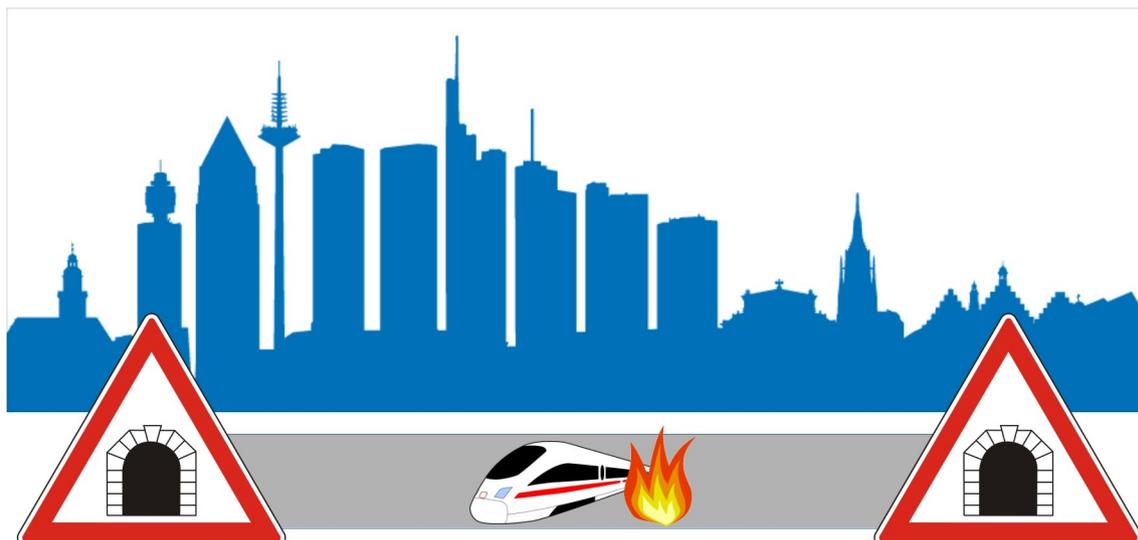


Dipl.-Ing. Hans Heydemann, Stuttgart

Dr. Christoph Engelhardt, München

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Peil, Frankfurt a.M.



# Fachtechnische Bewertung des Brandschutzes in der Machbarkeitsstudie der Deutschen Bahn zum Fernbahntunnel Frankfurt a.M.

**Herausgeber:** Bündnis Verkehrswende Frankfurt



**Impressum:**

Bündnis Verkehrswende Frankfurt

c/o Dirk Friedrichs - [dirk.friedrichs@attac.de](mailto:dirk.friedrichs@attac.de)

April 2023

PDF-Fassung unter:

[https://buendnis-verkehrswende-frankfurt.de/Anlagen/230404\\_FBT\\_Brandsch.pdf](https://buendnis-verkehrswende-frankfurt.de/Anlagen/230404_FBT_Brandsch.pdf)

Online-Fassung unter:

<https://umwelt-klima-rheinmain.net/materialien/fbt/brandschutz/>

Fassung der PDF vom 20.4.2023

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	4
0. Vorbemerkungen.....	5
1. Zusammenfassende Bewertung.....	6
2. Grundlagen für Rettungskonzepte im Brandfall.....	8
2.1 Gründe für Feuerwehreinsätze.....	8
2.2 Anwendung von Sicherheitsstandards.....	9
2.3 Entfluchtung und Rauchabzug.....	10
2.4 Feuerwehreinsatzplanung.....	12
3. Rettungskonzept für den Fernbahntunnel.....	14
3.1 Inhaltliche Zusammenfassung der DB-Studie.....	14
3.2 Bewertung.....	17
3.3 Bauliche Alternativen.....	23
4. Rettungskonzept für den Tiefbahnhof.....	24
4.1 Inhaltliche Zusammenfassung der DB-Studie.....	24
4.2 Bewertung.....	26
Referenzen.....	28

## Anhang

Anhang 1: Ausgewählte Brandereignisse	A.1
Anhang 2: Einsatzszenarien und Ablaufdiagramme	A.2
Anhang 3: Anfragen an die DB Netz und die Stadt Frankfurt	A.6
Anhang 4: Ausbreitung von Brandgasen im Tunnel	A.8
Anhang 5: Verrauchungsabschätzung entsprechend der Fachliteratur	A.12
Anhang 6: Räumzeit im Tunnel nach NFPA 130	A.14
Anhang 7: Klimabilanz des Bauprojektes Fernbahntunnel	A.20

## Vorwort

Das Bündnis Verkehrswende Frankfurt befasst sich mit der Verkehrspolitik in Frankfurt, die Auswirkungen auf das Rhein-Main-Gebiet und will die angesichts der Klimakrise dringend nötige Mobilitätswende vorantreiben. Neben einer lebenswerten Stadt mit Platz für Fuß- und Radverkehr geht es im Augenblick um den Widerstand gegen den Autobahnausbau in und um Frankfurt herum. Als notwendige Alternative dazu wird von uns der Ausbau des ÖPNV gefordert. Dieses betrifft sowohl das innerstädtische Straßenbahnnetz als auch den Regional- und Fernverkehr der Deutschen Bahn. Bei der regionalen Infrastruktur der Deutschen Bahn gibt es derzeit eine Vielzahl von Baustellen bzw. Projekte in der Warteschleife. Das heißt, dass diese Projekte viel zu spät kommen, um möglichst kurzfristig einen Beitrag für eine innerstädtische und regionale Verkehrswende zu leisten.

Stattdessen fokussieren sich Deutsche Bahn und Bundespolitik auf wenige Großprojekte, wie aktuell den geplanten Fernbahntunnel in Frankfurt. Die hierfür erforderlichen gewaltigen finanziellen und personellen Ressourcen fehlen aber zwangsläufig für die schnelle Umsetzung der bereits langjährig im Rhein-Main-Gebiet anstehenden „Hausaufgaben“. Dem eindeutig belegten Nutzen-Kosten-Verhältnis von noch anstehenden und potenziell zusätzlich machbaren oberirdischen Schienenprojekten steht deshalb ein Großprojekt gegenüber, das einen äußerst fragwürdigen Nutzen erbringt und den eigentlich klimafreundlichen Bahnverkehr mit einem gewaltigen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck belastet. Es ist schade, dass aus den Erfahrungen von Stuttgart 21 nichts gelernt worden ist.

Die im Juni 2021 vorgestellte und im Oktober 2021 veröffentlichte Machbarkeitsstudie zu diesem Projekt wirft nicht nur bezüglich einer notwendigen Klimabilanz mehr Fragen auf als Antworten zu liefern. Dies betrifft z.B. auch die langjährig notwendigen Einschränkungen des Straßenbahnverkehrs rund um den Hauptbahnhof durch die gewaltige Baustelleneinrichtung und den notwendigen Baustellenverkehr.

Sehr ausführlich behandelt wird in der Machbarkeitsstudie der Brandschutz in Fernbahntunnel und Tiefbahnhof. Wir haben als Bündnis Verkehrswende mit der vorliegenden fachtechnischen Bewertung zum Brandschutz ein Thema aufgegriffen, das die reale Machbarkeit des Projektes infrage stellt. Offenbar ist dieses auch den Verantwortlichen bei der DB Netz bewusst, da sich die unsere Fachautorinnen bereits seit einem Jahr vergeblich darum bemühen, auf offene Fragen zum Brandschutz Antworten von der DB Netz zu erhalten. Bezeichnend ist auch, dass gemäß einer vorliegenden Auskunft des Magistrats der Stadt Frankfurt zumindest bis Ende 2022 keinerlei Vorgespräche der DB Netz mit der Frankfurter Feuerwehr geführt wurden.

Das Bündnis Verkehrswende Frankfurt sieht deshalb die vorliegende Fachstudie als Auftakt für eigene Aktivitäten zur notwendigen Aufklärung und Diskussion zum Projekt Fernbahntunnel, da nicht nur dieser spezielle Inhalt ein „brennendes“ Problem darstellt, sondern „nur“ als ein Glied einer ganzen Kette von gravierenden Fragen anzusehen ist.

Viola Rüdele

Sprecherin Bündnis Verkehrswende Frankfurt

## 0. Vorbemerkungen

Die vorliegende fachtechnische Bewertung befasst sich mit der von der Deutschen Bahn Ende Juni 2021 offiziell vorgestellten und seit Oktober 2021 frei zugänglichen „*Machbarkeitsstudie Knoten Frankfurt; Fernbahntunnel inkl. Station unterhalb des Hbf. Frankfurt/Main*“<sup>1</sup> (nachfolgend als **DB-Studie** bezeichnet). Der Brandschutz bzw. das Rettungskonzept hat sowohl im Erläuterungsbericht der DB-Studie wie auch bei den vorliegenden Planunterlagen einen wesentlichen Anteil an der Gesamtdarstellung.

Die Autoren der vorliegenden Ausarbeitung können dazu auf praktische Erfahrungen mit den aufgeführten Problemstellungen zurück greifen. So gibt es viele Parallelen zu anderen Bahnprojekten wie Stuttgart 21<sup>2</sup> oder der Zweiten S-Bahn-Stammstrecke in München<sup>3</sup>, wozu detailliertere Stellungnahmen vorhanden sind, auf die hier verwiesen werden kann.

Die vorliegende fachtechnische Bewertung soll vor allem als Aufforderung an die Deutsche Bahn und die zuständige Branddirektion Frankfurt verstanden werden, die offenen Punkte zu klären. Dies kann aufgrund der gravierenden Kritikpunkte, die sich für uns an der DB-Studie ergeben, nicht auf eine spätere Planungsphase verschoben werden. Die Verfasser sind der Ansicht, dass eine brandschutztechnisch einwandfreie Bereinigung aller offenen Punkte vielmehr den gesetzten Zeit- und Kostenrahmen erheblich überschreiten würde und damit aktuell die „Machbarkeit“, so wie sie aktuell nach außen hin dargestellt wird, nicht gegeben ist. Die brandschutztechnisch offenen Fragen sind nicht nur von größter Relevanz für die Kosten- und Terminplanung des Projektes, sondern auch für die wirtschaftliche Bewertung unter Einbeziehung ökologischer Kriterien.

Aufgrund der zahlreichen offenen Fragen und möglicherweise neuerer planerischer Überlegungen der DB Netz können sich gegenüber unseren zugrunde gelegten Parametern noch Verschiebungen beispielsweise in den Evakuierungszeiten ergeben. Dieses betrifft sowohl das Konzept der Tunnelröhren wie auch eine mögliche Nutzung des Tiefbahnhofs durch den Regionalverkehr.

Es ist deshalb beabsichtigt, diese fachtechnische Bewertung auf dem Faktencheck-Portal WikiReal.org fortzuschreiben, um damit aktuelle Entwicklungen zeitnah zu erfassen und fachgerecht zu kommentieren.

---

1 Quelle: <https://www.fernbahntunnel-frankfurt.de/downloads.html>

2 Siehe u.a.: Titel: Risiken und Auswirkungen eines Brandes bei Stuttgart 21 und Bewertung des aktuellen Brandschutzkonzepts der DB AG | Dipl.-Ing. Hans Heydemann, Stuttgart und Dr. Christoph Engelhardt, München | Auftraggeber: Aktionsbündnis gegen Stuttgart 21

Quelle: <http://ingenieure22.de/cms/index.php/projekte-studien/sicherheit-und-brandschutz>

3 [https://wikireal.info/wiki/2.\\_Stammstrecke\\_M%C3%BCnchen#12.2018](https://wikireal.info/wiki/2._Stammstrecke_M%C3%BCnchen#12.2018)

# 1. Zusammenfassende Bewertung

In der vorliegenden DB-Studie werden zunächst grundsätzliche Kriterien für Rettungskonzepte im Brandfall dargestellt (Abschnitt 2). Anschließend werden Fernbahntunnel (Abschnitt 3) und Tiefbahnhof (Abschnitt 4) getrennt bewertet. Verdichtet man diese Bewertungen auf ein Schulnotensystem, so gibt sich für den Fernbahntunnel die Note Sechs (ungenügend) und für den Tiefbahnhof die Note Fünf (mangelhaft).<sup>4</sup>

Übergreifende Kritikpunkte sind:

Mit Verweis auf die „geringe Planungstiefe“ der Machbarkeitsstudie erfolgen praktisch **keine Bewertungen vorhandener Risiken**.<sup>5</sup> Als Risiken werden vor allem bautechnische Fragen und die Erfordernisse von Interimslösungen während der Bauphase benannt, die außerhalb der Brandschutzthematik liegen. Dieses wäre prinzipiell aber noch vertretbar, wenn alle (brandschutztechnischen) Risiken umfassend benannt würden und man sich im weiteren Planungsprozess darauf beziehen könnte.

