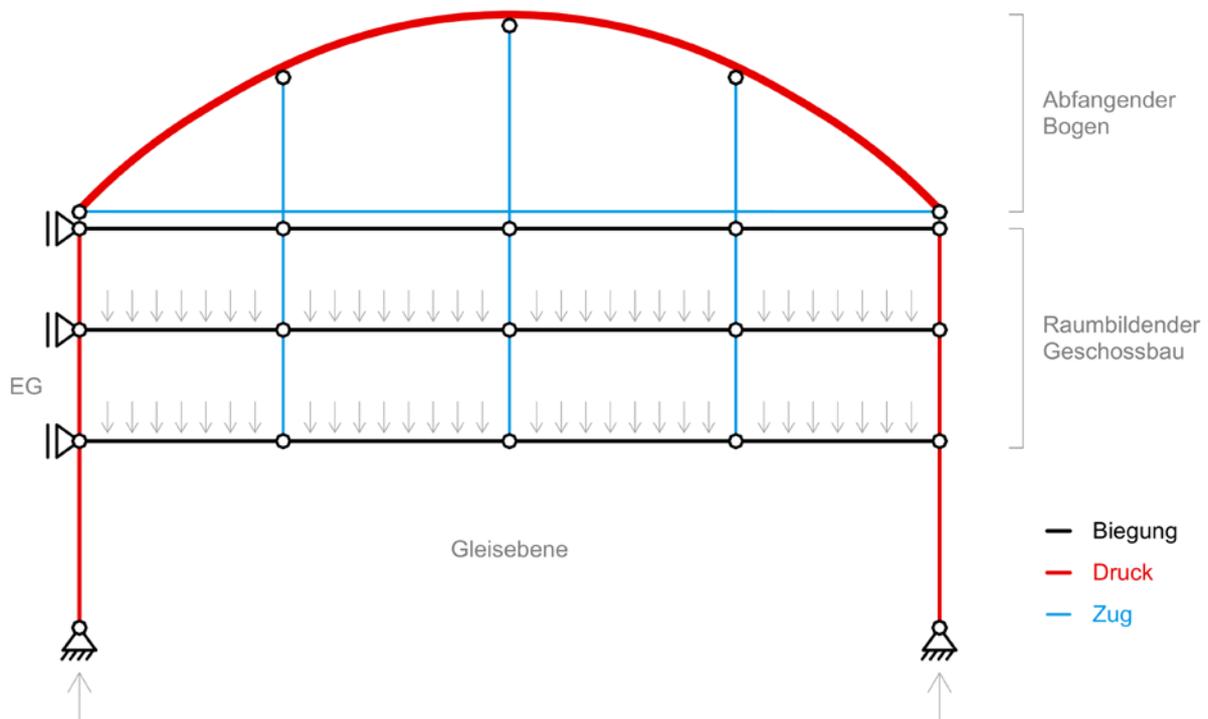
⁸⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an *Arnold, M.* (2000), S. 203

Die grundlegenden Tragwerkselemente von Bauteils 4 sind sieben Parabelbögen, welche oberhalb der Gebäudehülle platziert sind und die Trasse in Abständen von ca. 10 m überspannen (siehe vorangestellte Abbildung). Die stählernen Bögen sind als geschweißte Hohlkästen mit Querschnittshöhen von 150 cm in Bogenmitte und 75 cm an den Fußpunkten ausgeführt. Die als Stahlverbundkonstruktion ausgebildeten Geschossdecken sind über Zugglieder bzw. Hänger an den Bögen befestigt, d.h. die Geschosse sind abgehängt. Die beiden Fußpunkte eines Bogens sind über horizontale Zugbänder kraftschlüssig miteinander verbunden. Die Bogenfüße sind auf vertikalen Außenstützen aus HD-Profilen aufgelagert, welche sich wiederum auf den Stahlbeton-Trogwänden der Trasse abstützen.⁸⁶

Überspannen der Gleise

Das statische System dieser Tragwerksvariante ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Eigen- und Verkehrslasten, welche auf die Geschossdecken einwirken, werden zunächst über Zugkräfte nach oben in die Bögen eingeleitet. Die Stützlinie dieser Kräfte entspricht in grober Näherung der Parabelform der Bögen, welche daher primär auf Druck beansprucht werden und damit das charakteristische Bogentragverhalten aufweisen. Die resultierenden horizontalen Bogenschubkräfte werden – wie bei „unechten Bogenbrücken“ – über die Zugbänder kurzgeschlossen. Die vertikalen Kraftkomponenten an den Bogenfüßen werden als Druckkräfte über die Außenstützen und Trogwände in die Fundamente geleitet.

Abbildung 26: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 4 – Statisches System⁸⁷



Das Tragsystem des Bauteils 4 weist, wie bereits Bauteil 1, eine funktionale Gliederung auf: **Abfangende Bögen**, welche die Gleise überspannen, tragen einen **raumbildenden Geschossbau**. Die räumliche Anordnung dieser Elemente und der Lastfluss unterscheiden sich jedoch grundlegend von dem Deckelsystem von Bauteil 1.

⁸⁶ vgl. Arnold, M. (2000), S. 203

⁸⁷ eigene Darstellung

Während Bauteil 1 auf einem tragenden Gleisdeckel unterhalb des Geschossbaus basiert, wird bei Bauteil 4 das Überspannen der Bahntrasse durch die Bogenkonstruktion oberhalb der Gebäudehülle realisiert. Die Verlagerung des Abfangsystems auf die Oberseite des Bauwerks erfordert eine Modifizierung des inneren Geschossbaus. Anstatt eines konventionellen Skelettbau mit Druckstützen ist in diesem Fall eine hängende Bauweise mit senkrechten Zuggliedern erforderlich.

Da die unterste Decke der Überbauung, welche die Gleisebene vom Erdgeschoss trennt, ebenso abgehängt ist, liegt kein selbsttragender Gleisdeckel vor. Die unterste Decke leitet lediglich die in dieser Ebene anfallenden Lasten zu den Zuggliedern bzw. Randabstützungen ab. Das gesamte Tragsystem weist damit Ähnlichkeiten zu Bogenbrücken mit abgehängter Fahrbahn auf.

Die Positionierung der primären Abfangung an der Oberseite des Bauwerkes bietet mehr Raum für die Optimierung der Tragwerksgeometrie. Anstatt von Biegeträgern konnten in dieser Weise raumgreifende Bogenelemente eingesetzt werden. Die Parabelform und die kurzgeschlossenen Fußpunkte führen dazu, dass die Bogenelemente im Wesentlichen auf Druck beansprucht und die Querschnitte effizient ausgenutzt werden. Die Effizienz dieses Tragsystems zeigt sich an der geringen Anzahl der erforderlichen Bogenelemente in Bezug auf die Gebäudelänge. Während die Bögen des Bauteils 4 Achsabstände von 10,1 m besitzen, wurden die Biegeträger des Bauteils 1 in vielfach geringeren Abständen von 2,3 m angeordnet.

Schall- und Erschütterungsschutz

Die Bogenfüße sind mittels speziell angefertigter Topflager auf den Außenstützen gelagert.⁸⁸ Dieser Lagerungstyp, welcher vor allem im Brückenbau verwendet wird, besteht aus einem Stahlzylinder mit einem eingeschlossenem Elastomerkissen und dient primär der Umsetzung eines gelenkigen Anschlusses.⁸⁹ Ob die Topflager und die zur Schallentkopplung ungünstige Position der Lager einen ausreichenden Schall- und Vibrationsschutz ermöglichen, kann auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht bewertet werden.

Tunnelbrandschutz

Die Verwendung von tragenden Bögen auf der Gebäudeoberseite anstatt eines tragenden Gleisdeckels führt dazu, dass sich ein möglicher Tunnelbrand nicht direkt auf die primäre Abfangkonstruktion und damit auf die Gesamttragfähigkeit der Überbauung auswirkt. Da jedoch auch ein Teilversagen wie der Ausfall der unteren Decke eine Gefahr für Menschen darstellt, bleibt der Tunnelbrand ein besonderes Risiko. Die Stahlunterzüge der Decke wurden daher mit einer Brandschutzbeschichtung versehen, um die geforderte Feuerwiderstandsdauer sicherzustellen.⁹⁰

Anprallschutz

Wie schon Bauteil 1 verwendet auch Bauteil 4 keine Zwischenabstützungen im Gleisbereich, sondern stützt sich ausschließlich auf seitlichen Trogwänden ab. Die möglichen Anpralleinwirkungen und die daraus resultierenden Tragwerksanforderungen verhalten sich daher analog zu Bauteil 1.

Bauen unter Bahnbetrieb

Die Beeinträchtigungen des Bahnbetriebs während der Errichtung von Bauteil 4 wurden u.a. durch konstruktive Maßnahmen minimiert. Um in der Bauphase keine störenden Hilfsstützen im Gleisbereich platzieren zu müssen und einen zügigen Bauablauf zu ermöglichen, wurde die Stahlkonstruktion im Bereich des Erdgeschosses als Fachwerke vorgefertigt und montiert. Dazu wurden temporäre Zugdiagonalen zwischen die horizontalen Deckenträger und vertikalen Tragglieder eingebracht. Nachdem die Bögen montiert waren und die Abfangfunktion der Überbauung übernommen hatten, konnten die Diagonalen entfernt werden.

⁸⁸ vgl. *Arnold, M.* (2000), S. 203

⁸⁹ vgl. *Block, T.; Eggert, H.; Kauschke, W.* (2013), S. 283

⁹⁰ vgl. *Arnold, M.* (2000), S. 206

Fazit

Am Beispiel der Schönhauser Allee Arcaden wird deutlich, dass Tragsysteme von Überbauungen trotz einer gleichen Ausgangslage andersartig ausgebildet sein können. Trotz derselben Spannweitenanforderungen haben die verschiedenen architektonischen und funktionalen Zielsetzungen zwei sehr unterschiedlichen Tragwerkslösungen hervorgebracht. Die wesentlichen Eigenschaften beider Varianten sind in der folgenden Tabelle vergleichend zusammengestellt:

Tabelle 1: Tragwerkvarianten Schönhauser Allee Arcaden

Bauteil 1	Bauteil 4
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abfangungssystem: Ebener Gleisdeckel aus horizontalen Stahlträgern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abfangungssystem: Stahlbögen oberhalb der Gebäudehülle
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primärer Lastabtrag über Biegung: Die Querschnitte werden ineffizienter/ unwirtschaftlicher ausgenutzt. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primärer Lastabtrag über Druck: Die Querschnitte werden effizienter/ wirtschaftlicher ausgenutzt.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Lastfluss erfolgt wie bei typischen Geschossbauten auf direktem Weg von oben nach unten. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Geschossdecken sind von den Bögen abgehängt, sodass ein Teil der Lasten „spazieren geführt“ wird.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Der Gleisdeckel schafft eine flexible Schnittstelle für das aufgesetzte Hochbautragwerk: Das Stützenraster des Geschossbaus kann vergleichsweise variabel gestaltet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Geschossbautragwerk muss spezifisch auf die fixen Bogen- und Zuggliederpositionen angepasst werden, sodass eine nachträgliche Umgestaltung eingeschränkt ist.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sobald die Fertigung des Gleisdeckels abgeschlossen ist, wird der Bahnbetrieb für die verbleibende Bauzeit nur noch minimal beeinträchtigt. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zur Reduzierung der Beeinträchtigung des Bahnbetriebs waren zunächst temporäre Fachwerkkonstruktionen erforderlich. Nach der Montage der unteren Decke war ein ungestörter Bahnverkehr möglich.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Verbundbauweise spart Eigengewicht. Jedoch ergeben sich im Vergleich zu einer reinen Massivbauweise geringere Schalldämmmaße. Für die Stahlelemente ist zudem ein besonderer Brandschutz erforderlich. 	

4.3.3 U-Bahn-Trasse Berne, Hamburg

In Hamburg wird derzeit das Potenzial von Gleisüberbauungen zur Schaffung neuer Wohnflächen untersucht. Als mögliche Überbauungsstandorte wurden mehrere Abschnitte von oberirdischen U-Bahn-Trassen identifiziert, deren Überbauungspotenziale im Rahmen einer ingenieurtechnischen Machbarkeitsstudie⁹¹ genauer geprüft wurden. Die Machbarkeitsstudie zeigt konzeptionelle Tragwerkslösungen für Gebäude mit sechs Wohngeschossen oberhalb der Bahntrassen auf.

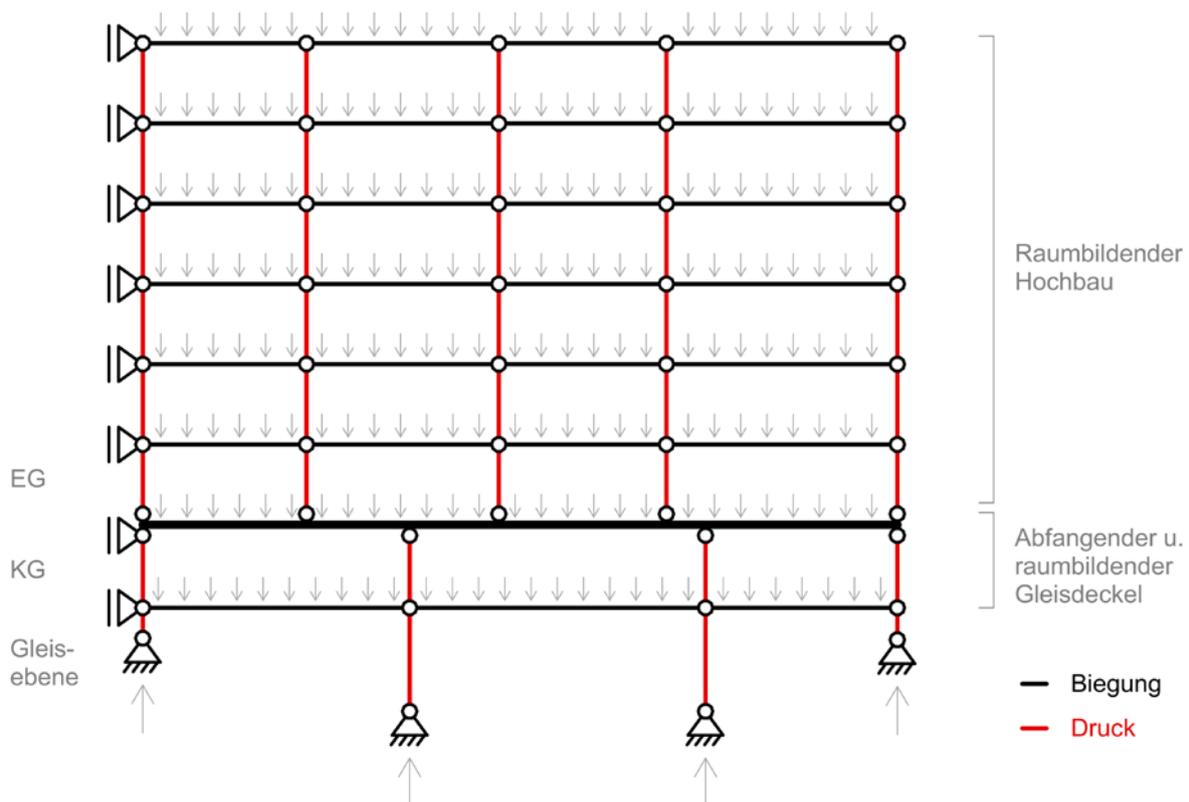
⁹¹ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019): Überbauung von Hochbahngleisen – Machbarkeitsstudie

Oberhalb des Kellergeschosses schließen sich die Wohnbereiche der Überbauung an, welche den oberen Gebäudeteil bilden. Die Basis der Wohngeschosse bildet eine Stahlbetonplatte bzw. Stahlbeton-Unterzugsdecke, welche über Federelemente auf den Wänden und Stützen des Kellergeschosses aufliegt. Aufbauend auf der Bodenplatte werden die Wohngeschosse in üblicher Massivbauweise mit variablen Grundrissen erstellt.⁹⁵

Überspannen der Gleise

Das in der folgenden Abbildung dargestellte statische System zeigt das prinzipielle Tragverhalten der Überbauung. Die durch die Gleisabstände vorgegebenen Stützenpositionen in den Untergeschossen weichen von den Rastermaßen der Wohngeschosse ab. Die vertikalen Lasten aus den oberen Geschossen müssen daher über Stützweiten von bis zu 12,25 m abgefangen werden. Als Abfangungskonstruktion dient die Decke zwischen Erd- und Kellergeschoss, welche die Lasten über Biegung seitlich umleitet.

Abbildung 28: U-Bahn-Trasse Berne – Statisches System⁹⁶



Die Machbarkeitsstudie sieht eine einfache, dicke Stahlbetonplatte mit eventuellen Unterzügen als abfangende Deckenkonstruktion vor. Anstatt auf Verbundkonstruktionen mit biegeoptimierten Stahlträgern zurückzugreifen, wird eine reine Stahlbetonkonstruktion vorgezogen, welche eine abfangende und raumbildende Funktion vereint. Die Vorauswahl dieser Bauweise deutet an, dass bei vergleichsweise geringen Spannweiten konventionelle Stahlbetonplatten (ggf. mit Unterzügen) in der Lage sind, die Wohngeschosslasten wirtschaftlich abzufangen.

⁹⁵ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019), S. 24 und Anlage 1

⁹⁶ eigene Darstellung

Der untere Gebäudeteil einschließlich Kellergeschoss und tragender Stahlbetonplatte kann erneut als **abfangender Gleisdeckel** klassifiziert werden. Die Bauelemente des Deckels umschließen vollständig die Bahntrasse und schaffen zugleich eine flexibel belastbare Grundplatte, welche Geschossbauten mit verschiedenen Wand- und Stützenrastern tragen kann. Der auf den Deckel aufgesetzte **raumbildende Geschossbau** ist mithilfe von konventioneller Hochbautragwerken (z.B. Mauerwerksbau oder auch Holzbau) ausführbar.

Schall- und Erschütterungsschutz

Zum Schutz der Wohnungen vor den Erschütterungen und Vibrationen, welche vom U-Bahnverkehr ausgehen, werden vorgespannte Federelemente genutzt. Die Federelemente bilden die Lager, mit denen die abfangende Decke der Wohngeschosse auf der Unterkonstruktion aufgelagert ist. Durch die Federn wird eine elastische Lagerung geschaffen, welche den gesamten Wohnungsbereich schalltechnisch entkoppelt. Die Federelemente übertragen die Vertikalkräfte, unterbrechen jedoch die Ausbreitung von Körperschallwellen in die Wohngeschosse. Eine Entkopplung des Kellergeschosses wird aufgrund der geringeren Nutzungsanforderungen als nicht erforderlich erachtet.⁹⁷

Der Boden des Kellergeschosses bildet eine zusätzliche Barriere für den Luftschall, welcher durch die U-Bahn in Richtung der Wohnbereiche ausgesendet wird. Die Stahlbetonbauweise wirkt sich hierbei günstig auf das Schalldämmmaß aus.

Anprallschutz

Bei der Verwendung von Einzelstützen im Gleisbereich besteht das Risiko, dass ein entgleistes Schienenfahrzeug frontal an eine Stütze anprallt. Im Unterschied zu einem seitlichen Wandanprall wirkt bei einem Frontalanprall der gesamte Betrag des Bewegungsimpulses. Für die ohnehin schon stabilitätsgefährdeten Druckstützen kommen somit hohe zusätzliche Horizontallasten hinzu. Jede einzelne Stütze des Tragsystems im Gleisbereich muss auf einen Anprall bemessen bzw. verstärkt werden. Der Einsatz von Leitwänden oder Schutzvorrichtungen zur Reduzierung der bemessungsrelevanten Anprallkräfte sollte daher geprüft werden. Alternativ kann das Tragwerk so ausgelegt werden, dass der anprallbedingte Ausfall einer Stütze kompensiert werden kann.

Tunnelbrandschutz

Aus brandschutztechnischer Sicht ist eine Tragsystem aus überwiegend Stahlbetonelementen vorteilhaft. Die geforderte Feuerwiderstandsklasse der Stützen, Wände, Träger und Decken kann durch eine ausreichende Betondeckung ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen sichergestellt werden. Die geschlossenen Betondecken und Seitenwände verhindern zudem die Ausbreitung eines Tunnelbrandes in den oberen Teil der Überbauung.

Bauen unter Bahnbetrieb

Das Bauen unter Bahnbetrieb soll mithilfe des hohen Vorfertigungsgrades der unteren Tragsystemelemente optimiert werden. Durch den Einsatz von möglichst vielen Fertig- und Halbfertigteilen wird eine beschleunigte Montage des Kellergeschosses angestrebt, sodass die erforderlichen Sperrpausen für den Bahnbetrieb verkürzt und die Störungen für den Personenverkehr minimiert werden. Durch ein kleinteiliges Bauen sollen zudem die Gewichte der einzelnen Fertigteile begrenzt werden, sodass kein großes Baugerät im Gleisbereich aufgestellt werden muss.⁹⁸

⁹⁷ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019), S. 11 f.

⁹⁸ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019), S. 10 f.

Auch der spezielle Aufbau des Gleisdeckels begünstigt das Bauen unter Bahnbetrieb. Sobald das untere Kellergeschoss fertiggestellt ist, können die Arbeiten unabhängig vom Bahnbetrieb fortgesetzt werden.⁹⁹ Der Boden des Kellergeschosses bildet eine schützende Arbeitsplattform, von der aus, die abfangende Deckenkonstruktion und deren elastische Lagerung ohne Beeinträchtigung des Bahnverkehrs gefertigt werden können. In der Nutzungsphase erleichtert das Kellergeschoss zudem die Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten an kritischen Elementen der Tragkonstruktion wie beispielsweise die Reparatur oder der Austausch von beschädigten Federelementen.¹⁰⁰

Optimierungsansätze

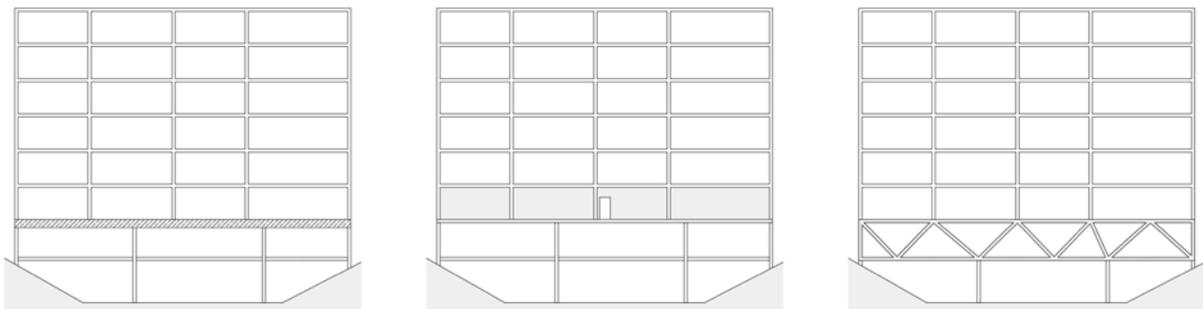
Die zu erwartende Höhe der abfangenden Stahlbeton-Unterzugsdecke lässt sich mithilfe von Vorbemessungsformeln eingrenzen. Unter Annahme eines Einfeldträgers ergeben sich für die Spannweite von $L = 12,25$ m Deckenhöhen von $h \approx L/12 - L/8 = 0,88$ m – 1,53 m.¹⁰¹ Da infolge der sechs Geschosse vielfach höhere Lasten als bei üblichen Decken- oder Dachtragwerken auf die Decke einwirken, ist anzunehmen, dass sich die erforderliche Höhe der Unterzugsdecke im Bereich des oberen Wertes von 1,5 m bewegt. Schon bei mäßigen Spannweiten sind somit hohe und materialintensive Deckentragwerke erforderlich.

Um die erforderliche Deckenstärke zu reduzieren und ggf. die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, sind alternative Abfangungslösungen vorstellbar (siehe folgende Abbildung). Anstelle einer abfangenden Deckenplatte könnten beispielsweise abfangende Wandscheiben genutzt werden. So könnte der große Biege- und Torsionswiderstand der Wohnungstrennwände, welche senkrecht zu den Gleisen verlaufen, zum Überspannen der Trasse aktiviert werden.

Abbildung 29: U-Bahn-Trasse Berne – Optimierungsansätze¹⁰²

Ausgangsvariante

Abfangung mittels Wandscheibe Abfangendes Fachwerk



Eine weitere zu prüfende Abfangungsvariante stellt eine Fachwerkkonstruktion dar. Durch schiefe Stützen bzw. Diagonalen im Kellergeschoss können die Kräfte ohne Biegung, nur über Normalkräfte abgefangen werden. Bei dieser Variante müsste jedoch die Körperschallentkopplung eine Ebene weiter unten erfolgen. Ob der effizientere Lastantrag und die möglichen Materialeinsparungen durch derartige Konstruktionen den erhöhten Herstellungsaufwand rechtfertigen, sollte mithilfe eines Kostenvergleiches geprüft werden.

⁹⁹ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019), S. 10 f.

¹⁰⁰ vgl. Ingenieurbüro Dr. Binnewies (2019), S. 11

¹⁰¹ vgl. *Schneider, K.-J.* (2016), S. 4.102

¹⁰² eigene Darstellung

Fazit

Das vorgeschlagene Überbauungstragsystem ist für Trassen geeignet, bei denen sich die Spannweiten aufgrund der Gleisanzahl oder durch die Möglichkeit von Zwischenabstützen auf 12,50 m begrenzen lassen. Das besondere Merkmal des Gleisdeckels ist das Zwischengeschoss, welches zwischen Gleisebene und Abfangungssystem eingefügt ist. Dieser spezielle Aufbau besitzt besondere Vorteile im Hinblick auf das Bauen und Instandhalten unter Bahnbetrieb:

- Das Zwischengeschoss ermöglicht eine zügige Abdeckung des Bahnverkehrs und schafft eine schützende Arbeitsplattform für die Erstellung der elastischen Lagerung und des eigentlichen Abfangungssystems. Nach der Fertigstellung kann das Zwischengeschoss problemlos als Kellergeschoss weitergenutzt werden.
- Der Einsatz kleinteiliger Betonfertigteile für das untere Tragsystem vereinfacht die Montage und reduziert die Beeinträchtigungen für den Bahnverkehr.
- Das Kellergeschoss ermöglicht, die kritischen Elemente der Konstruktion wie die elastische Lagerung ohne Sperrpausen zu warten.
- Die gewählte Stahlbetonbaubauweise und die Anordnung des Zwischengeschosses wirken sich weiterhin vorteilhaft auf die Erfüllung der Brandschutzanforderungen und auf das Abschirmen von Luftschalleinwirkungen aus.

Die beschriebene Überbauungsweise birgt jedoch auch potenzielle Kritikpunkte. Das Überspannen der Gleise wird durch das Tragsystem nicht optimal gelöst. Statt den Raum des Zwischengeschosses für eine biegeoptimierte Konstruktion zu nutzen, wird zum Abfangen der Lasten eine ebene, ressourcenintensive Stahlbeton-Unterzugsdecke eingesetzt. Auch der Einsatz von Einzelstützen ist im Hinblick auf mögliche Anpralllasten nicht ideal.

4.3.4 Clarenbachplatz 1, Köln

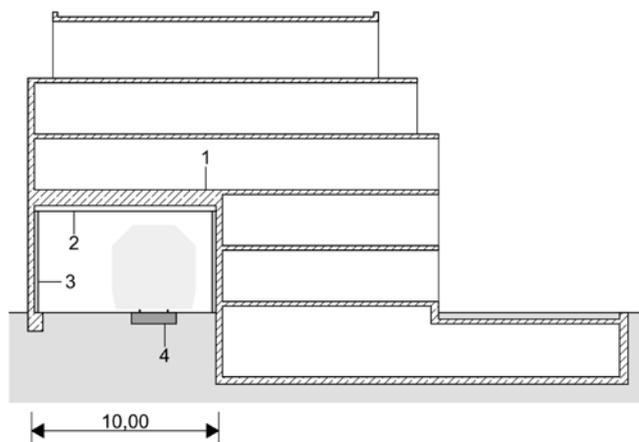
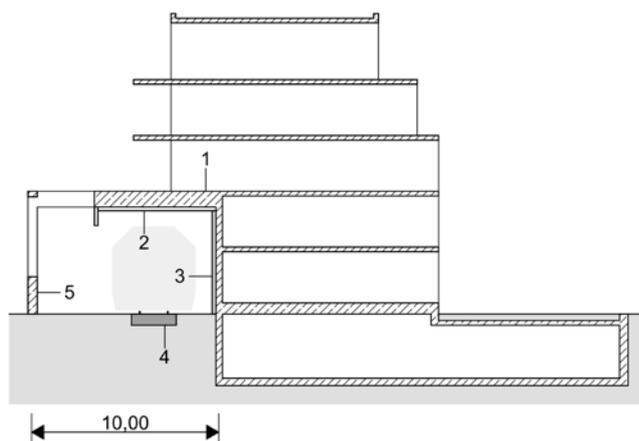
Im Kölner Stadtteil Braunsfeld wurde 2021 das Gleisüberbauungsprojekt ‚Clarenbachplatz 1‘ fertiggestellt. Das Wohn- und Geschäftsgebäude schließt über die Länge von 160 m eine eingleisige Güterbahntrasse ein. Die Wohnflächen des Gebäudes befinden sich stellenweise oberhalb des Gleises. Die Überbauung gliedert sich entlang der Trasse in mehrere Abschnitte mit wechselnden Kubaturen, welche bis zu vier Obergeschosse besitzen.¹⁰³

Das überbaute Gleis, welches Teil eines historischen Güterbahnhofes war, steht unter Denkmalschutz und wird immer noch für den Güterverkehr genutzt und.¹⁰⁴ Da sich das Gleis auf Straßenniveau befindet, erstreckt sich der Lichtraum der Trasse über das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss des Gebäudes. Die Bahntrasse wird im Bereich der hohen Gebäudeabschnitte entweder vollständig umschlossen oder halboffen eingerahmt (siehe folgende Abbildung). Da nur ein einziges Gleis einschließlich Sicherheitsraum zu überbauen war, beschränkt sich die Spannweite auf ca. 10 m.¹⁰⁵

¹⁰³ vgl. Friedrich Wassermann Projektentwicklung (2022): Pionierprojekt Clarenbachplatz 1

¹⁰⁴ vgl. md3+ Architekten (2021): Erläuterungen zum Projekt Clarenbachplatz, S. 1

¹⁰⁵ vgl. Stadt Köln (2015): Vorhaben- und Erschließungsplan Nr.: 62452/02 Blatt 3

Abbildung 30: Clarenbachplatz 1 – Tragwerk¹⁰⁶**Geschlossener Überbauungsabschnitt****Halboffener Überbauungsabschnitt**

- 1 Stahlbetontragwerk
- 2 Abgehängte Decke
- 3 Schallabsorbierende Dämmung
- 4 Feste Fahrbahn mit elastischen Zwischenplatten
- 5 Lärmschutzwand

Überspannen der Gleise

Aufgrund der moderaten Breite des zu überbauenden Gleisweges stellt das Überspannen der maßgebenden Stützweite nicht die zentrale Herausforderung bei diesem Überbauungsprojekt dar. Die Decke oberhalb der Trasse muss vertikale Lasten aus höchstens drei Geschossen abfangen. Auch die Spannweite von ca. 10 m befindet sich noch in einem Bereich, in welchem reine Stahlbetonlösungen als wirtschaftliche Lösung gelten. Das Überspannen der Trasse wurde somit durch einfache Stahlbetonplatten, unterstützt durch Stahlbetonunterzüge oder ggf. durch die Ausbildung von Wänden zu tragenden Scheiben bzw. wandartigen Trägern, realisiert.

¹⁰⁶ eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Köln (2015): Vorhaben- und Erschließungsplan Nr.: 62452/02 Blatt 3

Schall- und Erschütterungsschutz

Eine elastische Lagerung des Überbauungstragwerkes wurde nicht ausgeführt, da bei der Verwendung von nicht feuerbeständigen Schwingungsdämpfern in Bereich der Tiefgarage die Umsetzung der Brandschutzanforderungen problematisch war.¹⁰⁷ Der Vibrations- und Erschütterungsschutz wurde daher durch eine Anpassung der Gleise umgesetzt, indem das bestehende Schottergleis durch eine erschütterungsarme, feste Fahrbahn ersetzt wurde. Elastische Zwischenplatten unter den Schienen bewirken, dass die Vibrationen bereits beim Übergang von den Schienen in den Baugrund abgedämpft werden. Eine elastische Lagerung des Gebäudetragwerkes zur Körperschallentkopplung war somit nicht mehr erforderlich.¹⁰⁸

Neben dem Körperschallschutz wurden bauliche Maßnahmen zum Schutz vor störenden Luftschallimmissionen getroffen. Um die Übertragung des Schienenverkehrslärms vom Gleisbereich in die Wohnflächen zu minimieren, wurde die Rohdecke über dem Gleis mit einer abgehängten Decke und die umschließenden Wände mit einer schallabsorbierenden Dämmung versehen. Innerhalb der halboffenen Überbauungsabschnitte sorgte eine ins Tragwerk integrierte Lärmschutzwand für eine zusätzliche Luftschallabschirmung.¹⁰⁹

Anprallschutz

Da das Überbauungstragwerk keine Einzelstützen, sondern kontinuierliche Wände zur Umschließung des Gleisweges nutzt, stellen die beiden Wandenden die kritischen Stellen für Anpralleinwirkungen dar. Als maßgebender Lastfall wurde der Anprall eines 120 km/h schnellen, entgleisten Schienenfahrzeuges auf die tragenden Wände untersucht. Um den daraus resultierenden Anpralllasten standhalten zu können, wurden die Wände an den Enden zu 1 m starken Pollern verbreitert und mit einer Zerschellschicht ausgeführt.¹¹⁰

Tunnelbrandschutz

Durch die Verwendung von Stahlbeton lässt sich der bauliche Brandschutz des Tragwerkes ohne zusätzliche Maßnahmen, allein durch die Betondeckung sicherstellen. Da der Gleisbereich durchgehend von feuerbeständigen Stahlbetondecken und -wänden umschlossen ist, kann der Brand eines Schienenfahrzeuges nicht aus dem Gleistunnel austreten und in die Nutzungsbereiche der Überbauung übergehen. Auch in den halboffenen Überbauungsabschnitten ist der Deckenüberstand weit genug, um das Übertreten eines Tunnelbrandes aus dem Gleisbereich auf das Gebäude zu verhindern.¹¹¹

Bauen unter Bahnbetrieb

Die Ausführung des gewählten Überbauungssystems führte zu direkten und indirekten Beeinträchtigungen für den Bahnbetrieb. Da die Körperschallentkopplung nicht am Gebäude, sondern durch eine Anpassung des Gleises umgesetzt wurde, musste der Zugverkehr für die Dauer der Fahrbahnerneuerung vollständig eingestellt werden. Während der Erstellung des eigentlichen Tragwerkes war ein abgestimmter Bahnverkehr möglich, jedoch erforderte die Montage der abgehängten Decke nochmals eine mehrwöchige Unterbrechung des Bahnbetriebs.¹¹²

¹⁰⁷ vgl. *Bausinger, A.* (2021)

¹⁰⁸ vgl. Friedrich Wassermann Projektentwicklung (2022): Pionierprojekt Clarenbachplatz 1

¹⁰⁹ vgl. *Bausinger, A.* (2021) und Friedrich Wassermann Bauunternehmung für Hoch- & Tiefbauten (2022): Clarenbachplatz

¹¹⁰ vgl. Friedrich Wassermann Bauunternehmung für Hoch- & Tiefbauten (2022): Clarenbachplatz

¹¹¹ vgl. Friedrich Wassermann Bauunternehmung für Hoch- & Tiefbauten (2022): Clarenbachplatz

¹¹² vgl. *Bausinger, A.* (2021)

Bei der Bewertung der Tragwerkslösung im Hinblick auf das Bauen unter Bahnbetrieb ist jedoch zu beachten, dass die eingleisige Güterbahnstrecke nur für ca. 20 Zugfahrten am Tag und für gelegentliche Touristikfahrten am Wochenende genutzt wird.¹¹³ Der wirtschaftliche Schaden aus der Einschränkung des Bahnbetriebs war damit begrenzt. Die Folgekosten waren offensichtlich niedrig genug, um keine weitergehende Optimierung des Tragsystems zu rechtfertigen.