Für den **Fernbahntunnel** ergibt sich die Note Sechs aufgrund folgender Kriterien:

Trotz einer Gegenüberstellung von insgesamt sieben Tunnelvarianten wird nicht dargestellt, in welchem Umfang konkrete Schutzziele erreicht werden. Es erfolgt lediglich eine qualitative Bewertung der baulichen Varianten, die im Abschnitt 3 der DB-Studie beschrieben und zu einer Präferenz der Bahnhofslage (plus Y-Anbindung im Osten) geführt haben. Inwieweit dabei auch Brandschutzkriterien relevant waren, ist nicht ersichtlich.

Der Brandschutz wird bei der Variantenbeschreibung lediglich einer qualitativen Bewertung unterzogen, wobei im wesentlichen nur die generellen Unterschiede zwischen ein- und zweigleisigen Tunnelröhren beschrieben werden. Es fehlt eine Darstellung von projektspezifischen Parametern, die zur Bewertung von Selbst- und Fremdrettung sowie Feuerlöscheinsätzen notwendig wären.

Für den **Tiefbahnhof** ergibt sich die Note Fünf aufgrund folgender Kriterien:

Dargestellt wird die Entfluchtung über Treppenhäuser und Rolltreppen. Die Berechnungsgrundlagen zur maximalen Anzahl von Personen auf den Bahnsteigen sind jedoch fragwürdig. Die Entfluchtung von mobilitätseingeschränkten Personen wird zwar thematisiert, aber unzureichend beantwortet. Die Gesamtproblematik einer Verrauchung, die sich unter ungünstigen Umständen von der E-Ebene der Bahnsteige bis zur Haupthalle (A-Ebene) hinziehen kann, wird nicht behandelt. Die Komplexität der hierfür notwendigen baulich-technischen Lösungen, insbesondere einer dafür notwendigen Brandfall-Steuermatrix, wird völlig ausgeblendet.

---

4 Kriterien bzw. Maßstab hierfür waren:

**Note Eins (sehr gut):** Ein vollständiges und nachvollziehbar wirksames Rettungskonzept wird dargestellt.

**Note Zwei (gut):** Die wesentlichen Brandschutzprobleme sind dargestellt und bezüglich der definierten Schutzziele auch plausibel beantwortet. Nachrangig erscheinende Fragen müssen aber im weiteren Planungsprozess noch geklärt werden.

**Note Vier (ausreichend):** Die Darstellung der Brandschutzprobleme ist lückenhaft und demgemäß wird auch die Erreichung der Schutzziele nicht befriedigend dargestellt.

**Note Fünf (mangelhaft):** Die Brandschutzprobleme werden nur teilweise dargestellt, weshalb auf dieser Basis auch nur eine eingeschränkte (positive) Bewertung möglich ist, ob alle notwendigen Schutzziele erreicht werden können.

**Note Sechs (unzureichend):** Sowohl die Brandschutzprobleme als auch die notwendigen Schutzziele werden nur ansatzweise und völlig unzureichend dargestellt. Damit ist auch keine (positive) Bewertung möglich.

5 DB-Studie, 12. Risikobewertung (S. 177): „Eine Risikobewertung ist im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie daher nur bedingt möglich. Die wesentlichen Risiken resultieren hier in erster Linie aus der im Rahmen einer Machbarkeitsstudie entsprechend geringen Planungstiefe.“

Die vorhandenen Brandschutzrisiken sind gravierend und könnten bei dem Projekt Fernbahntunnel aus unserer Sicht nur mit erheblichen Zusatzaufwendungen in akzeptabler Weise minimiert werden.

Für den Tunnel wären folgende Voraussetzungen notwendig:

- Durch **zwei zweigleisige Tunnelröhren** sowie direkten **Rauchabsaugungen** über den Gleisen könnte eine schnelle Verrauchung im Brandfall minimiert werden.
- Andernfalls könnten mit drastisch reduzierten **Abständen der Rettungsschleusen** zum jeweiligen Nachbartunnel auch entsprechend kurze Evakuierungszeiten erreicht werden.
- Mit **verbreiterten Rettungswegen**, die nicht durch Einbauten wie Löschwasserhydranten und Notrufsäulen behindert sind, angehoben auf das ICE-Bahnsteinniveau, könnten Fluchtwege den tatsächlichen Erfordernissen gerecht werden.

Für den Tiefbahnhof wären folgende Voraussetzungen notwendig:

- Die ursprünglich von der Deutschen Bahn vorgegebenen **17 m Breite** für die beiden Mittelbahnsteige müssten aufgrund der höheren Personenzahlen durch die geplante Einbeziehung von Regionalzügen zwingend eingehalten werden.
- Die zahlreichen und komplexen **Brandfall-Szenarien** müssen bereits mit der Entwurfsplanung sorgfältig geplant und als zusätzliches Zeitfenster für Inbetriebnahme und Abnahme im **Bauzeitenplan** berücksichtigt werden.
- Eine zuverlässige Feuerwehr-Einsatzplanung (für Tiefbahnhof und Tunnel) ist nur möglich bei Vorhandensein einer **DB-Werkfeuerwehr**. Diese könnte auch die personellen Ressourcen für die regelmäßig notwendigen Brandverhütungsschauen und Wirk-Prinzip-Prüfungen der einzelnen Brandfallsteuerungen übernehmen.

In der Konsequenz ergäben sich damit aber erhebliche Mehrkosten nicht nur für den Bau, sondern auch für den Betrieb. Diese Rückwirkungen müssen auf mehreren Ebenen thematisiert werden:

- Das **Nutzen-Kosten-Verhältnis** der Gesamtmaßnahme wird dadurch erheblich ungünstiger.
- Der deutlich erhöhte Aufwand für den Tunnelbau verursacht nicht nur Mehrkosten und eine längere Bauphase, sondern auch eine noch ungünstigere **Klimabilanz** (siehe dazu die entsprechende Berechnung als [Anhang 7](#)).

Die DB-Studie kann unter Berücksichtigung des Brandschutzes bei kritischer Betrachtung nicht als Beleg für die „Machbarkeit“ des Projektes angesehen werden, bei dem ein vorgegebener Rahmen für praktischen Nutzen und kalkulierte Kosten angesetzt wurde.

Nur am Rande kann hier erwähnt werden, dass das größte Brandschutzrisiko jedoch nicht von einer Missachtung der o.g. Kriterien ausgeht, sondern von der defizitären Instandhaltung der ICE-Züge, die für deren Störanfälligkeit und damit zusammen hängenden häufigen Brandvorfällen verantwortlich sind.

Wir plädieren deshalb für Machbarkeitsstudien, in denen Alternativen zu dem Tunnelprojekt ernsthaft geprüft werden.

## 2. Grundlagen für Rettungskonzepte im Brandfall

Nachfolgende Übersicht dient dem grundlegenden Verständnis der Thematik, wie sie in der DB-Studie abgehandelt wird.<sup>6</sup>

### 2.1 Gründe für Feuerwehreinsätze

Feuerwehreinsätze können auch bei Szenarien ohne Brandereignis erfolgen, z.B. zwecks Evakuierungen aus entgleisten Zügen.

**ICE-Brände** sind relativ häufig und umfassend dokumentiert<sup>7</sup>. Allein deutschlandweit wurden in dem Zeitraum von 1972 bis 2017 über 63 solcher Brandereignisse in Tunneln von Bahnanlagen erfasst, davon 17 Fälle (27 %) mit Personenschäden, zumeist Rauchvergiftungen und somit einer gesundheitlichen Schädigung. Betroffen waren davon insgesamt 113 Personen.

In Anhang 1 sind ausgewählte Brandereignisse im Bahnverkehr aus dem Großraum Frankfurt Rhein-Main aufgeführt.

In nahezu allen Fällen sind diese Brände auf **technische Mängel** zurück zu führen, die wiederum wesentlich durch eine unzulängliche Instandhaltung bedingt sind. Die Probleme mit den unzureichenden Ressourcen in den Bahn-Ausbesserungswerke sind überwiegend bekannt und werden sogar durch Bahn-Mitarbeiter („Whistleblower“) als noch gravierender dargestellt, als dieses nach außen hin kommuniziert wird.<sup>8</sup>

Prinzipiell erhöhen Gefällstrecken die Belastung der Technik und für den Fernbahnhof Frankfurt wurde mit einem **Gefälle von 25‰** die Neigung doppelt so hoch gewählt wie standardmäßig auf Hauptstrecken zulässig. Hinzu kommt die Funktion von Frankfurt Hbf Tief als Halt für ICEs, die zuvor die Neubaustrecke Köln-Rhein/Main befahren haben. Diese Strecke weist Steigungen bis zu 40 ‰ auf, die eine enorme Belastung der Technik mit sich bringen. Statistisch betrachtet führt das bei ICEs zu einer mehr als doppelt so hohen Wahrscheinlichkeit für Brände an antriebsnaher Technik während oder kurz nachdem sie eine solche Steigungsstrecke befahren haben.<sup>9</sup>

Als typische Brandereignisse, die auf das **Nutzerverhalten** zurück zu führen sind, können Schwelbrände durch Zigarettenstummel in Abfallkörben angesehen werden.

Ein noch immer häufiger Brandfall-Einsatz der Feuerwehr ist die Anfälligkeit von automatischen Feuermeldern gegen **Fehlalarme**. Obwohl die Sensorik dieser Melder mittlerweile sehr ausgereift ist, um Rauchpartikel eines Schwelbrandes von anderweitig aufgewirbelten Luft-Aerosolen unterscheiden zu können, gibt es dennoch in relevantem Umfang dadurch verursachte Fehlalarme.

---

6 Siehe dazu auch die entsprechenden Abschnitte 5.1 bis 5.5 (Seite 100 bis 102) der DB-Studie

7 Siehe dazu: <http://ingenieure22.de/cms/images/publikat/eisenbahnbraende.pdf>

8 Siehe dazu Arno Luik: "Schaden in der Oberleitung" im Vorwort zur Taschenbuchausgabe 2021, in dem er auf Zuschriften von Bahn-Mitarbeitern verweist. Ständig müssten nicht komplett reparierte ICE-Züge wieder auf die Strecke gelassen werden, mangels völliger Überlastung der Bahn-Techniker. Ausdrücklich wurde dem Autor auch bestätigt, dass sich dieses auch auf die Bremsen bezieht. Was dann zur Folge habe, dass die ICE-Züge dann nur mit reduzierter Geschwindigkeit fahren dürften.

9 [https://wikireal.org/wiki/Stuttgart\\_21/Trassierung/ICE-Brände](https://wikireal.org/wiki/Stuttgart_21/Trassierung/ICE-Brände)

## 2.2 Anwendung von Sicherheitsstandards

Maßgebend für die Sicherheit im Brandfall sind technische Richtlinien und Standards. Diese legen häufig Mindestanforderungen fest, geben aber gleichzeitig definierte **Schutzziele** vor. Zu deren Erreichung ist es dann häufig notwendig, dass die Mindestanforderungen überschritten werden, was beispielsweise bei den internationalen Vergleichstunneln regelmäßig zu beobachten ist.

Für jede **Baugenehmigung** muss ein **Brandschutzkonzept** vorgelegt werden, das die Rettung von Menschen aus den von einem Brand betroffenen Bereich in einen (temporär) sicheren Bereich gewährleistet. Dieses betrifft das Vorhandensein und die Kennzeichnung von Notausgängen, die Länge der Fluchtwege und deren ausreichende Freihaltung von Rauchgasen. Hinzu kommen baulich-technische Vorkehrungen, um eine Ausbreitung von Bränden in andere bauliche Bereiche zu verhindern und den einsatztaktischen Forderungen der örtlichen Feuerwehr zu entsprechen.

Brandschutzkonzepte werden **von Sachverständigen** als eigenständige Fachplaner erstellt. Projektspezifisch können diese ggf. begründen, warum von sicherheitstechnischen Standards abgewichen werden soll, wenn das vordefinierte Schutzziel z.B. statt nur aufwändig machbarer baulicher Maßnahmen mit technischen Anlagen und/oder organisatorische Maßnahmen realisiert werden kann.

Für Bahntunnel gilt prinzipiell die **Eisenbahn-Tunnelrichtlinie**. Diese definiert prinzipielle „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln“. Bezüglich der Schutzziele heißt es dort:<sup>10</sup>

*"Abweichungen von dieser Richtlinie sind zulässig, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht und dies nachgewiesen wird oder die Einhaltung einzelner Bestimmungen im Einzelfall unverhältnismäßig wäre."*

Auch für Bahntunnel gilt, dass die projektspezifischen Gegebenheiten maßgebend sind, weshalb es in der Tunnelrichtlinie des EBA nur recht allgemein heißt:

*„Für Tunnel ist ein **Rettungskonzept** aufzustellen, das die Selbst- und Fremdrerettung **gewährleistet**.“<sup>11</sup>*

Als **Mindeststandards** sind in der EBA-Tunnelrichtlinie und der TSI-SRT die höchst zulässigen 500 m als Abstand zwischen den Rettungsstollen (Querschläge) vorgegeben; für Not-Ausgänge bei zweigleisigen, einröhrigen Tunneln sogar nur alle 1.000 m. Die Tunnelrichtlinie fordert eine Mindest-Rettungswegbreite von 1,2 m.