Für hochfrequentierten, mehrgleisigen Hauptlinien würde sich hingegen eine andere Situation ergeben. Der wirtschaftliche Schaden einer langandauernden Sperrung solcher Trassen wäre derartig hoch, dass das Tragsystem wesentlich stärker auf das Bauen unter Bahnbetrieb zu optimieren wäre.

Fazit

Die im Vergleich zu anderen Überbauungsvorhaben vorteilhaften Randbedingungen führen zu einem Tragsystem mit geringerer Spezifität. Aufgrund der eingleisigen Trasse und der begrenzten Geschossanzahl stellt das Überspannen des Gleises keine besondere Tragwerksanforderung dar. Die Überbauung konnte daher durchgehend als konventioneller Stahlbeton-Geschossbau mit verstärkten Decken und Wänden um den Gleisbereich herum ausgeführt werden. Durch die untergeordnete Nutzung der Trasse musste das Tragwerk nicht gesondert auf ein Bauen unter Bahnbetrieb optimiert werden. Aus diesem Grund war zudem eine elastische Lagerung der Schienen möglich, sodass die Körperschallentkopplung nicht in das Tragsystem integriert werden musste.

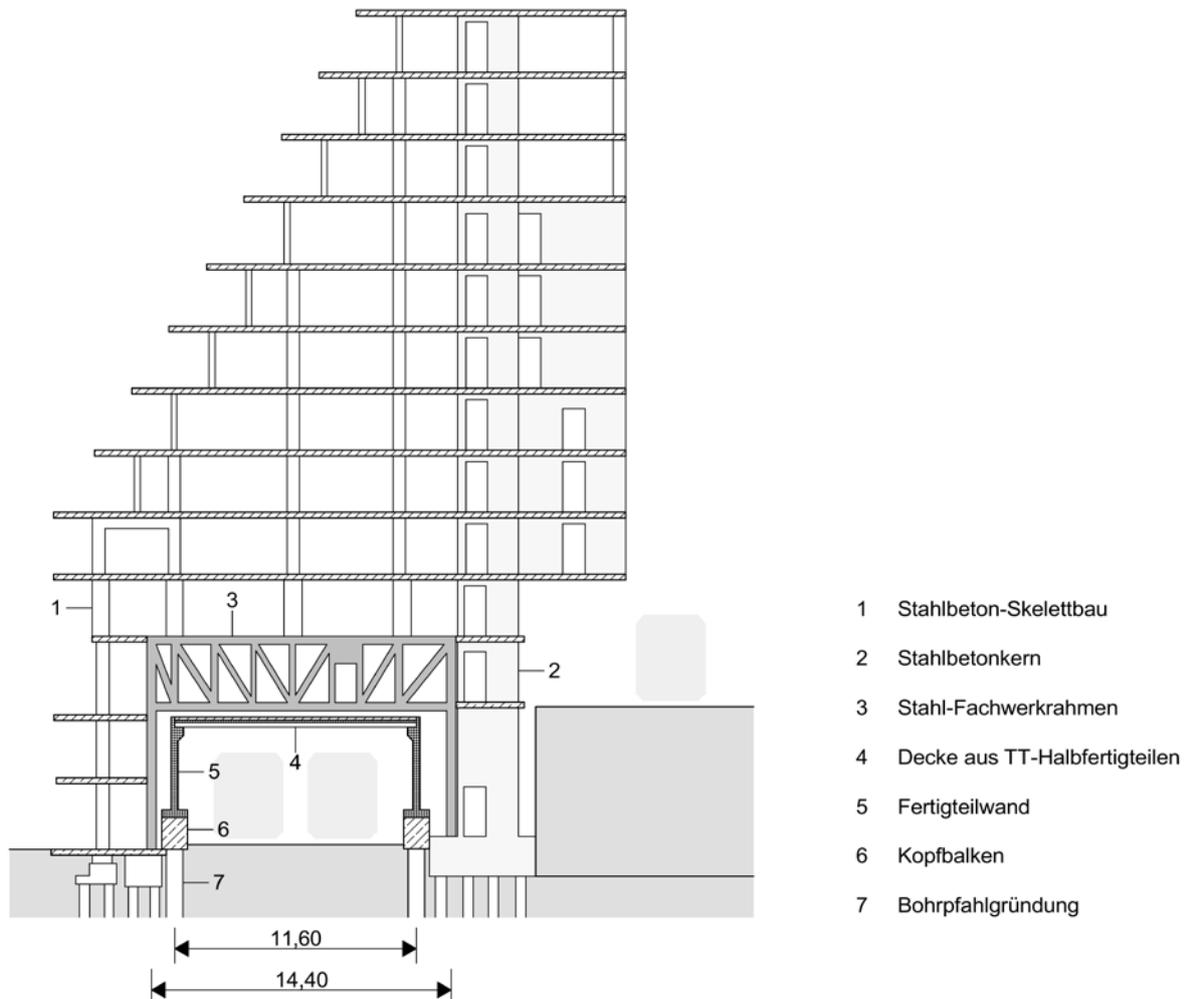
Aufgrund der besonderen Randbedingungen stellt das Überbauungsprojekt *Clarenbachplatz 1* eher einen Sonderfall dar. Trotz interessanter Ansätze kann das Tragsystem daher nur bedingt auf den Regelfall einer innerstädtischen Gleisüberbauung übertragen werden.

¹¹³ vgl. md3+ Architekten (2021): Erläuterungen zum Projekt Clarenbachplatz, S. 1

4.3.5 Royal Mint Gardens, London

Der 2020 fertiggestellte Wohnkomplex *Royal Mint Gardens* wurde oberhalb der Gleise der Londoner *Docklands Light Railway* errichtet. Die Grundstruktur des Baukörpers bilden drei Wohnblöcke mit 13 bis 15 Geschossen, welche sich entlang der Bahntrasse aufreihen und durch neugeschossige Zwischenabschnitte verbunden sind.¹¹⁴ Die Gleisüberbauung umfasst Apartments mit gehobenem Standard und ist damit hauptsächlich auf den Londoner Luxusimmobilienmarkt ausgerichtet.

Abbildung 31: Royal Mint Gardens – Tragwerk¹¹⁵



Tragsystem

Die Überbauung ist in jenem Bereich platziert, in welchem die zweigleisige Bahntrasse den Übergang von einer Hoch- zu einer Untergrundbahn vollzieht und somit ein Gefälle aufweist. In der vorangestellten Abbildung ist der Querschnitt der Überbauungsstruktur im Bereich des hochbahnseitigen Wohnblocks dargestellt. An dieser Stelle befindet sich der ca. 10 m breite Lichtraum der Trasse innerhalb der beiden unteren Geschosse des Baukörpers. Die Grundelemente der Überbauungskonstruktion bilden eine innere Betoneinhausung (Pos. 4, 5, 6), eine Reihe von Stahlrahmen (Pos. 3) und ein Stahlbeton-Skelettbau (Pos. 1, 2).¹¹⁶

¹¹⁴ vgl. Price, B., WSP (2017), S. 17

¹¹⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an Price, B., WSP (2018b)

¹¹⁶ vgl. Price, B.; Fraser, N. (2019), S. 22 und IJM Land Berhad (2022): *Royal Mint Gardens – Project Progress*

Der Lichtraum der Trasse ist durch eine innere Stahlbetonkonstruktion eingehaust. Die Betonhülle setzt sich aus Bohrpfahlwänden mit Kopfbalken, seitlichen Fertigteilwänden und einer Teilfertigteildecke zusammen. Die T-förmigen Fertigteilwände wurden an ihren Füßen mithilfe von in den Kopfbalken einbetonierten Ankerstangen festgeschraubt.¹¹⁷ Die 11,6 m weit spannende Decke ist mithilfe von vorgefertigten Stahlbetonträgern und TT-Platten ausgeführt, welche auf Konsolen an den Wänden aufgelagert und mit einer Ortbetoneingängung versehen sind.¹¹⁸

Eine Stahlrahmenkonstruktion umschließt in regelmäßigen Abständen die innere Betoneinhausung. Die Stiele der Rahmen sind mithilfe von Bohrpfählen eigenständig gegründet und die Rahmenriegel sind als geschosshohe Fachwerke ausgebildet. Die Fachwerkrahmen mit Stützweiten von ca. 14,4 m dienen als Abfangkonstruktion der Gleisüberbauung, welche die Lasten der oberen Geschosse seitlich abträgt. Das restliche Tragwerk der Überbauung ist ein Stahlbeton-Skelettbau, bestehend aus Stützen und Flachdecken. Ein Kern aus Stahlbeton, welcher neben der Trasse angeordnet ist, dient der Aussteifung des Tragwerks.¹¹⁹

Das Hauptmerkmal des Überbauungssystems ist die klare Aufgabenteilung zwischen der inneren Betoneinhausung und dem äußeren Fachwerkrahmen-Skelettbau-Tragwerk. Beide Subsysteme setzen einen Teil der spezifischen Überbauungsanforderungen um (siehe folgende Tabelle):

Tabelle 2: Royal Mint Gardens – Aufgabenteilung des Systems

	Innere Beton- einhausung	Fachwerkrahmen und Skelettbau
Überspannen der Gleise		✓
Körperschallschutz		✓
Luftschallschutz	✓	
Anprallschutz	✓	
Tunnelbrandschutz	✓	
Bauen unter Bahnbetrieb	✓	

Überspannen der Gleise

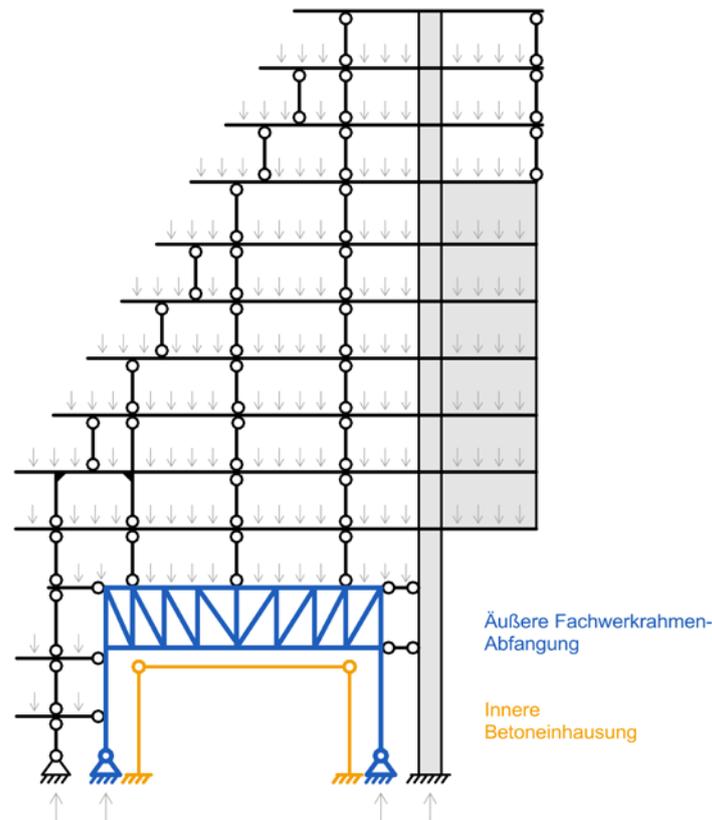
Das idealisierte statische System der Überbauung, welches in der folgenden Abbildung dargestellt ist, verdeutlicht den Lastabtrag des Tragsystems. Die innere Betoneinhausung und das äußere Fachwerkrahmen-Skelettbau-Tragwerk sind statisch vollständig entkoppelt. Beide Subsysteme sind separat gegründet und tragen ihre Lasten unabhängig voneinander in den Baugrund ab.

Die Lasten aus den Wohnflächen, d.h. die Lasten des eigentlichen Zwecks der Überbauung, werden ausschließlich durch das äußere Tragwerk abgeleitet. Die Fachwerkriegel der Stahlrahmen bilden das zentrale Abfangungssystem der äußeren Konstruktion. Die geschosshohe Ausbildung der Fachwerke verdeutlicht die hohe Biegetragfähigkeit, welcher erforderlich ist, um die Lasten aus den zehn oberen Geschossen abzufangen. Fachwerke stellen ressourceneffiziente Tragelemente zur Schaffung von derartigen Biegegrößen dar. Durch ihre aufgelöste Struktur sind Fachwerke in der Lage, große statische Nutzhöhen und damit große Biegetragfähigkeiten bei vergleichsweise geringem Materialverbrauch zu erreichen. Die innere Betoneinhausung der Überbauung beteiligt sich hingegen nicht an der Abfangung der Lasten aus dem Hochbau, sondern übernimmt ausschließlich Aufgaben des Anprall-, Luftschall- und Brandschutzes.

¹¹⁷ vgl. Banagher Precast Concrete (2022): Royal Mint Encapsulation und IJM Land Berhad (2022): Royal Mint Gardens – Project Progress

¹¹⁸ vgl. J Coffey Construction (2022): Royal Mint Gardens

¹¹⁹ vgl. IJM Land Berhad (2022): Royal Mint Gardens – Project Progress

Abbildung 32: Royal Mint Gardens – Statisches System¹²⁰

Körperschallschutz

Das äußere Tragsystem trägt die Lasten aus den Wohngeschossen und dient damit dem statischen Überspannen der Trassen. Da Körperschall durch kraftschlüssig verbundene Tragwerkselemente übertragen wird, musste bei der Auslegung des äußeren Tragsystems zwangsläufig auch der Körperschall berücksichtigt werden, welcher vom Bahnverkehr in den Baugrund ausgesendet wird. Um zu verhindern, dass Erschütterung und sekundärer Luftschall die Wohnbereiche beeinträchtigen, wurde das gesamte äußere Tragsystem elastisch gelagert. Dazu wurden Elastomerlager unterhalb der Stützen und Kernwände angeordnet, welche die Körperschallübertragung vom Boden in das Gebäudetragswerk ausreichend abmindern.¹²¹

Luftschallschutz

Da die innere Betonhülle keinen Bestandteil des abfangenden Systems darstellt, muss die Konstruktion auch keine Anforderungen hinsichtlich des Körperschallschutzes wahrnehmen. Die innere Betonkonstruktion, welche die Trasse lückenlos umschließt, leistet jedoch einen wesentlichen Beitrag zum Luftschallschutz. Das hohe Schalldämmmaß der Betonschale und deren vollständige Entkopplung vom restlichen Tragwerk hilft, den durch den Bahnverkehr ausgesendete Luftschall auf dem Weg vom Gleisbereich zu den Wohnräumen deutlich abzdämpfen.¹²²

¹²⁰ eigene Darstellung

¹²¹ vgl. Price, B., WSP (2018a), S. 39 und Getzner Werkstoffe (2022): Bedding of Buildings – List of references

¹²² vgl. Banagher Precast Concrete (2022): Royal Mint Encapsulation

Anprallschutz

Entgleist ein Schienenfahrzeug im Bereich der Überbauung, so trifft es zuerst auf die innere Betoneinhausung. Die ausgeführte Betonkonstruktion ist daher in der Lage, seitlich anprallenden Zügen zu widerstehen. Als Anprallschutz dienen die Kopfbalken der Bohrpfahlwände, welche die Fußpunkte der Betoneinhausung bilden. Die 1,3 m dicken Kopfbalken ragen weit genug über die Oberkante der Bahntrasse hinaus und sind derart dimensioniert und bemessen, dass sie die Aufpralllast von entgleisten Zügen abfangen und das restliche Tragwerk vor einem Anprall schützen.¹²³

Tunnelbrandschutz

Die innere Einhausung übernimmt zudem eine wichtige Brandschutzfunktion. Die geschlossene Betonkonstruktion besitzt eine Feuerwiderstandsdauer von 120 Minuten. Damit wird sichergestellt, dass im Fall eines Tunnelbrandes das Feuer nicht auf den Hochbau übertreten kann. Die feuerbeständige Betonhülle gewährleistet insbesondere, dass die temperaturempfindlichen Stahlrahmenkonstruktionen, welche die Last der gesamten Wohngeschosse tragen, ausreichend vor einem Tunnelbrand geschützt sind.¹²⁴

Bauen unter Bahnbetrieb

Die Tatsache, dass die Bahntrasse im Überbauungsprozess zunächst durch eine innere Betonhülle umschlossen wird, hat auch bauverfahrenstechnische Vorteile. Der hohe Vorfertigungsgrad der Einhausung ermöglichte eine zeitsparende Montage und reduzierte damit die Beeinträchtigung des Bahnverkehrs. Die fertiggestellte innere Hülle schützt die Trasse während des Baus der äußeren Konstruktion, sodass die Erstellung der Stahlrahmen und des Hochbaus unabhängig vom Bahnbetrieb erfolgen konnte.

Fazit

Die Gleisüberbauung *Royal Mint Gardens* zeigt, mit welchem Tragsystem eine hohe Geschossanzahl oberhalb einer Trasse mit moderater Breite realisiert werden kann. Das besondere Merkmal des Systems ist das doppelte Einrahmen der zweigleisigen Trasse durch eine innere Betoneinhausung und äußere Fachwerkrahmen aus Stahl.

Der Vorteil dieses Systems besteht darin, dass die Stärken der verschiedenen Bauweisen gezielt ausgespielt werden können. Die innere Betonhülle nutzt die günstigen Eigenschaften einer massiven Konstruktion im Hinblick auf den Anprall-, Brand- und Luftschallschutz. Die aufgelöste Stahlkonstruktion eignet besonders gut zur Realisierung einer effizienten Abfangungskonstruktion. Auch das Bauen unter Bahnbetrieb wird durch das gewählte System optimiert, da die innere Betonhülle mit ihrem hohen Vorfertigungsgrad eine zügig montierbare Schutzabdeckung der Gleise darstellt.

Gleichwohl ist die funktionale Gliederung des Systems mit zusätzlichen Montageschritten verbunden, welche im Vergleich zu einschaligen Einhausungen zu einem höheren Herstellungsaufwand führen können. Ein weiterer Nachteil ist die geringfügige Erhöhung der Spannweite der äußeren Konstruktion infolge der inneren Einhausung. Ob sich durch das gegliederte Tragsystem insgesamt eine höhere Ressourceneffizienz und/oder Wirtschaftlichkeit als bei kombinierten Systemen erreichen lassen, sollte daher genauer untersucht werden.

¹²³ vgl. *IJM Land Berhad (2022): Royal Mint Gardens – Project Progress*

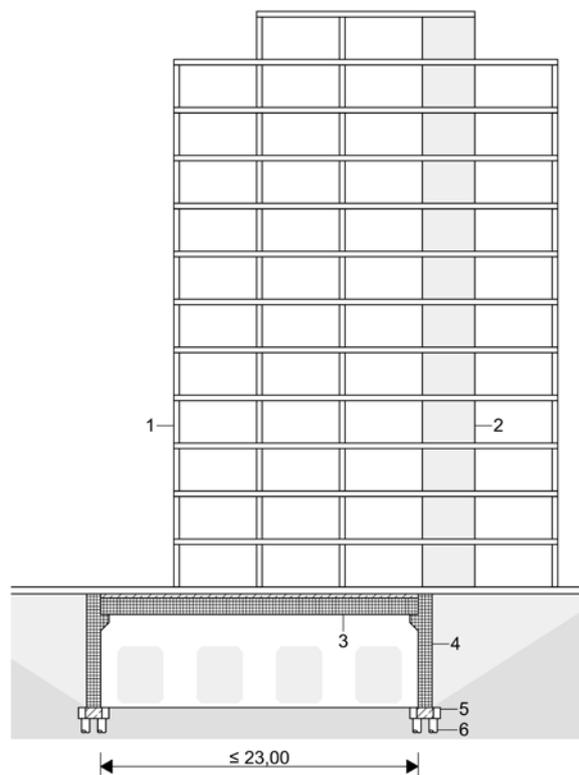
¹²⁴ vgl. *IJM Land Berhad (2022): Royal Mint Gardens – Project Progress*

4.3.6 Überbauungsstudien, London

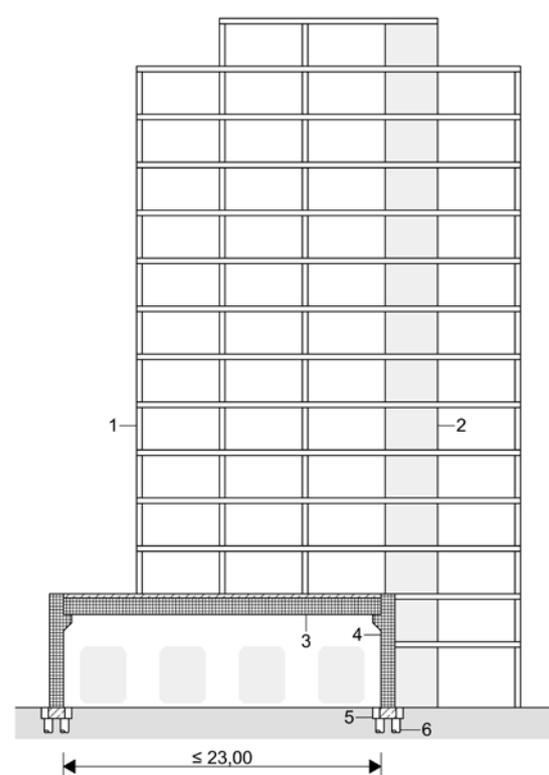
Wie viele andere Metropolen sucht auch London nach neuen Lösungen zur Linderung des zunehmenden Wohnungsmangels. In diesem Zusammenhang wurde eine Reihe von Untersuchungen zu den Chancen und Herausforderungen von Gleisüberbauungen in der Londoner Innenstadt durchgeführt. Im Auftrag des britischen Schienennetzbetreibers *Network Rail* führte das Ingenieurbüro *WSP* Machbarkeitsstudien zum Überbauungspotenzial der Londoner Verkehrsinfrastruktur durch. Die Ergebnisse der Studien sind in den Veröffentlichungen „Out of Thin Air“ und „Out of Thin Air – One Year On“ zusammengefasst und flossen zudem in den Leitfaden „Linear Infrastructure Overbuild Guide“ ein, welcher vom britischen Unternehmensverband ‚Buildoffsite‘ beauftragt wurde. Die Studien stellen u.a. die Bedeutung eines zweckmäßigen Tragsystems für ein erfolgreiches Überbauungsprojekt heraus und beschreiben mögliche Konzepte zur optimalen konstruktiven Umsetzung.

Abbildung 33: Überbauungsstudien, London – Tragwerk¹²⁵

Gleistrasse im Geländeeinschnitt



Gleistrasse auf Straßenniveau



- 1 Variables Hochbautragwerk
- 2 Aussteifender Kern
- 3 Decke aus Halbfertigteilen mit Ortbetonergänzung
- 4 Wände aus Fertigteilen oder Elementwänden
- 5 Unterfangungsbalken
- 6 Bohrpfahlgründung

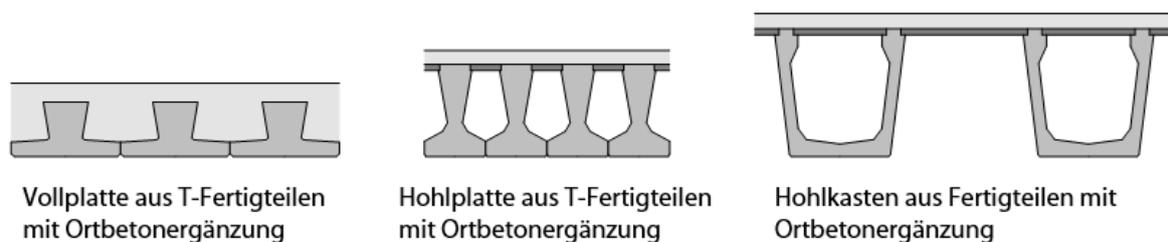
¹²⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an Price, B; Fraser, N. (2019), S. 25 und Price, B., WSP (2018a), S. 38

Tragsystem

Das prinzipielle Tragsystem, welches in den Studienberichten vorgeschlagen wird, ist in der vorangestellten Abbildung dargestellt. Das Grundelement der Überbauung bildet eine tragende und vollumschließende Einhausung („Encapsulation“) der Bahntrasse – unabhängig davon, ob die Trasse in einem Geländeeinschnitt oder ebenerdig verläuft. Die massive Einhausung, welche vorzugsweise in Stahlbeton ausgeführt werden soll, setzt sich aus seitlichen Stützwänden und horizontalen Deckenelementen zusammen und verzichtet auf Zwischenabstützungen im Gleisbereich.¹²⁶

Die horizontale Deckenkonstruktion („Deck“) der Einhausung bildet einen tragenden Gleisdeckel bzw. die tragende Plattform für den Wohnungshochbau. Bei einer Trasse mit vier Gleisen soll die Spannweite maximal 23,0 m betragen. Der Leitfaden empfiehlt, den Gleisdeckel mithilfe von vorgespannten Teilfertigteilen zu erstellen. Je nach erforderlichem Biege­widerstand stehen beispielsweise T-Fertigteile mit Ortbetonergänzung oder Halffertig­teile zur Bildung von Hohlkastenquerschnitten zur Auswahl (siehe folgende Abbildung). Die Auflagerung der Deckenelemente erfolgt durch Konsolen an den Seitenwänden. Die Wände sollen vorzugsweise als massive Betonfertigteile oder als Elementwände mit Ortbetonergänzung gefertigt werden. Zur Gründung der hochbelasteten Wände im Londoner Baugrund werden Bohrpfähle als optimale Lösung angenommen. Bei Bedarf können die Bohrpfähle in Doppelreihen mit Unterfangungsbalken ausgeführt werden.¹²⁷

Abbildung 34: Überbauungsstudien, London – Deckelquerschnitte¹²⁸



Überspannen der Gleise

Das Überspannen der Trasse erfolgt durch einen abfangenden Gleisdeckel. Die Lasten der einzelnen Geschossdecken werden wie bei einem gewöhnlichen Skelettbau zunächst von den Stützen des Hochbaus gleichmäßig als Druckkräfte nach unten geleitet. Der Gleisdeckel fängt die vertikalen Stützenkräfte ab und leitet diese über die seitlichen Wände der Einhausung in den Baugrund. Die abfangende Deckenkonstruktion wirkt dabei ausschließlich auf Biegung. Spannweiten von bis zu 23 m und einwirkende Lasten aus über zehn Geschossen können zu hohen Biegemomenten im Bereich von bis zu 10 MNm/m führen.¹²⁹

Mit den vorgeschlagenen Spannbetonkonstruktionen wird versucht, die nötigen Biege­widerstände auf möglichst effiziente Weise bereitzustellen. Die Querschnitte sind zum Teil aus dem Brückenbau entlehnt und auf Biegung optimiert. Durch den Einsatz von Hohlplatten- und Hohlkastenelementen anstatt von Vollplatten werden Betonvolumina eingespart, Eigenlasten reduziert und die Querschnitte bei Biegebeanspruchungen effizienter ausgenutzt.

¹²⁶ vgl. Price, B; Fraser, N. (2019), S. 16 ff.

¹²⁷ vgl. Price, B; Fraser, N. (2019), S. 16 ff.

¹²⁸ übernommen aus Price, B; Fraser, N. (2019), S. 18

¹²⁹ vgl. Price, B, WSP (2018b): $160 \text{ kN/m}^2 \times (23 \text{ m})^2 / 8 = 10,58 \text{ MNm/m}$

Einsparungen von Raumbedarf und Tragwerkskosten möglich sind.¹³³ Die vorangestellte Tabelle zeigt, wie sich eine leichtere Bauweise besonders bei hohen Gebäuden vorteilhaft auf die statisch erforderliche Gleisdeckelhöhe auswirken kann.

Darüber hinaus sollte der aussteifende Kern stets neben der Einhausung platziert und direkt im Baugrund gegründet sein, um zusätzliche Lasten für den Gleisdeckel zu vermeiden.¹³⁴

Anprallschutz

Die Minimierung der Spannweite durch möglichst geringe Abstände zwischen Stützwänden und Gleisen bedeutet, dass die Wände im Fall einer Entgleisung ungünstig positioniert sind. Die Stützwände sind folglich auf hohe potenzielle Anpralllasten zu dimensionieren und zu bemessen. Die Machbarkeitsstudie führt jedoch an, dass bei hohen Vertikallasten derart große Wandquerschnitte erforderlich sind, dass die zu berücksichtigten Anpralllasten keinen signifikanten Einfluss mehr auf die Stützwandabmessung haben. So werden ab einer kritischen Anzahl von etwa 10 Geschossen in Modulbauweise die Stützwanddicken durch die Hochbaulasten anstatt durch die Anpralllasten bestimmt. Somit führt die Anprallschutzanforderung als solche bei hohen Gebäuden zu keinen wesentlich höheren Kosten.¹³⁵

Die ausschließliche Verwendung von kontinuierlichen Wänden schließt zudem einen Frontalanprall auf Tragelemente innerhalb der Überbauung aus. Damit werden die bemessungsrelevanten Anprallkräfte reduziert.¹³⁶

Tunnelbrandschutz

Der Schutz des Tragwerkes und des Hochbaus vor einem Tunnelbrand wird durch die Verwendung von Stahlbeton als Einhausungsmaterial optimiert. Der Feuerwiderstand der Betonwände und Decke kann durch die Betondeckung ohne weitere Maßnahmen auf das erforderliche Maß erhöht werden. Die kontinuierliche Einhausung verhindert zudem, dass ein Tunnelbrand im Gleisbereich auf den Hochbau übergeht.¹³⁷

Schall- und Erschütterungsschutz

Um die Wohnflächen vor dem Körperschall des Bahnverkehrs zu schützen, wird auf eine Reihe von typischen Schallschutzmaßnahmen verwiesen:¹³⁸

- Anpassung der Gründung zur Minimierung der Körperschallübertragung
- Abstimmung der Deckendicken und Deckenspannweiten
- Begrenzung der Resonanzeffekte durch geeignete Baumaterialien
- Abtrennung der empfindlichen Nutzflächen von vibrationsbelasteten Bereichen
- Entkopplung einzelner Räume mithilfe von elastischen Unterlagen und Federsystemen („Raum-in-Raum“)
- Entkopplung des ganzen Hochtragwerkes durch Elastomerlager oder Federlager

Die Studien empfehlen jedoch, die schalltechnische Entkopplung nicht auf der Ebene der grundlegenden Einhausung, sondern im Übergang zum Hochbau zu realisieren: Statt die Wände und die abfangende Decke der Betonkapsel elastisch aufzulagern, sollten potenzielle Elastomerlager oder Federsysteme erst oberhalb der Einhausung als Lagerung für das Hochbautragwerk angeordnet werden.¹³⁹ Potenzielle Vorteile dieser Bauweise sind, dass das Einkapseln der Bahntrasse vereinfacht wird, die empfindlichen Lagerelemente keinen Tunnelbrandeinwirkungen ausgesetzt sind und die Wartung und Instandhaltung der Lagerung unabhängig vom Bahnbetrieb erfolgen kann.

¹³³ vgl. *Price, B., WSP* (2018b)

¹³⁴ vgl. *Price, B.; Fraser, N.* (2019), S. 21

¹³⁵ vgl. *Price, B.; Fraser, N.* (2019), S. 27

¹³⁶ vgl. *Price, B., WSP* (2017), S. 12

¹³⁷ vgl. *Price, B.; Fraser, N.* (2019), S. 73

¹³⁸ vgl. *Price, B., WSP* (2018a), S. 38

¹³⁹ vgl. *Price, B.; Fraser, N.* (2019), S. 27 und *Price, B., WSP* (2017), S. 12

Bauen unter Bahnbetrieb

Die Errichtung des Überbauungstragwerkes unter Bahnbetrieb wird durch den hohen Vorfertigungsgrad der unteren Einhausung bzw. des Gleisdeckels optimiert. Der Einsatz von Fertig- und Halbfertigteilen soll eine möglichst schnelle Montage erlauben, sodass Unterbrechungen des Bahnbetriebs verkürzt werden. Zudem schützt der fertiggestellte Gleisdeckel den Bahnverkehr während der nachfolgenden Erstellung des Hochbaus.

Der Leitfaden gibt weiterhin an, dass sich Stahlbeton als Einhausungsmaterial vorteilhaft auf die Nutzungs- bzw. Instandsetzungsphase auswirke. So weisen Stahlbetontragwerken bei korrekter konstruktiver Durchbildung höhere Lebensdauern und einen geringeren Wartungsaufwand als Stahlkonstruktionen auf. Weniger Instandhaltungsarbeiten an der Einhausung bedeuten weniger wartungsbedingte Einschränkungen für den Bahnbetrieb.¹⁴⁰

Fazit

Das in den Studien konzipierte Tragsystem richtet sich an typische Überbauungssituation, bei denen bis zu vier Gleise mit bis zu 12 Wohngeschossen zu überbauen sind. Vorgeschlagen wird eine geschlossene Einhausung aus Stahlbeton, bestehend aus seitlichen Stützwänden und einem Gleisdeckel, welcher als Basis für einen Geschossbau in beliebiger Bauweise dient.

Das Überbauungskonzept zielt darauf ab, den Bahnbetrieb möglichst wenig zu beeinträchtigen. Die grundlegende Betoneinhausung besteht daher überwiegend aus Fertigteilen, verwendet keine Abstützungen zwischen den Gleisen und bildet eine schützende Gleisabdeckung für alle folgenden Überbauungsarbeiten. Das besondere Merkmal des Systems ist, dass die Betoneinhausung sowohl als Abfangung dient als auch Funktionen des Anprall-, Brand- und Luftschallschutzes in sich vereint. Durch die Zusammenfassung von Funktionen in einer Konstruktion lässt sich der Herstellungsprozess komprimieren.

Die Empfehlung, ein gewichtsoptimiertes Hochbautragwerk zur Reduzierung der abzufangenden Lasten einzusetzen, stellt einen Ansatz dar, welcher sich bei sämtlichen Gleisdeckelsystemen als vorteilhaft erweisen kann. Auch die angeführten Synergien zwischen hohen Geschossanzahlen und dem Anprallwiderstand der Stützwände sind interessant. Die Studien deuten zudem konkrete Spannbetonquerschnitte an, welche einen biegeoptimierter Gleisdeckel bilden könnten. Der grundlegende Nachteil des vorgeschlagenen Tragsystems bleibt jedoch die begrenzte Effizienz eines rein auf Biegung wirkenden, ebenen Deckels und der mit der Spannweite stark zunehmende Ressourcenverbrauch.

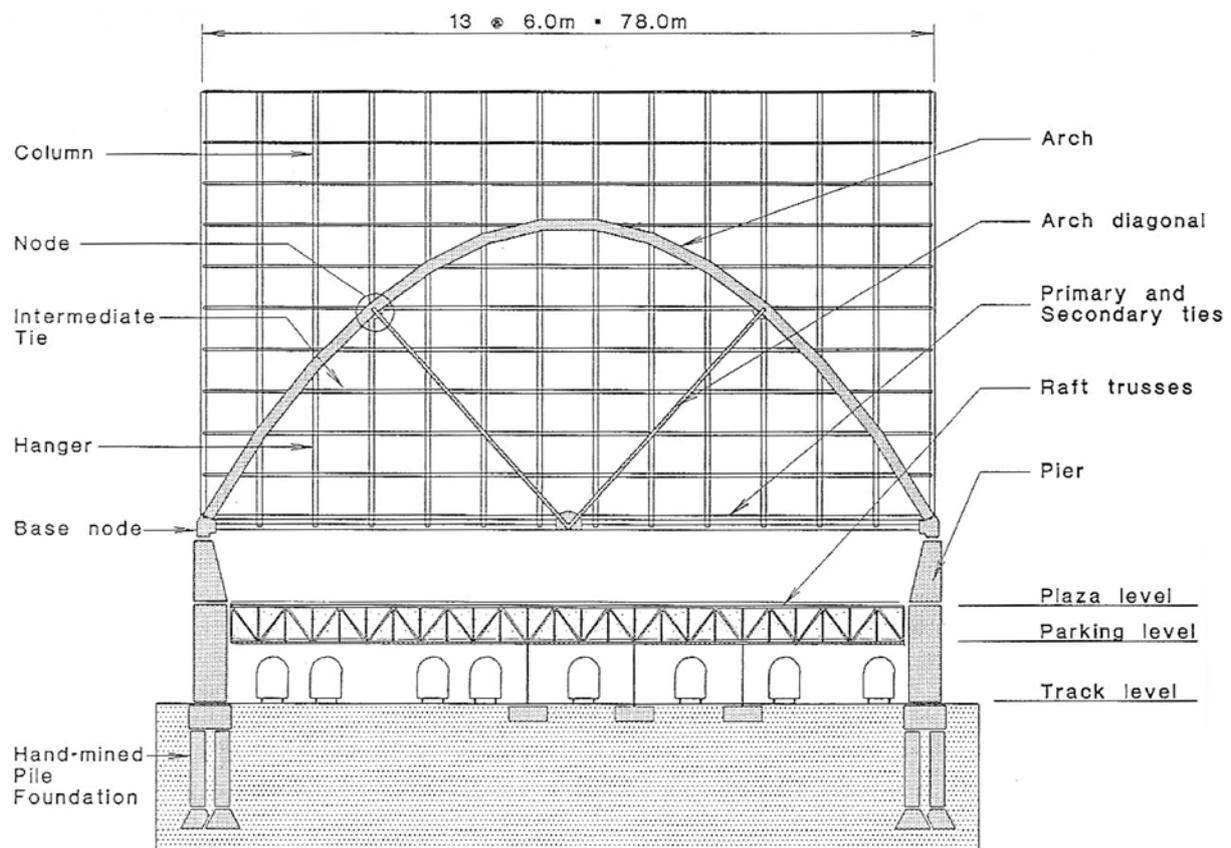
¹⁴⁰ vgl. Price, B; Fraser, N. (2019), S. 73

4.3.7 Broadgate Exchange House, London

Das zehngeschossige Bürogebäude mit der Bezeichnung ‚Broadgate Exchange House‘ ist eine Gleisüberbauung im Stadtteil City of London. Das 1990 fertiggestellte Bauwerk überbrückt mit einer Spannweite von 78,0 m das Gleisvorfeld vor dem Bahnhof Liverpool Street Station.¹⁴¹ Als Entwurf des Architektur- und Ingenieurbüros Skidmore, Owings and Merrill dient die Überbauung insbesondere einer architektonisch-gestalterischen Funktion. Die Prioritäten bei diesem eher repräsentativen Bauwerk unterscheiden sich daher von den Zielstellungen und Rahmenbedingungen eines funktionalen Wohnungsbaus. Da jedoch das grundlegende Tragprinzip des Broadgate Exchange House ebenso in einem kleineren Maßstab vorstellbar ist, lohnt sich eine statisch-konstruktive Analyse des Bauwerkes.

Das Überbauungssystem des Broadgate Exchange House besitzt mehrere Ebenen. Der Lichtraum der Bahntrasse wird zunächst von einem geschosshohen Fachwerkssystem mit einzelnen Zwischenstützen überbrückt. Diese Fachwerkkonstruktion trägt jedoch ausschließlich eine Parkebene und das stützenlose Luftgeschoss, welches von den umliegenden Straßen und Plätze frei zugänglich ist. Oberhalb der offenen Ebene beginnt das eigentliche Gebäudevolumen des Broadgate Exchange House, welches die Büroetagen umfasst und ein separates Überbauungssystem besitzt.

Abbildung 36: Broadgate – Exchange House Tragwerk¹⁴²



¹⁴¹ Übernommen aus Skidmore, Owings & Merrill (2022): Broadgate – Exchange House

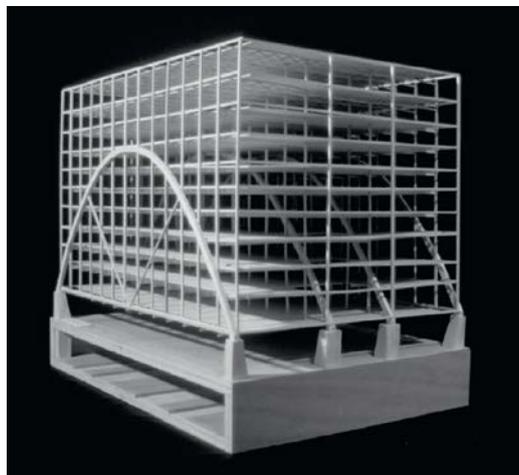
¹⁴² Iyengar, H.; Baker, W.; Sinn, R. (1993), S. 215

Tragsystem

Die primären Tragwerkselemente des Gebäudevolumens sind vier parallel angeordnete Parabelbögen aus Stahl. Die sieben Geschosse hohen Bögen überbrücken die gesamte Spannweite von 78,0 m und bestehen aus 1000 mm hohen Querschnitten mit 80 mm dicken Flanschen. Die primären Bögen stützen vertikale Tragglieder, welche in horizontalen Abständen von 6,0 m in den Bogenebenen platziert sind. Diese als I-Profile ausgebildeten Elemente wirken oberhalb der Bögen als Stützen und unterhalb der Bögen als Hänger. An den Stützen bzw. Hängern sind wiederum die als Verbundkonstruktionen gefertigten Geschossdecken befestigt.¹⁴³

Die Füße der vier Bögen sind jeweils durch Zugbänder in Form von Stahlblechen kurzgeschlossen. Zwei zusätzliche Bogendiagonalen je Bogen stabilisieren die Konstruktion bei asymmetrischen Lasteinwirkungen. Die Bogenfüße sind mittels Elastomerlagern auf massiven Betonpfeilern aufgelagert, welche bis zum Gleisniveau reichen und dort mit Bohrpfehlern gegründet sind.¹⁴⁴

Abbildung 37: Broadgate Exchange House – Tragwerksmodell¹⁴⁵



Überspannen der Gleise

Die Bahntrasse wird von zwei separaten Überbauungssystemen überspannt. Das untere Fachwerksystem bildet einen selbsttragenden Gleisdeckel, der eine geschlossene Abdeckung der Trasse und eine passierbare Ebene schafft, jedoch keine tragende Funktion für das Bürogebäude übernimmt. Der eigentliche Hochbau und damit der Großteil der Vertikallasten wird von der Bogenkonstruktion als eigenständiges Abfangungssystem getragen.

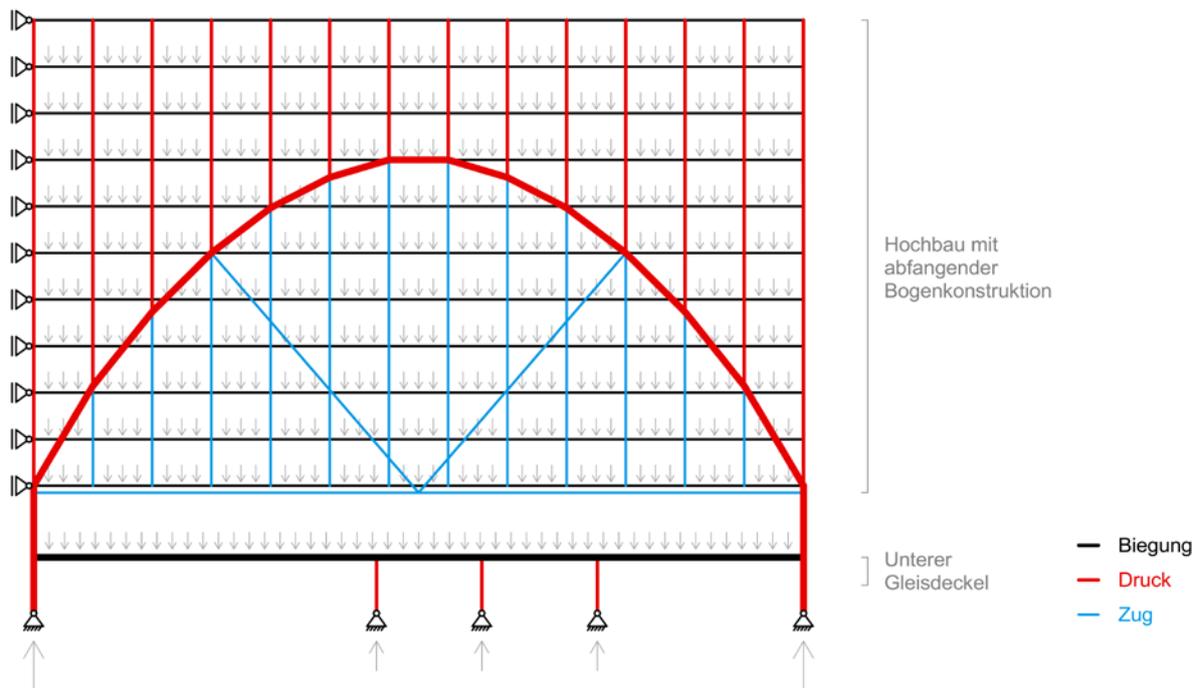
Die Lasten aus den Geschossdecken werden über Drückstützen (oberhalb der Bögen) oder Zughänger (unterhalb der Bögen) in die Parabelbögen eingeleitet. Die Form der Bögen bildet die Stützlinie nach, die sich aus den einwirkenden Vertikallasten ergibt. Da sich aufgrund der diskreten Lasten eine segmentierte Stützlinie einstellt, wurden auch die Parabelbögen aus geraden Teilsegmenten zusammengesetzt. Durch die Nachbildung der Stützlinie stellt sich die besonders effiziente Bogentragwirkung ein, d.h. die Bogensegmente werden nicht auf Biegung, sondern hauptsächlich auf Druck beansprucht. Durch das lastmäßige Kurzschließen der Bogenfüße müssen die Stützpfiler keine horizontalen Bogenschubkräfte aufnehmen.¹⁴⁶

¹⁴³ vgl. *Deatker, O. et.al.* (2020)

¹⁴⁴ vgl. *Iyengar, H.; Baker, W.; Sinn, R.* (1993), S. 214 f.

¹⁴⁵ Übernommen aus *Sandaker, B. N.; Eggen, A. P.; Cruvellier, M. R.* (2019), S. 468, Modell: *Miller, J.*

¹⁴⁶ vgl. *Jajich, D.; Baker, B.* (2015), S. 76 ff.

Abbildung 38: Broadgate Exchange House – Statisches System¹⁴⁷

Das Tragwerk der Überbauung entspricht damit einer „unechten“ (d.h. selbstverankerten) Bogenbrücke – mit dem einzigen Unterschied, dass anstelle einer flachen Fahrbahn ein mehrgeschossiger Skelettbau eingehängt bzw. aufgestützt ist.

In der Konzeptionsphase wurden auch Alternativen zum Bogentragwerk untersucht. Der Vergleich mit anderen Abfangungsvarianten wie einem Mega-Fachwerk oder einer hängebrückenartigen Konstruktion zeigte jedoch, dass die Bogenkonstruktion aufgrund ihrer effizienten Tragwirkung die wirtschaftlichste Lösung für die gegebene Spannweite und Geschossanzahl darstellt. Im Vergleich zu den anderen Varianten benötigen die Bögen eine deutlich geringere Stahlmenge zur Bewältigung der Überspannungsaufgabe.¹⁴⁸

Das Überbauungsprojekt macht damit deutlich, dass sich insbesondere bei großen Spannweiten eine vorrangige Optimierung des Abfangungssystems lohnt. Je herausfordernder das Überspannen der Trasse ist, d.h. je größer die Kosten des primären Systems sind, desto mehr lohnt sich der Aufwand einer freien Anpassung der Tragwerksgeometrie an den optimalen Lastfluss.

Schall- und Erschütterungsschutz

Die gesamte Gebäudelast wird über die acht Betonpfeiler unter den Bogenfüßen abgetragen. Die Elastomerlager, welche an diesen Stellen platziert sind, erzeugen nicht nur die gewünschten statischen Freiheitsgrade, sondern tragen auch zu einer schalltechnischen Entkopplung bei. Die Vibrationen infolge des Schienenverkehrs werden durch die Elastomerlager beim Übergang von den Betonpfeilern in den Hochbau abgedämpft.¹⁴⁹

Zum Schutz der Büroräume vor direktem Luftschall aus dem Gleisbereich trägt der untere Gleisdeckel bei. Die von der Fachwerkkonstruktion getragenen Ebenen schirmen den Lärm der Schienenfahrzeuge ab und dämpfen die Luftschallübertragung. Da keine kraftschlüssige Kopplung zwischen dem abschirmenden Gleisdeckel und dem Hochbautragwerk besteht, kann auch keine Übertragung in Form von Körperschall stattfinden.

¹⁴⁷

¹⁴⁸ vgl. Jajich, D.; Baker, B. (2015), S. 76

¹⁴⁹ vgl. Deatker, O. et.al. (2020)

Anprallschutz

Die acht Stützpfeiler der Überbauung reichen vom Erdgeschoss bis in die Gleisebene, in welcher potenzielle Anpralllasten zu berücksichtigen sind. Aufgrund der hohen vertikalen Druckkräfte von bis zu 60 MN unter den Bogenfüßen handelt es sich jedoch um massive Stützpfeiler mit Dicken von ca. 3,5 m.¹⁵⁰ Da bei zunehmender Normalkraft der Einfluss von Anpralllasten auf die Stützdimensionierung geringer wird, kann bei den vorliegenden Pfeilern vermutet werden, dass ein ausreichender Anprallwiderstand problemlos erreicht werden kann. Zudem ist kein Frontalanprall möglich, da die Stützpfeiler in den seitlichen Trogwänden der Bahntrasse aufgehen.

Im Gegensatz dazu befinden sich die Zwischenabstützungen des unteren Gleisdeckels innerhalb des Gleisbereiches. Der Anprall von Schienenfahrzeugen an diese Zwischenabstützungen würde sich zwar nicht auf die Standsicherheit des Hochbaus auswirken, jedoch stellt auch das Versagen des Gleisdeckels eine Gefahr für sich in diesem Bereich aufhaltende Menschen dar. Die Stützen bzw. Wände zwischen den Gleisen sind demnach so zu bemessen oder zu schützen, dass sie einem Anprall widerstehen können, oder das Fachwerk des Gleisdeckels muss in der Lage sein, den Ausfall einer Stütze zu kompensieren.

Bauen unter Bahnbetrieb

Vor dem Bau des eigentlichen Bürogebäudes, wurde zunächst der untere, selbsttragende Gleisdeckel fertiggestellt. Während der nachfolgenden Montage der Bogenkonstruktionen und des Skelettbaus diente der Gleisdeckel als Schutzabdeckung für den Gleisraum. Ein Bahnbetrieb war trotz der umfangreichen Bauarbeiten somit weiterhin möglich. Die Fachwerkkonstruktion diente zudem als Abfangung für temporäre Stützen, welche für die Montage der Bögen erforderlich waren. Damit konnte die Anzahl an Stützen zwischen den Gleisen minimiert und die Beeinträchtigungen für den Bahnverkehr reduziert werden. Nach Fertigstellung der Bogenkonstruktion wurden die Hilfsstützen entfernt und damit die Kopplung zwischen Gleisdeckel und Hochbautragwerk aufgehoben.¹⁵¹ In dieser Weise stützt der untere Fachwerk-Gleisdeckel im Endzustand zwar nur noch das Parkgeschoss und das offene Erdgeschoss, jedoch hat er entscheidend zur Optimierung des Herstellungsprozesses und zur Sicherstellung eines störungsfreien Bahnbetriebes beigetragen.

Fazit

Das Broadgate Exchange House stellt mit seiner außergewöhnlich hohen Spannweite einen Sonderfall unter den betrachteten Gleisüberbauungen dar. Das Bauwerk zeigt, dass Gleisüberbauungen auch in sehr großem Maßstab realisierbar sind. Ob mithilfe von derartig weitspannenden Tragsystemen auch bezahlbarer Wohnraum geschaffen werden kann, ist zu hinterfragen.

Die hohe Effizienz von Parabelbögen im Hinblick auf das Abfangen von Lasten könnte jedoch ebenso bei Überbauungen in kleinerem Maßstab angewendet werden. Die abfangenden Bögen, welche die Stützlinie nachformen, lassen sich auf beliebige Stützweiten und Geschossanzahlen anpassen. Das Tragprinzip des Broadgate Exchange House könnte somit zumindest als Vorbild dienen, um eine Tragwerksvariante für eine kleinere Gleisüberbauung zu entwickeln.

¹⁵⁰ vgl. Jajich, D.; Baker, B. (2015), S. 78

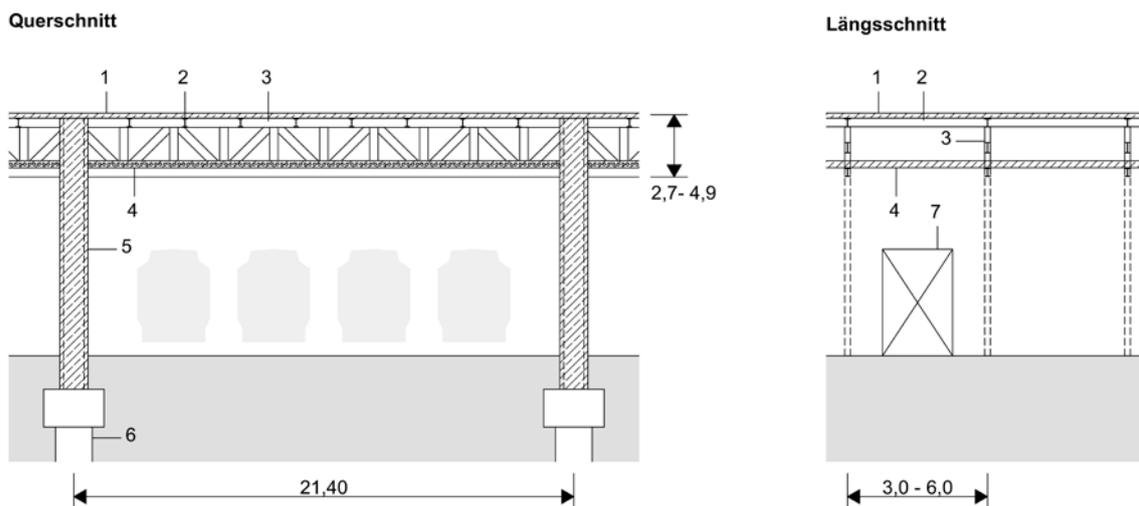
¹⁵¹ vgl. Deatker, O. et.al. (2020)

Tragsystem

Das Grundelement der konzipierten Überbauungskonstruktion ist das „Deck“ – eine grundlegende Plattformkonstruktion, welche die Gleisanlage deckelt und die Oberfläche für das neue Stadtviertel schafft. Das Deck wird von Wänden bzw. Stützenreihen getragen, welche zwischen den Gleisen angeordnet sind. Der Abstand zwischen den einzelnen Abstützungsachsen bestimmt die Spannweite der Plattformkonstruktion. Da die möglichen Standorte für die Abstützungen von der Gleisführung und den Mindestabständen abhängig sind, variieren die Spannweiten des Decks zwischen 12,0 und 30,0 m.¹⁵⁸ Innerhalb der regelmäßigen Abstellgleisbereiche, welche den Standardfall der Sunnyside-Yard-Überbauung darstellen, ist nach jedem vierten Gleis eine Stützwand vorgesehen, sodass sich Spannweiten von etwa 21,0 m ergeben.¹⁵⁹

In der ersten Machbarkeitsstudie wurde vorläufig angenommen, dass eine Stahlverbundkonstruktion aufgrund der leichten Montage und der lokalen Expertise mit dieser Bauweise die optimale Deckkonstruktion für den Sunnyside Yard darstellt. Die folgende Abbildung zeigt ein vorkonzipiertes Stahlverbunddeck mit Stützwänden für den Regelfall, dass nach allen vier Gleisen eine Stützwand angeordnet wird. Die Stützwände bzw. Stützenreihen sollen mithilfe von Bohrpfehlen gegründet und als 1,2 m starke Verbundwände mit hochfestem Beton ausgeführt werden. An den Positionen, an denen die Hauptträger des Decks aufliegen (alle 3,0 bis 6,0 m) ist eine Stahlstütze in den Beton integriert.¹⁶⁰ Sofern Zugänge für Personal vorhanden sein müssen, können die Wände mit lokalen Durchbrüchen versehen werden. In Bereichen von hohen Gebäudelasten sind die Wände bzw. Stützen entsprechend zu verstärken.¹⁶¹

Abbildung 40: Sunnyside Yard – Stahlverbunddeck¹⁶²



- 1 Trapezblech-Verbunddecke
- 2 Querträger aus Stahlprofilen
- 3 Hauptträger als Stahlfachwerk
- 4 Betonhohlplatte
- 5 Verbundwand
- 6 Bohrpfehlgründung
- 7 Optionale Wandöffnung

¹⁵⁸ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 68

¹⁵⁹ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017b), Figure B11

¹⁶⁰ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 71

¹⁶¹ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 71

¹⁶² eigene Darstellung in Anlehnung an New York City Economic Development Corporation (2017b), Figure B11 und Figure B09

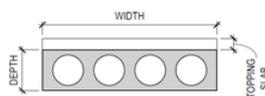
Die Hauptträger sind als Fachwerkträger aus Stahlprofilen ausgebildet. Zur zügigen Abdeckung des Gleisbereiches und zur Schaffung eines geschützten Arbeitsbereiches werden vorgefertigte Betonhohlplatten auf die Untergurte der Fachwerkträger montiert.¹⁶³ Zwischen den Obergurten der Hauptträger spannen Querträger, welche die obere Abdeckung des Decks tragen. Die obere Abdeckung kann z.B. in Form einer Verbunddecke gefertigt werden und dient als direkte Basis für den Aufbau einer intensiven Begrünung oder für einen Straßenunterbau.¹⁶⁴ Die Deckkonstruktion ähnelt damit einer orthotropen Platte, welche im Brückenbau verbreitet ist.

Der zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlichte Masterplan zieht nicht nur Verbundkonstruktionen, sondern ebenso vorgefertigte Stahlbeton- und Spannbetonelemente zur Herstellung des Decks in Betracht (siehe folgende Abbildung). Der optimale Querschnitt und die passende Querschnittshöhe ergibt sich in Abhängigkeit des erforderlichen Biegegewiderstandes, der geometrischen Randbedingungen und der zulässigen Montagegewichte.

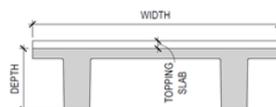
Abbildung 41: Sunnyside Yard – Deckkonstruktionen¹⁶⁵

Betonfertigteil-Systeme

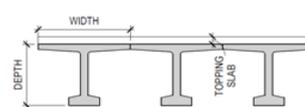
Hohlkörperplatten



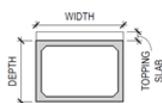
Plattenbalken



Plattenbalken I-Querschnitt



Kastenträger



Hohlkastenüberbau

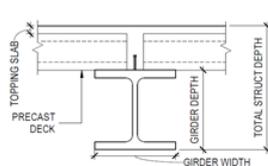


Hohlkastenträger

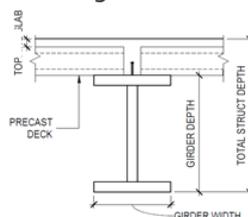


Stahlverbundsysteme

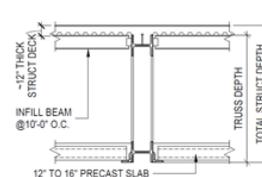
Breitflanschträger



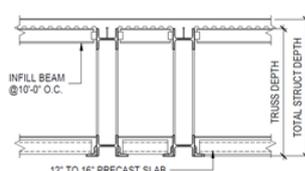
Plattenträger



einfaches Fachwerk



doppeltes Fachwerk



¹⁶³ vgl. New York City Economic Development Corporation (2020b), S. 30

¹⁶⁴ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 72

¹⁶⁵ übernommen aus New York City Economic Development Corporation (2020b), Appendix A.6.Q

Der Masterplan legt sich weder auf eine Betonfertigteile- noch auf eine Stahlverbundbauweise fest, sondern identifiziert die charakteristischen Vor- und Nachteile beider Bauweisen im Hinblick auf die Deckelung der Gleisanlagen. Für jeden Einsatzort müsse die optimale Bauweise individuell anhand der Randbedingungen bestimmt werden. Die in den Studien angeführten Merkmale beider Deck-Bauweisen sind nachfolgend gegenübergestellt:

Tabelle 4: Sunnyside Yard – Betonfertigteile und Stahlverbundbauweise im Vergleich¹⁶⁶

Betonfertigteile	Stahlverbundbauweise
<ul style="list-style-type: none"> + Die Verwendung von Fertigteilen ohne Ortbeton ermöglicht eine schnelle, effiziente und sichere Montage, sodass Gleissperrungen verkürzt werden. + Das Betondeck dient unmittelbar nach Montage als Schutzabdeckung für den Gleisbereich und als tragende Arbeitsplattform. + Die Fertigteile können mit beliebigen Querschnitten vorgefertigt und damit an die Biegebelastung angepasst werden. 	<ul style="list-style-type: none"> + Die geringeren Gewichte von Stahlelementen erleichtern den Transport und die Montage. + Kleinere und flexiblere Hebezeuge können zur Platzierung der Elemente eingesetzt werden. + Aufgrund der hohen spezifischen Festigkeit von Stahl sind kompaktere Deckkonstruktionen möglich. + Stahlsysteme bieten gute Schnittstellen zu zusätzlichen Fachwerkabfangungen für höhere Gebäude.
<ul style="list-style-type: none"> - Aufgrund der hohen Gewichte von Betonfertigteile erhöht sich der Transport- und Montageaufwand. - Das Verlegen von schweren, weitspannenden Betonfertigteilen erfordert leistungsfähige, spezialisierte Hebevorrichtungen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zur Fertigstellung einer Verbundkonstruktion ist eine Ortbetonergänzung nötig. Dieser Fertigungsschritt führt zu einer vergleichsweise höheren Montagedauer.

Überspannen der Gleise

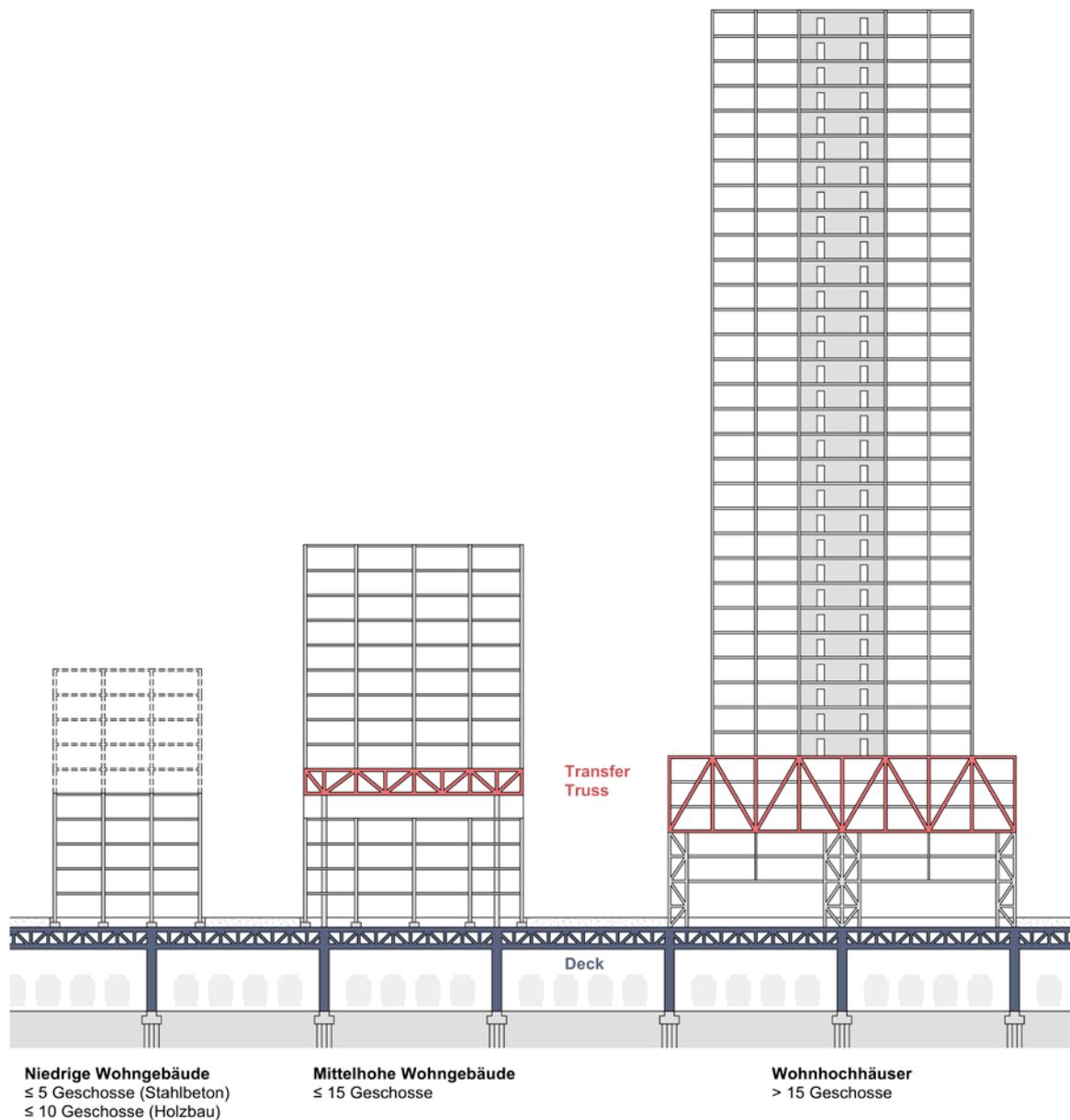
Die Zielstellung der Überbauung ist die Schaffung eines Stadtviertels einschließlich Wohnobjekten in unterschiedlichen Größenordnungen. Zusätzlich zu der grundlegenden Deckkonstruktion sind daher je nach Größe der Wohnbebauungen weitere Abfangungssysteme zum Überspannen der Gleise erforderlich. Die Studien unterscheiden dabei zwischen niedrigen Wohngebäuden, mittelhohen Wohngebäuden und Wohnhochhäusern (siehe folgende Abbildung).¹⁶⁷

Die Kategorie der niedrigen bzw. „leichten“ Wohngebäude umfasst Stahlbetonbauten mit bis zu 5 Geschossen und Holzbauten mit bis zu 10 Geschossen. Bei derartigen Bauwerken wird davon ausgegangen, dass sie das Lastniveau eines Landschaftsbaus bzw. von Straßen und Wegen, welche das Deck in jedem Fall tragen muss, nicht überschreiten. Niedrige Wohngebäude können demnach ein konventionelles Hochbautragwerk besitzen und direkt auf dem Deck ohne zusätzliche Abfangung platziert sein. Das Decktragwerk fängt die Stützenlasten aus dem Hochbau ab und leitet die Lasten über Biegung zu den unteren Stützwänden. Niedrige Bauwerke können daher mit hoher Flexibilität auf dem Deck angeordnet werden.¹⁶⁸

¹⁶⁶ vgl. New York City Economic Development Corporation (2020b), S. 28 ff.

¹⁶⁷ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 72

¹⁶⁸ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 72; New York City Economic Development Corporation (2020b), Appendix A.6.U

Abbildung 42: Sunnyside Yard – Gebäudetypen¹⁶⁹

Mittelhohe Wohngebäude mit bis zu 15 Geschossen können nicht mehr ausschließlich durch das grundlegende Deck getragen werden, sondern erfordern eine zusätzliche Abfangung. Der Masterplan sieht für derartige Bauwerke ein zweiteiliges Überbauungssystem vor. Die unteren 5 Geschosse sollen wie ein niedriges Wohngebäude direkt auf das Deck gestellt werden. Oberhalb dieser unteren 5 Geschosse folgt ein geschosshohes Fachwerk, das sog. „Transfer Truss“, welches sich mit separaten Stützen direkt auf den grundlegenden Wänden abstützt und die oberen 10 Geschosse trägt. Der obere und der untere Teil der Gebäude besitzen somit eigenständige Abfangungssysteme, deren Lastflüsse erst in den Stützwänden des Decks zusammenlaufen. In dieser Weise ist keine stärkere Deckkonstruktion für größere Hochbauten erforderlich.¹⁷⁰

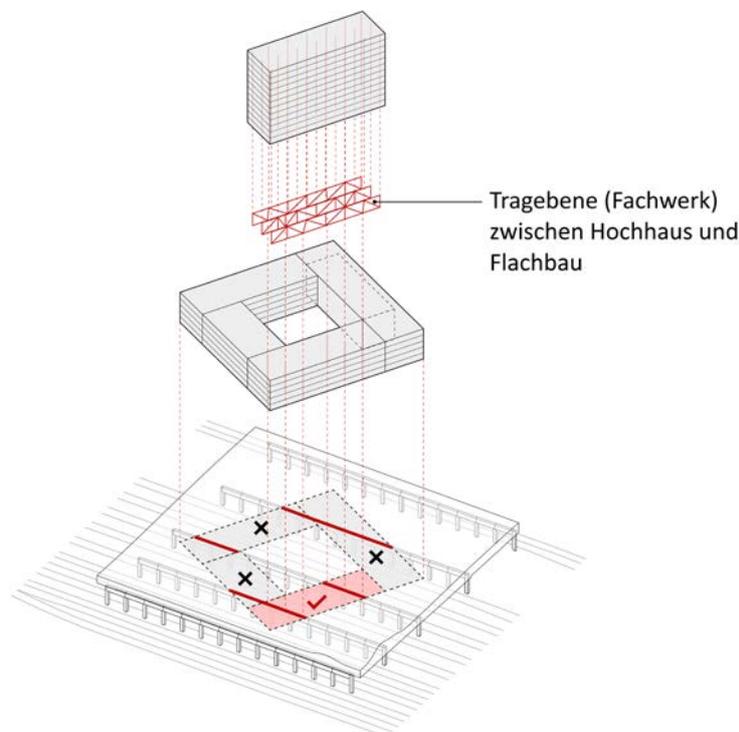
¹⁶⁹ eigene Darstellung in Anlehnung an New York City Economic Development Corporation (2020a), S. 88 ff. und New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 70

¹⁷⁰ vgl. New York City Economic Development Corporation (2020a), S. 90 f.