Tunnel in anderen Ländern weisen indes deutlich kürzere Abstände zwischen den **Rettungsstollen** auf: im Eurotunnel (GB/F) sind dies 375 m, im neuen Gotthard-Basis-Tunnel (CH) 325 m, im Guadarrama-Tunnel (ES) und im Öresundtunnel Kopenhagen-Malmö (DK/S) 250 m, im Perthus-Tunnel (E/F) 200 m, im Groene Hart-Tunnel (NL) sind es 150 m. Im künftigen Fehmarn-Belt-Tunnel (D/DK) sind Abstände von 110 m vorgesehen.

---

10 Richtlinie "Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln", Stand: 01.07.2008, Abschnitt 1.1

Quelle: [https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Infrastruktur/Tunnelbau/21\\_rl\\_tunnelbau.pdf](https://www.eba.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Infrastruktur/Tunnelbau/21_rl_tunnelbau.pdf)  
ergänzend dazu die Anpassungen der Europäischen Eisenbahn-Agentur zum TSI-SRT-System (Quelle nicht mehr aufrufbar): [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/tsi-application-guide\\_de.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activities/docs/tsi-application-guide_de.pdf)

11 Wie vor: Abschnitt 1.3.

## 2.3 Entfluchtung und Rauchabzug



*Bahnsteig in Hamburg Hbf mit Mittelgleis für ICE und Regionalzug, Foto: privat (4.3.2022)*

Für die Rauchausbreitung in einem Tiefbahnhof mit mehreren darüber liegenden Ebenen ergeben sich zahlreiche komplexe Einzelszenarien bei Brandereignissen. Dieses betrifft das Zusammenwirken von mehreren Faktoren:

- Bahnsteigbreite und deren Einengung durch Rolltreppen und Aufzüge
- Rauchausbreitung in die offenen Ebenen über dem Tiefbahnhof, was durch Modellversuche oder Simulationen untersucht werden kann
- Platzierung von Entrauchungsventilatoren und deren strömungstechnische Dimensionierung, wobei eine wahlweise Nutzung als Zuluft- oder Abluftventilator nur bedingt möglich ist

- feuerbeständige, bauliche Ausführung von notwendigen Technikräumen und Entrauchungskanälen und dessen Berücksichtigung in der Baustatik
- ergänzende Installation von Rauchabtrennungen (Rauchschürzen) von Teilbereichen, die baulich nicht feuerbeständig geschützt werden können
- technische Steuerung von Entrauchungsanlagen und Rauchabtrennungen über eine Brandfall-Steuermatrix

## *Feuerwehraufzüge und Nutzung weiterer Aufzüge*

Es gehört zu den sicherheitstechnischen Standards, dass bei jeder Aufzugsanlage Hinweisschilder „Aufzug im Brandfall nicht benutzen“ angebracht sind. Ein Aufzug kann sowohl durch den Ausfall der Stromversorgung aufgrund des Brandfalles, wie auch durch Verrauchung zur Todesfalle werden. Nach Auslösung eines Brandalarms werden deshalb alle Aufzüge automatisch in eine vordefinierte Endstation gefahren und damit stillgelegt. Ausgenommen davon sind Feuerwehraufzüge, die i.d.R. mit Schlüsselschaltern von Feuerwehr-Einsatzkräften genutzt werden können, damit diese schnell an den Brandherd vordringen können.

Ein Hauptkriterium für die bautechnische Ausführung von Feuerwehraufzügen ist hierbei, dass ein feuerbeständiger und rauchdichter Aufzugorraum vorhanden ist und eine direkte Anbindung an ein Nottreppenhaus besteht. Der Aufzugorraum wäre auch als sicherer Bereich für eine Fremddrettung von mobilitätseingeschränkten Personen (z.B. Rollstuhlfahrer oder Eltern mit Kinderwagen) erforderlich.

Prinzipiell lässt die entsprechende Richtlinie VDI 6017 „Aufzüge - Steuerungen für den Brandfall“ in der Ausgabe von 2015 auch die Option eines Weiterbetriebes von Aufzügen zu, die nicht den vollen Kriterien eines Feuerwehraufzuges entsprechen. In Tiefbahnhöfen wäre dieses aber nur in Verbindung mit den o.g. baulichen Vorkehrungen für mobilitätseingeschränkte Personen an den Stirnseiten von Bahngleisen möglich, da ansonsten deren nutzbare Breite unzulässig eingeschränkt würde.<sup>12</sup>

Die Option eines Weiterbetriebes von Aufzügen, die nicht ausdrücklich als Feuerwehraufzüge ausgewiesen sind, ist deshalb auf Bahnsteigen prinzipiell nicht umsetzbar. Maßgebend für diese Bewertung ist die Richtlinie „Aufzug 2022“ des „Arbeitskreises Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen“<sup>13</sup>, in der es dazu explizit heißt:

*„Aufgrund des komplexen Sachverhalts ist das Konzept mit gewollter verlängerter Betriebszeit nach VDI 6017 im Standardfall aktuell kaum umsetzbar und daher nicht zu empfehlen.“*

---

12 Für weiterführende Informationen zum Konstrukt des Rettungsaufzuges bzw. Evakuierungsaufzuges siehe <https://www.bfb-barrierefrei-bauen.de/aufzuege-im-brandfall/>

13 AMEV 2022 – Aufzugsanlagen in öffentlichen Gebäuden, Ausgabe Jan. 2022, Seite 24 |

Quelle: [https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Elektrotechnik/Aufzug%202022/AMEV\\_Aufzug\\_01-2022.pdf](https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Elektrotechnik/Aufzug%202022/AMEV_Aufzug_01-2022.pdf)

## 2.4 Feuerwehreinsatzplanung

Für alle Sonderbauten ist bereits vor Einreichung der Baugenehmigungsplanung eine Abstimmung mit der Feuerwehr notwendig. Auf der Homepage der Frankfurter Feuerwehr finden sich dazu eindeutige Hinweise.<sup>14</sup> Dabei geht es in der Anfangsphase zur „Machbarkeit“ eines Bauvorhabens darum,

*„dass wir die von Ihnen bis zum Zeitpunkt der Beratung durchgeführte Planung auf Plausibilität und auf Kompatibilität mit den Belangen des vorbeugenden und des abwehrenden Brandschutzes hin prüfen. Darüber hinaus können Ideen und Vorschläge zu bislang ungelösten Problempunkten erarbeitet werden, z. B. zur Ausgestaltung der Flucht- und Rettungswege oder zur Entrauchung.“*

Des Weiteren heißt es unter „**Gründe für ein frühzeitiges Beratungsgespräch**“:

*„Ein frühzeitig geführtes Beratungsgespräch trägt wesentlich zur Planungssicherheit bei. Sowohl Planer und Planerinnen als auch Bauherren und Bauherrinnen erhalten eine Aussage darüber, ob die Planung den Anforderungen aus brandschutztechnischer Sicht genügt – hier insbesondere des abwehrenden Brandschutzes. [...]“*  
*Ist die Planung aus brandschutztechnischer Sicht zunächst nicht genehmigungsfähig, steht dann für eine Anpassung der Planung und die Erarbeitung von Sonderlösungen noch ausreichend Zeit zur Verfügung. Je weiter die Planung bereits fortgeschritten ist, desto komplizierter und spezieller können die eventuell erforderlichen brandschutztechnischen Sonderlösungen werden. Dies kann zu Verzögerungen und nicht zuletzt zu unnötigen Mehrkosten führen.“*

Derartige Vorabklärungen sind aber bei der Ausarbeitung der Machbarkeitsstudie nicht erfolgt. Die für ein Beratungsgespräch mit der Frankfurter Feuerwehr erforderlichen Ingenieurpläne lagen aber bereits Ende 2020 vor.

Gemäß der DB-Leistungsbeschreibung zur Erstellung der Machbarkeitsstudie vom Oktober 2019 bestand eine geforderte Leistung des Ingenieurbüros darin, die Genehmigungsfähigkeit der vorgestellten Optionen mit „*Auflistung der entstehenden Betroffenheiten*“ zu prüfen.<sup>15</sup>

Auch nach der öffentlichen Präsentation der Machbarkeitsstudie Ende Juni 2021 und deren Veröffentlichung im Oktober 2021 gab es (bestätigt bis Anfang 2023) keinerlei Gespräche mit der Frankfurter Feuerwehr.

Der Schwerpunkt solcher Vorabstimmungen liegt hierbei jedoch weniger bei der bereits zitierten „*Ausgestaltung der Flucht- und Rettungswege*“. Dieses ist Aufgabe des Brandschutzplaners, der hierfür in der Regel mit speziellen Vorgaben der Frankfurter Feuerwehr vertraut ist. Zwingend notwendig ist eine solche Vorabklärung der einsatztaktischen Voraussetzungen für die Feuerwehr, damit diese sehr schnell den Brandherd erreichen kann und mit vorliegenden Objektinformationen wie z.B. Einsatzkarten in Brandmeldeanlagen und ggf. Feuerwehr-Einsatzplänen die richtigen Schritte zur Brandbekämpfung einleiten kann.

Notwendig sind auch **organisatorische Voraussetzungen**, wie z.B. (Feuerwehr-)Schlüssel zum Öffnen von Zugangstoren und -türen für Fahrzeuge und Einsatzkräfte.

Das **Ziel von Feuerwehreinsätzen** besteht darin, vorrangig Leben zu retten und nach Möglichkeit Sachwerte zu schützen. Eine zentrale Herausforderung ist dabei, dass die Einsatzkräfte selbst keiner vermeidbaren Gefahr für Leib und Leben ausgesetzt werden dürfen. Deshalb stehen einer städtischen

---

<sup>14</sup> <https://feuerwehr-frankfurt.de/fachplaner/bauberatung>

<sup>15</sup> Leistungsbeschreibung Machbarkeitsstudie, Anlage Nr. 1.0 zum Vertrag Nr. 19FEI42382, Seite 6, Ziffer 4

Berufsfeuerwehr für Sonderbauten auch Feuerwehreinsatzpläne zur Verfügung, in denen das Brandobjekt mit den technischen Risiken beschrieben ist. Dazu gehören z.B. Elektroverteilungen und Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten. Informationen über diese Objekte sollen sicherstellen, dass die richtigen Löschmittel zum Einsatz kommen, z.B. Löschschäume statt Wasser.

Brennt ein ICE-Triebwagen, so ist in großem Maße der **Austritt von Giftgasen** möglich. Ölbehälter wie sie z.B. zur Kühlung von Transformatoren in Triebwagen notwendig sind, können in Brand geraten. Außerdem kann ein Triebwagen unter elektrischer Spannung stehen, sofern dieser nicht durch den Lokführer oder durch einen Notfall-Automatismus geerdet wird. Dazu müssen in solchen Fällen besonders qualifizierte Feuerwehr-Einsatzkräfte verfügbar sein.

Größere Industrieanlagen und Flughäfen haben deshalb eine eigene **Werkfeuerwehr**. Diese sind mit den vorhandenen Risiken vertraut und können deshalb regelmäßig bei Objektbegehungen (als Gefahrenverhütungsschau) den Zustand dieser Risikoquellen überprüfen und ggf. Mängelbeseitigungen veranlassen. Ebenso kann eine Werkfeuerwehr natürlich durch regelmäßige Übungen sich auf spezifische Brandfallszenarien vorbereiten. Hinzu kommt, dass bei einem Brandalarm eine intern abgestimmte Reaktion aller internen und externen Dienste erfolgen kann, z.B. bei großen Bahnhöfen durch Einbeziehung der Leitstelle von DB Station & Services mit Videoüberwachungen.

Werkfeuerwehren waren früher bei der Deutschen Bahn an vielen Standorten vorhanden.<sup>16</sup> Zwischenzeitlich wurden aber deren Aufgaben auf die Kommunen übertragen.