Mit steigenden Geschosszahlen erhöht sich die erforderliche Tragfähigkeit des „Transfer Truss“. Die Machbarkeitsstudie stellt exemplarisch dar, in welcher Form das Tragsystem eines Wohnhochhaus bzw. Wohnturms mit einer Vielzahl an Geschossen zu konzipieren ist. Demnach stützt sich der Wohnturm mit Stahlbetonkern auf einem drei Geschosse hohen Fachwerk ab. Dieses „Mega-Fachwerk“ sammelt die Lasten aus dem Turm ein und konzentriert diese auf drei grundlegende Stützwandreihen. Sämtliche Stützelemente zwischen Mega-Fachwerk und Gründung sind an die hohen und konzentrierten Vertikalkräfte anzupassen.¹⁷¹

Die für größere Gebäude erforderlichen Transfer Trusses müssen stets über zwei Wand- bzw. Stützenreihen laufen, um ausreichend gelagert werden zu können (siehe folgende Abbildung). Solange diese Bedingung eingehalten wird, kann die Orientierung der Gebäude jedoch beliebig angepasst werden. In dieser Weise ist eine Ausrichtung der Gebäude unabhängig von der Gleisrichtung möglich, sodass eine gewisse Flexibilität für die städtebauliche Gestaltung des Überbauungsareals verbleibt.

Abbildung 43: Sunnyside Yard – Gebäudeanordnung¹⁷²



Tunnelbrandschutz

Die Richtlinien des Bahnbetreibers fordern eine Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten für eine Tunnelkonstruktion in offener Bauweise. Erste Untersuchungen haben ergeben, dass bei brennenden Schienenfahrzeugen mit Flammenhöhen von höchstens 6,0 m zu rechnen sind. Da der frei zu haltende Lichtraum der Gleise eine Mindesthöhe von 6,7 m besitzt, wirken die Flammen eines Tunnelbrandes daher nicht direkt auf die Deckkonstruktion ein. Der Masterplan geht dennoch davon aus, dass bei einem Stahl-Deck zusätzliche Brandschutzmaßnahmen wie Brandschutzputze im Spritzverfahren oder eine Plattenbekleidung der Stahlelemente erforderlich sein werden, um den hohen Brandtemperaturen ausreichend lange standzuhalten.

¹⁷¹ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 74

¹⁷² übernommen aus New York City Economic Development Corporation (2020a), S. 91

Anprallschutz

Die Machbarkeitsstudie deutet an, dass das Deck innerhalb von anprallgefährdeten Bereichen durch Wände anstatt durch Einzelstützen getragen werden soll. Im Vergleich zu Stützen können Wände größere Kräfte in Richtung der Wandachse, d.h. in Fahrtrichtung der Schienenfahrzeuge aufnehmen. Zudem ist ein Frontanprall nur an den Wandenden möglich. Weitergehende Untersuchungen zum Anprallschutz wurden in den Studien nicht präsentiert.¹⁷³

Fazit

Die Studien zur Überbauung des Sunnyside Yard zeigen, in welcher Form das Tragsystem einer großflächigen Gleisüberbauung mit einer Vielzahl an Gleisen ausgelegt werden kann. Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Projekten stellen die Studien einen ganzen Baukasten an tragwerkstechnischen Lösungen mit modularen Ansätzen bereit, sodass oberhalb der Gleisanlagen ein ganzes Stadtviertel mit unterschiedlicher Bebauungsformen entstehen kann.

Die Basis der gesamten Überbauung bildet ein unterer Gleisdeckel, welcher in der Lage ist, sowohl Straßen und Grünflächen als auch kleinere Gebäude zu tragen. Die Studien stellen eine Übersicht an Querschnitten und Konstruktionen mit verschiedenen Spannweiten zur Verfügung, welche sich für die Konstruktion des Gleisdeckels eignen. Gebäude mit höheren Geschossanzahlen sollen mithilfe von zusätzlichen Abfangungsfachwerken oberhalb des Deckels realisiert werden. Da die zusätzlichen Fachwerke direkt auf den unteren Abstützungen gelagert werden, ist keine Modifizierung des Gleisdeckels für den Bau höherer Gebäude notwendig. Der Vorteil dieses Systems ist die hohe Flexibilität hinsichtlich der städtebaulichen Planung der Überbauung.

Auch wenn eine derart großflächige Gleisüberbauung einen Sonderfall darstellt, können die einzelnen Elemente des Tragsystem-Baukastens problemlos auf kleinere Trassenszenarien übertragen werden.

4.4 Systematisierung von Tragwerken für Gleisüberbauungen

Die untersuchten Gleisüberbauungen weisen eine Vielfalt an Tragsystemen auf. Je nach Überbauungskontext und Projektrandbedingungen wurden verschiedene Tragwerkslösungen gefunden und realisiert.

In der nachfolgenden Auswertung werden wiederkehrende Prinzipien der Tragwerksgestaltung identifiziert und wesentliche Zusammenhänge zwischen Randbedingungen und Tragwerkskonzept herausgearbeitet. Dazu werden für jede der spezifischen Anforderungen die gefundenen konstruktiven Lösungen zusammengestellt und die Wechselwirkungen mit den anderen Anforderungen erläutert. Abschließend wird eine Möglichkeit zur Systematisierung der untersuchten Tragsysteme entwickelt.

4.4.1 Einfluss von Spannweite und Geschossanzahl

Die wesentliche Aufgabe des Tragsystems einer Gleisüberbauung ist das Überspannen der Gleise – d.h. das Ableiten der Lasten aus dem Hochbau zu den Abstützungen neben der Trasse. Das Abfangen und Umleiten der Kräfte erfordert ein Abfangungssystem, welches auf die Spannweite und Lasten abzustimmen ist. Die Spannweite wird durch die Anzahl der zu überbauenden Gleise und die Realisierbarkeit von Zwischenabstützungen bestimmt. Die abzufangenden Lasten ergeben sich aus der Bauweise und der Anzahl der Geschosse oberhalb der Bahntrasse.

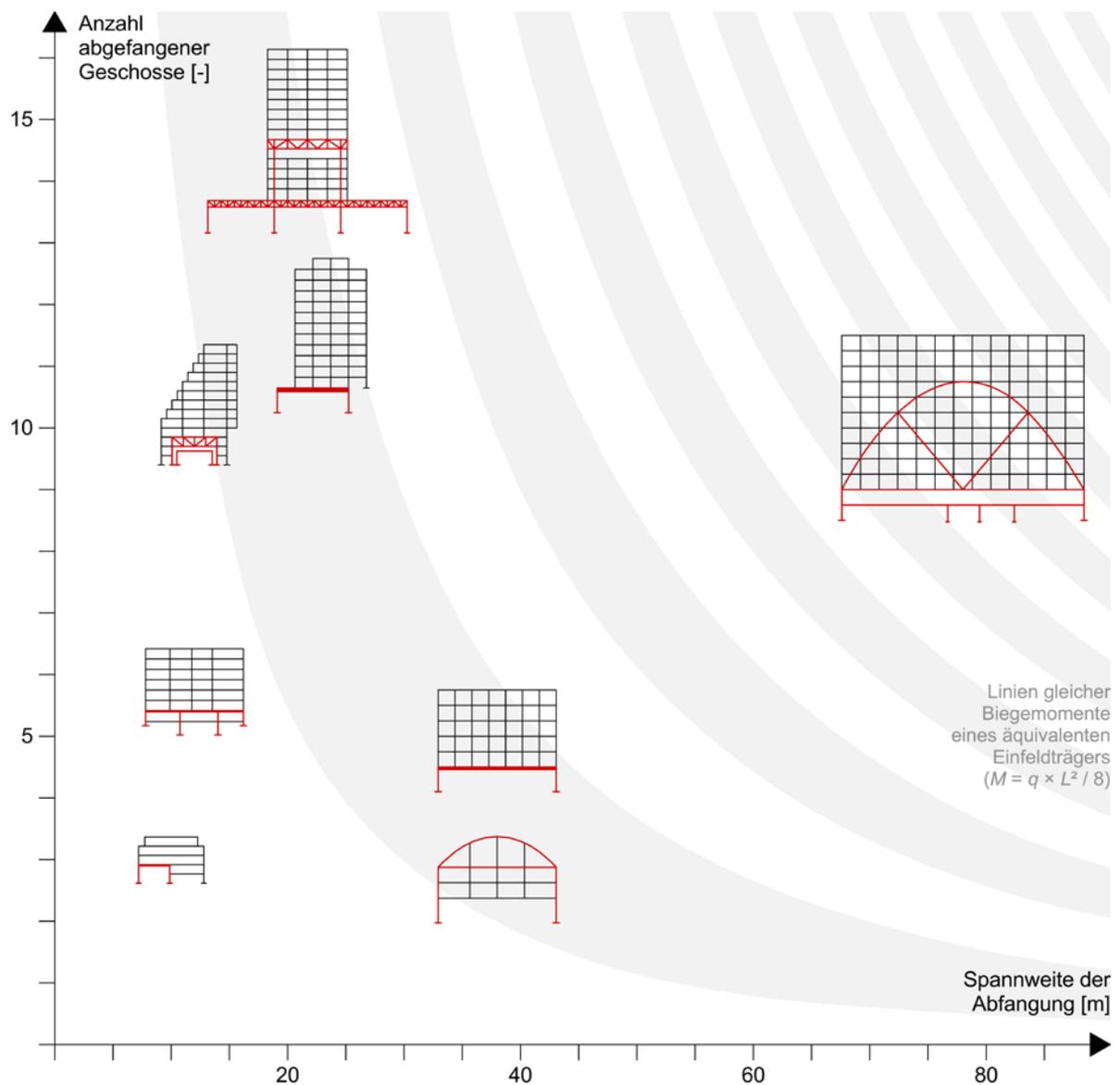
¹⁷³ vgl. New York City Economic Development Corporation (2017a), S. 74

Um einen geordneten Überblick über die untersuchten Tragsystem zu erhalten, eignet sich eine Darstellung, in welcher die Systeme über die Spannweite und Geschossanzahl aufgetragen sind (siehe folgende Abbildung). Die Übersicht zeigt die große Bandbreite an Last- und Spannweiten-Randbedingungen der untersuchten Projekte. Die Spannweiten der Überbauungstragwerke reichen von 10 bis 78 m, während Anzahl der abzufangenden Geschosse zwischen 2 bis 15 variiert. Entsprechend vielfältig sind die gewählten Abfangungssysteme (Die primären Abfangungssysteme und -abstützungen sind in der folgenden Abbildung farblich hervorgehoben).

Die Übersicht macht den Zusammenhang zwischen Spannweite, Geschossanzahl und Konstruktionshöhe der Abfangungssysteme deutlich. Für Überbauungen mit geringen Spannweiten und zugleich geringen Geschossanzahlen wurden vergleichsweise flache Unterzugsdecken als Abfangung genutzt. Mit zunehmender Geschossanzahl und/oder Spannweite werden Abfangungen mit größeren Konstruktionshöhen wie geschosshohe Fachwerke oder mehrgeschossige Bögen eingesetzt. Die nicht abgebildeten Wohnhochhäuser des Sunnyside Yard mit ihren drei Geschosse hohen Fachwerken fügen sich in diesen Zusammenhang ein.

Dieser zu erwartende Trend lässt sich anschaulich erklären, indem ein Überbauungssystem als Einfeldträger modelliert wird, für dessen maximales Biegemoment unter Gleichstreckenlast bekanntermaßen gilt: $M = q \times L^2 / 8$. Unter der Annahme von konstanten Gebäudewichten und Geschosshöhen ist der erforderliche Biege­widerstand der Abfangung proportional zum Produkt Geschossanzahl \times Spannweite². Der Biege­widerstand wird wiederum maßgeblich vom inneren Hebelarm, d.h. der Konstruktionshöhe des Überspannungselementes bestimmt. Die Vergrößerung der Konstruktionshöhe der Abfangung, wie z.B. durch den Einsatz von geschossübergreifenden Fachwerken oder Bogentragwerken, ist daher die logische Maßnahme zur Umsetzung von größeren Spannweiten oder Geschossanzahlen.

Wie die Abbildung zeigt, besitzt der grundlegende Zusammenhang zwischen Biegemoment und realisierter Konstruktionshöhe der Abfangung jedoch auch Ausnahmen. Bei einigen Projekten wird ein höherer Biege­widerstand nicht über eine größere Konstruktionshöhe der Tragelemente, sondern über einen geringeren Abstand dieser Elemente in Gleislängsrichtung geschaffen. (siehe beispielsweise Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 1 und 2). Obwohl geschossübergreifende Abfangungen mit großen Hebelarmen die natürliche Lösung zur Erhöhung des Biege­widerstandes bilden, können derartige Konstruktionen aufgrund von architektonischen und funktionalen Projekt­randbedingungen nicht immer umgesetzt werden.

Abbildung 44: Tragsysteme nach Spannweite und Anzahl abgefangener Geschosse¹⁷⁴

Um den gemeinsamen Einfluss von Gebäudehöhe und Spannweite auf den Biege­widerstand und damit die Höhe der Abfangkonstruktion zu veranschaulichen, sind die Niveaulinien der Funktion $f = \text{Geschossanzahl} \times \text{Spannweite}^2$ in der vorangegangenen Abbildung angedeutet. Für alle Geschossanzahl-Spannweite-Kombinationen entlang einer Niveaulinie ergeben sich die gleichen Biegemomente und daher die gleichen Abfangungsanforderungen. Zwar wird die Annahme einer konstanten Gebäudewichte und Geschosshöhe durch die untersuchten Projekte nicht erfüllt, dennoch bilden die Niveaulinien den grundlegenden funktionalen Zusammenhang qualitativ ab. Die Niveaulinien machen deutlich, wie die gleichzeitige Erhöhung von Spannweite und Geschossanzahl zu einem überproportionalen Anstieg der Überspannungsanforderungen führt.

Die Darstellungsweise unterstreicht die Sonderstellung des Broadgate Exchange House. Durch die Kombination von hoher Spannweite und zugleich hoher Geschossanzahl muss die Abfangung ein im Vergleich

¹⁷⁴ eigene Darstellung

zu den anderen Überbauungen vielfach höheres Momentenniveau bewältigen. Der Einsatz der außergewöhnlich großen Bögen wird dadurch nachvollziehbar.

Die anderen realisierten und konzipierten Projekte scheinen hingegen ein bestimmtes Momentenniveau nicht zu überschreiten. Diese Tatsache ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Überbauungen Spannweiten von 40 m nicht überschreiten. Wie oben gezeigt wurde, steigen die erforderliche Biegetragfähigkeit mit zunehmender Spannweite quadratisch an. Die Nutzungsflächen des Bauwerks nehmen jedoch höchstens linear mit der Spannweite zu. Folglich wird das Verhältnis der Nutzungsfläche zu den Tragfähigkeitsanforderungen bei großen Spannweiten immer ungünstiger. Hinsichtlich der Spannweite von Überbauungen bestehen somit wirtschaftliche Grenzen, was durch die abgebildete Verteilung der Projekte angedeutet wird.

In Bezug auf die Geschossanzahl ist keine derartig klare Grenze zu erkennen. Diese Beobachtung lässt sich damit erklären, dass mit zunehmender Geschossanzahl sowohl die Nutzfläche als auch die Biegebelastung für die Abfangung annähernd gleichermaßen zunehmen. Dennoch ist anzunehmen, dass für jede Spannweite eine besonders wirtschaftliche Geschossanzahl existiert. Niedrige Überbauungen erscheinen unwirtschaftlich, da sich die ohnehin anfallenden „Fixkosten“ der Abfangung auf nur wenige Geschosse verteilen. Die Wirtschaftlichkeit von hohen Gebäuden ist durch die zunehmenden vertikalen Stützenkräfte und horizontalen Windlasten begrenzt. Zwischen diesen beiden Extremen wird sich eine optimale Geschossanzahl einstellen.

Um mithilfe von Gleisüberbauungen kosteneffizienten Wohnraum zu schaffen, müssen daher die wirtschaftlichen Grenzen großer Spannweiten beachtet und stets die optimale Geschossanzahl für die individuellen Projektrandbedingungen ermittelt werden.

Optimierung des Hochbaus

Die Optimierung des Tragsystems ist auch auf der Ebene des Hochbaus möglich. Mithilfe einer leichteren Bauweise können die auf die Abfangung einwirkenden Lasten und die erforderliche Biegetragfähigkeit reduziert werden, ohne die Spannweite oder Geschossanzahl zu verringern. In dieser Weise lässt sich das Verhältnis zwischen Nutzungsfläche und Kosten der Abfangung optimieren.

Einige der untersuchten Studien empfehlen daher, leichtere Bauweisen zur Ausführung des Hochbaus in Betracht zu ziehen. Die vorgeschlagenen Bauweisen zur Gewichtsreduktion umfassen u.a. die Stahlmodulbauweise oder Holzbauweisen wie z.B. eine Brettspertholzkonstruktion. Bei der Anwendung von derartigen Bauweisen müssen jedoch die möglichen Vorteile aus der Gewichtsreduktion und die potenziellen Nachteile hinsichtlich der Schall- sowie Brandschutzanforderungen, welche im Kontext von Gleisüberbauungen besonders bedeutend sind, sorgfältig abgewogen werden.

Wahl der Abfangungskonstruktion

Die konkrete konstruktive Umsetzung des Abfangungssystems basiert auf einem Bündel an Vorgaben und Randbedingungen wie

- die erforderliche (Biege-)Tragfähigkeit, welche sich aus der Spannweite und Hochbaulast ergibt,
- die geometrischen Zwänge hinsichtlich der Konstruktionshöhe,
- die Nutzungsart des Hochbaus,
- die Wechselwirkungen mit den anderen Tragwerksanforderungen (Schall-, Brand-, Anprallschutz, Bauen unter Bahnbetrieb),
- die lokalen Konventionen und Regelungen hinsichtlich der Bauweisen.

Die große Bandbreite an untersuchten Projekten legt folglich eine Vielfalt unterschiedlicher Abfangungssysteme offen. Eine Übersicht über die Tragsysteme und Bauweisen, welche in den Überbauungsprojekten eingesetzt und vorgeschlagenen wurden, bietet die nachfolgende Zusammenstellung:

Tabelle 5: Konstruktionsarten Abfangungssysteme

Stahlbeton und Spannbeton	Stahl und Verbundbau
<p>Spannweiten: 10 – 23 m</p> <p>Deckenplatten</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Spannbeton-Hohlplatten ▪ Vorgespannte T-Fertigteile mit Ortbeton ▪ Hohlplatte aus vorgespannten T-Fertigteilen <p>Plattenbalken</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elementdecken mit Fertigteilunterzügen ▪ TT-Platten mit Ortbetoneergänzung ▪ Spannbetonbinder <p>Hohlkästen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorgefertigte Hohlkastenträger 	<p>Spannweiten: 14 – 78 m</p> <p>Deckenplatten</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schweißträger mit Betonplatte ▪ Orthotrope Platten mit Hauptträgern als Vollwand- oder Fachwerkträger <p>Fachwerkträger</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stahlfachwerkträger <p>Rahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stahlrahmen mit Fachwerkriegel <p>Bögen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Stahlbögen aus Vollwandprofilen

Zum Abfangen der Lasten und Überspannen der Trasse werden sowohl Stahlbeton- als auch Stahlkonstruktionen eingesetzt bzw. vorgesehen. Das zentrale Entscheidungskriterium für die Wahl des Querschnittes ist das aufzunehmende Biegemoment. Abfangungskonstruktionen aus Stahlbeton oder Spannbeton werden primär bei geringeren Spannweiten vorgesehen, während im höheren Stützweitenbereich Stahltragwerke dominieren. Dieser Zusammenhang zwischen Spannweite und Bauweise ist auch für den Brückenbau typisch. Aufgrund des hohen Eigengewichts werden massive Brücken aus Stahlbeton bis zu einer effektiven Stützweite von 30 m als sinnvoll angesehen. Mit einer leichteren Stahlbauweise können effektive Stützweiten von 60 m wirtschaftlich überspannt werden.¹⁷⁵

Die oben zusammengestellten Konstruktionen machen nochmals deutlich, dass die Abfangungen von Überbauungen im Vergleich zu gewöhnlichen Geschossdecken wesentlich höhere Tragfähigkeiten besitzen müssen. Im Bereich von vergleichsweise geringen Spannweiten und Lasten werden Stahlbetonsysteme wie Spannbeton-Hohldecken oder Unterzugsdecken ausgeführt bzw. vorgeschlagen, wie sie auch im Gewerbe- und Industriebau oder im Hallenbau angewandt werden. Mit steigender Spannweite und Geschossanzahl der Überbauung, d.h. steigenden Biegeanforderungen, sind die Konstruktionen und Querschnitte zunehmend dem Brückenbau entlehnt: Plattenbalken und Hohlkastenträger werden üblicherweise für den Bau von Straßenbrücken eingesetzt; Fachwerke werden genutzt, um hochbelastete Balkenbrücken z.B. für den Schienenverkehr zu schaffen; und Bogenkonstruktionen können für Brücken mit größeren Spannweiten besonders wirtschaftlich sein.

¹⁷⁵vgl. Geißler 2014, S.54

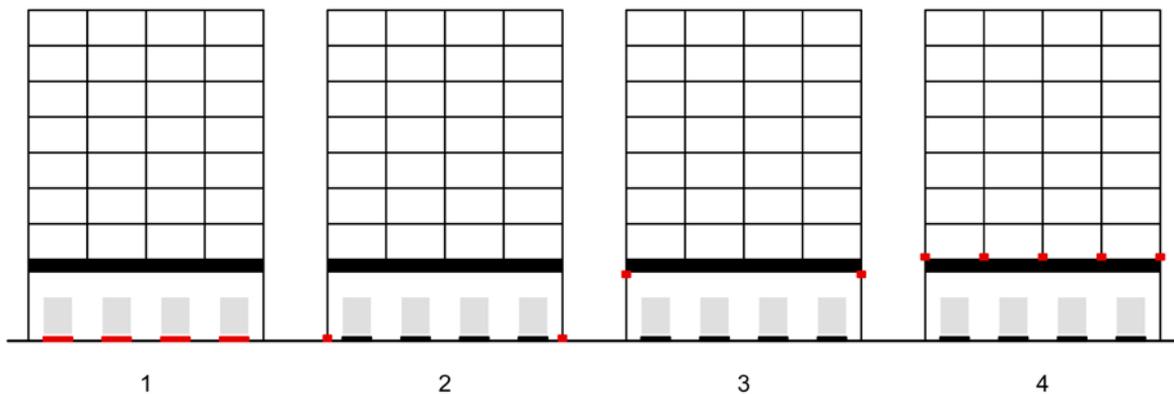
4.4.2 Schall- und Erschütterungsschutz

Mit der Überbauung einer Bahntrasse wird schutzbedürftiger Wohnraum im unmittelbaren Umfeld einer starken Luftschall- und Erschütterungsquelle geschaffen. Die besonderen Schallschutzanforderungen bei Gleisüberbauungen sind somit bereits in der Tragwerksplanung einzubeziehen. Die untersuchten Projekte zeigen auf, durch welche Maßnahmen und Entwurfsprinzipien das Tragsystem einer Überbauung zu einer Reduzierung des Schall- und Erschütterungspegels in den Nutzungsbereichen beitragen kann.

Körperschallschutz

Fahrende Schienenfahrzeuge erzeugen hohe Erschütterungs- und Vibrationsemissionen, welche als Körperschall vom Erdboden über die Fundamente in das Tragsystem der Überbauung eindringen können. Dabei besteht das Risiko, dass das Tragwerk den Körperschall auf umgekehrten Weg des Lastflusses in die Nutzungsbereiche weiterleitet. Die bevorzugte Schallschutzmaßnahme der untersuchten Projekte ist die Unterbrechung des Körperschallübertragungsweges und schalltechnische Entkopplung der Wohnbereiche durch eine elastische Lagerung. Unterschiedliche Varianten ergeben sich durch unterschiedliche Positionen der elastischen Lagerung:

Abbildung 45: Varianten der Körperschallentkopplung¹⁷⁶



- **Erschütterungsarme Lagerung der Schienen (1):** Durch elastische Zwischenplatten unter den Schienen werden Erschütterungen und Vibrationen bereits beim Übergang zum Baugrund abgedämpft. In dieser Weise wird der Bedarf an zusätzlichen Maßnahmen am eigentlichen Überbauungssystem minimiert. Bei stark frequentierten Bahntrassen führen die erforderlichen Gleisarbeiten jedoch zu problematischen Störungen des Zugverkehrs.
- **Elastische Entkopplung oberhalb der Fundamente (2):** Elastomerlager in Form von punkt- oder streifenförmigen Elastomerplatten zwischen den unteren Abstützungen und den Fundamenten unterbrechen die Körperschallübertragung zwischen Gründung und gesamtem oberem Überbauungstragwerk. Diese Position der elastischen Lager bietet sich für eine Überbauung an, die eine Bahntrasse auf Straßenniveau umschließt. Die Wartung und Instandsetzung der Lager an dieser Position könnten sich je nach Lage als umständlich erweisen.
- **Elastische Lagerung zwischen Abfangung und unteren Abstützungselementen (3):** Wird die abfangende Decken-, Fachwerk- oder Bogenkonstruktion mithilfe von Elastomerlagern oder elastischen Federelemente gelagert, erfolgt die Körperschallentkopplung in der Schnittstelle zwischen Abfangungskonstruktion und unterer Abstützung. Aufgrund des konzentrierten Lastflusses an dieser

¹⁷⁶ eigene Darstellung

Position sind weniger Lagerelemente erforderlich. Die Nähe der Lager zum Gleisbereich kann sich jedoch nachteilig auf den Brandschutz und die Instandhaltung auswirken.

- **Elastische Lagerung zwischen Hochbautragwerk und Abfangung (4):** Liegt ein unterer horizontaler, abfangender Gleisdeckel vor, kann die Körperschallentkopplung auch erst im Übergang von dieser primären Abfangung zum sekundären Hochbautragwerk erfolgen. Im Vergleich zur vorherigen Variante müssen dadurch keine elastischen Lager in das primäre Tragsystem integriert werden. Die Schnittstelle zwischen Deckel und Hochbau besitzt jedoch eine höhere Anzahl an zu entkoppelnden Kontaktpunkten.

Die beschriebenen Varianten machen deutlich, dass die Maßnahmen zum Körperschallschutz stets in Wechselwirkung mit den anderen spezifischen Anforderungen von Überbauungstragwerken wie den Brandschutzanforderungen oder der Instandhaltung unter Bahnbetrieb stehen. Überdies besteht ein Zusammenhang zwischen den Körperschalleinwirkungen und der Spannweite des Tragwerkes. So wirkt sich ein minimaler Gleisabstand der tragenden Abstützungen zwar vorteilhaft auf die Spannweite und die erforderliche Biegetragfähigkeit aus, jedoch wird auch der Körperschallübertragungsweg verkürzt.

Luftschallschutz

Der Schutz der Wohnbereiche vor Luftschall aus dem Gleisbereich stellt keine Hauptaufgabe des Tragsystems dar. Dennoch kann die Konstruktionsweise zu einer Luftschalldämmung beitragen und die Erfüllung der Schallschutzanforderungen erleichtern. So wirkt sich eine geschlossene Abfangkonstruktion aus Beton aufgrund des hohen Schalldämmmaßes vorteilhaft auf die Sicherstellung des Luftschallschutzes aus. Bei einer aufgelösten Stahlfachwerk-Abfangungskonstruktion sind hingegen umfangreichere Zusatzmaßnahmen zur Dämpfung des Luftschalls erforderlich.

4.4.3 Anprallschutz

Im Fall der Entgleisung eines Schienenfahrzeuges können diejenigen Bau- und Tragelemente, welche sich im Gleisbereich bzw. entlang der Trasse befinden, Anpralleinwirkungen ausgesetzt sein. Die untersuchten Überbauungsprojekte zeigen auf, welche Maßnahmen erforderlich und geeignet sind, um ein Tragwerksversagen infolge eines Anpralls auszuschließen.

Die Mehrzahl der untersuchten Tragsysteme nutzen Betonwände, um die vertikalen Lasten aus der primären Abfangung in die Fundamente zu leiten. Die Wahl von durchgängigen Stützwänden ergibt sich u.a. aus dem Anprallrisiko. Im Gegensatz zu einer Reihe von Einzelstützen, ist bei kontinuierlichen, parallel zu den Gleisen verlaufenden Wänden nur an den beiden Stirnseiten ein Frontalanprall eines Zuges möglich. Im durchgängigen Wandbereich kann ein Schienenfahrzeug hingegen nur seitlich anprallen, was mit geringeren Kräfteinwirkungen verbunden ist.

Um den Anprallwiderstand der tragenden Stützwände sicherzustellen, werden folgende Maßnahmen angewendet:

- An den Wandenden, an denen ein Frontanprall möglich ist, können eine Aufweitung bzw. Verbreiterung der Stützwand und eine Zerschellschicht vorgesehen werden. In dieser Weise wird die tragende Wand selbst mit dem erforderlichen Anprallwiderstand ausgestattet, sodass keine zusätzlichen, vorgelagerten Anprallschutzvorrichtungen erforderlich sind.
- Im Mittelbereich einer Stützwand kann ein über die Geländeoberkante hinausstehender, verbreiteter Wandsockel, z.B. als Verlängerung des Kopfbalkens einer Bohrpfahlgründung, den erforderlichen Anprallwiderstand bereitstellen.

Mit abnehmendem Abstand zwischen Wänden und Gleisen steigen die potenziellen Anprallkräfte. Bei der ganzheitlichen Optimierung des Tragsystems ist somit zu beachten, dass eine Minimierung der Spannweite bzw. der Überspannungsanforderungen stets mit einer Erhöhung des erforderlichen Anprallschutzes einhergeht. Bei der Sicherstellung des Anprallschutzes besteht zudem eine Wechselwirkung mit der Geschossanzahl der Überbauung. Hohe Gebäude mit hohen vertikalen Lasten erfordern Stützwanddicken,

welche bereits von sich aus einen hohen Anprallwiderstand besitzen. Hohe Geschossanzahlen können somit die Erfüllung der Anprallschutzanforderungen am Fußpunkt begünstigen.

Die tragenden Stützelemente müssen nicht zwangsläufig selbst den Anpralllasten standhalten, sondern können ebenso durch separate innere Betonwände vor einem Anprall geschützt werden (siehe *Royal Mint Gardens*). Durch die bauliche Trennung von Anprallschutz und lastabtragenden System ergibt sich ein größerer Gestaltungs- und Optimierungsfreiraum für das eigentliche Überspannungstragwerk, jedoch entstehen bei dieser Variante auch größere Stützweiten. Zudem können die zuvor beschriebenen Synergien aus hohen Geschossanzahlen und Anprallwiderstand nicht genutzt werden.

4.4.4 Tunnelbrandschutz

Ein Tunnelbrand unterhalb einer Überbauung stellt aufgrund seiner hohen Temperatureinwirkungen eine besondere Gefahr für die Tragfähigkeit der angrenzenden vertikalen Abstützungs- und horizontalen Abfangungskonstruktionen dar. Die daraus resultierenden hohen Anforderungen an den baulichen Brandschutz beeinflussen die Wahl der Bauweise bzw. des Baustoffes des Tragsystems.

Mehrere der betrachteten Projekte führen die von einem Tunnelbrand betroffenen Tragelemente ausschließlich aus Stahlbeton aus, um das Erfüllen der Brandschutzanforderungen zu erleichtern. Durch die Nichtbrennbarkeit und hohe Feuerbeständigkeit von Beton genügt zur Sicherstellung der geforderten Feuerwiderstandsdauer eine ausreichend dimensionierte Betondeckung. Bilden die tragenden Stahlbetonwände und die abfangende Betondecke eine geschlossene Einhausung, welche den Gleisbereich vollständig umschließt, wird zudem das restliche Tragsystem der Überbauung vor Tunnelbrandeinwirkungen geschützt.

Analog zum Anprallschutz kann auch der Brandschutz durch eine nichttragende innere Betoneinhausung erfüllt werden, welche das tragende System vor einem Tunnelbrand schützt (siehe *Royal Mint Gardens*). Für die Optimierung der tragenden Abfangungskonstruktion verbleibt damit ein größerer Gestaltungsspielraum.

Werden Stahlverbunddecken oder Fachwerkträger als Abfangung gewählt, um Eigengewicht und Ressourcen einzusparen, und soll keine innere Betonhülle erstellt werden, grenzen Stahlbauteile direkt an den potenziellen Tunnelbrand. In diesen Fällen sind zusätzliche Brandschutzmaßnahmen wie Kammerbeton, Schutzbekleidungen oder Brandschutzbeschichtungen zwingend erforderlich.

4.4.5 Bauen im Bahnbetrieb

Bei der Überbauung von frequentierten Bahngleisen stellt die Minimierung der Beeinträchtigung für den Zugverkehr ein entscheidendes Teilziel dar. Je schneller die für den Bahnverkehr kritischen Bauarbeiten vollzogen werden, desto kürzer fallen die erforderlichen Sperrzeiten aus. Die analysierten Überbauungsprojekte machen deutlich, wie dieser bauverfahrenstechnische Aspekt die Gestaltung des Tragsystems beeinflusst. Je wichtiger der Verkehr auf der zu überbauenden Bahntrasse ist, d.h. je höher der Schaden aus einer Unterbrechung ist, desto höher ist der Bedarf einer verfahrens- und ablauftechnischen Optimierung des Tragsystems.

Die primäre Abfangungskonstruktion einer Überbauung muss aufgrund des Lastflusses zwangsläufig vor dem sekundären Hochbau hergestellt werden. Umfasst das Tragsystem einen unteren Gleisdeckel bzw. eine Einhausung als primäre Abfangung, dann bildet diese Abfangungskonstruktion nicht nur die tragende Basis für den Hochbau, sondern dient somit ebenso als Schutzabdeckung für die Gleise während der gesamten restlichen Bauzeit. Die Beeinträchtigung für den Bahnverkehr reduziert sich damit auf die Herstellung des Gleisdeckels.

Wird hingegen ein abgehängtes Tragsystem z.B. mithilfe von abfangenden Bögen genutzt, besteht nach Fertigstellung der Primärkonstruktion zunächst kein Schutz für die Bahntrasse. Erst nach der Abhängung einer unteren Deckenkonstruktion ist der Gleisbereich schützend abgedeckt. Bei dieser Bauweise sind somit umfangreichere Sperrungen der Gleisstrecken erforderlich.

Eine wiederkehrende Maßnahme zur Optimierung des Bauablaufes ist die umfangreiche Verwendung von Bauelementen mit hohem Vorfertigungsgrad. Durch die Verwendung von Fertig- oder Halbfertigteilen zur Herstellung der unteren Abstützungen und der Abfangung sollen die Arbeiten im bzw. am Gleisbereich verkürzt werden. Langandauernde Schalungsarbeiten im Bereich der Gleise werden bei allen Projekten vermieden.

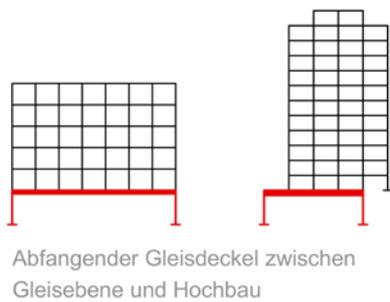
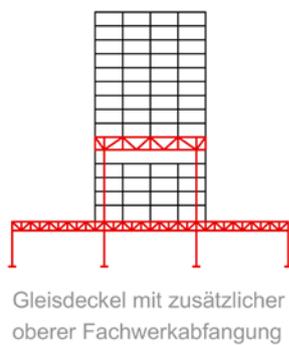
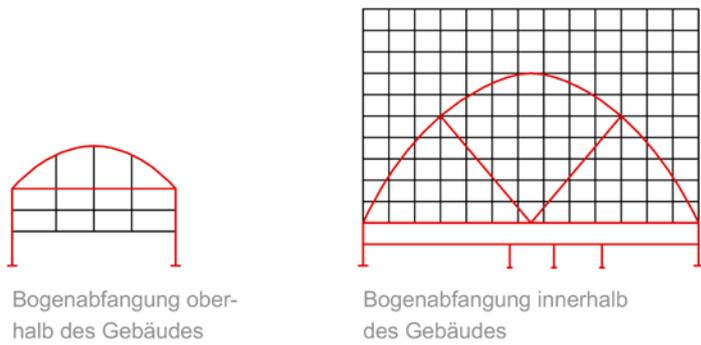
Als weiteres Entwurfsprinzip wird eine möglichst kleinteilige Bauweise vorgeschlagen. Während für die Montage von großformatigen und schweren Bauelementen sperrige Hebezeuge im Gleisbereich aufgestellt werden müssen, können kleinere Bauteile mit flexiblerem Gerät zügiger und von der Seite aus montiert werden.

4.5 Getrennte und integrierte Tragsysteme

Bei allen analysierten Überbauungen kann zwischen einem primären und einem sekundären Tragsystem unterschieden werden. Das **primäre Tragsystem** ist das Abfangungssystem, welches das Überspannen der Gleise realisiert, indem die verteilten Lasten aus dem Hochbau eingesammelt und seitlich zu den Gründungselementen neben den Gleisen geführt werden. Die primären Tragsysteme, welche als Verbunddecken, Plattenbalken, Fachwerkträger oder Parabelbögen ausgeführt werden, gleichen mit zunehmender Spannweite und Belastung den Tragwerken von Brücken. Das **sekundäre Tragsystem**, welches vom primären System getragen wird, bildet die Tragstruktur des raumbildenden Hochbaus und trägt die Nutzungsflächen des Gebäudes. Das sekundäre System umfasst damit die Geschossdecken sowie die vertikale Tragelemente, welche die Geschosslasten zur primären Abfangung weiterleiten.

Je nach räumlichem Zusammenhang zwischen primärem und sekundärem System können getrennte oder eher integrierte Tragsysteme ausgemacht werden. Die folgende Abbildung zeigt die Zuordnung der untersuchten Tragsysteme anhand dieses Schemas. Da sich das Maß an Trennung bzw. Integration nicht objektiv messen lässt, sollte die Darstellung jedoch nur als prinzipielle Ordnung verstanden werden. Sowohl getrennte als auch integrierte Tragsysteme weisen spezifischen Vor- und Nachteile auf.

Abbildung 46: Integrierte und getrennte Tragsysteme¹⁷⁷



Integriertes Tragsystem

- Räumliche Integration von primärem und sekundärem System
- Primäre Abfangung inner- oder oberhalb des Gebäudevolumens

Getrenntes Tragsystem

- Räumliche Trennung von primärem und sekundärem System
- Unterer Gleisdeckel als primäre Abfangung

¹⁷⁷ eigene Darstellung

4.5.1 Getrennte Tragsysteme

Die Kombination aus primärem unterem Gleisdeckel und sekundären Hochbau stellt das Tragsystem mit der größten räumlichen Trennung zwischen primärem und sekundärem System dar. Ein ebenes deckelartiges Tragwerk oberhalb des Gleisbereiches bildet die tragende Basis bzw. das Fundament für einen konventionellen Geschossbau. Das zentrale Merkmal dieser Tragsysteme ist die klare horizontale Trennlinie bzw. Schnittstelle zwischen dem primären und sekundären System.

Ein wesentlicher Vorteil des getrennten Tragsystems ist die flexible Schnittstelle zwischen der primären Abfangung in Form des Gleisdeckels und dem Hochbautragwerk. Die untere und flächige Abfangung ermöglicht, dass der sekundäre Hochbau als üblicher Geschossbau in beliebiger Bauweise erstellt wird – eine ausreichende Biegetragfähigkeit des Deckels und Querverteilung der Lasten vorausgesetzt. Egal ob Stahlbeton-Skelettbau, massiver Mauerwerksbau oder Holz-Beton-Verbundbau, alle gebräuchlichen Tragsysteme, welche ihre Lasten über vertikale Druckelemente in den Baugrund leiten, lassen sich auf den Gleisdeckel „aufsetzen“. Der Gleisdeckel eines getrennten Tragsystems ermöglicht weiterhin, beliebige Teilflächen des Deckels frei von sekundären Hochbauten zu halten. Die Grundrisse der Gebäude können somit unabhängig von der Breite der Trasse zugeschnitten und wahlweise Grünflächen platziert werden.

Der primäre Gleisdeckel bzw. die Gleiseinhausung eines getrennten Systems sind zudem prädestiniert, neben dem statischen Überspannen zugleich weitere Funktion in sich zu vereinen. Da der Deckel die Gleisebene und den Hochbau räumlich trennt und aufgrund seiner abfangenden Funktion ohnehin hohe Querschnitte aufweist, kann ein Stahlbetondeckel ohne umfangreiche Zusatzmaßnahmen ebenso Tunnelbrand- und Luftschalleinwirkungen abschirmen. Ferner bietet der Herstellungsprozess eines getrennten Systems den Vorteil, dass der fertiggestellte Gleisdeckel den Bahnverkehr während der Erstellung des restlichen Hochbaus schützt.

Ein zentraler Nachteil eines getrennten Tragsystems ergibt sich aus seinem Tragverhalten. Der ebene Gleisdeckel fängt die Hochbaulasten über eine Biegetragwirkung ab, welche im Vergleich zu reinen Normalkraftbeanspruchungen mit einer ineffizienteren Ausnutzung der Querschnitte verbunden ist. Durch die begrenzte Konstruktionshöhe eines ebenen Gleisdeckels können keine großen Hebelarme oder Bogenwirkungen aktiviert werden. Die hohen aufzunehmenden Biegemomente erfordern daher material- und ressourcenintensive Gleisdeckeltragwerke.

Abschließend muss zudem festgestellt werden, dass trotz der räumlichen Gliederung von primärem und sekundärem Tragwerk nie eine vollständige Entkopplung beider Teile vorliegt. So ist das Gleisdeckeltragwerk stets auf die späteren Hochbaulasten zu bemessen und das Stützenraster des sekundären Tragwerks ist ggf. auf die Gleisdeckelstruktur abzustimmen.

4.5.2 Integrierte Tragsysteme

Integrierte Tragsysteme sind durch eine erhöhte räumliche Kopplung von primärer Abfangung und sekundärem Tragwerk gekennzeichnet. Die primären Tragelemente erstrecken sich über mehrere Geschosse des Hochbaus oder befinden sich sogar oberhalb der Gebäudehülle. Ein typisches integriertes Tragsystems umfasst eine geschossübergreifende Bogenkonstruktion, an der die sekundären Geschossdecken aufgestützt bzw. abgehängt sind. Auch Tragsysteme, welche integrierte mehrgeschossige Wandscheiben oder Mega-Fachwerke zum Überspannen der Bahntrasse nutzen, können den integrierten Systemen zugeordnet werden. Integrierte Tragsysteme vereint, dass die Deckenkonstruktion zwischen Gleisbereich und Hochbau keine abfangende Funktion übernimmt – d.h. es liegt kein tragender Gleisdeckel vor.

Der Vorteil von integrierten Tragsystemen sind die größeren geometrischen Freiheiten bei der Gestaltung des primären Tragwerks. Mithilfe von geschossübergreifenden Fachwerken oder Bögen können größere Hebelarme aktiviert oder Stützlinsen nachgebildet werden. Durch die freie Optimierung des primären Systems im Hinblick auf das Überspannen der Gleise lässt sich die Effizienz des Tragsystems steigern und der Ressourcenverbrauch minimieren.

Eine frei optimierte primäre Abfangung erfordert jedoch ein speziell angepasstes sekundäres System mit spezifischen Schnittstellen. Bei geschossübergreifenden primären Bögen müssen beispielsweise alle Geschossdecke unterhalb der Bögen über Zuelemente an fixen Positionen abgehängt werden. Sind in einen Skelettbau mithilfe von Diagonalen primäre Fachwerke integriert, so muss sich der Hochbau zwingend über die gesamte Trasse erstrecken. Primäres und sekundäres Tragwerk bilden somit eine integrale Struktur. Die Gestaltung der Grundrisse und die Wahl der Bauweise des sekundären Hochbaus sind daher eingeschränkter als bei einem Gleisdeckel.

Ein weiterer Nachteil von integrierten Systemen ergibt sich beim Bauen unter Bahnbetrieb. Die Hierarchie des Tragsystems erfordert, dass die primäre vor der sekundären Struktur montiert wird. Da jedoch die primären Elemente eines integrierten Systems noch keinen Deckel für den Gleisbereich darstellen, sind zusätzliche Montageschritte nötig, bis unabhängig vom Bahnbetrieb gearbeitet werden kann. Zudem besitzen integrierte Systeme den Nachteil, dass das primäre System i.d.R. nicht dafür geeignet ist, zugleich Funktionen des Tunnelbrandschutzes und des Luftschallschutzes in sich zu vereinen.

In der gleichen Weise, wie keine vollständig getrennten Tragsysteme existieren, liegen auch nie vollständig integrierte Systeme vor. Aufgrund der Hierarchie zwischen primärer Abfangung und sekundärem System verbleibt stets ein beschränkter Gestaltungsspielraum z.B. hinsichtlich der Konstruktion der Geschossdecken oder der Anordnung von nichttragenden Ausbauten.

In Tabelle 5 sind die Vor- und Nachteile von getrennten und integrierten Systemen zusammenfassend gegenübergestellt.

Tabelle 6: Vor- und Nachteile von getrennten und integrierten Systemen

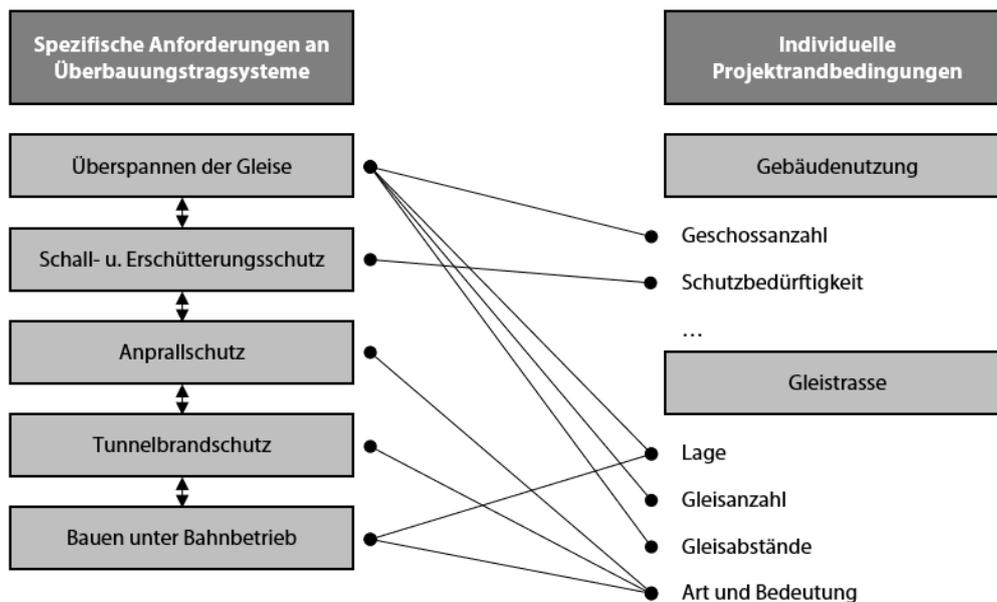
Tragender Gleisdeckel	Integrierte Abfangkonstruktion
<ul style="list-style-type: none"> + Flexiblere Schnittstelle für sekundäre Aufbauten mit variablen Grundrissen + Hochbau in beliebiger Bauweise oder unbebaute Grünflächen möglich + Gleichzeitiger Schutz vor Tunnelbrand- und Luftschalleinwirkungen + Schutz des Bahnverkehrs nach Fertigstellung des Deckels 	<ul style="list-style-type: none"> + Effizienterer Lastabtrag durch freie geometrische Optimierung des Abfangungssystems + Aktivierung größerer Hebelarme und Nachformen von Stützlinsen möglich + Höherer Ressourceneffizienz beim Überbrücken großer Spannweiten
<ul style="list-style-type: none"> - Eingeschränkte geometrische Optimierung des Abfangungssystems - Begrenzte Ressourceneffizienz eines Lastabtrags über Biegung 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringere Flexibilität bei der Konstruktion und Gestaltung des sekundären Hochbaus - Separate Hülle für den Tunnelbrand- und Luftschallschutz erforderlich - Kein Schutz des Bahnverkehrs durch primäre Abfangkonstruktion

4.6 Zusammenfassung der allgemeinen bautechnischen Realisierbarkeit

Die untersuchten Gleisüberbauungsprojekte bestätigen, dass das Überbauen von Bahntrassen (zum Schaffen von Wohnraum) besondere Tragsysteme erfordert. Gleisüberbauungen vereinen unterschiedliche Bauwerkstypen: Zum Überspannen der Gleise sind brückenartige Konstruktionen gefordert, für die Wohnflächen muss eine Geschossstruktur bereitgestellt werden, und aus der Perspektive der Bahntrasse ergibt sich ein Tunnelbauwerk.

Die anfangs identifizierten spezifischen Anforderungen an Tragsysteme von Gleisüberbauungen finden sich in den betrachteten Überbauungssystemen wieder. Die Bewältigung der besonderen Anforderungen erfolgt durch wiederkehrenden Konstruktionsprinzipien: Zum Überspannen der Bahntrasse verfügen alle Überbauungen über ein primäres Abfangungssystem, welches die Hochbaulasten seitlich ableitet. Die besonderen Anforderungen des Körperschallschutzes werden stets mithilfe einer schalltechnischen Entkopplung umgesetzt. Das Anprallrisiko führt häufig zur Vermeidung von Einzelstützen im Gleisbereich und aufgrund der Gefahr eines Tunnelbrandes wird eine geschlossene Betonkonstruktion bevorzugt eingesetzt. Zur Optimierung des Bauens unter Bahnbetrieb werden das Tragsystem und das Bauverfahren oftmals derart ausgelegt, dass im Bauablauf eine zügige Schutzabdeckung des Gleisbereiches erreicht wird.

Abbildung 47: Spezifische Anforderungen und Projekttrandbedingungen¹⁷⁸



¹⁷⁸ eigene Darstellung

Trotz dieser wiederkehrenden Prinzipien hat die durchgeführte Analyse der Gleisüberbauungen eine große Vielfalt in der konkreten Umsetzung der Tragsystem aufgezeigt. So reichen die Überbauungslösungen von einfachen Stahlbetondecken in Kombination mit einer Gleiserneuerung bis hin zu elastisch gelagerten, geschossübergreifenden Stahlbögen. Der Variantenreichtum ist auf die Unterschiede der Randbedingungen einzelner Projekte zurückzuführen. Neben den zu schaffenden Nutzungsflächen der Überbauung erzeugt die Bahntrasse die entscheidenden Zwänge für die Auslegung des Tragsystems: So bestimmen die Anzahl und die Abstände der Gleise u.a. die Spannweite, über die die Hochbaulasten abzufangen sind, während die Art und Bedeutung des Schienenverkehrs sich besonders auf die schallschutz-, anprallschutz- und verfahrenstechnischen Erfordernisse auswirken. Die spezifischen Anforderungen an Überbauungstragwerke sind daher je nach den individuellen Randbedingungen der einzelnen Projekte unterschiedlich gewichtet.

Hinzu kommen die zahlreichen Abhängigkeiten und Zielkonflikte der spezifischen Anforderungen untereinander. So lässt sich beispielsweise das Überspannen der Trasse durch zusätzliche Zwischenstützen erleichtern, jedoch muss der Bahnbetrieb dafür ggf. länger unterbrochen und zusätzliche Maßnahmen zum Anprallschutz getroffen werden.

Die vielfältigen Randbedingungen der untersuchten Projekte und Wechselwirkungen zwischen den spezifischen Anforderungen sind die Ursache für die beobachtete große Bandbreite an Tragsystemen. Tragwerke von Gleisüberbauungen müssen zwar wiederkehrende Anforderungen erfüllen, aufgrund der variierenden Randbedingungen existieren jedoch keine Standardlösungen – d.h. Überbauungstragwerke sind Unikate und besitzen eine sehr hohe Projektspezifität. Aus den untersuchten Projekten kann zudem gefolgert werden, dass Gleisüberbauungen stets überdurchschnittlich hohe Tragwerkskosten je Nutzungsfläche besitzen. Der Unikatcharakter von Überbauungstragwerken und der hohe Tragwerkskostenanteil führen dazu, dass die Abstimmung des Tragsystems auf die individuellen Projektbedingungen und die ganzheitliche Optimierung von zentraler Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit eines Überbauungsprojektes sind.

Die Untersuchung von bestehenden Gleisüberbauungen zeigt nicht nur die Notwendigkeit einer individuellen tragwerkstechnischen Optimierung, sondern hat zugleich eine Übersicht über konkrete Tragsysteme und -elemente mit ihren Vor- und Nachteilen erzeugt, welche für die Entwicklung weiterer Überbauungen nützlich sein können. Soll das Potenzial eines möglichen Überbauungsstandortes untersucht werden, können die Standortbedingung mit den untersuchten Projekten abgeglichen und ein erster Tragsystemansatz abgeleitet werden. Beispielsweise könnte anhand der zu erwartenden Spannweite und der gewünschten Geschossanzahl bereits geprüft werden, ob für diese Situation ein Gleisdeckel aus Stahlbeton oder eher ein integriertes Verbundtragwerk üblich ist. In dieser Weise kann ein vorläufiges Tragsystem entwickelt und darauf aufbauend die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines Überbauungsprojektes beurteilt werden.

5 Pilotvorhaben Gleisüberbauung Hamburg

Grundlage des Forschungsvorhabens ‚Überbauung von Bahntrassen zur Schaffung von Wohnraum‘ bildeten durch den Praxispartner HBK Hanseatische Baukonzept GmbH & Co. KG in Zusammenarbeit mit den Architekturbüros pbp Prasch Buken Partner Architekten PartGmbH, Winking · Froh Architekten GmbH und Spengler & Wiescholek Freie Architekten u. Stadtplaner PartGmbH erstellte Vorstudien. Die Vorstudien griffen drei zuvor ermittelte potenziell zu überbauende Bahntrassen auf, führten erste räumliche Untersuchungen durch und stellten mögliche Kubaturen dar.

Abbildung 48: Schwarzplan mit potenziell zu überbauenden Bahntrassen (Teilbereiche A, B und C)¹⁷⁹



Zum Zeitpunkt der Antragsstellung wurde davon ausgegangen, dass sich der Fokus des Forschungsvorhabens auf den Teilbereich A beziehen wird. Dieser befindet sich am Berliner Tor, einem zentral gelegenen Hamburger Verkehrsknoten, angrenzend zum Hamburger Stadtteil St. Georg. Zu Beginn der Forschung wurde sich jedoch für Teilbereich B zur weiteren Betrachtung entschieden. Dies ist u.a. darin begründet, dass die Bemühungen durch die HBK bzw. der Projektverlauf im Teilbereich B größere Fortschritte erzielen konnten als bei den Alternativ-Standorten. Der Teilbereich B liegt im Hamburger Stadtteil Wandsbek und wurde zum Stand der Voruntersuchung begrenzt von dem S-Bahnhof Hasselbrook sowie dem S-Bahnhof Wandsbeker Chaussee. Im Norden des Teilbereichs B befinden sich zwei S-Bahngleise (S1 sowie S11) und ein Güterumgebungsbahngleis in Troglage in paralleler Gleislage zueinander. Im südlichen Verlauf des Teilbereichs B trennen sich die S-Bahntrasse und das Güterumgebungsbahngleis auf und spannen mit der Marienthaler Str. ein Dreieck auf. In diesem Bereich befindet sich neben diverser Bestandsbebauung auch eine Baustelle des Planfeststellungsabschnitts ‚PFA 1 Wandsbek‘. Die Baustelle dient der Herstellung einer höhenfreien Kreuzung zwischen S4 und S1 und somit dem größer angelegten Ausbau der S4 zwischen Hamburg (Ost) und Bad

¹⁷⁹ Abbildung zur Verfügung gestellt durch HBK Hanseatische Baukonzept GmbH & Co. KG

Oldesloe.¹⁸⁰ Die dritte zunächst betrachtete Potentialfläche ist der Teilbereich C. Dieser schließt im Norden mit einem Hauptverkehrsknoten, dem Horner Kreisel, ab. In der vorhandenen Umgebungsbebauung unterscheidet sich dieser von den anderen Teilbereichen, da angrenzend zur Bahntrasse Kleingartenanlagen liegen.

Für den Teilbereich B wurden durch die Winking Froh Architekten GmbH zwei Variantenuntersuchungen erstellt, die erste Gestaltungsmöglichkeiten und Kubaturen sowie eine überschlägige BGF-Ermittlung beinhalteten. Die Variante 1 sah gestaffelte Terrassenhäuser vor. Diese sollten, die sich zum Zeitpunkt der Planung im Gleisdreieck befindlichen Kleingärten weitestgehend erhalten und diese auf begrünten Dächern und Terrassen fortführen. Die Erdgeschosszone auf Höhe der Pappelallee sollte in diesem Entwurf überwiegend als Park- und Abstellflächen genutzt werden. Einzelhandelsflächen sowie ein Busbahnhof waren ebenfalls vorgesehen.

Abbildung 49: Vorstudie Plan Teilbereich B Variante 1 - Terrassenhäuser¹⁸¹



¹⁸⁰ vgl. DB Netz AG o.J.a.

¹⁸¹ Pläne erstellt von Winking · Froh Architekten GmbH 2019.

Die Variante 2 hingegen sah die Ausgestaltung als Abfolge von Wohnhöfen und Zeilen vor. Somit stellte sich dieser Entwurf eine Blockrandbebauung anschließend an eine Zeilenbebauung vor. Insbesondere der nördliche Teil der Bebauung wurde zu einem erheblichen Teil über den Gleisflächen vorgesehen. Vor allem im Südteil sollten Parkflächen sowie darunterliegende Tiefgarage im Blockinneren realisiert werden. Die Erschließung wurde über die Pappelallee geplant.

Abbildung 50: Vorstudie Plan Teilbereich B Variante 2 - Wohnhöfe¹⁸²



¹⁸² Pläne erstellt von Winking · Froh Architekten GmbH 2019.

5.1 Pilotvorhaben – Evaluation Projektgrundlage

Ausgangspunkt und Basis für die Evaluation der Projektgrundlage bildet die Vorstudie des Teilbereichs B Variante 2 des Architekturbüros Winking – Froh Architekten GmbH vom Februar 2021. Diese Vorstudie stellt eine Detailierung der zuvor erstellten Variantenuntersuchung dar. Die fortgeschriebene Vorstudie legt die Kubatur, überschlägige Baumassen sowie mögliche Nutzungen fest. Außerdem beschränkt sich der Teilbereich B, somit das geplante Gebiet, auf den Bereich zwischen Wandsbecker Chaussee und Pappelallee.

Die folgende Abbildung zeigt diese Planung. Blau eingefärbt sind die Bauten, welche eine mögliche Überbauung betreffen und Teil der weiteren Betrachtung sind. Grau und weiß dargestellt sind Bestandsbauten und rot-grau eingefärbt sind potentielle Entwicklungsflächen für ein von der Gleisüberbauung unabhängiges Bauvorhaben. Die bestehenden Bahntrassen sind in grau dargestellt und das potentiell noch zu errichtende Güterumgebungsgleis rot. Deutlich wird, dass es sich bei dem Grundstück des Pilotvorhabens um das Grundstücksverhältnis Typus 3 handelt.

Abbildung 51: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 – Grundriss¹⁸³



Neben dem dargestellten Grundriss wurde ein Schnitt aus Blickrichtung Menckesallee sowie ein Schnitt aus Blickrichtung Pappelallee durch die Winking · Froh Architekten GmbH erstellt. Aus beiden Schnitten wird die verkehrstechnische Relevanz des geplanten Infrastruktur-Knotenpunkts deutlich. Neben dem bereits vorhandenen Haltepunkt der Hamburger S-Bahn ist in der Vorstudie ein Omnibusbahnhof im Erdgeschoss des Baukörpers an der Menckesallee und Pappelallee vorgesehen. In dem Schnitt Pappelallee wird zudem die Situation der Gleisnutzung deutlich.

¹⁸³ Pläne erstellt von Winking · Froh Architekten GmbH 2019 (2021) eingefärbt von TU Berlin

Von links nach rechts zu sehen ist:

- S-Bahngleis
- S-Bahn Haltepunkt
- S-Bahngleis
- Güterumgebungsbahngleis
- potenzielle Erweiterung Güterumgebungsbahngleis (Bedarfsdefinition/Fachplanung noch ausstehend)
- Fernwärmeleitung

Abbildung 52: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 Schnitt Menckesallee¹⁸⁴

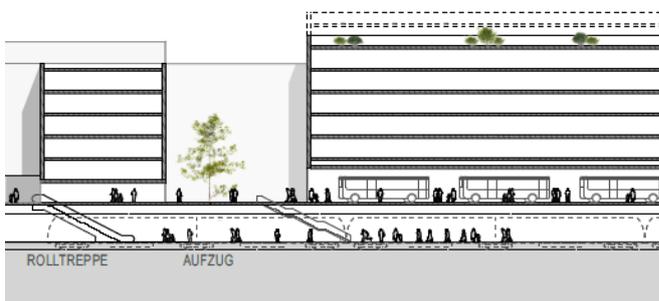
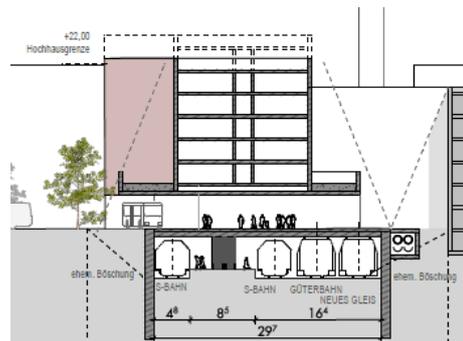


Abbildung 53: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 Schnitt Pappelallee¹⁸⁵



Die Evaluation erfolgte durch die Übernahme der Planunterlagen, einer Begehung des Entwicklungsgebiets sowie mehrere Projektbesprechungen mit dem Praxispartner. Bei den Projektbesprechungen wurde sich über mögliche Ausgestaltungen der Voruntersuchungen sowie Referenzprojekte ausgetauscht. Anhand von Referenzobjekten konnte festgestellt werden, dass die vorgeschlagene Kubatur der Überbauung grundsätzlich technisch umsetzbar ist. Die Ortsbegehung belegte zudem das Potential und den Bedarf eines städtebaulichen Ausbaus des Quartiers.

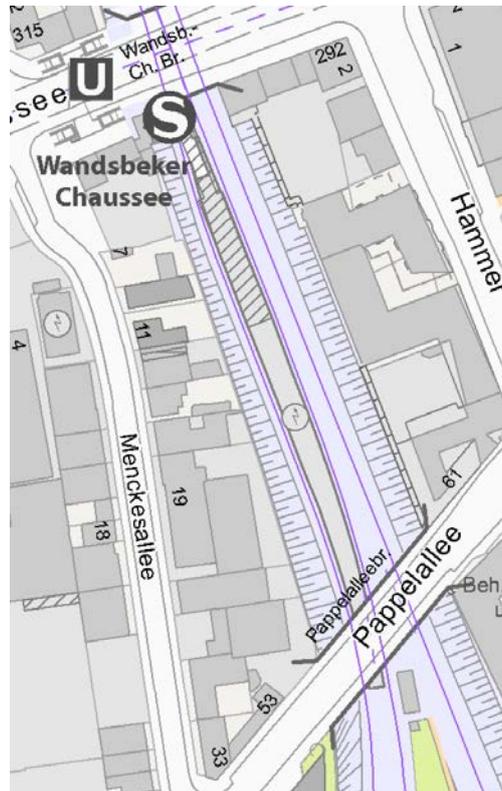
¹⁸⁴ Pläne erstellt von Winking · Froh Architekten GmbH 2019.

¹⁸⁵ ebd.

5.1.1 Rechtliche Projektgrundlagen

Die Evaluation der rechtlichen Projektgrundlage fokussierte sich auf die Klärung der Grundstücksverhältnisse und der grundlegenden Gestaltungsmöglichkeiten sowie Absicherung des Rechts zur Überbauung. Ein Überblick über die Grundstücksverhältnisse kann die folgende Abbildung, ein Auszug aus dem Geoportal Hamburg, bieten.

Abbildung 54: Grundstücksverhältnisse Entwicklungsgebiet¹⁸⁶



Im nördlichen Teil des Entwicklungsgebiets (angrenzend zur Wandsbeker Chaussee) befinden sich ein- bis zweigeschossige Bauten, welche einer Einzelhandels-, Lebensmittelhandels- und Handwerks-Nutzung unterliegen. Zudem ist in diesem Bereich der einzige Zugang zum S-Bahnhaltepunkt verortet. Auf diesen Grundstücken sollen sowohl westlich als auch östlich der Bahntrasse sowie auf der gegenüberliegenden Seite der Wandsbeker Chaussee unter der Projektbezeichnung ‚Wandsbeker Tor‘ Immobilien entwickelt werden. Diese Projektentwicklungen sind unabhängig von der Überbauung zu sehen.

Im Plan Blau eingefärbt, sind drei bestehenden Bahntrassen sowie die Böschungsflächen. Diese befinden sich im Eigentum der DB Netz AG. Der Eigentümer des Haltepunkt Wandsbeker Chaussee, ist wie für Haltepunkte und Bahnhöfe von S-Bahnen üblich, die DB Station & Service AG. Genutzt wird der Haltepunkt jedoch durch das Eisenbahnverkehrsunternehmen, der S-Bahn Hamburg GmbH, einer Tochter der DB AG.

Die westlich sowie östlich an der Bahntrasse anliegenden Grundstücke sowie deren Bestandsbebauung, unterliegen verschiedenen Eigentumsverhältnissen und sind nicht Teil von potenziellen Entwicklungsflächen. Auch eine Grundstücksteilung und Ankauf dieser Grundstücke ist ausgeschlossen. Das Entwicklungsgebiet wird im Süden durch die Pappelallee begrenzt.

¹⁸⁶ übernommen Kartenausschnitt von LGV Hamburg o.J.

Durch den Sachverhalt, dass die an die Bahntrasse angrenzenden Grundstücke nicht für mögliche Überbauungen zur Verfügung stehen, verbleiben lediglich die Böschungflächen als potentielle Gründungsflächen. Die Böschungflächen unterliegen einer bahnrechtlichen Widmung und sind für den Bahnbetrieb notwendig. Die Funktion der Böschungflächen kann jedoch durch Ersatzbauwerke, die gleichzeitig der Gründung eines Überbaus dienen übernommen werden. Bei der Erweiterung der Trasse um ein weiteres Güterumgehungsbahngleis wird zudem ohnehin ein Eingriff in die Böschungfläche westlich der Bahntrasse notwendig.

5.1.2 technische Projektgrundlagen

Die technischen Projektgrundlagen ergeben sich aus der Informationssammlung der Bodenverhältnisse des Entwicklungsgebiets sowie den theoretischen technischen Bedingungen für Überbauungen, welche in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben werden. Das Bohrchiv Hamburg bietet detaillierte Informationen zu den Baugrundeigenschaften des Grundstückes. Die Bohrdaten stammen hauptsächlich aus dem Bau der U-Bahn in den späten 1950er bzw. frühen 1960er Jahren. Die Ergebnisse der Bohrungen sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht Bohrsäulen Wandsbeker Chaussee bis Pappelallee¹⁸⁷

Bohrung/ Tiefe	7036_A7 ¹	7038_C341	7038_C388	7038_C389	7089_C390	7038_C397
Höhe NHN [m]	15,16	15,88	16,05	16,05	16,0	9,3
0 – 3 m	Sand (scharf); Lehm	Feinsand- Mittelsand (humos)	Feinsand- Grobsand; Mittelsand- Grobsand	Feinsand- Grobsand	Feinsand- Mittelsand; Mittelsand- Grobsand	Bauschutt; Bänderton
3 – 6 m	Ton	Mittelsand- Grobsand; Feinsand	Mittelsand- Grobsand; Feinsand	Feinsand; Mittelsand; Feinsand	Feinsand- Mittelsand; Schluff; Feinsand; Bänderton	Bänderton; Schluff; Feinsand- Grobsand
6 – 9 m	Ton	Feinsand- Mittelsand; Bänderton	Feinsand; Mittelsand; Bänderton	Feinsand; Bänderton	Bänderton; Schluff/ Geschiebemergel	Mittelsand- Grobsand; Schluff/ Geschiebemergel
9 – 12 m	Ton	Bänderton; Schluff/ Geschiebe- mergel	Bänderton;	Bänderton;	Feinsand- Mittelsand; Feinsand; Feinsand- Grobsand	Schluff/ Geschiebemergel
12 – 15 m	Ton	Bänderton; Schluff/ Geschiebe- mergel	Bänderton; Schluff/ Geschiebe- mergel	Bänderton; Schluff/ Geschiebemergel; Ton	Schluff; Schluff/ Geschiebemergel	Schluff/ Geschiebemergel (bis 13m)
15 – 17 m	Feinkies	Schluff/ Geschiebe- mergel	Feinsand- Mittelsand; Schluff	Ton	Mittelsand; Ton/ Glimmerton	

¹⁸⁷ vgl. BoVis Bohrsäulenvisualisierung

Fachwerksabfangung in Stahl- bzw. Verbundbau notwendig. Dies erhöht die Kosten im Vergleich zu den anderen Tragwerksystemen maßgeblich. Beispiele dafür bilden die gewählte Konstruktion der Studie Sunnyside Yards (Stahlverbundkonstruktion in Fachwerkbauweise) oder der Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 1 (Stahlträgerdecke). Insbesondere bei diesem Bauteil ist die Optimierung des Tragsystems auf der Ebene des Hochbaus wesentlich. Durch eine leichte Bauweise sind hier die auf die Abfangung einwirkenden Lasten unter Berücksichtigung von Brandschutz- und Schallschutzanforderungen zu minimieren.