---

<sup>16</sup> Siehe dazu: [1] „Risiken und Auswirkungen eines Brandes bei Stuttgart 21“, S. 149

### 3. Rettungskonzept für den Fernbahntunnel

#### 3.1 Inhaltliche Zusammenfassung der DB-Studie

Tunnelvariante	Vorteile	Nachteile
1: eine zweigleisige Tunnelröhre (ohne Y-Trasse im Osten)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches Rettungs- und Lüftungssystem</li> <li>- großer Querschnitt erleichtert Intervention und verraucht langsamer</li> <li>- (geringere Baukosten der Lüftung und der zugehörigen Lüftungskanäle)*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- längere Fluchtwege (bis zu 1.000 m)</li> <li>- Gefährdungen am Nachbargleis sind möglich</li> <li>- Beeinflussungen der Oberfläche (durch die Notausgänge ins Freie)</li> <li>- Einstellen der Strömungsverhältnisse im Brandfall ist weniger gut steuerbar als bei eingleisigen Tunneln</li> </ul>
2: zwei eingleisige Tunnelröhre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches Rettungs- und Lüftungssystem</li> <li>- kurze Fluchtwege (<math>\leq 500</math> m)</li> <li>- keine Gefährdung am Nachbargleis möglich (keine Folgeereignisse am benachbarten Gleis)</li> <li>- Brandfalllüftung gut steuerbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kleiner Querschnitt (verraucht schneller, weniger Platz für Intervention)</li> <li>- kleiner Querschnitt (verraucht schneller, weniger Platz für Intervention)</li> <li>- Herstellung der Befahrbarkeit im Bf.-Bereich erfordert Sonderlösungen (Weichen, Bahnsteige)</li> </ul>
3. ein zweigleisiges Tunnelsystem mit Y-Trasse im Osten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches Rettungs- und Lüftungssystem</li> <li>- großer Querschnitt erleichtert Intervention (und verraucht langsamer)</li> <li>- (geringere Baukosten der Lüftung inkl. Lüftungskanäle)*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- längere Fluchtwege (bis zu 1.000 m)</li> <li>- Beeinflussungen der Oberfläche durch Notausgänge</li> <li>- Einstellen der Strömungsverhältnisse im Brandfall weniger gut steuerbar (als bei eingleisigen Tunneln)</li> <li>- Gefährdung am Nachbargleis möglich</li> </ul>
4a. zweigleisiges Tunnelsystem mit Y-Trasse im Osten, nördlicher Ast mit zwei eingleisigen Tunnelröhren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- großer Querschnitt erleichtert Intervention und verraucht langsamer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- relativ komplexes System (Systemkombination);</li> <li>- längere Fluchtwege (bis zu 1.000 m)</li> <li>- Gefährdung am Nachbargleis möglich</li> <li>- Beeinflussungen der Oberfläche (NA ins Freie)</li> <li>- Lüftungsmaßnahmen für die eingleisigen Fahrtunnel sind erforderlich</li> <li>- östliche Querschläge mit großen Höhenunterschieden (erfordert Speziallösungen, Treppen)</li> </ul>
4b. Variante Rettungsschächte als NA statt Querschläge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfaches System (keine Befahrbarkeit)</li> <li>- großer Querschnitt erleichtert Intervention (und verraucht langsamer)</li> <li>- Notausgänge alle 500 m im eingleisigen Fahrtunnel führen direkt ins Freie</li> <li>- keine Strahlventilatoren im eingleisigen Bereich erforderlich</li> <li>- (geringere Baukosten der Lüftung inkl. Lüftungskanäle)*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teils längere Fluchtwege (bis zu 1.000 m)</li> <li>- Gefährdung am Nachbargleis im zweigleisigen Bereich möglich</li> <li>- Beeinflussungen der Oberfläche (NA ins Freie)</li> </ul>
5. und 6. zwei eingleisige, parallele Tunnelröhren mit Y-Trasse im Osten, beide Äste ebenso als eingleisige Tunnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kurze Fluchtwege (&lt;500m)</li> <li>- keine Gefährdung am Nachbargleis</li> <li>- keine Lüftungsmaßnahmen im eingleisigen Fahrtunneln erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- komplexes System (insbes. Befahrbarkeit)</li> <li>- Befahrbarkeit im Bf. schwierig (Weichen, Bstg)</li> <li>- östliche Querschläge mit großen Höhenunterschieden (erfordert Speziallösungen, Treppen)</li> <li>- kleinerer Querschnitt (verraucht schneller, wenig Platz)</li> </ul>

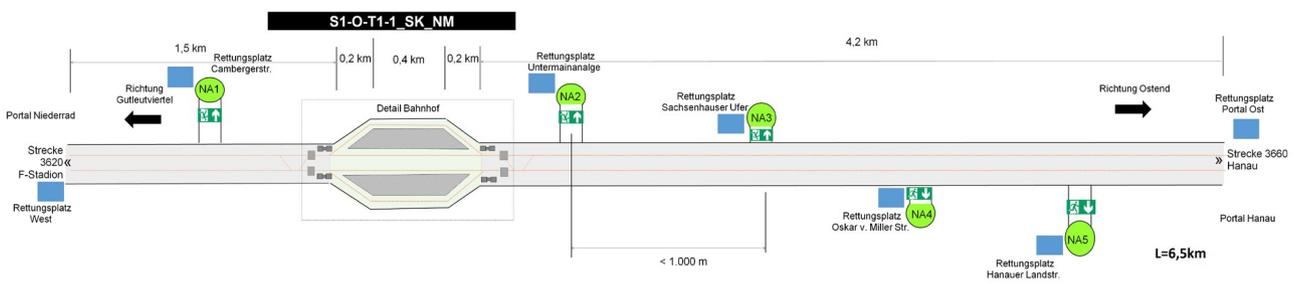
*Tabelle: eigene Zusammenstellung der Tabellen 8 bis 13 der DB-Studie. Die grau hinterlegten Flächen sind identisch mit den Inhalten dieser Einzeltabellen.*

Als Ergebnis der DB-Studie wird eine Lösung kommuniziert, die auf den Varianten 5 und 6 basiert, d.h. durchgehend zwei eingleisige Tunnelröhren. Die Unterschiede zwischen den Varianten 5 und 6 bestehen hierbei nur darin, dass die genaue Lage des Tiefbahnhofes noch nicht festgelegt ist (entsprechend einem Verlauf unterhalb der derzeitigen Hbf-Gleiskörper 1 bis 6 oder unterhalb der Mannheimer Straße). Demgemäß ergeben sich Verschiebungen bei Anzahl (15 oder 16) und Lage der Notaufgänge.

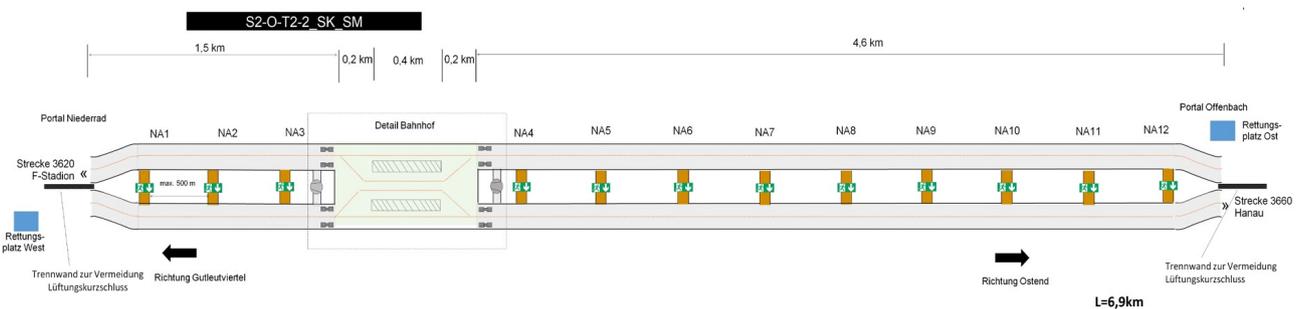
Zwischenzeitlich wird aber auch eine andere Lösung diskutiert, die nicht in der DB-Studie aufgeführt ist. Um die Kreuzungen im Osten mit zweigeschossiger Ausführung zu vermeiden, müssten vier Tunnelröhren vom Osten zum Hauptbahnhof geführt werden. Damit ergäbe sich aber eine komplexe Verzweigung direkt am Hauptbahnhof, die sich als betriebliche Störquelle erweisen könnte.<sup>17</sup>

Nachfolgend sind die in der DB-Studie enthaltenen Abbildungen der Tunnelvarianten zusammenhängend zwecks besserer Übersicht dargestellt.<sup>18</sup>

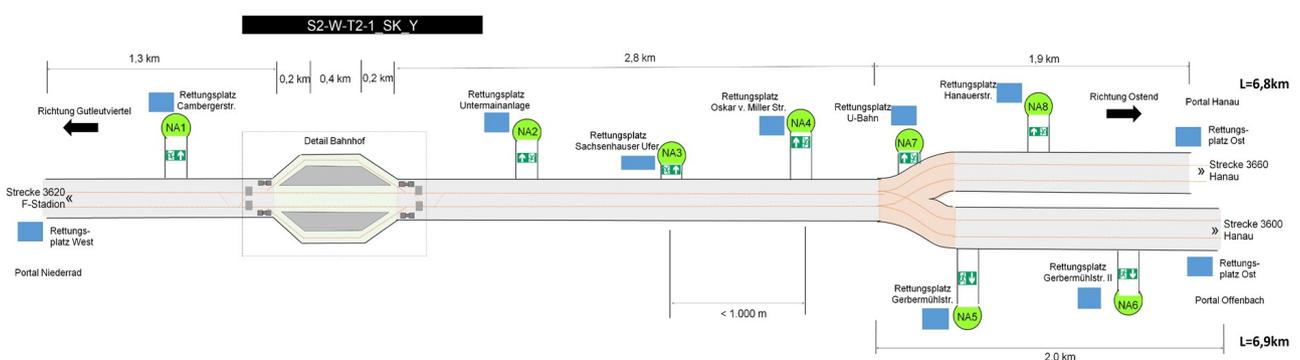
**Variante 1:** (Abb. 71) eine zweigleisige Tunnelröhre (ohne Y-Trasse im Osten)



**Variante 2:** (Abb. 72) zwei eingleisige Tunnelröhre



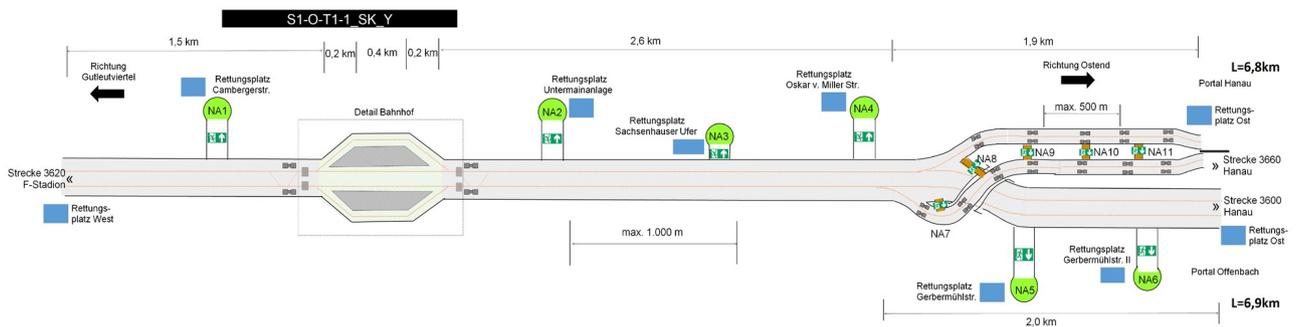
**Variante 3:** (Abb. 73) ein zweigleisiges Tunnelsystem mit Y-Trasse im Osten



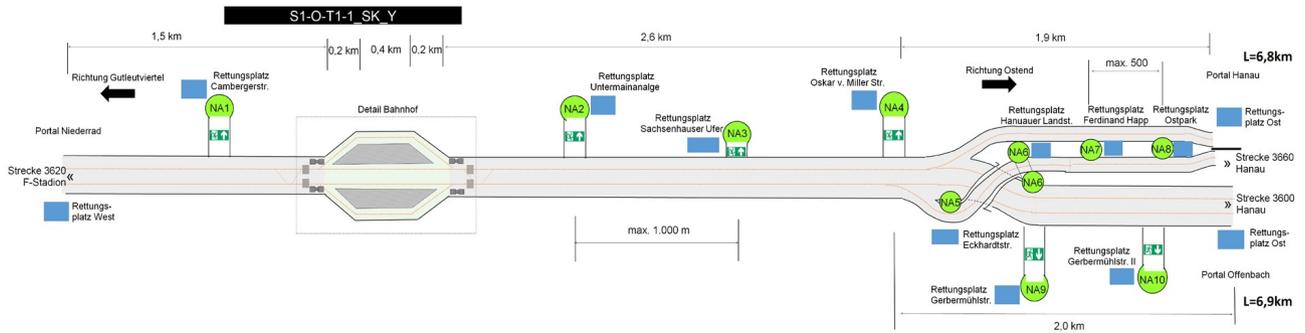
**Variante 4a:** (Abb. 74) zweigleisiges Tunnelsystem mit Y- Trasse im Osten, nördlicher Ast mit zwei eingleisigen Tunnelröhren