Je nach Art des gewählten Abfangungssystems sind die Maßnahmen des Schall- und Erschütterungsschutzes zu wählen. Da die Abfangungssysteme beim Pilotvorhaben zwischen den drei Überbauungen variieren, sind auch die Schutzmaßnahmen gebäudeabhängig festzulegen. Möglich sind die vier grundlegenden zuvor beschriebenen Maßnahmen:

- Lagerung der Schiene,
- Entkopplung oberhalb der Fundamente,
- Lagerung zwischen Abfangung und Abstützungselementen und
- Lagerung zwischen Hochbautragwerk und Abfangung.

Da nach dem aktuellen Wissenstand die Erweiterung der Güterumgebungsbahn um ein weiteres Gleis als wahrscheinlich zu bewerten ist und dadurch umfangreiche Umbauarbeiten an den Bestandsgleisen notwendig werden, ist die Schutzmaßnahme 1, die Lagerung der Schiene im Bereich der gesamten Gleisüberbauung zu prüfen. Insbesondere für die Güterumgebungsbahn bzw. die Güterumgehungsstrecken ist eine große Schutzwirkung zu erwarten.

Unter Beachtung des Bedarfs eines Anprallschutzes und des Tunnelbrandschutzes ist für die drei Gleisüberbauungen eine geschlossene Betoneinhausung, welche den S-Bahn Haltepunkt sowie die Trasse vollständig umschließt, empfehlenswert. Insbesondere durch die Erkenntnisse aus dem realisierten Vorhaben Clarenbachplatz 1, Köln wird diese Empfehlung bestärkt. Bau und Tragelemente, die sich im Bereich der Trasse befinden, müssen weiterführend gegen Anprallwirkung ertüchtigt sein. Dies ist beispielsweise durch eine Zerschellschicht zu realisieren.¹⁹⁰

Die zuvor ausgesprochene Empfehlung einer geschlossenen Betoneinhausung, beeinflusst auch den Baubetrieb. Eine Besonderheit des betrachteten Pilotvorhabens ist die hohe Frequentierung der S-Bahnstrecke sowie der Güterumgebungsbahn. Der Bahnbetrieb soll möglichst wenig beeinflusst werden. Dies spricht ebenfalls für eine Betoneinhausung, welche in Relation zum restlichen Hochbau sehr schnell mittels Bauelementen mit einem hohen Vorfertigungsgrad errichtet werden kann und als Schutzebene der Trasse in der Bauphase des Hochbaus dient.

5.2 Pilotvorhaben – Wirtschaftlichkeitsvoruntersuchung

Die zeitlich mit der STOMA durchgeführte Wirtschaftlichkeitsvoruntersuchung beschränkte sich im Forschungsvorhaben auf drei wesentliche Teile:

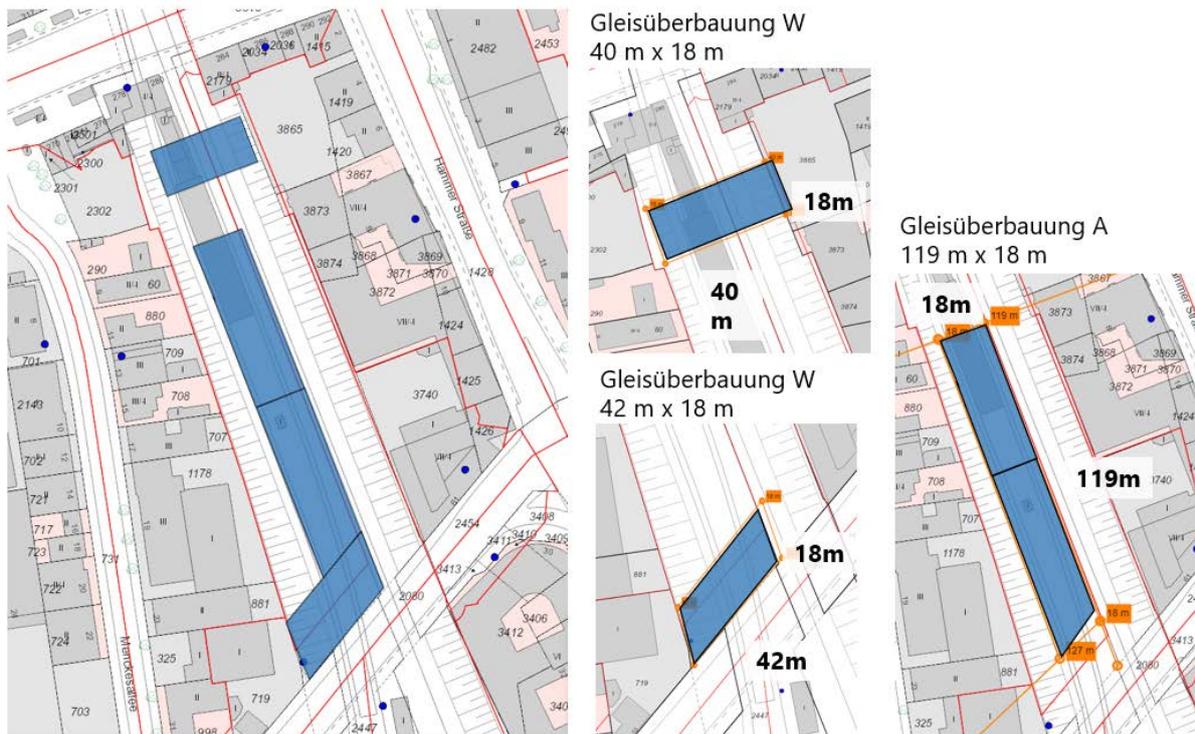
- Ermittlung der überschlägigen Baumasse
- Analyse und Festlegung des Nutzungsmixes und
- Bestimmung des Bedarfs und entsprechender Mietpreispotentiale.

¹⁹⁰ Für weitere grundlegende Ausführungen zum Thema, siehe Kapitel 4.4.3 Anprallschutz und 4.4.4 Tunnelbrandschutz.

5.2.1 Ermittlung der überschlägigen Baumasse

Durch den Mangel eines Vermesserplans des Entwicklungsgebietes wurde sich der zu realisierenden Baumasse anhand des Geoportals Hamburg und der vorliegenden Architektenpläne genähert. Die so ermittelten Massen entsprechen lediglich einer überschlägigen Annäherung an tatsächliche Verhältnisse, geben jedoch genügend Aufschluss über eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit. Der folgenden Abbildung können die entsprechenden Maße der Grundrisse entnommen werden.

Abbildung 56: Ermittlung Grundrissmaße Überbauung¹⁹¹



In Präzisierung und Ergänzung der Architektenpläne der Vorstudie wurden verschiedenen Nutzungen sowie die Anzahl von Vollgeschossen diskutiert und verschiedene Ausführungsvarianten gegeneinander abgewogen. Im Ergebnis wurde durch die HBK sowie die zum Zeitpunkt des durchgeführten Workshops bekannten Rahmengengebenheiten Vollgeschosse festgelegt. Bei der Gleisüberbauung W sowie A entspricht dies sechs Vollgeschossen. Bei der Gleisüberbauung P wurden 20 Vollgeschosse festgelegt. So ergeben sich für die Gleisüberbauung W 3.600 m², für A 12.852 m² und für P 15.120 m².

5.2.2 Analyse und Festlegung der Nutzungsmischung

Mit dem Team der HBK wurde bei einem Treffen mit Workshop-Charakter die zuvor im Projekt grob definierte Nutzung ‚Wohnen‘ weiter präzisiert und verschiedene Nutzermixe besprochen. Die Festlegung der Nutzungen hat insbesondere Einfluss auf die Baukosten des Hochbaus sowie der zu erzielenden Mieteinnahmen.

Die Erdgeschosebene der Gleisüberbauung W soll weitestgehend als Freigeschoss ausgebildet sein. Dies ist notwendig um den Zugang zum Haltepunkt der S-Bahn sowie zu dem Omnibusbahnhof unter den Überbauungen A und P zu ermöglichen. Rd. 30% der Gesamtfläche (720 m²), dies entspricht 220 m², sollen als Gewerbefläche bspw. für die öffentlichen Verkehrsbetriebe angelegt werden. Die aufstrebenden Geschosse OG 1 bis OG 4 sollen als Boardinghouse genutzt werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die angrenzende

¹⁹¹ eigene Darstellung Kartenausschnitt von LGV Hamburg o.J.

Bebauung der gleichen Nutzung dienen soll und somit ein Gesamtkomplex geschaffen werden könnte. Dieser Nutzung würden rd. 3.600 m² zur Verfügung stehen.

Wie bereits beschrieben und auf den Grundrissplänen ersichtlich ist in der Erdgeschossenebene der Gleisüberbauung A und P ein Omnibusbahnhof in Erweiterung des nahegelegenen ZOB Wandsbek vorgesehen. Diese Nutzung bedingt einer erhöhten Geschosshöhe. Oberhalb des Omnibusbahnhofs Überbauung A wurde ein Wohnheim für Auszubildende und Studierende verortet. Dieser Nutzung kommen auf den zur Verfügung stehenden 5 Vollgeschossen überschlägig 10.710 m² zugute.

Die Gleisüberbauung P soll nach Plan ab dem 1. OG dem Wohnungsbau dienen. Somit würde ein Flächenpotential von 14.364 m² Wohnraum geschaffen. Bei Wohnungen zwischen 60 m² und 80 m² sowie einer Flächeneffizienz von 70% beträgt dies um die 140 Wohneinheiten.

5.2.3 Bestimmung Flächenbedarf und Mietpreispotentiale

Das statistische Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein geht für den Bezirk Wandsbek von einem Zuwanderungssaldo von 5,9 % bis zum Jahr 2035 aus (Basis 2018). Im Stadtteil Wandsbek, in welchem das Entwicklungsgebiet liegt, fällt die Prognose mit 13,3 % noch deutlich höher aus. Absolut entspricht dies einem Zuwachs von rd. 4.800 Einwohner auf insgesamt 40.940 Einwohner im Stadtteil.¹⁹²

Eine detaillierte Einschätzung des Mietspiegels für Wohnen bietet die ‚Mietspiegelkarte – Mietspiegel 2021‘, welche durch das Amt für Wohnen, Stadterneuerung und Bodenordnung Hamburg herausgegeben bzw. durch die hamburg.de GmbH & Co. KG frei zugänglich zur Verfügung gestellt wird. Im Entwicklungsgebiet sind laut dem Mietspiegel für Neubauten (Errichtung zwischen 2016 und 2020) rd. 11,50 €/m² bis 16,50 €/m² üblich.¹⁹³

Die Festlegung der Mietpotentiale bezieht sich auf die zuvor dargestellten statistischen Daten sowie auf Projekte, die durch den Praxispartner realisiert wurden. Insbesondere in der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die angenommenen Mietpreise aufgegriffen. Für Gewerbeflächen in den Erdgeschosszonen werden 30,00 €/m² Miete angenommen. Für die Flächen, welche durch die Verkehrsbetriebe genutzt werden, konnten keine validen Daten ermittelt werden. Insgesamt handelt es sich dabei um 2.542 m². Da zum Zeitpunkt der Untersuchung der Umgang mit diesen Flächen nicht definiert ist, werden mögliche Mietentnahmen in den weiteren Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt. Vorstellbar in diesen Flächen sind auch diverse Betreibermodelle, was ebenfalls für die Vernachlässigung spricht. Für die Nutzung des Boardinghouse wurden 23,00 €/m² und für die Wohnnutzung 18,00 €/m² Miete ermittelt. Für die Wohnheimnutzung werden 25,00 €/m² Miete erwartet. Die vergleichsweise hohe Miete ergibt sich aus flächeneffizienten Einheitenzuschnitten und den festen Mietpreisen für öffentliche Wohnheime.

5.3 Pilotvorhaben – STOMA

In diesem Teilkapitel werden zunächst Daten des Makrostandortes (geografischer Großraum = Stadt Hamburg) sowie des Mikrostandortes (unmittelbares Umfeld des Entwicklungsgebiets) aufbereitet zusammengetragen. Folgend werden Daten der Marktlage in der Marktanalyse zusammengefasst und deren Bedeutung für eine Überbauung abgeleitet. Abschließend wird im Unterkapitel eine SWOT-Analyse der Standortfaktoren durchgeführt.

Die in der Projektevaluation gewonnenen Erkenntnisse und gesammelten Daten fließen in die Standort- und Marktanalyse (STOMA) vollständig ein. Um Wiederholungen zu vermeiden wird auf die bereits beschriebenen Sachverhalte in diesem Kapitel nicht erneut eingegangen. Insbesondere Teile der Mikrostandortanalyse wie bspw. die Bestimmung der direkten Umgebungsbebauung sowie Grundstücksverhältnisse ect. sind den vorangestellten Kapiteln zu entnehmen.

¹⁹² vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2022a S.4ff.

¹⁹³ vgl. hamburg.de GmbH & Co. KG 2021.

5.3.1 Makro- und Mikrostandortanalyse

Hamburg ist mit 1.852.478 Einwohnern die zweit einwohnerreichste Stadt in Deutschland (Jahr 2020). Seit 2010 verzeichnet die Stadt einen kontinuierlichen Geburtenüberhang. Im Jahr 2016 war dieser, mit 4.213 mehr Geburten als Sterbefällen am höchsten ausgeprägt. Im Jahr 2020 liegt der Geburtenüberhang bei 2.123. Die Zuzüge liegen seit 1998 dauerhaft über der Anzahl der Fortzüge mit der maximalen Ausprägung im Jahr 2016 von 20.201 mehr Zuzügen als Fortzügen. Insgesamt wird bis zum Jahr 2035 von einem Wachstum der Gesamtbevölkerung auf 1.959.000 ausgegangen.¹⁹⁴ Allein durch diese beiden Indikatoren sowie die Gesamtprognose lässt sich ein Anstieg des Bedarfs für Wohnraum begründen.

Die Anzahl an Studierenden verzeichnet ebenfalls ein kontinuierliches Wachstum bis auf 110.220 im Wintersemester 2019/2020. In den vergangenen 10 Jahren ist die Studierendenzahl jährlich um rd. 4 % gestiegen.¹⁹⁵ Die gemeldeten Berufsausbildungsstellen verzeichnen seit 2010 einen Anstieg, bis auf einen pandemiebedingten Rückgang im Jahr 2020. Insgesamt sind in Hamburg rd. 35.000 Auszubildende gemeldet.¹⁹⁶ Die Bevölkerungsentwicklung des Mikrostandorts wurde bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. Aus diesem Grund wird nicht erneut darauf eingegangen.

In der Mikrostandortanalyse wurden explizit folgende Standortfaktoren untersucht:

- Umfeld (Nutzungsarten)
- Umfeld (Natur, Parkanlagen)
- Nahversorgung
- Infrastruktur (ÖPNV)
- Infrastruktur (Straße)
- Infrastruktur (Fahrrad)
- Image und
- Kultur- und Freizeitangebot

Das Umfeld des Entwicklungsgebietes in Bezug auf die Nutzungsarten kann dem Flächennutzungsplan entnommen werden. Zudem wurden bei einer Ortsbegehung Eindrücke gesammelt sowie eine Fotodokumentation erstellt. Grundsätzlich sind in direkter Umgebung neben Park- bzw. Grünanlagen, mischgenutzte Bebauung sowie überwiegend Wohnnutzungen vorhanden. Die sehr gute verkehrstechnische Anbindung wird ebenfalls auf dem Flächennutzungsplan durch die gekennzeichneten Flächen für den Gemeinbedarf deutlich. Folgend ist zur nutzungsbezogenen Einordnung des Entwicklungsgebiets der Flächennutzungsplan dargestellt. Das Entwicklungsgebiet ist rot gekennzeichnet.

¹⁹⁴ vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2022b. Kapitel 1

¹⁹⁵ vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2022b Kapitel 2

¹⁹⁶ vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2022b Kapitel 7 (Erhebung 2018 im Jahrbuch 2022)

Der Standortfaktor ‚Image‘ beinhaltet die Art der Umgebungsbebauung sowie Sicherheit. Die Umgebungsbebauung ist geprägt von Nachkriegsbauten, bei welchen z.T. Sanierungsbedarf besteht. Durch Entwicklungsprojekte der letzten Jahre, wie dem Neubau des Kaufhauses W1, die Verkehrsneuordnung der Hammerstraße im Bereich der Eisenbahnkreuzung oder dem Neubau des Amts für Migration verändern das Stadtbild positiv. Erfasste Straftaten liegen für das Jahr 2021 in den Stadtteilen Eilbek bei einer absoluten Fallzahl von 1.599 und in Wandsbek von 3.128. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Straftaten rückläufig. Die Häufigkeitszahl (Straftaten pro 100.000 Einwohner) für Gesamthamburg liegt bei 10.062. Im Vergleich der Stadtteil Eilbek mit 7.191 und der Stadtteil Wandsbek mit 8.530.¹⁹⁹ Somit sind in beiden Stadtteilen unterdurchschnittlich viele Straftaten pro Einwohner zu verzeichnen.

Das Kulturangebot für Gesamthamburg kann anhand des Indikators der Haushaltsausgaben für Kultur bemessen werden. Diese lagen im Jahr 2017 bei 170 €/Einwohner und damit über dem Deutschland-Durchschnitt von 139 €/Einwohner. Auch in Bezug auf Besuche in Bibliotheken und Kinos liegt Hamburg im Bundesvergleich im vorderen Viertel. Museen in Hamburg wurden im Deutschlandvergleich durchschnittlich besucht. Bei den Besuchen öffentlicher Konzerte und Theater ist Hamburg an vierter Stelle mit 297/1.000 Einwohner.²⁰⁰ Aus diesen Faktoren kann abgeleitet werden, dass das Kulturangebot im Gesamten als positiv zu bewerten ist.

5.3.2 Marktanalyse

Hamburg ist sowohl national als auch international im Bereich der Immobilienentwicklung von Bedeutung. So stellt bspw. das Projekt HafenCity das größte Stadtentwicklungsprojekt Europas dar. Rd. 157 ha ehemaliger Hafenfläche wurden und werden bis zum Jahr 2025 das bestehende Stadtzentrum um ca. 40% erweitern. Das neue Stadtquartier soll Wohnraum für 14.000 Menschen und Flächen für 45.000 Arbeitsplätze bieten.²⁰¹

Neben dem Bedarf an Arbeits- und Wohnflächen im Allgemeinen besteht ein Bedarf an Neubau durch ein weiteres Marktsegment. Dieses bedeutende Marktsegment für Hamburg stellt Tourismus dar. In den vergangenen 10 Jahren erhöht sich die Anzahl der Gäste pro Jahr um knapp 75 % auf 4,4 Mio. (Jahr 2019). Die angebotene Bettenanzahl erhöhte sich im gleichen Zeitraum um knapp 70 %. Pandemiebedingt brach dieses die Anzahl an Gästen im Jahr 2020 ein.²⁰²

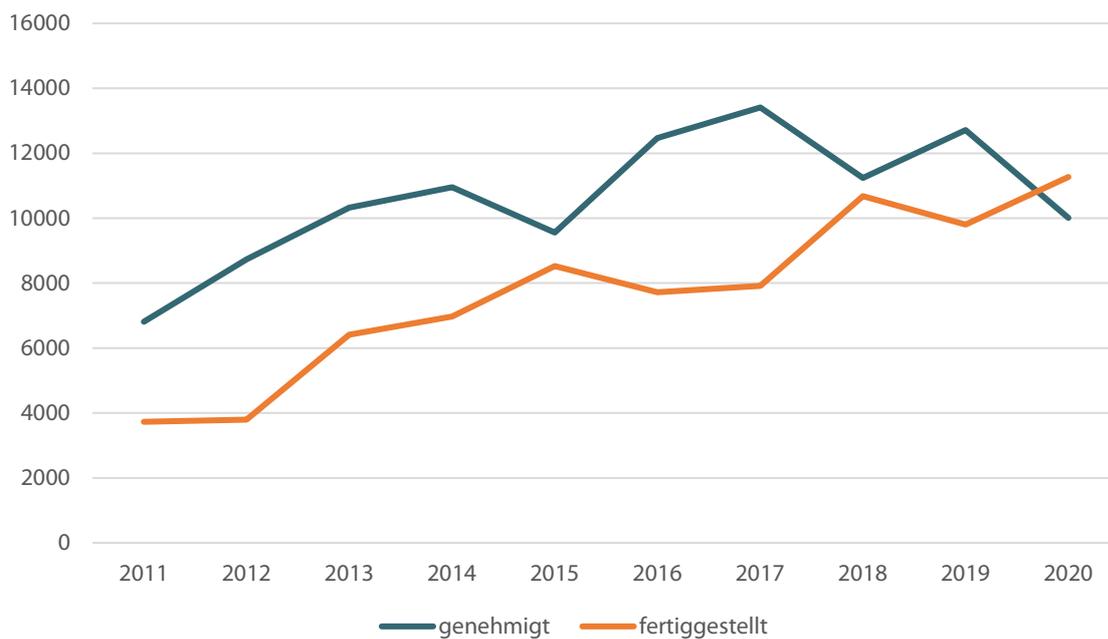
Die bereits beschriebene Bevölkerungszunahme sowie im Speziellen der Anstieg der Anzahl an Auszubildenden und Studierenden schlägt sich ebenfalls in der Anzahl an genehmigten sowie fertiggestellten Wohneinheiten nieder. Die Entwicklung von Genehmigungen und Fertigstellungen kann der folgenden Abbildung über den Zeitverlauf der letzten 10 Jahre entnommen werden. Deutlich wird dabei, dass in Spitze 11.269 Einheiten fertiggestellt wurden und einer Zunahme der Bevölkerung von 6.180 gegenübersteht (Jahr 2020). Dabei ist die Bevölkerungszunahme der letzten 10 Jahre, die deutlich über den fertiggestellten Einheiten lag – durchschnittliche Bevölkerungszunahme 14.761 – nicht zu vernachlässigen.

¹⁹⁹ vgl. Landeskriminalamt Hamburg LKA FSt 11 2022 sowie Landeskriminalamt Hamburg Fachstab 1 2022.

²⁰⁰ vgl. Lieber et al. 2022. S. 10, 17, 19

²⁰¹ vgl. hamburg.de GmbH & Co. KG o.J.

²⁰² vgl. Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein 2022b Kapitel 10

Abbildung 58: Genehmigte und fertiggestellte Wohneinheiten Hamburg²⁰³

Eine, neben diversen ökologischen Förderprogrammen, herauszustellende Bauförderung im Kontext der Wohnraumschaffung wird von der Hamburgischen Investitions- und Förderbank angeboten. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Förderprogramme inklusive der wesentlichen Kriterien und dem Fördervolumen zusammengefasst.

²⁰³ vgl. Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen 2021 S. 8

Tabelle 8: Förderprogramme IFB Hamburg²⁰⁴

Bezeichnung	Kategorie	Förderart	Mietpreisbindung netto kalt
Neubau von Mietwohnungen 1. Förderweg & 2. Förderweg	Neubau von preisgünstigen Mietwohnungen Änderung oder Erweiterung	zinsverbilligte Darlehen laufende und einmalige Zuschüsse über 30 a Einmalzuschuss von 1.750,00 €/Wohnung oder 5.250,00 €/Wohnung nach Ablauf der Bindungslaufzeit	6,90 €/m ² Wohnfläche bzw. 9,00 €/m ² Wohnfläche
Neubau Wohnungen für Studierende und Auszubildende	Neubau Änderung und Erweiterung Ein- und Zwei-Personen-Apartments Wohngebäuden Ein- und Zwei-Personen-Apartments oder Wohngemeinschaften Wohnheim	zinsverbilligte Darlehen laufende und einmalige Zuschüsse über 30 a Einmalzuschuss von 1.750,00 €/Person mit Beginn der Bindungslaufzeit oder 5.250,00 €/Person	Einzelapartments 252,00 € Zwei-Personen-Apartments 474,00 € Wohngemeinschaften 231,00 €/Platz
Neubau von Mietwohnungen für vordringlich wohnungssuchende Haushalte	Bau von preisgünstigen Mietwohnungen Änderung oder Erweiterung Gebäuden bis zu 30 Wohneinheiten für Haushalte im Besitz eines gültigen Dringlichkeitsscheins oder einer Dringlichkeitsbestätigung	zinsverbilligte Darlehen laufende und einmalige Zuschüsse über 40 a Einmalzuschuss von 1.750,00 €/Wohnung oder 5.250,00 €/Wohnung nach Ablauf der Bindungslaufzeit	6,90 €/m ² Wohnfläche
Neubau von Sonderwohnformen	Bau von Wohnungen für Haushalte mit Marktzugangsproblemen durch Bedarf an besonderen Wohnformen (körperlichen, geistigen und/oder psychischen Einschränkungen sowie pflegebedürftige Menschen)	zinsverbilligte Darlehen laufende und einmalige Zuschüsse über 30 a Einmalzuschuss von 1.750,00 €/Wohnung oder 5.250,00 €/Wohnung nach Ablauf der Bindungslaufzeit	Durch IFB Hamburg im Bewilligungsverfahren festgelegt Obergrenze Höchstwert für die Bedarfe für Unterkunft und Heizung (BfU gem. geltenden Fachanweisungen Sozialbehörde)

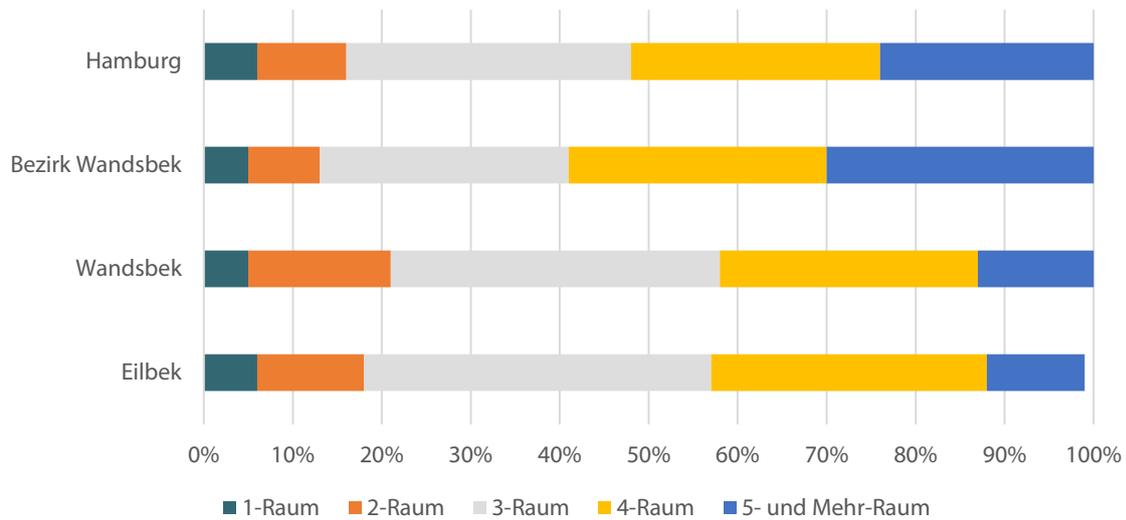
Der Bedarf an Auszubildenden- und Studierendenwohnen aber auch die Wirksamkeit der zuvor beschriebenen Förderung wird im Lehrforschungsprojekt ‚Studentisches Wohnen in Hamburg‘ der HafenCity Universität bestätigt. So wird bspw. in der Studie herausgestellt, dass das Studierendenwerk Hamburg lediglich 4.400 Wohnungen zur Verfügung stellt.²⁰⁵ Dies entspricht Wohnraum für rd. 3 % der Auszubildenden und Studierenden.

²⁰⁴ Für weiterführende Informationen siehe Förderrichtlinien IFB Hamburg mit Gültigkeit 01. Juli 2022.

²⁰⁵ vgl. Grubbauer et al. 2020, S. 7

In den Stadtteilen Eilbek und Wandsbek lebt ein unterdurchschnittlicher Anteil von Jugendlichen und Kindern. Dem gegenüber steht jedoch ein überdurchschnittlicher Anteil von Zugezogenen und Familiengründern. Sowohl Wandsbek als auch Eilbek zählen dabei im Bezirk Wandsbek zu den nachgefragtesten Stadtteilen. Die Beschäftigungszahlen beider Stadtteile führen den Bezirk an und im stadtweiten Vergleich scheidet der Bezirk leicht überdurchschnittlich ab.²⁰⁶ Die Marktzusammensetzungen an Wohnungen in Bezug auf die Raumanzahl kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

Abbildung 59: Wohnraum nach Anzahl der Räume²⁰⁷



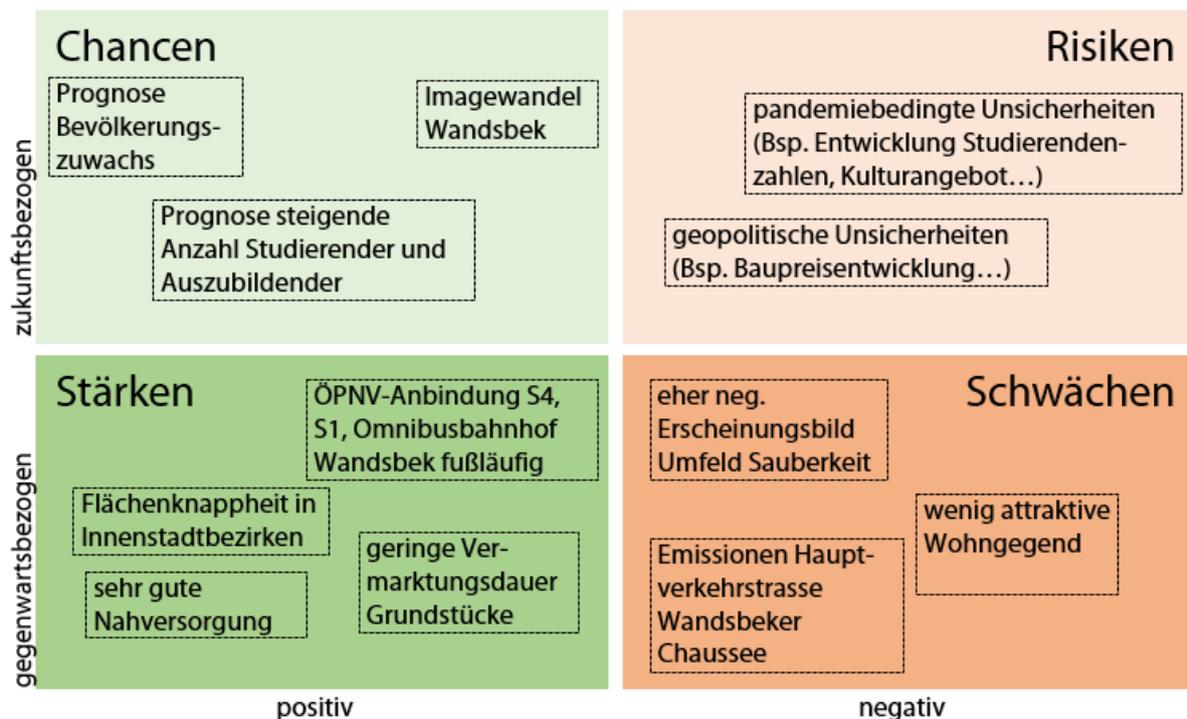
²⁰⁶ vgl. Institut für Wohnen und Stadtentwicklung 2021S. 20; 25; 28 ff.

²⁰⁷ Übernommen aus Institut für Wohnen und Stadtentwicklung 2021S.32

5.3.3 SWOT-Analyse der Standortfaktoren

Die SWOT-Analyse der Standortfaktoren des Pilotvorhabens wird verwendet, um die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Analysen zusammenzuführen und darzustellen. Dafür wurden zunächst die für eine Nutzungsart, im vorliegenden Fall Wohnnutzung, wesentlichen Standortfaktoren ermittelt und anschließend einer vier-Felder-Matrix zugeordnet. Die Matrix teilt sich in die gegenwartsbezogenen Kriterien Stärken (strengths) und Schwächen (weaknesses) sowie die zukunftsbezogenen Kriterien Chancen (opportunities) und Risiken (threats). Chancen oder Risiken, die aus dem Bau einer Gleisüberbauung resultieren bspw. Unsicherheiten der Bautechnik oder erschwerte Umstände des Baubetriebs, werden in dieser SWOT-Analyse nicht berücksichtigt. Die SWOT-Analyse dient lediglich der Schaffung von Vergleichbarkeit des Entwicklungsgebiets zu anderen Potentialflächen von Gleisüberbauungen.

Abbildung 60: SWOT-Analyse Standortfaktoren Entwicklungsgebiet²⁰⁸



²⁰⁸ eigene Darstellung

6 Wirtschaftlichkeitsrechnungen

Die durchgeführte Wirtschaftlichkeitsrechnung des betrachteten Pilotvorhabens in Wandsbek entspricht dem Residualwertverfahren. Grundlage für das Residualwertverfahren ist eine Zusammenstellung der für Gleisüberbauungen relevanten Kostendaten. Anschließend zu den Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit wird in Verbindung der Erkenntnisse der Auswertung der rechtlichen Rahmenbedingung auf mögliche Beschaffungsmodelle bzw. Projektabwicklungsstrategien eingegangen.

6.1 Zusammenstellung relevanter Kennwerte/Kostendaten

Um Kostendaten von Gleisüberbauungen zugänglich zu machen und einer bessere Nachvollziehbarkeit zu schaffen, wurde sich dafür entschieden die Gesamtkosten solcher Projekte zu clustern. Das gewählte Cluster orientiert sich u.a. an der Kostenstruktur von Machbarkeitsstudien anderer Projekte. Dies vereinfacht eine Übertragung auf die Residualwertverfahren des Pilotprojektes in Wandsbek. Das gewählte Cluster teilt sich in:

- Kosten zur Erlangung des Rechts zur Überbauung und Nutzung,
- eisenbahnspezifische Kosten,
- Errichtungskosten Ingenieurbauwerk sowie
- Errichtungskosten Hochbau.

Integrierte Tragsysteme, wie sie in Kapitel 4 beschrieben werden, können mit dem gewählten Cluster nicht abgebildet werden. Es wurde sich bewusst dafür entschieden, da bei integrierten Tragsystemen das primäre Tragsystem (Tragwerk zum Überspannen der Gleise) die Errichtungskosten des sekundären Tragsystems (Tragstruktur des raumbildenden Hochbaus) stark beeinflusst.

Die Kosten zur Erlangung des Rechts zur Überbauung und Nutzung beinhalten alle Kosten, die dafür notwendig sind, dass der Vorhabenträger einer Überbauung das Recht erlangt ein Gebäude über Bahntrassen zu errichten und zu nutzen. Dies sind im maßgeblichen Umfang Kosten zur Absicherung durch Grunddienstbarkeiten. Zudem wurden Kosten der Projektierungsphase bspw. vorgezogene Planungen, Verhandlungen mit Bahnbetreiber und Eigentümer der Trasse, Standortwahl etc. überschlägig berücksichtigt. Bei der Ermittlung dieses Kostenwertes wurde sich auf eingesehene Dokumente und Grundbücher von Vergleichsvorhaben bezogen sowie an aktuell üblichen Entschädigungsbeträgen für Dienstbarkeiten orientiert. Die Kosten zur Erlangung des Rechts zur Überbauung und Nutzung wurden auf 1.500,00 €/m² Fläche des zu überspannenden Grundstücks bestimmt. Weiterführenden Informationen, welche Rückschlüsse auf spezielle Vorhaben ermöglichen, dürfen aus Gründen des Datenschutzes gegenüber den Grundstückseigentümern nicht gegeben werden. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass in Abhängigkeit der Konstellation von Vorhabenträger, sonstigen Beteiligten und Eigentümern der Bahntrasse bzw. dessen Eigeninteresse am Vorhaben die Kosten für Projektierung und Dienstbarkeiten stark variieren können. Aus diesem Grund ist bei einer Übertragung des Kostenwertes auf andere Pilotvorhaben dieser individuell zu prüfen und anzupassen.

Eisenbahnspezifische Kosten beinhalten alle Kosten, die zur Ertüchtigung der Eisenbahninfrastruktur durch eine Überbauung notwendig werden. Hier fließen bspw. Kosten für Änderungen/Anpassungen an Signalanlagen oder Fahrleitungsanlagen ein. Bei dem Kostenwert wird sich auf eine Stellungnahme der Hamburger Hochbahn bezogen, welche im Rahmen einer Machbarkeitsstudie des Ingenieurbüro Dr. Binnewies im Januar 2019 erstellt wurde. Einführend muss dabei betont werden, dass die Hamburger Hochbahn lediglich ‚überschlägige‘ Kosten veranschlagt hat, die neben der Ertüchtigung der Signaltechnik und Stromversorgung auch Anpassung der Gleisanlage vorsieht. Die Kostenabschätzung bezieht sich auf eine Überbauung mit ca. 500 m Länge und 55 m Breite. Im Vergleich zum Pilotvorhaben Wandsbek mit einer Länge von rd. 160 m und einer maximalen Breite von max. 40 m ist das Vorhaben als groß zu bewerten. Da bei diesem Größenunterschied jedoch von keinen wesentlichen Skalenerträgen ausgegangen wird, wurde der errechnete Betrag von rd. 3.000,00 €/m² angenommen. Kosten für Schienenersatzverkehr wurden explizit aus dem

Kostenkennwert herausgerechnet, da für eine valide Berechnung dieser Kosten zu viele Faktoren unbestimmt sind.

Die Errichtungskosten des Ingenieurbauwerks beinhalten alle Kosten die zur Errichtung des primären Tragsystems (Tragwerk zum Überspannen der Gleise) bzw. des ‚Deckels‘ notwendig sind. Somit sind neben den Bauwerkskosten auch die Plan- und Projektnebenkosten sowie Reserven bzw. Risikorückstellungen berücksichtigt. In der folgenden Tabelle sind Kostenwerte verschiedener Machbarkeitsstudien und umgesetzter Projekte zusammengetragen, aus welchen der angenommene Kostenwert für das Pilotvorhaben Wandsbek entwickelt wurde.

Tabelle 9: Kostenwerte Errichtungskosten Ingenieurbauwerk

Bezeichnung/Projekt	Kategorie	Errichtungskosten in €/m ²
Lärmschutztunnel A7 Hamburg-Altona (in Umsetzung)	Infrastrukturdeckel mit Park- und Kleingartenanlagen	rd. 2.115
Sunnyside Yard New York (Machbarkeitsstudie)	Gleisüberbauung Hochbau	rd. 2.300 bis 2.800
Kostenkennwert Naumann, Heilfort, Schach baupreisindexiert 2002 auf 2021	Brückenbau Straße	rd. 1.443 (Baukosten)
Berne, Legienstr., Hagenbecks Tierpark (Machbarkeitsstudie Ingenieurbüro Dr. Binnewies)	Gleisüberbauung Park- & Kleingartenanlagen	rd. 1442 bis 1.877 (Baukosten)
Berne, Legienstr., Hagenbecks Tierpark (Machbarkeitsstudie Ingenieurbüro Dr. Binnewies)	Gleisüberbauung Hochbau	rd. 1.770 bis 2.205 (Baukosten)
Errichtungskosten Ingenieurbauwerk Pilotvorhaben Wandsbek		2.800

Die Errichtungskosten des Hochbaus wurden mittels BKI-Kostenrechner für August 2021 mit dem Regionalfaktor für Hamburg von 1,183 ermittelt. Die statistischen Werte von Vergleichsobjekten in den Kategorien ‚Neubau - Wohnen - mehr als 20 WE - Mittlerer Standard‘ und ‚Neubau - Wohnheim‘ wurden genutzt. Die so ermittelten Errichtungskosten belaufen sich bei dem Wohngebäude auf 1.812 €/m² BGF und bei dem Wohnheim und dem Boardinghouse auf 2.600 €/m² BGF.

6.2 Residualwertverfahren Pilotvorhaben

Wie eingangs beschrieben, erfolgte die Wirtschaftlichkeitsrechnung am Pilotvorhaben mittels Residualwertverfahren. Das Residualwertverfahren berechnet als Residuum einen maximalen Bodenkaufpreis für potenziell anzukaufende Grundstücke. Dieser wird über den Abzug aller entstehenden Kosten einer Projektentwicklung vom prognostizierten Verkaufserlös berechnet. Der prognostizierte Verkaufserlös ermittelt sich über die angenommenen jährlichen Erträge sowie einem marktüblichen Kaufpreisfaktor bzw. Vervielfältiger. Die angenommenen jährlichen Erträge sind wesentlich von der vorgesehenen Nutzung abhängig. Somit beeinflusst die Nutzung eines Objektes den Bodenkaufpreis. Der Kaufpreisfaktor bzw. Vervielfältiger ist vom Liegenschaftszins sowie der Restnutzungsdauer der Entwicklung abhängig und kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Vervielfältiger} = \frac{(i + 1)^n - 1}{(i + 1)^n * i}$$

i = Liegenschaftszins

n = Restnutzungsdauer

$$28 = \frac{(1\% + 1)^{33} - 1}{(1\% + 1)^{33} * 1\%}$$

niedrige Verzinsung i = 1% ermöglicht geringe Restnutzungsdauer n = 33

$$28 = \frac{(3,4\% + 1)^{90} - 1}{(3,4\% + 1)^{90} * 3,4\%}$$

relativ hohe Verzinsung i = 3,4% bedarf hohe Restnutzungsdauer n = 90

Die vollständige Berechnung des Residualwertes für die Gleisüberbauung Wandsbek ist dem Anhang dieser Durchführbarkeitsstudie beigelegt. Da der Fokus der Forschung auf der Schaffung von Wohnraum lag, wurden drei verschiedene Wohnnutzungen als Vorzugsvariante bestimmt. Dabei wurde das Nutzungskonzept mit dem Praxispartner erarbeitet sowie die zu erzielenden Mieten definiert. Das Rechenmodell ist jedoch so angelegt, dass Nutzungsarten geändert oder ergänzt werden können. Der Kaufpreisfaktor wurde mit 28 im deutschlandweiten Vergleich hoch angesetzt, was die fiktiven Verkaufserlöse positiv beeinflusst. Der Faktor wurde so gewählt, da der angespannte Hamburger Immobilienmarkt durchaus entsprechende Kaufpreisfaktoren zulässt. Ein Vervielfältiger von 29 wurde im Rahmen des Marktberichts 2020 der BNP Paribas Real Estate erhoben. Der Spitzenmultiplikator liegt nach der aktuellen Erhebung bereits bei der 35-fachen Bewertung.²⁰⁹ Somit kann der gewählte Kaufpreisfaktor als eher zurückhaltend und dem Stadtbezirk angepasst angesehen werden.

Nach dem Abzug, der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Kostencluster, ergibt sich ein Grundstückspreis der rd. 3.800 m² Böschungsfläche von 206,00 €/m². Der Bodenrichtwert der anliegenden Grundstücke liegt im Schnitt bei 923,00 €/m². Aus der Differenz zwischen Grundstückspreis und Bodenrichtwert anliegender Grundstücke wird deutlich, dass Überbauungen entweder

- auf eine öffentliche Förderung für die Schaffung von Bauland oder
- eine preisgünstige Abgabe der Konstruktionsflächen durch den Eigentümer der Bahntrasse angewiesen sind.

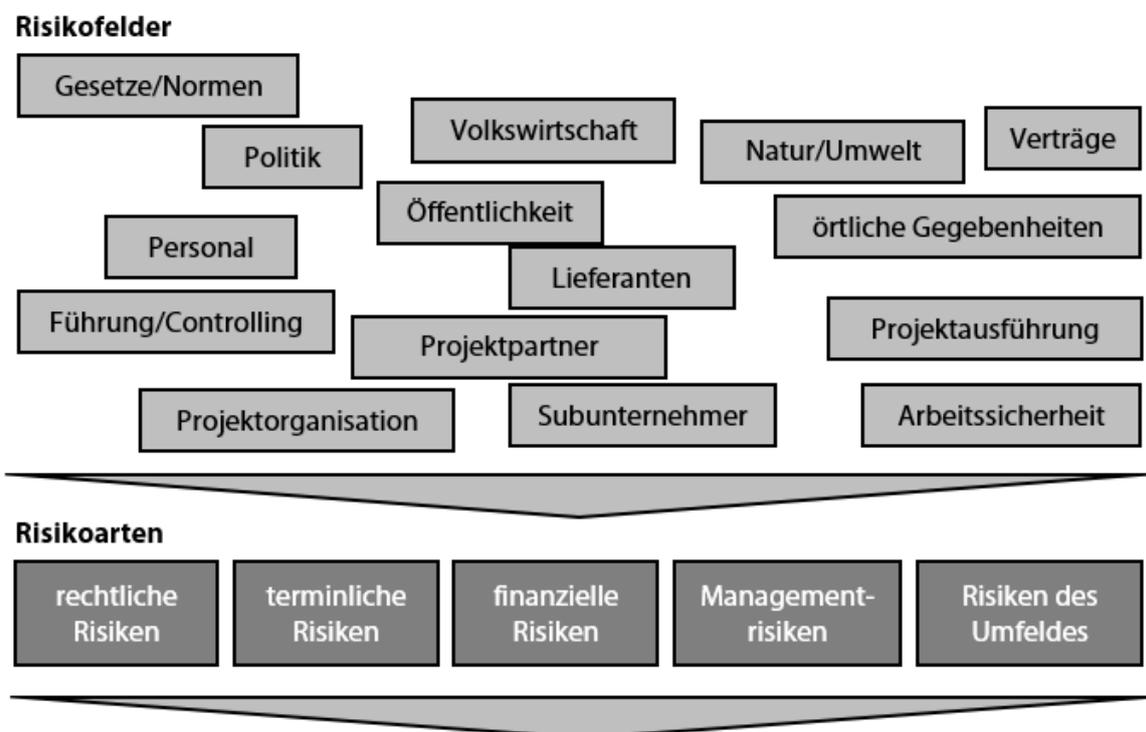
²⁰⁹ Vgl. BNP Paribas Real Estate GmbH 2020, S.7 sowie BNP Paribas Real Estate GmbH 2022.

Gleichzeitig belegt die Berechnung jedoch, dass Überbauungen von Infrastrukturtrassen bei einer entsprechend preisgünstigen oder gar kostenneutralen Abgabe der Konstruktionsflächen wirtschaftlich sein können. Dies ist auch der Fall, wenn soziale Wohnformen, wie bspw. Auszubildenden- und Studierendenwohnheime realisiert werden.

6.3 Risikoanalyse und -bewertung

Bauprojekte gehen regelmäßig mit diversen Risiken einher. Grundbegriffe des Risikomanagements sowie allgemeine Prozessschritte können den gängigen Normen ISO 31000 und DIN EN 31010 entnommen werden. Eine gängige Kategorisierung von Risiken ist in der Abstufung: Risikofeld, Risikoart und Einzelrisiko des Projektes nach der Kategorisierung von Girmscheid und Busch möglich. Die folgende Abbildung schlüsselt die Kategorien sowie deren Zusammenhänge auf.

Abbildung 61: Kategorisierung und stufenweise Gliederung von Baurisiken²¹⁰



Einzelrisiken

Da Einzelrisiken immer projektspezifisch bestimmt werden müssen, wird folgend eine Risikoliste mit für Gleisüberbauungen spezifischen Risikofeldern zusammengetragen und den Risikoarten zugeordnet. Allgemeine Risikofelder von Bauvorhaben werden nicht erneut aufgeführt. Abhängig der Randbedingungen von Gleisüberbauungen können die benannten Risiken stark ausgeprägt sein oder gar entfallen. Somit ist eine individuelle Bewertung notwendig. Bei der Erstellung der Liste der Risikofelder wurde sich u.a. an der Risikoliste der Studie Rail Deck Park Engineering & Costing Study aus dem Jahr 2017 orientiert. Darüber hinaus wurden Gegebenheiten aus dem deutschen Fachrecht bzw. Baurecht ergänzt.

²¹⁰ in angepasster Form übernommen von Girmscheid und Busch 2003 S.572

Tabelle 10: Risikofelder Gleisüberbauungen

Risikofelder	Risikoart ⁽¹⁾	beispielhafte Ursachen
Finanzierung	f	<ul style="list-style-type: none"> Unsicherheiten aus mangelnden Erfahrungen Kostenschätzungen/-berechnungen Änderungen Fördermittelprogrammen
Einigung bzgl. Grundstück und Betriebsphase	m, f, t	<ul style="list-style-type: none"> Langwierige Abstimmung bzgl. Grunddienstbarkeiten oder Überbaurente durch Vielzahl der Beteiligten und unterschiedliche Interessenslagen.
technische Vorschriften	r, t, f	<ul style="list-style-type: none"> Vielzahl an Normen und Richtlinien für Bau von Straßenbahnen und Eisenbahnen (Tunneln, Signalanlagen, etc.) sowie ggf. Änderung dieser.
Vertrag	m, f, t, r	<ul style="list-style-type: none"> Komplizierte Vertragsverhältnisse durch Vielzahl an Regelungsbereichen und Beteiligten.
Bestand	r, f,	<ul style="list-style-type: none"> Zustand Bestandsbahnanlagen z.T. nicht bekannt und nicht der aktuellen Normung entsprechend.
bahnbetriebliche Vorschriften	r, t, f, m	<ul style="list-style-type: none"> Vielzahl an Normen und Richtlinien für den Betrieb von Straßenbahnen und Eisenbahnen sowie ggf. Änderung dieser.
Genehmigung	m, t, r, f	<ul style="list-style-type: none"> aufwendiges Planfeststellungsverfahren hohe Anforderungen aus dem Bauordnungsrecht Anzahl und Aufwand Beteiligung Träger öffentlicher Belange
Beteiligte/Stakeholder	u, m, t; F	<ul style="list-style-type: none"> Beteiligung der Öffentlichkeit - Starker Eingriff in die Stadtstruktur, kann Gegenwehr von Beteiligten bspw. Nachbarschaft zur Folge haben. Einzelinteressen - Projektbeteiligte besitzen unterschiedliche Interessen und wirken dadurch unterschiedlich am Projekterfolg mit. Kommunikation - Vielzahl an Beteiligten (Vorhabenträger, Grundstückseigentümer, Eisenbahnbetreiber, EBA, TöB, Planer, Ausführer, etc.) erschweren Abstimmung.
Bauprozess	t, f, m	<ul style="list-style-type: none"> Bauen unter Bahnbetrieb/ Gleissperrung dauerhafte Gleissperrung bis zur Errichtung Sicherheitsebene Nutzung von Betriebspausen (Nachtarbeit oder Arbeit an Feiertagen) (bei wenig frequentierten Strecken: Arbeit ohne Sperrung mit pausieren der Arbeiten möglich) Plansicherheit Bauablauf - Komplizierte Bauaufgabe führt zu schwerer Bestimmung von Zeitfenstern für Arbeitsschritte Zugänglichkeit und Betriebsfähigkeit Beim Bau unter Bahnbetrieb aufwändige Gewährleistung der Zugänglichkeit von Haltepunkten oder Bahnanlage.
Baustelleneinrichtung	f, m	<ul style="list-style-type: none"> Beengte Verhältnisse von Baustellen bspw. in Troglage und Freihalten von Lichtraumprofilen.
Erschütterung Bauphase	r, f, u	<ul style="list-style-type: none"> Komplizierte Durchführung von Erschütterungsschutz von Emissionen des Baubetriebs auf Bahnanlagen.
besondere Baugrundrisiken	u, f	<ul style="list-style-type: none"> Komplizierte Ermittlung Erschütterung durch Bahnverkehr Bestimmung der Auswirkung auf Tragfähigkeit
Tragwerkssystem	f, u	<ul style="list-style-type: none"> Komplizierter Lärm- und Erschütterungsschutz von Emissionen aus dem Bahnbetrieb.

(1) rechtliche Risiken: r; terminliche Risiken: t; finanzielle Risiken: f; Managementrisiken: m; Risiken des Umfelds: u

6.4 Empfehlung von projektspezifischen Beschaffungsstrategien

Bei Überbauungen von Infrastrukturtrassen handelt es sich sowohl durch die rechtlichen Bedingungen, die Anzahl an Beteiligten sowie der technischen Herausforderungen um komplexe Bauprojekte mit einer hohen Spezifität. In den vergangenen Jahren ist der Umgang mit solchen Projekten vermehrt in den Fokus der Fachwelt und der Politik getreten. Eine vielfach ausgesprochene Empfehlung komplexen Bauprojekten zu begegnen, ist diese ‚partnerschaftlich‘ abzuwickeln. Den Willen von Industrie und Politik Bauprojekte partnerschaftlicher zu gestalten ist bspw. an der ‚Charta für die Zusammenarbeit auf Baustellen an Bundeswasserstraßen‘ belegbar. Diese Charta legt 14 konkrete Handlungsweisen, beziehend auf die Projektkultur, fest und wurde 2022 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr, der Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes sowie dem Hauptverbands der Bauindustrie erstellt und vereinbart.²¹¹

Da Beschaffungsstrategien projektspezifisch ermittelt werden müssen, kann keine Pauschalaussage über eine zu präferierende Beschaffungsstrategie für Überbauungen getroffen werden. Ausgehend von der vorhandenen Komplexität, Spezifität und Neuartigkeit von Überbauungen und dem damit verbundenen hohen Anforderungsniveau kann jedoch folgendes Vorgehen zur Ermittlung abgeleitet werden:

1. Analyse bestehender Beschaffungsstrategien (Vertragsarten und Vergabeverfahren)

Die grundsätzliche Anwendbarkeit von bestehenden Beschaffungsstrategien muss in entsprechenden Bauvorhaben bewertet werden. Dafür muss für Überbauungs-Vorhaben zunächst ein spezifisches Kriterien-Raster entwickelt werden.

2. Analyse erforderlicher Kompetenzen sowie der Leistungsverteilung

Vorhandene sowie benötigte Kompetenzen der Vorhabenträgerorganisation müssen analysiert werden. Dabei muss bestimmt werden welche Kompetenzen dieser mindestens mitbringen und wie leistungsfähig dieser sein muss. Ggf. ist zu klären, wie entsprechende Ressourcen aufgebaut werden können oder müssen. Davon ausgehend können Schnittstellen zwischen Eigenleistungen und Fremdleistungen ermittelt werden. Bspw. ist zu bestimmen, welche Leistungen für Entwicklung, Beratung, Planung, Bau zu welchem Zeitpunkt zu beschaffen sind. Dies ist notwendig um im Hinblick auf die Besonderheiten eines entsprechenden Bauvorhabens leistungsfähig zu sein. Somit ist eine ‚make-or-buy‘-Entscheidung zu treffen.

3. Marktanalyse vor dem Hintergrund der besonderen Anforderungen

Die besonderen Anforderungen an den Markt, ausgelöst durch die Spezifität der entsprechenden Bauwerke/Bauvorhaben, müssen untersucht werden. Dabei stellt sich die Frage: Ob diesbezüglich am Markt ausreichend Wettbewerb vorhanden ist? Hier sind bspw. die Marktverfügbarkeiten zu analysieren und ggf. Marktbefragungen durchzuführen.

²¹¹ vgl. Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Hauptverband der Bauindustrie e.V. 02.05.2022 in Verbindung mit Bundesministerium für Digitales und Verkehr 02.05.2022.

Neben einer Anpassung der Projektkultur, wie von Industrie und Politik gefordert, bieten verschiedene Beschaffungsstrategien bzw. Projektabwicklungsmodelle Möglichkeiten ‚partnerschaftlicher zu bauen‘. Eine dieser Beschaffungsstrategien ist die Öffentliche Private Partnerschaft (ÖPP).²¹² Unter ÖPP versteht man eine langfristige, vertraglich geregelte Zusammenarbeit von privaten Auftragnehmern und der öffentlichen Hand als Auftraggeber. Auch bei dieser Beschaffungsstrategie wird besonderer Wert auf Kooperation und Kommunikation zwischen den Vertragsparteien gelegt.²¹³ Eine weitere Beschaffungsstrategie, welche alle Beteiligten partnerschaftlich bindet und am Projekterfolg partizipieren lässt, ist die Integrierte Projektabwicklung (IPA). Diese Form der Projektabwicklung für den Bau von Immobilien und Infrastrukturanlagen ist in Deutschland vergleichsweise jung, jedoch befinden sich erste Vorhaben in Realisierung. Insbesondere die Deutsche Bahn AG setzt bereits Projekte um. Konkrete Ausgestaltungsmöglichkeit von IPA bietet beispielsweise das Partnerschaftsmodell Schiene, welches durch die DB Netz AG zusammen mit den Partnern Hauptverband der Deutschen Bauindustrie, Verband Beratender Ingenieure sowie wissenschaftlicher Unterstützung durch die TU Berlin erarbeitet wurde.

²¹² Regelmäßig werden ÖPP auch als Public Privat Partnership (PPP) bezeichnet.

²¹³ vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr 2020.

7 Schlusswort und Ausblick

Das durchgeführte Forschungsvorhaben hatte zum Ziel, die Durchführbarkeit einer Gleisüberbauung mit Wohnnutzung in Hamburg zu untersuchen. In dem vorliegenden Bericht wurden ausführlich auf die Standortfaktoren des Entwicklungsgebiets im Hamburger Bezirk Wandsbek, die Bewertung der Marktsituation sowie die rechtlichen und technischen Voraussetzungen von Gleisüberbauungen eingegangen. Die Bewertung der Standortfaktoren ergab, dass das Entwicklungsgebiet für eine Verdichtung, bspw. in Form einer Gleisüberbauung, als geeignet zu bewerten ist. Die zentrumsnahe Lage sowie die vorhandene soziale und technische Infrastruktur begünstigen eine Entwicklung im ausgewählten Gebiet. Auch die Marktsituation, hier ist der hohe Wohnraummangel in Hamburg herauszustellen, spricht für eine Gleisüberbauung im vorgegebenen Entwicklungsgebiet.

Für die Ermittlung von rechtlichen und technischen Voraussetzungen war eine umfangreiche Grundlagenrecherche sowie Erhebung und Analyse von Referenzprojekten notwendig. Die Erkenntnisse belegen, dass auch in Deutschland Gleisüberbauungen grundsätzlich rechtlich realisierbar sind und somit eine Möglichkeit bieten, innerstädtisch Bauland zu schaffen. Bei den rechtlichen Rahmenbedingungen für Gleisüberbauungen ist in besonderer Weise herauszustellen, dass das Fachrecht tangiert wird und damit verbunden ein Planfeststellungsverfahren notwendig ist. Planfeststellungsverfahren sind im Vergleich zum Baugenehmigungsverfahren als wesentlich aufwendiger und damit zeitintensiver zu bewerten. Für die technischen Voraussetzungen von Gleisüberbauung konnte herausgestellt werden, dass nicht nur Anforderungen des Gebäudes, wie bspw. Schall- und Erschütterungsschutz oder Brandschutz, zu beachten sind, sondern zahlreiche technische Anforderungen an die Überbauung aus dem Bahnbetrieb resultieren. Als in besonderer Form wesentlich stellten sich hier die Entfluchtung, Signalsicht, Beleuchtung und bei nicht elektrifizierten Strecken die Belüftung heraus. Somit sind für Überbauungen individuelle tragwerkstechnische Optimierungen zu entwickeln, wobei Spannweite und Geschossanzahl die Hauptkriterien für die Wahl des Tragsystems (bspw. Stahlbeton oder integriertes Verbundtragwerk) darstellen.

Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung des Pilotvorhabens in Hamburg belegt weiterhin, dass unter der Bedingung der preisgünstigen Abgabe von Konstruktionsflächen durch den Bahnbetreiber ein Nutzungsmix mit sozialen Wohnformen durch einen privaten Vorhabenträger wirtschaftlich durch Gleisüberbauungen realisiert werden kann. Gleichzeitig wurde jedoch aufgezeigt, dass aus den technischen Anforderungen von Gleisüberbauungen sowie der Vielzahl an Beteiligten und Interessensträgern diverse Risiken hervorgehen. Diese Risiken würden bei einer Verdichtung von Innenstädten ohne Berührung von gewidmeten Flächen, bspw. der Aufstockung von Nichtwohngebäuden oder der Bebauung von Parkplätzen, nicht auftreten.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in den folgend benannten Punkten:

- Untersuchung und Entwicklung von Tragwerksystemen für verschiedene Kategorien von Überbauung unter Berücksichtigung von Emissionen aus dem Verkehr sowie von fachrechtlichen Anforderungen.

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Tragsysteme belegen vielfältige Lösungsmöglichkeiten für die technischen Anforderungen von Überbauungen. Die Definition von Überbauungskategorien mit der Abgrenzung zwischen Spannweite, Geschossanzahl, Verkehrsart (Pkw, Straßenbahn oder Eisenbahn) und der topografischen Lage (Troglage oder ebenerdige Lage) könnten eine vorhabensspezifische Vorauswahl von Tragsystemen ermöglichen. Die Entwicklung von Tragsystemen muss unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem Fachrecht geschehen und bildet so Grundlage für eine präzise Kostenbetrachtung. Bei den Untersuchungen sollten bauphysikalische Wechselwirkungen zwischen Verkehr (bspw. Bahnbetrieb) und der Überbauung Berücksichtigung finden. Um Emissionen aus dem Verkehr zu bestimmen, sind voraussichtlich Erschütterungsmessungen notwendig.

- Kostenbetrachtung auf Ebene einer Kostenberechnung inklusive der eisenbahnspezifischen Kosten

In dieser Arbeit wurde aufgezeigt, dass Gesamtkosten für Überbauungen maßgeblich durch die Kosten des Ingenieurbauwerks sowie durch eisenbahnspezifische Kosten bestimmt werden. Während Kennwerte für Ingenieurbauwerke sowie Kostenkennwerte z.T. von Referenzprojekten übertragbar sind, konnten die eisenbahnspezifischen Kosten nur überschlägig angenommen werden. Grundlage für eine detailliertere Kostenbetrachtung ist jedoch nur in den Grenzen der vorher zu definierenden Überbauungskategorien möglich, da insbesondere durch die Art des Verkehrsträgers Kosten stark variieren können. Zudem wären bei einer detaillierten Kostenbetrachtung mögliche Kostenträgerstrukturen zu untersuchen. Bspw. stellt sich die Frage bei verschiedenen Vorhabenträgern, privat, städtisch oder Bahnbetreiber, wie die eisenbahnspezifischen Kosten finanziert werden können.

- Ermittlung von Potenzialflächen und Gesamtpotenzial in den Ballungsgebieten

Um die Bedeutung von Überbauung für die Schaffung von Wohnraum gesamtheitlich beurteilen zu können, bedarf es einer Ermittlung von Potentialflächen in den Städten mit dem höchsten Wohnraummangel. Dabei ist es möglich, auch kleine Großstädte mit hohem Wohnraummangel-Niveau in die Untersuchung einzubeziehen, wie Studien wie Die Wohnsituation in 77 deutschen Großstädten von Holm und Junker.

- Analyse und Empfehlungen zur Vereinfachung der Baurecht-Schaffung von Verkehrsstrassen-Überbauung

In dieser Arbeit wurde herausgestellt, dass ein wesentliches Hindernis für Überbauungen sowohl die komplizierte Schaffung von Baurecht als auch die große Anzahl an Beteiligten ist. Sollten sich Überbauung zukünftig als eine politisch gewollte Maßnahme, dem Wohnraummangel zu begegnen, herausstellen, bedarf es einer weiterführenden Strukturierung und Untersuchung der tangierten Bereiche des Fachrechts sowie des Beteiligtenmanagements (Stakeholdermanagement).

Diese Durchführbarkeitsstudie belegt sowohl, dass die Überbauung des Entwicklungsgebiets im Hamburger Stadtteil Wandsbek als auch die generelle Überbauung von Verkehrsinfrastruktur als technisch und rechtlich möglich zu beurteilen ist. Neben den Herausforderungen, die sich aus einer Überbauung ergeben, sind derartige Bauwerke bei Zulassung einer entsprechenden Baumasse auch wirtschaftlich realisierbar. Zu beachten bleibt dabei jedoch eine regelmäßig hohe Projektlaufzeit, welche maßgeblich durch eine intensive Projektvorbereitung sowie Planfeststellungsverfahren verursacht wird.

8 Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Sundermeier (Technische Universität Berlin)

Felix Theuring, M.Sc. (Technische Universität Berlin)

Philipp Galandi, B.Sc. (Technische Universität Berlin)

Mitwirkende

Leopold Müller, B.Sc. (Technische Universität Berlin)

Henrik Handtke (Technische Universität Berlin)

Sören Sommerfeld M.Sc. (Technische Universität Berlin)

Ivonne Duchrau M.Eng., LL. M (Technische Universität Berlin)

David Flüthmann Dipl. -Wirtsch. -Ing., M.Sc. (Technische Universität Berlin)

Projektpartner, Fördermittelgeber und Mitwirkende

HBK Hanseatische Bau Konzept GmbH & Co KG, Drehbahn 9, 20354 Hamburg

Dipl.-Kfm. Dietrich von Stemm (HBK GmbH & Co KG)

Dr. -Phil. Dipl.-Soz. Hannes Alpheis (HBK GmbH & Co KG)

Dipl.-Berufspäd. Christopher Jacobs (HBK GmbH & Co KG)

Dorit Seyer, B.ASc. (HBK GmbH & Co KG)

Fachliche Betreuung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“

Dr. Katja Hasche

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Berlin 2020	11
Abbildung 2: Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Hamburg 2020	12
Abbildung 3: schematische Darstellung Unterfahmung	19
Abbildung 4: schematische Darstellung Abschirmung	19
Abbildung 5: schematische Darstellung Überführung	20
Abbildung 6: schematische Darstellung Deckelung	21
Abbildung 7: schematische Darstellung Überbauung	21
Abbildung 8: Überbauung eines Hochbahnviadukts	22
Abbildung 9: Überbauung in leichter Bauweise über der Verkehrsebene	22
Abbildung 10: Typologien Gleisüberbauung	24
Abbildung 11: Gliederung deutsches Baurecht, Raumplanung und Fachrecht	25
Abbildung 12: Phasen des Baugenehmigungsverfahrens	27
Abbildung 13: Phasen des fachplanungsrechtlichen Genehmigungsverfahrens	31
Abbildung 14: Einwirkungen auf Tragwerke von Gleisüberbauungen	38
Abbildung 15: Regellichtraum nach EBO	39
Abbildung 16: Lichtraumtechnische Anforderungen S-Bahn Hamburg	40
Abbildung 17: Lichtraumtechnische Anforderungen Hochbahn (U-Bahn)	41
Abbildung 18: Bahntrasse zwischen Schönhauser und Prenzlauer Allee	42
Abbildung 19: Abstandsmessung Gleislage	42
Abbildung 20: Abschätzung der vertikalen Lasten einer Gleisüberbauung	44
Abbildung 21: Schallimmissionen auf Bebauung und Gleisüberbauung durch Bahntrasse	45
Abbildung 22: Tunnelbrandkurven und Einheits-Temperaturbrandkurve im Vergleich	47
Abbildung 23: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 1 – Tragwerk	50
Abbildung 24: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 1 – Statisches System	51
Abbildung 25: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 4 – Tragwerk	53
Abbildung 26: Schönhauser Allee Arcaden Bauteil 4 – Statisches System	54
Abbildung 27: U-Bahn-Trasse Berne – Tragwerk	57
Abbildung 28: U-Bahn-Trasse Berne – Statisches System	58
Abbildung 29: U-Bahn-Trasse Berne – Optimierungsansätze	60
Abbildung 30: Clarenbachplatz 1 – Tragwerk	62
Abbildung 31: Royal Mint Gardens – Tragwerk	65
Abbildung 32: Royal Mint Gardens – Statisches System	67

Abbildung 33: Überbauungsstudien, London – Tragwerk	69
Abbildung 34: Überbauungsstudien, London – Deckelquerschnitte	70
Abbildung 35: Überbauungsstudien, London – Statisches System	71
Abbildung 36: Broadgate – Exchange House Tragwerk	74
Abbildung 37: Broadgate Exchange House – Tragwerksmodell	75
Abbildung 38: Broadgate Exchange House – Statisches System	76
Abbildung 39: Sunnyside Yard – Exemplarischer Lageplan	78
Abbildung 40: Sunnyside Yard – Stahlverbunddeck	79
Abbildung 41: Sunnyside Yard – Deckkonstruktionen	80
Abbildung 42: Sunnyside Yard – Gebäudetypen	82
Abbildung 43: Sunnyside Yard – Gebäudeanordnung	83
Abbildung 44: Tragsysteme nach Spannweite und Anzahl abgefangener Geschosse	86
Abbildung 45: Varianten der Körperschallentkopplung	89
Abbildung 46: Integrierte und getrennte Tragsysteme	93
Abbildung 47: Spezifische Anforderungen und Projektrandbedingungen	96
Abbildung 48: Schwarzplan mit potenziell zu überbauenden Bahntrassen (Teilbereiche A, B und C)	98
Abbildung 49: Vorstudie Plan Teilbereich B Variante 1 - Terrassenhäuser	99
Abbildung 50: Vorstudie Plan Teilbereich B Variante 2 - Wohnhöfe	100
Abbildung 51: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 – Grundriss	101
Abbildung 52: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 Schnitt Menckesallee	102
Abbildung 53: Auszug Vorstudie Teilbereich B Variante 2 Schnitt Pappelallee	102
Abbildung 54: Grundstücksverhältnisse Entwicklungsgebiet	103
Abbildung 55: Grundriss zur Bewertung des Einflusses von Spannweite und Geschossanzahl	105
Abbildung 56: Ermittlung Grundrissmaße Überbauung	107
Abbildung 57: Flächennutzungsplan im direkten Umfeld des Entwicklungsgebiets	110
Abbildung 58: Genehmigte und fertiggestellte Wohneinheiten Hamburg	112
Abbildung 59: Wohnraum nach Anzahl der Räume	114
Abbildung 60: SWOT-Analyse Standortfaktoren Entwicklungsgebiet	115
Abbildung 61: Kategorisierung und stufenweise Gliederung von Baurisiken	119