17 gemäß einem Bericht der FAZ, Rhein-Main-Ausgabe vom 7.3.2022

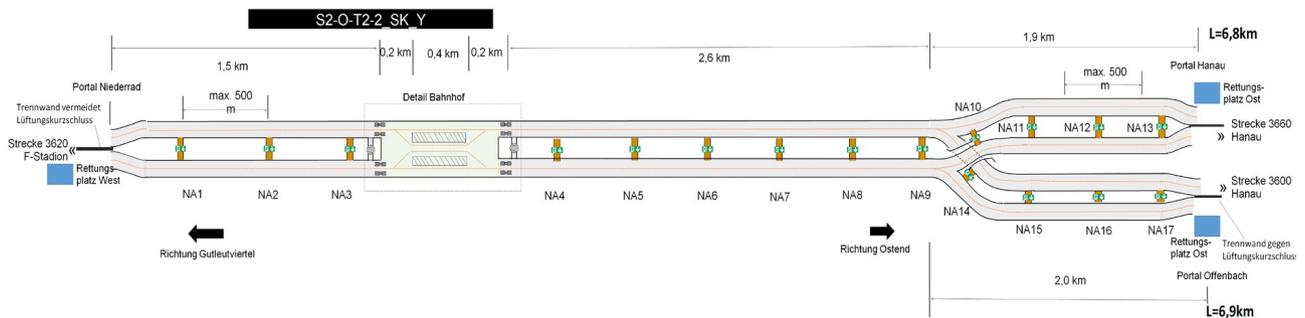
18 Abbildung 71 bis 77 von den Seiten 104 bis 111 der DB-Studie



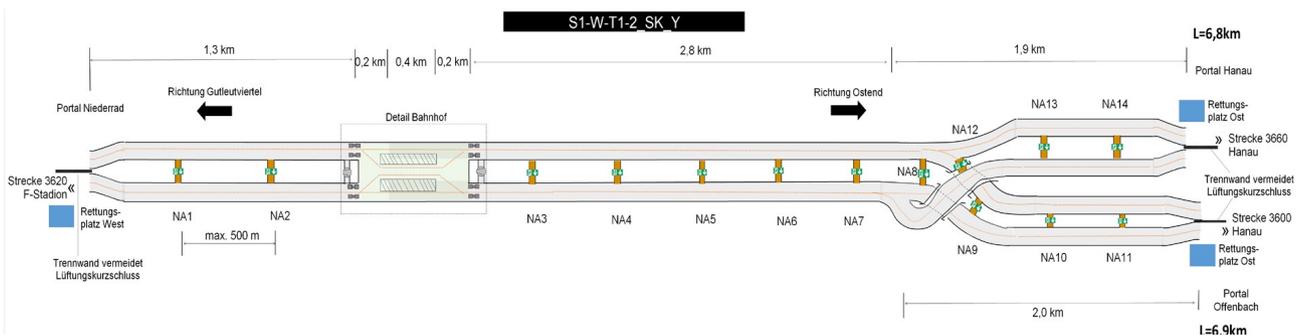
**Variante 4b:** (Abb. 75) Variante Rettungsschächte als Notausgänge statt Querschläge



**Variante 5:** (Abb. 76) zwei eingleisige, parallele Tunnelröhren mit Y- Trasse im Osten, beide Äste ebenso als eingleisige Tunnel



**Variante 6:** (Abb. 77) wie vor, jedoch Verschiebungen bei Notausgängen durch andere Lage des Tiefbahnhofs



## 3.2 Bewertung

### *Anmerkungen zu den Variantendarstellungen*

Wie im Abschn. 6.4 der DB-Studie beschrieben, soll der Rauch im Tunnel durch Einblasen von Frischluft vom jeweiligen Lüftungsbauwerk Ost bzw. West aus über die Tunnel-Ausgänge abgedrängt werden. Das stellt eine zwar kostengünstige, gleichwohl aber untaugliche Lösung der Tunnel-Entrauchung dar, wie nachfolgend dargelegt wird.

Dazu wird beispielhaft auf die Variante 6 (Abb. 77) verwiesen. Darin wird ein Brandfall im Ostabschnitt einer eingleisigen Tunnelstrecke zwischen den Querstollen NA 13 und NA 14 behandelt. Gezeigt wird, wie der entstehende Rauch durch Einblasen von Frischluft vom Lüftungsbauwerk Ost aus zum Tunnelausgang ins Freie abgedrängt wird. Die Darstellung zeigt weiterhin, wie Flüchtende über den Rettungstollen NA 14 in die Gegenröhre gelangen, wo sie von Bussen aufgenommen und in Sicherheit werden.

Allein schon aus dieser Darstellung geht hervor, dass die vorgesehenen Maßnahmen die Selbstrettung nicht gewährleisten können: Der Fluchtweg in der Ereignis-Röhre zum Rettungstollen NA 14 liegt im verrauchten Bereich und ist somit nicht nutzbar; die Zuginsassen aus dem hinter dem Brandherd liegenden Abschnitt des Zuges haben keine Möglichkeit sich in Sicherheit zu bringen. Das trifft auch auf alle anderen untersuchten Varianten zu.

Die DB-Studie stellt den Sachverhalt der Selbstrettung bei einem schweren Brand-Ereignis im Tunnel nur stark vereinfacht, unvollständig und fehlerhaft dar. Es wird darin ein statisch-stationärer Zustand zugrunde gelegt, der wirklichkeitsfremd ist. Tatsächlich sind das Brandgeschehen und die zu dessen Bekämpfung eingeleiteten Maßnahmen ein höchst komplexer und sehr dynamisch verlaufender Vorgang, wie auch aus den in der Anhang 2 dargestellten Einsatz-Ablauf-Diagrammen ersichtlich wird.

### *Kapazität der Züge in den Tunneln und im Tiefbahnhof*

Die DB-Studie macht keine definitiven Aussagen zum geplanten **Rollmaterial**. Für die Evakuierung des Tiefbahnhofs wird mit ICE-Zahlen gerechnet, allerdings auf eine merkwürdig regelwidrige Weise (siehe unten). Insbesondere wird aber an keiner Stelle ausdrücklich ausgeschlossen, dass auch Regionalverkehrszüge in den Tiefbahnhof einfahren. Vielmehr wird dies im dritten Gutachterentwurf des Deutschlandtaktes schon geplant. Stündlich soll der „HeEx 5“ die Linie von Wiesbaden über Frankfurt Tief über Hanau bis nach Bebra bedienen.<sup>19</sup> „HeEx 5“ entspricht der heutigen Linie „RE 50“ inklusive einer Verlängerung nach Wiesbaden. Für die Linie RE 50 wurden jüngst neue Züge des Typs **Alstom Coradia Stream HC** bestellt, die als fünfteilige Kompositionen in Doppeltraktion insgesamt 1.080 Sitzplätze<sup>20</sup> und eine Gesamtlänge von 262,8 m Länge<sup>21</sup> haben werden. In den ebenfalls jüngst bestellten Coradia Stream HC-Zügen für Stuttgart kommen zu 380 Sitzplätzen noch 539 Stehplätze hinzu.<sup>22</sup>

19 BMVI, SMA und Partner AG, „Zielfahrplan Deutschlandtakt, Dritter Gutachterentwurf, Hessen“, 01.2022  
[https://assets.ctfassets.net/scbs508bajse/OoSLXlspTZnCK6pDNuljQ/88603e2a3a588f0946f6c65f1e66f254/Netzgrafik\\_3\\_Entwurf\\_Hessen.pdf](https://assets.ctfassets.net/scbs508bajse/OoSLXlspTZnCK6pDNuljQ/88603e2a3a588f0946f6c65f1e66f254/Netzgrafik_3_Entwurf_Hessen.pdf)

20 04.04.2022, ÖPNV online, „Alstom liefert neue Doppelstock-Triebzüge für Main-Weser-Bahn und Kinzigtalbahn“,  
<https://www.nahverkehr-ffm.de/2022/04/04/alstom-liefert-neue-doppelstock-triebzuege-fuer-main-weser-bahn-und-kinzigtalbahn/>

21 [https://de.wikipedia.org/wiki/Alstom\\_Coradia\\_Stream](https://de.wikipedia.org/wiki/Alstom_Coradia_Stream)

22 DieFraktion, WikiReal, Aktionsbündnis gg. S21, Pressemitteilung „Verdopplung der Fahrgastzahlen mit zukünftigen Zügen überfordert den Brandschutz in den Tunneln“, 06.12.2022,  
[http://www.kopfbahnhof-21.de/wp-content/uploads/PM-Verdoppelung-ueberfordert-Brandschutz-Fraktion-Wikireal-AB\\_final.pdf](http://www.kopfbahnhof-21.de/wp-content/uploads/PM-Verdoppelung-ueberfordert-Brandschutz-Fraktion-Wikireal-AB_final.pdf)

Damit kommen für die Frankfurter Züge zu den 1.080 Sitz- noch 1.532 Stehplätze hinzu. Es werden also in Frankfurt „Fernbahn“-Tunnel Züge mit bis zu **2.612 Passagieren** unterwegs sein. Zwei Zugbegleiter und ein Lokführer hinzugerechnet ergeben für die Evakuierung im Brandfall maximal 2.615 Personen. Dies steht in starkem Widerspruch zu den in der DB-Studie maximal angesetzten 1.730 Personen wie auch zur Fahrplanstudie (siehe unten<sup>23</sup>), d.h. es ist die 1,5-fache Personenzahl anzusetzen. Dabei ist mittelfristig mit noch höheren Kapazitäten zu rechnen, da alle 11 Bahnhöfe der Linie schon jetzt Regionalzüge mit 318 m Länge aufnehmen könnten. Lediglich in Bad Soden-Salmünster müsste statt dem anstehenden Rückbau der Bahnsteiglänge von 290 m auf 280 m<sup>24</sup> ein Ausbau auf rund 320 m erfolgen.

### *Bauliche Sicherheitsstandards*

Wie zuvor dargestellt wird der Fernbahntunnel Frankfurt auch mit Regionalverkehrszügen mit bis zu 2.615 Personen befahren werden. Das ist fast das dreifache der rund 909 Personen eines ICE, dem üblichen Zugtyp in langen Tunneln. Nur in den Tunneln von Stuttgart 21 und der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm können mit bis zu 3.681 Insassen noch mehr Personen unterwegs sein. Der Fernbahntunnel hat das gleiche Höhengefälle zur Einfahrt in den Tiefbahnhof wie bei den Stuttgart 21-Tunneln. Gleich sind auch die Abstände zwischen den Rettungstollen mit dem max. zulässigen Wert von 500 m konzipiert. Das ist viel zu groß im Vergleich zu internationalen Vergleichstunneln. Zudem ist die Rettungswegbreite mit 1,4 m nahe dem Minimalwert.

Der Fernbahntunnel wird damit der **gefährlichste Tunnel-Neubau** nach den S21-Tunneln mit einem Risiko auf Höhe der Tunnel der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm. Er wird knapp **dreimal so lange Evakuierungszeiten** haben wie die Doppelröhren-Tunnel der Neubaustrecken Erfurt-Halle/Leipzig und Karlsruhe-Basel (siehe dazu auch [Anhang 5](#)).