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tragwerkvarianten Schönhauser Allee Arcaden	56
Tabelle 2: Royal Mint Gardens – Aufgabenteilung des Systems	66
Tabelle 3: Überbauungsstudien, London – Notwendige Deckenhöhe	71
Tabelle 4: Sunnyside Yard – Betonfertigteile und Stahlverbundbauweise im Vergleich	81
Tabelle 5: Konstruktionsarten Abfangungssysteme	88
Tabelle 6: Vor- und Nachteile von getrennten und integrierten Systemen	95
Tabelle 7: Übersicht Bohrsäulen Wandsbeker Chaussee bis Pappelallee	104
Tabelle 8: Förderprogramme IFB Hamburg	113
Tabelle 9: Kostenwerte Errichtungskosten Ingenieurbauwerk	117
Tabelle 10: Risikofelder Gleisüberbauungen	120

Judikaturverzeichnis

BVerwG, Urteil vom 16.12.1988 - Az.: 4 C 48.86

Literaturverzeichnis

- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2021): Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung in Berlin 2020. Potsdam.
- Aschenbrenner, Helmut; Metzger, Bernhard; Hopfensperger, Georg; Onischke, Stefan (2009): Baumängel und Bauschäden. erkennen und erfolgreich reklamieren. 3. Aufl. München: Rudolf Haufe Verlag.
- Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (2021): Wohnungsbericht Hamburg 2020. Unter Mitarbeit von Björn Thomsen, Sarah Herzog und Finja Raaz. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/15690876/bc4905e3e7dfb504e444c268fa647fd1/data/d-wohnungsbaubericht-2020.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.
- Bergmeister, Konrad (Hg.); Fingerloos, Frank (Hg.); Worner, Johann-Dietrich (Hg.) (2013): Beton-Kalender 2013. Lebensdauer und Instandsetzung Brandschutz: Ernst & Sohn. Online verfügbar unter https://www.ernst-und-sohn.de/sites/default/files/uploads/produkte/buecher/probekapitel/978-3-433-03000-4_bergmeister_betonkalender2013.pdf.
- Bergmeister, Konrad (Hg.); Fingerloos, Frank (Hg.); Worner, Johann-Dietrich (Hg.) (2015): Beton-Kalender 2015. Lebensdauer und Instandsetzung Brandschutz: Ernst & Sohn.
- Blum, Andreas; Atci, Mehmet M.; Roscher, Julia; Henger, Ralph; Schuster, Florian (2022): Bauland- und Innenentwicklungspotenziale in deutschen Städten und Gemeinden. Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-11-2022-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 05.10.2022.
- BNP Paribas Real Estate GmbH (2020): CITY REPORT WOHNEN HAMBURG. Online verfügbar unter <https://www.realestate.bnpparibas.de/marktberichte/wohnungsmarkt/hamburg-city-report-2020>, zuletzt geprüft am 21.09.2022.
- BNP Paribas Real Estate GmbH (2022): CITY REPORT 2022. Wohnungsmarkt Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.realestate.bnpparibas.de/marktberichte/wohnungsmarkt/hamburg-city-report>, zuletzt geprüft am 21.09.2022.
- Bundesamt für Strahlenschutz (o.J.): Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder. Online verfügbar unter https://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/wirkung/wirkung_node.html, zuletzt geprüft am 14.10.2022.
- Bundesamt für Strahlenschutz (2022): Öffentliche Stromversorgung und Bahnstromnetz. Online verfügbar unter <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/anwendung/strom-verkehr/stromnetz-bahnstrom.html>, zuletzt geprüft am 14.10.2022.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2020): Was ist eine Öffentlich-Private Partnerschaft (ÖPP)? Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/oepp-einleitung-01-was-ist-oepp.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2022.
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (02.05.2022): Bund und Bauindustrie unterzeichnen Charta für bessere Zusammenarbeit bei Wasserbauprojekten. Nummer 16/2022. Online verfügbar unter https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/20220502_Charta_Bauen_PM.pdf;jsessionid=4634985A9FA523E0866A13BC729EEAF9.live21303?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 05.10.2022.
- DB Netz AG (o.J.a): Baumaßnahmen entlang der S-Bahnlinie S4. Online verfügbar unter <https://www.s-bahn-4.de/massnahmen-vor-ort#pfa-1>, zuletzt geprüft am 13.09.2022.
- DB Netz AG (o.J.b): S-Bahn Berlin Lichtraumtechnische Anforderungen. Besondere lichtraumtechnische Anforderungen gelten für Fahrzeuge, die auf dem Streckennetz der Berliner Gleichstrom S-Bahn mit Stromschiene verkehren. Online verfügbar unter <https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg->

- de/kunden/nutzungsbedingungen/technischer_netzzugang/lichtraum/s-bahn_berlin_lichtraumtechnische_anforderungen-1369008, zuletzt geprüft am 06.09.2022.
- DB Netz AG (o.J.c): S-Bahn Hamburg Lichtraumtechnische Anforderungen. Besondere lichtraumtechnische Anforderungen gelten für Fahrzeuge, die auf dem Streckennetz der Hamburger Gleichstrom S-Bahn verkehren. Online verfügbar unter https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/nutzungsbedingungen/technischer_netzzugang/lichtraum/s-bahn_hamburg_statische_begrenzung-1369018, zuletzt geprüft am 06.09.2022.
- Eisenbahn-Bundesamt Bonn - Referat 51 (10/2018): Leitfaden zum Umgang mit Flächen unter Fachplanungsvorbehalt. EBA Leitfaden. Online verfügbar unter https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Freistellung/Antragstellung/51_Leitfaden_Flaechen_unter_Fachplanungsvorbehalt.pdf;jsessionid=311663E7662782B06A44769BF51ADB3B.live11312?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 27.10.2021.
- Fendrich, Lothar; Fengler, Wolfgang (Hg.) (2019): Handbuch Eisenbahninfrastruktur. 3. Aufl.: Springer Vieweg.
- Geißler, Karsten (2014): Handbuch Brückenbau. Berlin: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Gesellschaft für wirtschaftliche Bautechnik mbH (1972): Überbauung von Gleisanlagen durch Geschosshohe Plattenkonstruktionen. In: *Schriftenreihe "Städtebauliche Forschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau* (03.017), Artikel B; Bau St II 4-704102-115.
- Girmscheid, Gerhard; Busch, Thorsten (2003): Risikomanagement in Bauunternehmen - Projektrisikomanagement in der Angebotsphase. In: *Bauingenieur* (Band 78).
- Grubbauer, Monika; Kuschinski, Eva; Jasiulek, Andreas (2020): Studentisches Wohnen in Hamburg. Lehrforschungsprojekt. Online verfügbar unter file://bv.tu-berlin.de/files/Bauwirtschaft/felix.theuring/Downloads/Final_Druck_Stud_Wohnen_2020_01_04.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.
- hamburg.de GmbH & Co. KG (o.J.): Moderne Architektur an der Elbe. HafenCity. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/sehenswuerdigkeiten/2502488/hafencity/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.
- hamburg.de GmbH & Co. KG (2021): Mietenspiegel Karte. Mietenspiegel 2021. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/karte-online-mietenspiegel/>, zuletzt geprüft am 16.09.2022.
- Hamöller, Gerald; Jäcker-Cüppers, Michael; Kuppe, Ann-Kathrin; Louistisserand, Cloé; Melchior, Yannik; Petersen, Thomas et al. (2020): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum: Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2021-07-27_texte_115-2021_laermminderung_tram.pdf.
- Heyde, Tilman; Riepwe, Eckhard (1976): Überbauung von Autobahnen und Eisenbahntrassen. Pilotstudie. Dortmund: Verlag für Wirtschaft und Verwaltung.
- Holm, Andrey; Junker, Stephan (2019): Die Wohnsituation in 77 deutschen Großstädten. Düsseldorf, Berlin.
- Icks, Annette/Richter, Michael (2001): Möglichkeiten und Maßnahmen zur Beschleunigung von Baugenehmigungen. IfM-Materialien, No. 151. Bonn.
- Institut für Wohnen und Stadtentwicklung (2021): Wohnungsmarktanalyse. Zum bezirklichen Wohnungsbauprogramm Wandsbek 2020. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/13594404/09d0dc8350913e14ac1b0826009082dc/data/wohnungsbauprogramm-2020-wohnungsmarktanalyse.pdf>, zuletzt geprüft am 29.09.2022.
- Jaeger, Falk (2019): Warum Berlin keine Schienen deckelt. In: *Der Tagesspiegel Online* 2019, 13.04.2019. Online verfügbar unter <https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/immobilien/mieten-und-wohnungsbau-warum-berlin-keine-schienen-deckelt/24211446.html>, zuletzt geprüft am 25.01.2022.

- Jaksch, Stefan (2006): Einsatz virtueller räumlicher Tragstrukturmodelle in der Architekturlehre. Dissertation. Technischen Universität Wien, Wien. Institut für Architekturwissenschaften. Online verfügbar unter https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-ar_7485.pdf, zuletzt geprüft am 04.08.2022.
- Kraft, Ingo (1999): Bauleitplanung und Fachplanung. In: *BauR*, S. 829–841. Online verfügbar unter <http://www.ingokraft.de/Publdocs/BauleituFach.pdf>, zuletzt geprüft am 22.09.2022.
- Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (o.J.): Stadt- und Landschaftsplanung online. Stadt- und Landschaftsplanung Online (Planportal). Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/planportal/>, zuletzt geprüft am 27.09.2022.
- Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung Hamburg (Hg.) (2021): Geo-Online Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen. Online verfügbar unter <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/#>, zuletzt aktualisiert am 03.11.2021, zuletzt geprüft am 18.11.2021.
- Landeskriminalamt Hamburg Fachstab 1 (2022): Polizeiliche Kriminalstatistik (PKS) 2021. Jahrbuch PKS 2021. Online verfügbar unter <https://www.polizei.hamburg/contentblob/16141692/ea45c8ad8f20a09941e0e4464b3a70e5/data/pks-2021-jahrbuch-do.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2022.
- Landeskriminalamt Hamburg LKA FSt 11 (2022): Polizeiliche Kriminalstatistik 2020 / 2021. -ausgewählte Delikte nach Bezirken / Stadtteilen. Online verfügbar unter <https://www.polizei.hamburg/contentblob/16048308/331e70db3def7f432f20cab4f24a0565/data/stadtteilatlas-2021-do.pdf>, zuletzt geprüft am 27.09.2022.
- LGV Hamburg (o.J.): Geoportal Hamburg. Online verfügbar unter <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/>, zuletzt geprüft am 13.09.2022.
- Lieber, Yvonne; Schedding-Kleis, Ulrike; Lehmann, Matthias (2022): Kulturstatistiken. Kulturindikatoren | kompakt. Wiesbaden: Hessisches Statistisches Landesamt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Kultur/Publikationen/_publikationen-innen-kulturindikatoren.html, zuletzt geprüft am 28.09.2022.
- Menius, Reinhard; Matthews, Volker (2020): *Bahnbau und Bahninfrastruktur*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Müller, Gerhard; Möser, Michael (2004): *Taschenbuch der Technischen Akustik*. 3. Aufl.
- Müller, Gerhard; Möser, Michael (2017): *Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr*. 3. Aufl. neue mitte köln e.V. (o.J.): *das Konzept*, zuletzt aktualisiert am 15.09.2022, zuletzt geprüft am <https://nmk.koeln/das-konzept/>.
- Nguyen, Viet Tue; Reichel, Michael; Fischer, Michael (2015): *Berechnung und Bemessung von Betonbrücken*: Ernst & Sohn.
- Präsident Eisenbahn-Bundesamt (2005): *Präsidialverfügung Pr.2320 Paw 2005 (Freistellung)*. Pr.2320 Paw 2005.
- Price, Bill; WSP (2018): *Out of Thin Air. The Potential for High-Rise Housing Over Rail Lines*. In: *CTBUH Journal 2018 Issue III* (3), S. 34–40.
- Silka GnbH (2019): *Brandschutzleitfaden*. Online verfügbar unter https://www.sikla.de/fast/600/Sikla_Brandschutz-Leitfaden.pdf, zuletzt geprüft am 08.08.2022.
- Spang, Konrad (Hg.) (2016): *Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI).
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2021): *Bodenflächen in Hamburg*. am 31.12.2020 nach Art der tatsächlichen Nutzung. Kennziffer: A V 1 - j 20 HH. Online verfügbar unter <https://www.statistik->

nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/andere_statistiken/A_V_1_H_gebiet_flaeche/A_V_1_j20_H H.pdf, zuletzt geprüft am 15.09.2022.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2022a): Bevölkerungsentwicklung in den Stadtteilen. Hamburgs bis 2035. STATISTISCHE BERICHTE Kennziffer: A I 8 - j 21 HH Stadtteile. Online verfügbar unter https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/bevoelkerung/A_I_8_j_HH-Stadtteile/A_I_8_j_21_HH-Stadtteile_Kor.pdf, zuletzt geprüft am 16.09.2022.

Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein (2022b): Statistisches Jahrbuch Hamburg. Berichtsjahr 2020. Online verfügbar unter https://www.statistik-nord.de/presse-veroeffentlichungen/statistische-jahrbuecher?tx_standdocuments_pi1%5Baction%5D=list&tx_standdocuments_pi1%5Bcontroller%5D=Document&tx_standdocuments_pi1%5Bstate%5D=1&cHash=8c866c8d964d4d7203a250a1afc5b009, zuletzt geprüft am 19.09.2022.

Theuring, Felix; Sundermeier, Matthias (2021): Überbauung von innenstädtischen Verkehrsflächen. Lösungsansatz zur Linderung des Wohnraummangels ?! In: *Bauwirtschaft* (3).

Tichelmann, Karsten; Blome, Dieter; Ringwald, Tanja (2019): Wohnraumpotenziale in urbanen Lagen Aufstockung und Umnutzung von Nichtwohngebäuden. Online verfügbar unter https://www.tu-darmstadt.de/media/daa_responsives_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/pressemeldungen/2019_3/Tichelmann_Deutschlandstudie_2019.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2022.

VBB Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg GmbH (o.J.): Informationen zur Freistellung von Bahnhofsgebäuden. Online verfügbar unter <https://www.vbb.de/vbb-themen/mobilitaet-mit-zukunft/kompetenzstelle-bahnhof/revitalisierung-von-bahnhofsempfangsgebaeuden/informationen-zur-freistellung-von-bahnhofsempfangsgebaeuden/>, zuletzt geprüft am 22.09.2022.

Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (Hg.) (2007): Fahrwege der Bahnen im Nah- und Regionalverkehr in Deutschland. Alba Fachverlag.

Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Hauptverband der Bauindustrie e.V. (02.05.2022): Charta für die Zusammenarbeit auf Baustellen an Bundeswasserstraßen. Online verfügbar unter https://www.bauindustrie.de/fileadmin/user_upload/Charta_fuer_die_Zusammenarbeit_auf_Baustellen_an_Bundeswasserstrassen.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2022.

Wernz, Petra (2022): Wie geht das? Hg. v. Norddeutscher Rundfunk. Online verfügbar unter https://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/wie_geht_das/Fahrradstadt-Hamburg,sendung904422.html, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Winking · Froh Architekten GmbH (2019): Pläne zur Vorstudie. Vorstudie. Unter Mitarbeit von HBK Hanseatische Baukonzept GmbH & Co. KG.

Anlagen

- Anlage 1: Liste Referenzprojekte (Kurzform)
- Anlage 2: Wirtschaftlichkeitsrechnung Pilotvorgaben Residualwertverfahren
- Anlage 3: Wirtschaftlichkeitsrechnung Pilotvorgaben Sensitivitätsanalyse

Kennung	Projektbezeichnung	ggf. Stadtteil - Ort	Land	Art Verkehrsweg	Projektbeteiligte	
					1-Entwickler	2-Architekt / Ing 3-Ausführer 4-Sonstige
USA01	Schuylkill Yards	Philadelphia	USA	Gleis (G u. P)	1-Brandywine Realty Trust	
USA02	HUB404	Atlanta	USA	Straße u. Gleis		
USA03	The Gulch	Atlanta	USA	Gleis (G u. P)	1-Centinnial Yards Company	
USA04	Back Bay Station	Boston	USA	Straße u. Gleis		
USA05	Illinois Central / Loop	Illinois	USA	Gleis (G u. P)		
USA06	Klyde Warren Park	Dallas Texas	USA	Straße mehrspurig	2-James Burnett / Jacobs Engineering Group	
USA07	Manhattan West Platform	New York	USA	Gleis (G u. P)	1-Brookfield Properties	
USA08	Sunnyside Yard	New York	USA	Gleis (G u. P)	2-Skidmore Owings and Merrill (SOM) Architects	
USA09	Gaining Momentum at Hudson Yards	New York	USA	Gleis (G u. P)	1-Amtrak	
USA10	Washington Bridge Apartments	New York	USA	Straße mehrspurig	1-Related Companies	
USA11	HSS (Krankenhaus über einer Autobahn)	New York	USA	Straße mehrspurig	1-Kratter Corporation	
USA12	Pacific Park	New York	USA	Gleis (G u. P)	2-Brown & Guenther	
USA13	Riverside South	New York	USA	Gleis (G u. P)	1-NewYork-Presbyterian Hospital	
USA14	Build Parcel 12	Boston	USA	Straße u. Gleis	1-Greenland Forest City Partners	
USA15	One Prudential Plaza	Chicago	USA	Gleis (G u. P)	1-Samuels & Associates	
USA16	Old Chicago Main Post Office	Chicago	USA	Straße mehrspurig	1-Prudential Life Insurance Company	
CAN01	Central Library (Bibliothek über Bahngleis)	Calgary	CAN	Gleis (G u. P)	1-Calgary Municipal Land Corporation (CMLC)	
CAN02	Rail Deck Park	Toronto	CAN	Gleis (P S-Bahn)	1-Die Stadt Toronto und in dessen Auftrag Build Toronto und WSP Canada Group Limited	
SWE01	överdäckning av götaleden (Stadtbahn)	Göteborgs	SWE	Straße mehrspurig	2- McMillan Associates Architects	
SWE02	Stockholmer Hauptbahnhof (Planung)	Stockholm	SWE	Gleis (G u. P)	1-Göteborgs Stad	
NL01	Deckel Südlich Rotterdam	Rotterdam	NL		2- Foster + Partners (London) & Marge Arkitekter (Stockholm) LAND Arkitektur (Stockholm) Thornton Tomasetti, Ramboll, Wenanders TAM Group	
NL02	Hotel ibis Amsterdam Zentrum	Amsterdam	NL	Gleis (G u. P)		
NL03	Groene Loper – A2 Maastricht	Maastricht	NL	Straße mehrspurig	1-Consortium Avenue2 and Projectbureau A2	
GB01	Cannon Street Station	London	GB	Straße u. Gleis	1-Hines	
GB02	Royal Mint Gardens	London	GB	Gleis (G u. P)	1-IJM Land	
GB03	Principal Place	London	GB	Gleis (G u. P)	1-Brookfield Property Partners Concord Pacific WT Development	
GB04	Broad Gate Exchange House	London	GB	Gleis (G u. P)	1-Rosehaugh Stanhope British Rail	
FRA01	Quartier von Rungis Tour de la biodiversité	Paris	FRA	Gleis (G u. P)	1-Arcadis	
FRA02	Clichy Batignolles	Paris	FRA	Gleis (G u. P)	2-Aires Mateus	
FRA03	Gare d'Austerlitz	Paris	FRA	Gleis (G u. P)		
FRA04	Rue Mstislav Rostropovics	Paris	FRA	Gleis (G u. P)	2-Baumschlager Eberle	
FRA05	Les Lumières Pleyel	Saint-Denis	FRA	Gleis (G u. P)	2- Baumschlager Eberle, Chaix & Morel et Associés, Ateliers 2/3/4/, Mars Architectes, Maud Caubet Architectes and Moreau Kusunoki, Snehotta	
FRA06	Rive Gauche	Paris	FRA	Gleis (G u. P)	1-SEMAPA	
FRA07	La Défense	Nanterre	FRA	Straße mehrspurig		
FRA08	Pont Notre Dame			Wasserstraße		
FIN01	Rantaväylä Tunnel	Tampere	FIN	Straße mehrspurig		
DNK01	Railway Quarter	Aarhus	DNK	Gleis (G u. P)	1- DSB Ejendomsudvikling, Aarhus Kommune, Pension Danmark, MT Højgaard Projektudvikling	
DNK02	Jernbanebyen	Kopenhagen	DNK	Gleis (G u. P)	2- C.F. Møller Architects	
DNK03	Vesterport Eisenbahngrube	Kopenhagen	DNK	Gleis (G u. P)	3- Construction: MT Højgaard Collaborators, other Gehl, ViaTrafik, Aaen Engineering, Niras	
DEU01	Clarenbachplatz Köln	Braunsfeld - Köln	DEU	Gleis (G privat)	1- Bauträger WvM Immobilien + Projektentwicklung GmbH und Friedrich Wassermann GmbH & Co. KG 2- md3+ Architekten, Matthias Dittmann 3- Friedrich Wassermann GmbH & Co. KG	

Kennung	Projektbezeichnung	ggf. Stadtteil - Ort	Land	Art Verkehrsweg	Projektbeteiligte
					1-Entwickler 2-Architekt / Ing 3-Ausführer 4-Sonstige
DEU02	S Bahn Zugang Prenzlauer Allee (Planfeststellung)	Helmholtzkiez - Berlin	DEU	Gleis (G u. P)	1- Berliner Senat 4- Planfeststellung beim Eisenbahn-Bundesamt
DEU03	Böttgenstraßenviertel (vorbereitende Untersuchung)	Gesundbrunnen - Berlin	DEU	Gleis (G u. P)	1- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 4- Mitwirkung Stadt · Land · Fluss
DEU04	Berliner-Tor S-Bahn Abstellgleis	St-Georg - Hamburg	DEU	Gleise (Peripher/ Abstell)	Büro für Städtebau und Stadtplanung
DEU05	Schlangenbader Str.	Berlin-Wilmersdorf	DEU	Straße mehrspurig	1. ursprünglicher Bauträger Heinz Mosch KG 1973 späterer Bauträger und Betreiber landeseigene Wohnungsbaugesellschaft Degewo
DEU06	Schönhauser Allee Arcaden (Abschnitt 1)	Helmholtzkiez - Berlin	DEU	Gleis (P S-Bahn)	1. TMRF KG 2-Architekten RKW Rhode, Kellermann, Wawrowsky und Partner /
DEU07	Schönhauser Allee Arcaden (Abschnitt 2)	Helmholtzkiez - Berlin	DEU	Gleis (P S-Bahn)	2-Architekten RKW Rhode, Kellermann, Wawrowsky und Partner
DEU08	Brückenaasthaus Frankenwald	A9 Bayern	DEU	Straße mehrspurig	
DEU09	Raststätte Dammer Berge	A1 Niedersachsen	DEU	Straße mehrspurig	1- Staatshochbauverwaltung des Landes Niedersachsen mit Staatshochbauamt I Hannover 2- Paul Wolters und Manfred Bock
DEU10	Schnelsen - A7 Tunnel	Hamburg	DEU	Straße mehrspurig	1- Stadt Hamburg und Bund 2- POLA Landschaftsarchitekten 3- DEGES
DEU11	Stelling - A7 Tunnel	Hamburg	DEU	Straße mehrspurig	1- Stadt Hamburg und Bund 2- Weidinger Landschaftsarchitekten 3- DEGES
DEU12	Altona - A7 Tunnel	Hamburg	DEU	Straße mehrspurig	1- Stadt Hamburg und Bund 3- DEGES
DEU13	olympisches Dorf 2032 (Machbarkeitsstudie)	Düsseldorf	DEU	Gleis (G u. P)	2-RKW-Architektur+
DEU14	olympisches Dorf 2032 (Machbarkeitsstudie)	A40 Essen	DEU	Straße mehrspurig	2-Albert Speer + Partner GmbH
DEU15	A100 Charlottenburg (Machbarkeitsstudie)	Charlottenburg - Berlin	DEU	Straße u. Gleis	1- Berliner Senat 3- DEGES GmbH
DEU16	ehemalige Bahndirektion	Stuttgart	DEU	Gleis (G u. P)	
DEU17	Möllernbrücke	Dortmund	DEU	Gleis (P S-Bahn)	
DEU18	Quartiersplatz Theresienhöhe oder Schwanthalerhöhe	München	DEU	Gleis (G u. P)	1- Landeshauptstadt München 2- Topotek 1
DEU19	Bayer AG Campus Wedding	Berlin	DEU	Straße mehrspurig	
DEU20	Deckel Henstedt-Ulzburg	Henstedt-Ulzburg	DEU	Gleis (G u. P)	
DEU21	Hamburg am Langenhorner Markt	Hamburg	DEU	Gleis (P U-Bahn)	
DEU22	Pfaffendorf-Tunnel	Koblenz-Ehrenbreitstein - Niederlahnstein	DEU	Gleis (G u. P)	
DEU23	Köln Chorweiler	Köln-Braunsfeld	DEU		
DEU24	Dortmund Dorstfeld Süd bis Dortmund Universität	Dortmund	DEU	Gleis (G u. P)	
DEU25	Staufenplatz-Tunnel	Ratingen-West - Hilden	DEU	Gleis (G)	
DEU26	Bovender Deckel	Bovenden	DEU	Gleis (P Regio)	
DEU27	High Park by Palmira	Potsdamer Platz - Berlin	DEU	Gleis (P U-Bahn)	1- gsp Städtebau GmbH, Berlin 2- Hilmer & Sattler und Albrecht AWD Ingenieure
DEU28	ICC Berlin	Berlin	DEU	Straße mehrspurig	2- Ralf Schüler und Usulina Schüler-Witte
DEU29	Klostergarten Passau	Passau		Gleis (G u. P)	
CHN01	Liziba station	Chongqing municipality	CHN	Gleis (P S-Bahn)	
JPN01	Toranomon Hills	Tokyo	JPN	Straße mehrspurig	1-Mori Building Co
CHE01	Areal des Güterbahnhofes in Zug	Zug	CHE	Gleis (G u. P)	
CHE02	Couverture des voies CFF de Saint-Jean	Genf	CHE	Gleis (G u. P)	
CHE03	Eurogate	Zürich	CHE	Gleis (G u. P)	
AUS01	BuWOG	Wien	AUT		

Residualwertverfahren Planstand 02/2021 Wiking-Froh Architekten GmbH + Änderung Baumasse 25.04.2022 (Überbauung Pappelallee)

Eingangssannahmen

Überbauung an der Wandsbeker Chaussee (Gebäude W)- Boarding House
 Überbauung Azubi/Wo-ZOB (Gebäude A)- Auszubildenden Wohnheim
 Überbauung Pappelallee (Gebäude P)-Wohnen mittlerer Standard
 ausschließlich Boshungsfächen werden angekauft - siehe Bedarfsermittlung
 vernachlässigt ggf. erhöhte Eisenbahnbetriebskosten
 vernachlässigt Mieterträge der Verkehrsflächen (Durchgang zum Haltepunkt und zum Busbahnhof sowie Busbahnhof)
 Errichtungskosten Ermittlung Überbauung W und M zusammengefasst

Nutzung	voraussichtlicher Mietertrag			netto Miete /m ²	Miete p.a.
	BGF in m ²	Gebäude-Effizienz	Mitfläche in m ²		
Überbauung W	Verkehrsfläche	500	-	-	- €
	Gewerbe	220	90%	198	30,00 €
	Boarding House	3.600	70%	2.520	23,00 €
Überbauung A	Verkehrsfläche	2.142	-	-	- €
	Wohnen (Wohnheim)	10.710	70%	7.497	25,00 €
Überbauung P	Verkehrsfläche	756	-	-	- €
	Wohnen	14.364	70%	10.055	18,00 €
Netto-Miete p.a.					5.187.737 €

Bewirtschaftungskosten		Erwerbsnebenkosten	
Mietfläche	5 €/m ²	Grunderwerbsteuer	4,50%
Verwaltungsgebühren	4,00%	Immobilienberater/Due Diligence	0,75%
		Notar und Gericht	0,15%
		Sonstiges Kosten	0,15%

Verkaufsobjekt	Netto-Miete p.a.	Verkaufserlöse Netto-Rendite	Faktor	Preis/ Einheit	Erlös
	5.187.737 €	3,18%	28		145.256.630 €

Netto Verkaufserlös 145.256.630 €

Kosten Grunddienstbarkeit oder pers. beschränkte Dienstbarkeit (Recht zur Überbauung und Nutzung)	Gleisanlage in m ²	Preis/ Einheit	Gesamtpreis
	5.473	1.500 €	8.209.500 €
Kosten Recht zur Überbauung und Nutzung			8.209.500 €

eisenbahnspezifische Kosten	Gleisanlage in m ²	Preis/ Einheit	Gesamtpreis
	5.473	3.000 €	16.419.000 €
eisenbahnspezifische Kosten			16.419.000 €

Errichtungskosten Ingenieurbauwerk	BGF in m ²	Preis/ Einheit	Gesamtpreis
	9.292	2.800 €	26.017.600 €
Errichtungskosten Ingenieurbauwerk			26.017.600 €

Errichtungskosten Überbauung (Boarding House & Wohnheim)	Preis/ Einheit	Gesamtpreis
200 Herrichten und Erschließen	1,88% von 300 & 400	601.207 €
300 Baukonstruktion	17.172	1.426 €
400 Technische Anlagen (Σ Bauwerkskosten)	17.172	436 €
		31.979.072 €
500 Außenanlagen	6,77% von 300 & 400	2.164.983 €
600 Ausstattung und Kunstwerke (Σ Baukosten)	4,20% von 300 & 400	1.343.121 €
		36.088.383 €
700 Baunebenkosten	20,00% von 300 & 400	6.395.814,43 €
800 Finanzierungskosten (Σ Gesamtkosten ohne 100 Grundstück)	2% von Baukosten+ 700	849.683,95 €
		43.333.881 €
Reserven bzw. Risikorückstellungen	3% von Gesamtkosten	1.300.016 €
Errichtungskosten Überbauung (Wohnheim)		44.633.898 €

Errichtungskosten Überbauung (Wohnung)	Preis/ Einheit	Gesamtpreis
200 Herrichten und Erschließen	1,70% von 300 & 400	345.036 €
300 Baukonstruktion	15.120	1.074 €
400 Technische Anlagen (Σ Bauwerkskosten)	15.120	268 €
		16.243.476 €
		4.052.747 €
		20.296.224 €
500 Außenanlagen	6,31% von 300 & 400	1.280.692 €
600 Ausstattung und Kunstwerke (Σ Baukosten)	0,49% von 300 & 400	99.451 €
		22.021.403 €
700 Baunebenkosten	20,00% von 300 & 400	4.059.244,77 €
800 Finanzierungskosten (Σ Gesamtkosten ohne 100 Grundstück)	2% von Baukosten+ 700	521.612,95 €
		26.602.261 €
Reserven bzw. Risikorückstellungen	3% von Gesamtkosten	798.068 €
Errichtungskosten Überbauung (Wohnung)		27.400.328 €
Bauträgergewinn		
kalkulierter Gewinn aus dem Verkaufserlös	145.256.630 €	15,00%
		21.788.495 €
Bauträgergewinn		21.788.495 €
Grundstückswert (ohne Grundstücksfinanzierung)		
Verkaufserlös		145.256.630 €
Kosten Recht zur Überbauung und Nutzung		8.209.500 €
eisenbahnspezifische Kosten		16.419.000 €
Errichtungskosten Ingenieurbauwerk		26.017.600 €
Errichtungskosten Überbauung (Wohnheim)		44.633.898 €
Errichtungskosten Überbauung (Wohnung)		27.400.328 €
Bauträgergewinn		21.788.495 €
Grundstückswert (ohne Grundstücksfinanzierung)		787.810 €
	Grundstückspreis je m²	206 €
Bodenrichtwerte geoportal Hamburg boris 31.12.2021		923 €
		717 €

Residualwertverfahren Planstand 02/2021 Wiking-Froh Architekten GmbH + Änderung Baumasse 25.04.2022 (Überbauung Pappelallee)

 Entwicklung Grundstückspreis je m² bei abweichenden Erlösen und Gesamtkosten

Sensitivitätsanalyse		-5%	-4%	-3%	-2%	-1%	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Erlöse												
Gesamtkosten												
10%	-	5.478 €	5.098 €	4.718 €	4.337 €	3.957 €	3.577 €	3.196 €	2.816 €	2.436 €	2.055 €	1.675 €
9%	-	5.100 €	4.720 €	4.339 €	3.959 €	3.579 €	3.198 €	2.818 €	2.438 €	2.057 €	1.677 €	1.297 €
8%	-	4.722 €	4.341 €	3.961 €	3.581 €	3.200 €	2.820 €	2.440 €	2.059 €	1.679 €	1.299 €	918 €
7%	-	4.344 €	3.963 €	3.583 €	3.202 €	2.822 €	2.442 €	2.061 €	1.681 €	1.301 €	920 €	540 €
6%	-	3.965 €	3.585 €	3.205 €	2.824 €	2.444 €	2.063 €	1.683 €	1.303 €	922 €	542 €	162 €
5%	-	3.587 €	3.207 €	2.826 €	2.446 €	2.066 €	1.685 €	1.305 €	924 €	544 €	164 €	217 €
4%	-	3.209 €	2.828 €	2.448 €	2.068 €	1.687 €	1.307 €	927 €	546 €	166 €	215 €	595 €
3%	-	2.830 €	2.450 €	2.070 €	1.689 €	1.309 €	929 €	548 €	168 €	212 €	593 €	973 €
2%	-	2.452 €	2.072 €	1.691 €	1.311 €	931 €	550 €	170 €	210 €	591 €	971 €	1.351 €
1%	-	2.074 €	1.693 €	1.313 €	933 €	552 €	172 €	208 €	589 €	969 €	1.349 €	1.730 €
0%	-	1.695 €	1.315 €	935 €	554 €	174 €	206 €	587 €	967 €	1.347 €	1.728 €	2.108 €
-1%	-	1.317 €	937 €	556 €	176 €	204 €	585 €	965 €	1.345 €	1.726 €	2.106 €	2.486 €
-2%	-	939 €	559 €	178 €	202 €	583 €	963 €	1.343 €	1.724 €	2.104 €	2.484 €	2.865 €
-3%	-	561 €	180 €	200 €	580 €	961 €	1.341 €	1.722 €	2.102 €	2.482 €	2.863 €	3.243 €
-4%	-	182 €	198 €	578 €	959 €	1.339 €	1.719 €	2.100 €	2.480 €	2.861 €	3.241 €	3.621 €
-5%	-	196 €	576 €	957 €	1.337 €	1.717 €	2.098 €	2.478 €	2.858 €	3.239 €	3.619 €	3.999 €
-6%	-	574 €	955 €	1.335 €	1.715 €	2.096 €	2.476 €	2.856 €	3.237 €	3.617 €	3.997 €	4.378 €
-7%	-	953 €	1.333 €	1.713 €	2.094 €	2.474 €	2.854 €	3.235 €	3.615 €	3.995 €	4.376 €	4.756 €
-8%	-	1.331 €	1.711 €	2.092 €	2.472 €	2.852 €	3.233 €	3.613 €	3.993 €	4.374 €	4.754 €	5.134 €
-9%	-	1.709 €	2.089 €	2.470 €	2.850 €	3.231 €	3.611 €	3.991 €	4.372 €	4.752 €	5.132 €	5.513 €
-10%	-	2.087 €	2.468 €	2.848 €	3.228 €	3.609 €	3.989 €	4.370 €	4.750 €	5.130 €	5.511 €	5.891 €