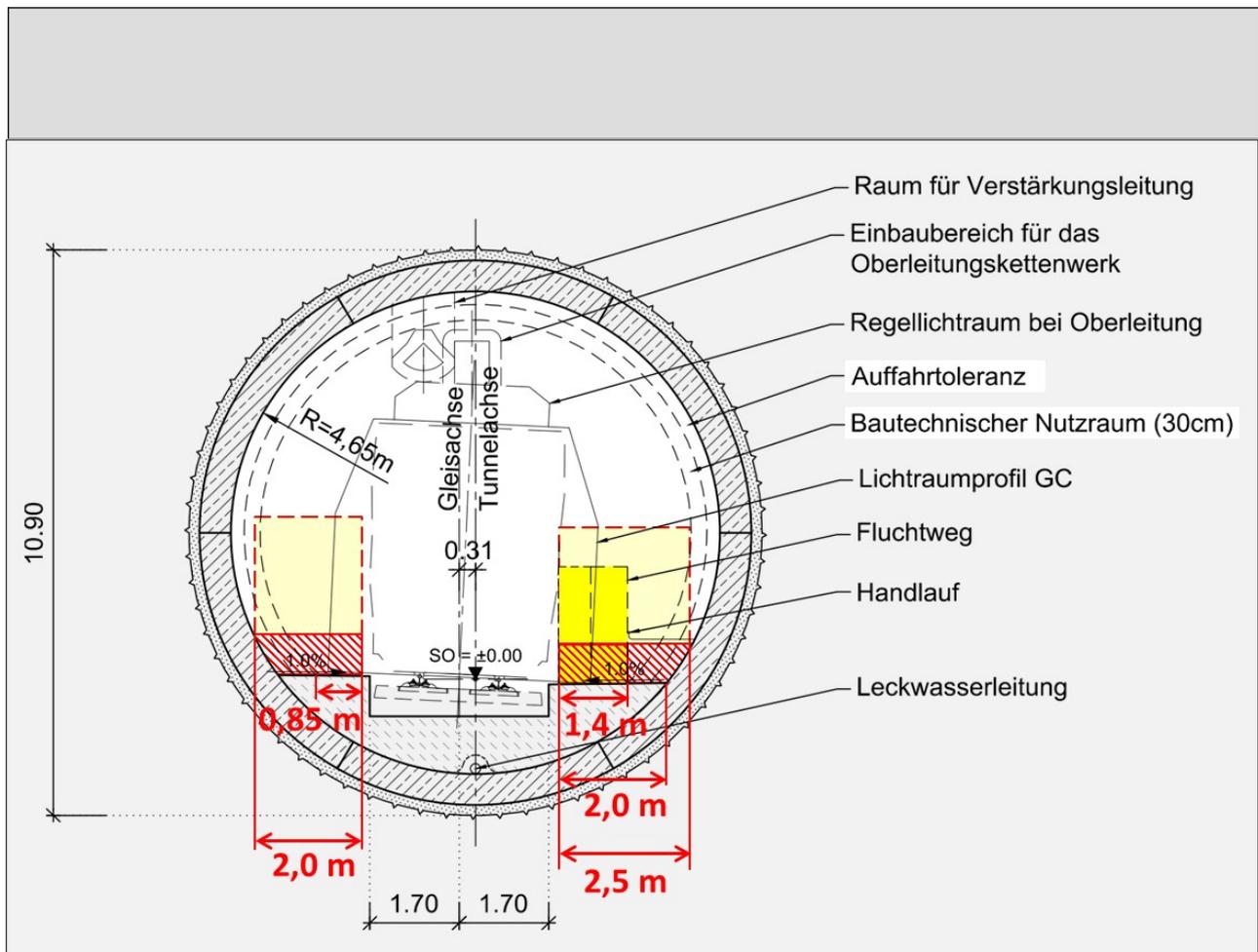
Wesentlichen Anteil daran haben neben der hohen Passagierzahl in den Regionalzügen die **nur 1,4 m breiten Rettungswege**. Sie könnten rund 2 m Breite aufweisen, wenn nicht eine große "Auffahrttoleranz" und ein großer "Bautechnischer Nutzraum" von je 0,3 m vorgehalten würden.

Die nachfolgende Planzeichnung aus der DB-Studie wurde für die Wiedergabe hier mit Vermaßungen und Schattierungen versehen. Sie zeigt gelb hinterlegt den schmalen Rettungsweg. Es ist nicht zu verantworten, dass in den ohnehin engen Doppelröhrentunneln auch noch der Rettungsweg durch unnötig große Toleranzen, Einbauten und teils sogar durch den Handlauf künstlich verengt werden. Hier ließe sich mit geringen Mitteln viel für die Sicherheit im Evakuierungsfall gewinnen. Die Auffahrttoleranz erscheint ungewöhnlich groß und sollte verringert werden können. Die Installationen der Löschwasserhydranten und Notrufsäulen nutzen idealerweise die Ausbauchung der Tunnelröhre. So könnte eine hindernisfreie Rettungswegbreite von 2 m nutzbar gemacht werden.

---

23 Die 2.612 Passagiere auf 262,8 m Länge sind auch ein krasser Unterschied zu den für den "He Ex 5" in der Fahrplanstudie der DB-Studie (S. 94) angesetzten "Flirt 3"-Zug mit rund 422 Personen auf 59 m Länge (der Signalblöcke und Bahnsteige kürzer belegt und weniger Fahrgastwechsel mit sich bringt).

24 09.06.2020, Stadt Bad Soden-Salmünster, Bekanntmachung „Ausbau und Modernisierung des Bahnhofs Bad Soden-Salmünster“ [https://www.badsoden-salmuenster.de/fileadmin/content/BSS\\_Dokumente/Amtl-\\_Bekanntmachungen/2020/Bekanntmachung\\_Bahnhofsanierung\\_Bad\\_Soden-Salmuenster.pdf](https://www.badsoden-salmuenster.de/fileadmin/content/BSS_Dokumente/Amtl-_Bekanntmachungen/2020/Bekanntmachung_Bahnhofsanierung_Bad_Soden-Salmuenster.pdf)



Die Grafik aus der DB-Studie, Anlage 5 Querschnitte: „Regelquerschnitt 1-gleisiger Tunnel, Geschlossene Bauweise“ (Datei "05\_01\_RQ\_1-gleisiger\_Tunnel\_geschlossene\_BW.pdf"- um Maße und Schattierungen ergänzt).

Schraffiert dargestellt sind auf 0,76 m erhöhte Bankette, die einen schnellen Ausstieg fördern, den ersten Rettungsweg auf 2,5 m verbreitern und auf der Rückseite des Zuges einen zweiten Rettungsweg schaffen könnten. Vor der Banketterhöhung werden hier 59 m<sup>2</sup> freier Querschnitt ausgemessen.

Achtung! Möglicherweise sind die Tunnel laut DB-Studie noch deutlich enger geplant, Dort wird auf Seite 46 ein Radius von nur 4,4 m und ein freier Querschnitt von nur 52,7 m<sup>2</sup> angegeben.

Skizziert ist auch eine **Erhöhung der Bankette** auf die 76 cm Höhe der Bahnsteige im Tiefbahnhof. Damit ist in den Regionalzügen der Ausstieg ebenerdig und für die ICEs so wie im Bahnhof. Das unterstützt einen schnellen und gefahrlosen Ausstieg. Es ergibt sich auch ein um 50 cm verbreiteter erster Rettungsweg. Auf der anderen Tunnelseite ist bisher nur ein rund 85 cm breiter Serviceweg vorhanden, der nicht als Rettungsweg nutzbar ist. Wird auch dort das Bankett erhöht und darauf geachtet, dass die Einbauten den Laufweg darüber aussparen, wäre dort ein zweiter Rettungsweg mit rund 2 m Breite herstellbar (hellgelb schattiert). Damit könnten die Reisenden den Ereignisbereich sehr viel schneller verlassen. Damit diese Vorteile wirksam werden, müssten aber auch die Fluchttüren in der Breite etwa verdoppelt werden. In der Praxis würde dann der Zugang zu einem Querstollen über **zwei Fluchttüren á 2 m Breite** erfolgen. Damit ließe sich die **Evakuierungszeit etwa halbieren**. Diese Maßnahmen sind absolut angebracht, angesichts der mit 2.612 Passagieren nahezu verdreifachten Personenkapazität der Züge gegenüber den sonst in langen Tunneln verkehrenden Fernverkehrszügen wie einem vollbesetzten ICE mit 900 Passagieren.

Die erhöhten Bankette im Tunnel sind international weit verbreitet. Eine durchgehend **flache Tunnelsohle hat wenig Nutzen**, da auch dort schwere Fahrzeuge ohnehin nicht wenden können, weil die

Zufahrt ohnehin in der freien, unbetroffenen Röhre und der Zugriff der Feuerwehr dann über die Querstollen in die Ereignisröhre erfolgt. Die Tunneldurchfahrt mit den 2,55 m breiten LKW auf dem rund 3,5 m breiten Gleisbett ist problemlos möglich. Ein flacher Tunnelboden hat allenfalls Vorteile bei der Räumung des ausgebrannten und abgekühlten Zuges, für die deutlich wichtigere Selbstrettung der Fahrgäste ist der flache Tunnelboden aber ein Hindernis. Wenn bei der Evakuierung durchgesagt wird, dass mobilitätseingeschränkte Personen in Richtung Rettungsweg 1 aussteigen, können die mobileren Reisenden von Rettungsweg 2 falls nötig den 76 cm tiefen Graben ohne große Probleme queren.

### *Brandgasausbreitung im Tunnel*

Bei einem zugrunde liegenden „DB-Bemessungsbrand für S-Bahnen und gemischten Reisezugverkehr“<sup>25</sup> wird eine Brandlast von 53 MW angesetzt.<sup>26</sup> Dabei entstehen 155 m<sup>3</sup> pro Sekunde hochgiftige Rauch- und Brandgase bzw. 9.300 m<sup>3</sup> je Minute. Die Temperaturen der Brandgase können am Brandherd bis zu 2.000 °C betragen. Durch thermischen Auftrieb steigen diese zunächst bis zur Tunneldecke auf. Weil sie hier nicht weiter nach oben ins Freie entweichen können, breiten sich diese sehr rasch im Tunnel nach beiden Seiten aus. Durch Abkühlung an den zunächst noch kalten Tunnelwänden wie auch durch Einmischen von kälterer Luft aus dem Tunnel sinken die Rauch- und Brandgase auch nach unten und füllen dabei den gesamten freien Tunnelquerschnitt mitsamt den Fluchtwegen. Damit erreichen sie die Flüchtenden, die dann darin bereits nach mehreren Atemzügen ersticken. Im Nahbereich des Brandherdes bei höheren Temperaturen  $\geq 50$  °C droht zudem der Hitzetod.

Mit der Erhöhung des Bemessungsbrands auf 53 MW geht aber auch eine extreme Verzögerung der Brandkurve einher.<sup>27</sup> Demnach erreicht der Brand in den ersten 15 Minuten noch keine nennenswerte Stärke im Unterschied zu international gültigen Modellkurven mit Vollbrand nach 5 Minuten, die auch mit der sogenannten „EBA-Kurve“ in Deutschland noch bis 2010 gültig waren und mit Brandversuchen verifiziert wurden.<sup>28</sup>

In Deutschland werden **15 Minuten Zielzeit** für die Evakuierung angesetzt,<sup>29</sup> sogar auch pauschal für Tunnel<sup>30</sup>. Ein solcher Wert hatte möglicherweise seine Berechtigung zu Zeiten von Doppelgleistunneln mit einem freien Querschnitt von rund 100 m<sup>2</sup>, diese Evakuierungszeit ist jedoch keinesfalls mehr hinreichend für enge Doppelröhren-Tunnel wie den Frankfurter Fernbahntunnel mit 52,7 m<sup>2</sup> oder 59 m<sup>2</sup> freiem Querschnitt (gemäß der o.a. grafischen Darstellung). Typische Verrauchungszeiten vergleichbarer Tunnel liegen zwischen 5 und 8 Minuten, womit sich typische Evakuierungszielzeiten von 4 bis 7 Minuten ergeben (siehe Tabelle mit Zielzeiten in Anhang 5). Daher sollte für den Fernbahntunnel als Doppelröhrentunnel eine Evakuierung in weniger als **höchstens 10 Minuten** ermöglicht werden.

---

25 [https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25\\_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf](https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf)

26 In der DB-Studie werden dem gegenüber unter Abschnitt 6.2 / Seite 123 angesetzt: „Brandlast 50 MW (aus Vergleichsprojekten) – definiert maßgebend die Absaugmenge“

27 Siehe [1] Heydemann, Engelhardt S. 43 ff.

28 Bundesanstalt für Straßenwesen, „Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln“, 08.2009, S. 9-17 auf Eisenbahntunnel achten, S. 10 f Eureka-(ZTV-ING)-Kurve, EBA-Kurve zu Beginn identisch. Quelle: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/70/file/B67.pdf>

29 Deutsche Bahn AG, Anwenderhandbuch „Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr“, 21.06.2010, S. 30: Selbstrettungsphase nach 15 Min. beendet. Quelle: [https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25\\_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf](https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf)

30 Roland Leucker, „Underground Fire Safety in Germany“ (ISTSS 2020 S. 49-64), S. 49. Quelle: <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1548288/FULLTEXT01.pdf>

## Reale Evakuierungszeiten

Die Gewährleistung der Selbstrettung in einen temporär sicheren Bereich ist bei dem favorisierten Tunnelkonzept nicht möglich. Hierbei wird eine schnellere Verrauchung in Kauf genommen, die sich gegenüber einem zweigleisigen Tunnel ergibt. Ein zweigleisiger Tunnel hat jedoch den gravierenden Nachteil, dass hierbei keine Querschläge zu dem parallel verlaufenden zweiten Bahntunnel möglich sind.

In der Praxis wurde für die Notfalleвакуierungen auf freier Strecke am 12.10.2018 bei Montabaur mit 500 Fahrgästen eine Räumzeit von 45 Minuten benötigt. Erfolgte Tests mit Notfallübungen in ICE-Tunneln wie am 11.3.2017 auf der ICE-Strecke Nürnberg – Erfurt sind unzureichend dokumentiert bezüglich der zugrunde liegenden Parameter.<sup>31</sup> Eingeschränkt vergleichbar sind solche Tests auch deshalb, weil je nach gewählter Variante des Fernbahntunnels in Frankfurt sich völlig andere Voraussetzungen für eine Übertragbarkeit ergeben. (Näheres in Anhang 4: Ausbreitung von Brandgasen im Tunnel.)

Für den Aufbau von Vertrauen in den Brandschutz der neu gebauten Doppelröhren-Tunnel trägt auch nicht bei, dass die DB neuerlich sehr restriktiv mit Evakuierungsübungen in den Tunneln ist. So wurden zuletzt bei den Brandschutzübungen zur Neubaustrecke Wendlingen-Ulm im Unterschied zur Vergangenheit Pressevertreter nicht mehr zugelassen und für die Feuerwehr wurde ein Maulkorb sowie ein Fotografierverbot verhängt,<sup>32</sup> Akteneinsichtsgesuche zu den Übungen werden abgelehnt.

Die **Zeitdauer für die Evakuierung im Tunnel** wird vor allem von vier Parametern bestimmt:

1. Personenzahl
2. Breite des Rettungswegs neben dem Zug
3. Abstand der Fluchttüren
4. Breite der Fluchttüren in die Rettungsstollen (siehe Anhang 4 bis 6).

Szenario DB-Studie	Radius	Querschn.	Param. 2	Param. 3	Param. 4	Zeitdauer Worst Case 1	Zeitdauer Worst Case 2
Planzeichnung	4,65 m	59 m <sup>2</sup>	1,7(1,4)m	500 m	2 m	25,1 Min.	25,2 Min.
DB-Studie S. 46	4,4 m	52,7m <sup>2</sup>	1,5(1,2)m	500 m	2 m	27,6 Min.	29,0 Min.
Plan+Bankett	4,65 m	59 m <sup>2</sup>	2,5+2 m	250 m	2+2 m	10,0 Min.	–

**Evakuierungszeiten im Fernbahntunnel nach NFPA 130 für drei Szenarien** mit je 2.615 Insassen pro Zug und den Tunnelparametern lt. Plan bzw. S. 46 der DB-Studie, die Rettungswegbreiten sind (teils durch Einbauten verengt). Nur mit erhöhten Banketten, doppelten Fluchttüren und halbiertem Abstand der Rettungsstollen ist eine Evakuierung in 10 Minuten erreichbar.

Für den Fernbahntunnel wird nun die Evakuierung ähnlich dem Tiefbahnhof nach **NFPA 130**-Standard berechnet (siehe obige Tabelle). Angesetzt wird der klassische „Worst Case“, also der Fall, dass ein Zug mit dem brennenden Ende vor einem Rettungsstollen zu stehen kommt. Die Reisenden müssen dann auf dem engen Rettungsweg-Korridor neben dem Zug erst den Ereignisbereich verlassen. Nach dem Zugende können sie sich über den Tunnel verteilen, um sich dann durch die Fluchttür und den Rettungsstollen in die sichere zweite Tunnelröhre zu retten.

31 <https://www.landkreis-coburg.de/1836-0-Notfalluebung-im-ICE-Tunnel-Reitersberg.html>

32 24.10.2022, Nürtinger Zeitung, „ICE-Trasse Wendlingen-Ulm: Reicht der Brandschutz?“, Abdruck unter: [https://feuerwehr-wendlingen.de/news/?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=2294&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=94fab9d5a047b78b5f7af56400c7ec98](https://feuerwehr-wendlingen.de/news/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=2294&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=94fab9d5a047b78b5f7af56400c7ec98)

Für den Fernbahntunnel ergibt sich wie für andere deutsche Doppelröhrentunnel ein zweiter noch gefährlicherer *Worst Case*. Und zwar dann, wenn der Zug mit seinem freien Ende neben einer Engstelle hält, die typischerweise kurz vor einem Rettungsstollen liegt. Wenn er dann am hinteren Zugende brennt, müssen sich alle Insassen durch den Engpass hindurch zwängen. Diese Zeit ist in der Regel deutlich länger als bei dem längeren Weg durch den freien Tunnel im ersten *Worst Case*. Es ergeben sich schlimmstenfalls **25 bis 29 Minuten Evakuierungszeit**. Dabei wurde mit der üblichen Reaktionszeit von 2 Minuten und zurückhaltend geschätzten 0,4 Minuten Zeit bis zur Staubildung am Zugende gerechnet.

Unter der Voraussetzung der günstigeren Parameter laut Planzeichnung und den vorgeschlagenen Maßnahmen einer Erhöhung der Bankette (dadurch auch Schaffung eines zweiten Rettungswegs hinter dem Zug), doppelten Fluchttüren und halbiertem Abstand der Rettungsstollen werden **10 Minuten** Evakuierungszeit erreicht (siehe Tabelle mit Evakuierungszeiten nach NFPA 130 in Anhang 6). Der Engpass wurde hier beseitigt, so dass der „*Worst Case 2*“ entfällt.

Es sind also erhebliche Anstrengungen nötig, um für die vielen Personen eines Regionalzugs im Fernbahntunnel ein **akzeptables Sicherheitsniveau** zu erreichen.

### *Löscheinsatz der Feuerwehr*

Für die Löschwasserversorgung in den Tunneln sind Trockenleitungen mit Hydranten im Abstand von max. 300 m zur Wasserentnahme entlang der Tunnelstrecken vorgesehen.<sup>33</sup> Die jeweils günstigste Entnahmestelle muss im Brandfall ebenso identifiziert werden wie die Einspeisestelle, die sich in der Regel neben einem geländeseitigen Notausgang befindet. Bereits dadurch ist deren Nutzen fragwürdig, vor allem aber wegen der langen Zeitdauer, die im Einsatzfall zur Befüllung mit Löschwasser notwendig ist. Dazu eine Beispielrechnung:

Eine 2,5 km lange Löschwasserleitung DN 100 hat einen Wasser-Inhalt von 22 m<sup>3</sup>. Das Befüllen der Löschwasserleitung mit der Standard-Löschwasser-Pumpe für einen Arbeitsdruck von 6 bar der Feuerwehr mit einer Förderleistung von 850 l/Min. dauert 26 Minuten! Rechnet man die Zeitspanne zum Anschließen der mobilen Pumpe an die Löschwasserleitung und die Anfahrtzeit der Feuerwehr bis zum Tunnelportal bzw. dem geländeseitigen Notausgang von 15 Minuten hinzu, so würden bereits 45 Minuten ab Eingang der Alarmierung vergangen sein .

Nicht eingerechnet sind hierbei folgende erschwerende Faktoren:

- Bei einem Brand an der elektrischen Anlage des ICE muss Löschschaum anstelle von Löschwasser eingesetzt werden.
- Bei einem schweren Brand ist es aufgrund der räumlichen Enge im eingleisigen Tunnel und der starken Hitze-Einwirkung kaum möglich, nahe genug an den Brandherd heran zu kommen.

Das Feuer wird schließlich von selbst erlöschen, wenn alles Brennbares aufgezehrt ist. Die dabei verursachten schweren Schäden am Tunnel-Bauwerk machen dann eine monatelange Instandsetzung erforderlich. Während dieser Zeit ist dort kein Zugverkehr mehr möglich.<sup>34</sup>

33 Siehe DB-Studie S. 114 bzw. Abschnitt 5.7.8

34 Beispiele: Nach einem Brand im Eurotunnel am 11.9.2008, mit 14 Verletzten und schwersten Bauwerksschäden auf 600 m Länge wurde die betroffene Tunnelröhre über fünf Monate für den Zugverkehr gesperrt. Siehe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Eurotunnel#Unf%C3%A4lle/Pannen>  
Nach der Katastrophe von Kaprun war die Anlage über ein Jahr lang gesperrt. Siehe: [https://de.wikipedia.org/wiki/Gletscherbahn\\_Kaprun#Brandkatastrophe\\_im\\_Jahr\\_2000](https://de.wikipedia.org/wiki/Gletscherbahn_Kaprun#Brandkatastrophe_im_Jahr_2000)

### 3.3 Bauliche Alternativen

#### *Unterstützung der Evakuierung*

Um eine sichere Entfluchtung aus einem brennend im Tunnel liegendegebliebenen Zug zu ermöglichen, müssten die Abstände zwischen den einzelnen **Rettungstollen** (Querschläge) auf „Best Practice“-Standards verringert werden. Bei einem Abstand von 250 m wäre ein weiterer Rettungstollen zwischen je zwei der im Abstand von 500 m geplanten Querschläge erforderlich. Damit würde die längste Fluchtwegstrecke entsprechend halbiert und eine Entfluchtungszeit von unter 10 Minuten ermöglicht, wie in der o.a. Tabelle dargestellt.

Wenn sich die **Fluchtwege** im Tunnel auf Höhe der Gleise befinden, die Türen der Wagen hingegen sind jedoch auf **Bahnsteighöhe**, so wird das Verlassen des Zuges im Tunnel erheblich erschwert. Die Überwindung des Höhenunterschiedes von ca. 0,9 m ohne Leiter oder Trittstufen ist vor allem für Ältere kaum zu schaffen; für mobilitätseingeschränkte Personen ohne fremde Hilfe sogar ein unüberwindbares Hindernis.

Weitere bauliche Maßnahmen wären:

**Ein dritter Fluchttunnel** bietet einen sicheren Rettungsweg unabhängig von der zweiten Röhre, in der der Verkehr erst gestoppt werden muss (siehe z.B. zweite S-Bahn-Stammstrecke München, Eurotunnel, Bohai Tunnel).<sup>35</sup>

**Rettungsschächte** an die Oberfläche ermöglichen kurze Rettungswege ggf. anstelle von Querschlägen, was jedoch in der Frankfurter Innenstadt schwer realisierbar ist.

#### *Unterstützung der Entrauchung*

Hierfür sind mehrere zusätzliche Optionen denkbar, die international auch zum Einsatz kommen:

- **Belüftungskanäle** werden parallel zu den Tunneln gebaut, mit steuerbaren Einlässen, mit deren Hilfe Rauch gezielt abgedrängt werden kann.
- **Belüftungsventilatoren** kommen häufig zum Einsatz, installiert im Tunnelinneren in regelmäßigen Abständen für die Rauchabdrängung im Brandfall.
- **Tunneltore** werden vereinzelt eingesetzt (z.B. Gotthard-, Lötschberg Basistunnel, Guadarrama-tunnel), um die Rauchausbreitung abschotten zu können.
- **Rauchabzugsschächte** für die schnelle Abführung von Rauch aus dem Tunnel.

---

35 Siehe dazu: [https://wikireal.info/wiki/Stuttgart\\_21/Brandschutz\\_Tunnel#Sicherheitseinrichtungen](https://wikireal.info/wiki/Stuttgart_21/Brandschutz_Tunnel#Sicherheitseinrichtungen)



Seiten 4,25 m, womit sich wieder die 17 m Gesamtbreite ergeben, die als Mindestmaß in der Leistungsbeschreibung vorgesehen waren.

Zur Selbstrettung sind fünf Treppenanlagen (inklusive Feuerwehraufzug) pro Mittelbahnsteig über die Gesamtlänge von 420 m vorgesehen. Am westlichen Ende des Tiefbahnhofes ist kein Treppenhaus vorgesehen. Die Feuerwehraufzüge befinden sich am östlichen Ende.

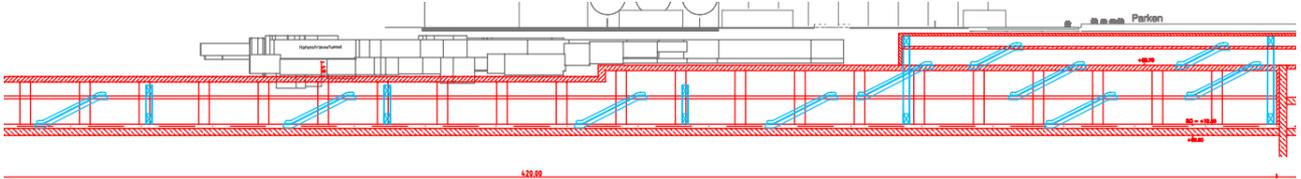


Abbildung: Planausschnitt aus Unterlage 6.3.06. Aus dieser Unterlage ergibt sich eine Entfernung von 70 m vom westlichen Ende des Tiefbahnhofes (nicht mehr im Bildausschnitt enthalten) zum nächsten Treppenbauwerk (links im Bildausschnitt).

Eine mechanische Dauerlüftung ist lediglich für die Technikräume vorgesehen. Eine natürliche Durchlüftung der Bahnsteigebene erfolgt über Schwallbauwerke an den beiden Stationsenden.

Die Löschwasserversorgung erfolgt über Nassleitungen und Hydranten. Auf der B-Ebene (mit kommerziellen Flächen) soll eine Sprinkleranlage installiert werden. Die beiden Mittelbahnsteige sollen jeweils einen Feuerwehraufzug erhalten.

Bezüglich der Entrauchung werden in der DB-Studie aufgeführt:

- Brandszenario 1 – Brand im Verzweigungsbereich / Kreuzungsbereich
- Brandszenario 2 – Brand in Station / Gepäcksbrand am Mittelbahnsteig
- Brandszenario 3 – Brand in Tunnelröhre

Nachfolgend wird die Passage zur Ermittlung der Personenzahl pro Bahnsteig aus der DB-Studie wiedergegeben, die angetragenen Korrekturen und Hinweise werden im nachfolgenden Abschnitt besprochen.

**5.8.1.1.1 Rechnerisch anzunehmende Personenzahlen bei der brandschutztechnischen Beurteilung und Bemessung**

Für die Bemessung der Bahnsteige ist immer von den **größtmöglichen Personenzahlen im Regelbetrieb** auszugehen. Diese Zahlen wurden vom Anlagenbetreiber ermittelt. Die am Bahnsteig anzunehmende Personenzahl zur brandschutztechnischen Beurteilung und Bemessung wird mit der „EBA-Formel“ gem. „Leitfaden Brandschutz in Personenverkehrsanlagen“ ermittelt:

$$P_{\max} = n (P_1 + P_2) + P_3$$

- n = Zahl der Gleise am Bahnsteig
- P1 = zul. Sitzplätze der längsten gleichzeitig am Bahnsteig haltenden Zugeinheit/en
- P2 = zul. Stehplätze der längsten gleichzeitig am Bahnsteig haltenden Zugeinheit/en
- P3 = 30% aus der Summe P1 + P2

*(Eine Mittelung bzw. Gewichtung verstößt gegen die geforderte Maximalzahl)*

*Diese Rechnung wurde hier für ICES korrigiert. Aber der größte Fehler ist, von ICES auszugehen, da die schon bestellten Regionalzüge viel mehr Kapazität haben.*

*900\* + 900\*\**

- P1 + P2 = ~~1.730~~ + ~~1.730~~ = ~~3.460~~ Personen (Sitz- und Stehplätzen)

- P3 = Personen (Wartende) = ~~1.038~~ Personen

*540*

\*Angaben DB: ICE 3 (Doppeltraktion) 2 × 419 – 450 Sitzplätze → ~~gew.: 900 Sitzplätze~~

ICE 5 1 × 830 Sitzplätze → ~~gew.: 830 Sitzplätze~~

\*\*Angaben DB: Max. Auslastung nach Zulassungsregel 200% (750 Sitzplätze = 750 Stehplätze); hier: ~~1.660~~ – ~~1.000~~ Stehplätze

*830 900*

max.: **900**

→ ~~gew.: 1.730 Stehplätze~~

Anzahl Personen für Entfluchtung im Notfall: **900 + 900 540 4.140**

$P_{\max} = n \times (P_1 + P_2) + P_3 = 2 \times (\del{1.730} + \del{1.730}) + \del{1.038} = \del{4.498} Pers. (2 vollbesetzte Züge)$

Auszug von Seite 116 aus der DB-Studie, also dem "Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie" vom 22.02.2021 mit angetragenen Korrekturen (siehe Folgeabschnitt).

## 4.2 Bewertung

### *Berechnung der Personenzahl*

Es überrascht, dass ausgerechnet die für den Brandschutz so zentrale Berechnung der Personenzahl pro Bahnsteig mit so vielen systematischen Fehlern behaftet ist. Allein die Berechnung der letzten Zeile würde 7.918 Personen statt der dargestellten 4.498 Personen ergeben. Aber tatsächlich werden verschiedentlich die Sitz- und Stehplätze durcheinander gebracht. Unzulässig werden mehrfach Werte gewichtet oder vielmehr gemittelt („gew.“, richtiger: „gem.“). Dies widerspricht den Brandschutz-Grundregeln und dem auch in der DB-Studie unmittelbar zuvor zitierten Grundsatz, immer von der „größtmöglichen Personenzahl“ auszugehen.

Grob fehlerhaft ist es aber vor allem, dass ICEs mit 1.730 Passagieren als maßgebliche Belastung angesetzt wurden. Denn wie bereits dargestellt, sind Regionalzüge geplant, die mindestens 2.612 Passagiere in den Bahnhof bringen.

Die korrekte Berechnung nach der EBA-Formel geht also von 2.612 Personen aus, womit sich ergibt:

$$P_{\max} = n \times (P1 + P2) + P3 = 2,3 \times 2.612 = \mathbf{6.008 \text{ Pers.}}$$

Aufgrund des Fehlers in der DB-Studie bei dem Ansatz der wartenden Passagiere (siehe Korrektur oben in der Rechnung) schlagen die 50 % mehr Fahrgäste im Zug hier nicht ganz durch auf die Fahrgäste auf dem Bahnsteig. Richtig gerechnet wären dort mindestens **um 1/3 mehr Personen** anzusetzen als in der DB-Studie zugrunde gelegt.

### *Kapazitätsanalysen der Treppenaufgänge für die Evakuierung*

Mit den geplanten Regionalzügen kommen 1/3 mehr Personen auf die Bahnsteige. Damit sind auch die Treppenanlagen nicht mehr ausreichend für die Evakuierung der Reisenden im Brandfall. Bei gleicher Berechnung wie in der DB-Studie (Seite 166 ff) beträgt nun die Anzahl der für die Evakuierung nötigen Gehspuren

$$6.008 / 125,2 + 2 = 49,9$$

also **50 Gehspuren** statt bisher 38. Daraus folgt, dass die bisher geplanten 5 Treppenanlagen mit zusammen 40 Gehspuren nicht mehr ausreichen. **Zwei zusätzliche Treppenanlagen wären nötig.**

### *Brandfallszenarien und Entrauchung*

Prinzipiell kann man den Verfassern der DB-Studie durchaus zubilligen, dass eine Reihe von Einzelfragen erst im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens geklärt werden müssen. Allerdings hätte die DB-Studie bereits auf die Komplexität der Situation im Tiefbahnhof hinweisen müssen (siehe oben im Abschnitt 2.3). Aufgrund von vergleichbaren Projekten ist für die Entrauchungssteuerung mit mehr als 20 verschiedenen Brandfallszenarien zu rechnen, die auch im laufenden Betrieb regelmäßig auf Funktion geprüft werden müssen.

In der DB-Studie für den Fernbahntunnel ist von drei relevanten Brandfallszenarien die Rede, womit Brandentstehungen in einer Tunnelröhre, dem Tunnel-Verzweigungs-/Kreuzungsbereich und in der Station / am Bahnsteig gemeint sind. Dieses ist jedoch eine unzulässige Vereinfachung, da sich für die Steuerung der Entrauchungsanlagen in Verbindung mit Bereichsabtrennungen durch Rauchschürzen eine Vielzahl von sehr komplexen Varianten ergibt, die in einer sog. Brandfallsteuermatrix zusammen

gestellt werden muss. Die jahrelangen Bauverzögerungen am Flughafen Berlin-Brandenburg waren im wesentlichen darauf zurück zu führen. Hier bei geht es nicht nur um eine solide fachliche Planung, wozu z.B. auch Brandfallsimulationen im Labor gehören, sondern auch um eine langwierige Inbetriebnahme zum Test der Funktionsfähigkeit und der Beseitigung von erfahrungsgemäß zahlreichen Mängelpunkten. Besonders erschwerend ist hierbei die notwendige, interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachleute aus Ingenieurbüros, Behörden und Prüfungsinstitutionen.

### *Feuerwehraufzüge und Nutzung weiterer Aufzüge*

Feuerwehraufzüge sind an allen Gleisen am östlichen Ende des Tiefbahnhofes vorgesehen, was im vorliegenden Fall wegen des Höhenunterschiedes von 28 m vom Gleiskörper des Fernbahnhofes zur Haupthalle auch notwendig ist.

Der hierfür notwendige Aufzugvorraum ist im vorliegenden Fall auch als sicherer Bereich für eine Fremdrettung von mobilitätseingeschränkten Personen erforderlich. Deshalb muss die gesamte Breite eines Bahnsteiges als Aufzugvorraum genutzt werden. Für darauf angewiesene Personen, die sich am anderen Ende des 420 m langen Bahnsteiges aufhalten, ergibt sich damit auch eine dem entsprechende Distanz. Im ungünstigen Fall eines Brandes im Mittelteil des Tiefbahnhofes würde sogar dieser Fluchtweg für mobilitätseingeschränkte Personen versperrt.

In der DB-Studie wird hingegen ein Weiterbetrieb der pro Bahnsteig vorhandenen vier Aufzüge zur Selbstrettung mobilitätseingeschränkter Personen in Betracht gezogen. In der DB-Studie heißt es dazu unter 5.8.1.3.1. Personenaufzüge (Seite 120):

*„In einer ersten konservativen Betrachtung werden die Aufzüge im Brandfall nicht betrieben bzw. benützt. Unter gewissen brandschutztechnischen Vorkehrungen (Verglasung, Brandschutztüren) können die Aufzüge zur Selbstrettung mobilitätseingeschränkter Personen aber kontrolliert weiterbetrieben werden.“*

Diese Überlegungen sind definitiv nicht umsetzbar, wozu auch auf die in Abschnitt 2.3 genannten, grundsätzlichen Probleme hingewiesen wird.

## Referenzen

[1] **Heydemann**, Hans; **Engelhardt**, Christoph. 2018

Risiken und Auswirkungen eines Brandes bei Stuttgart 21 und Bewertung des aktuellen Brandschutzkonzepts der DB AG

Auftraggeber: Aktionsbündnis gegen Stuttgart 21

Quelle: <http://www.kopfbahnhof-21.de/wp-content/uploads/S21-Brandschutzgutachten-2.-Auflage-Webaufl%C3%B6sung.pdf>

### *Internet-Quellen*

**Ingenieure 22 (Stuttgart)** mit dem Thema Sicherheit und Brandschutz

<http://ingenieure22.de/cms/index.php/projekte-studien/sicherheit-und-brandschutz>

**Wikireal - das Faktencheck-Portal** mit Beiträgen zu Stuttgart 21 und Zweite S-Bahn-Stammstrecke in München

<https://wikireal.info>

**Umwelt und Klima Rhein-Main – Informationsdienst für regionale Umweltthemen** mit Bewertung zur Machbarkeitsstudie der DB-Netz zum Fernbahntunnel

<https://umwelt-klima-rheinmain.net/materialien/fbt/machbarkeitsstudie/>

# Anhang

## Anhang 1: Ausgewählte Brandereignisse<sup>1</sup>

16.05.2010 **Frankfurt Hbf:** ICE1-Triebkopf mit Schwelbrand

28.09.2011 **Offenbach Ost:** S-Bahn-Brand im Berufsverkehr | Lokführer verletzt

21.11.2013 **Frankfurt Hbf:** ICE-Brand mit Rauchentwicklung wg. techn. Defekt an der Lok | Zug evakuiert

07.01.2015 **Frankfurt a.M.:** Brand im Maschinenraum der E-Lok eines unbesetzten DB-Reisezuges | Oberleitung mit Wasser gekühlt

13.02.2015 **Frankfurt a.M.:** Qualm unter S-Bahn; Ursache nicht bekannt | Evakuierung Zug | Streckensperrung 30 min

18.04.2015 **Offenbach:** Dichter Rauch aus S-Bahn-Tunnel | hölzerner Gleis-Übergang in Brand | S-Bahn-Betrieb unterbrochen.

16.06.2015 **Frankfurt a.M.:** S-Bahn-Tunnel wg. Verrauchung gesperrt, S-Bahn-Betrieb eingestellt | Ursache: Müllbrand im Tunnel

08.12.2015 **Frankfurt a.M.:** ICE Kabelbrand auf Wagendach | nicht mehr verkehrsbereit | 450 Fahrgäste mit Bussen zum Hbf

12.05.2016 **Frankfurt a.M.:** S-Bahn-Tunnel Brand an hölzernem Laufsteg bei Bauarbeiten | Rauch in Haltestelle | Signalanlage beschädigt

16.10.2017 **Frankfurt-Flughafen Fernbahnhof:** ICE-Brand an überhitztem Motor | starker Rauch in Bahnhofshalle | Bahnhof gesperrt | Zug geräumt und abgeschleppt | Reisende mussten mit anderen Zügen weiterfahren | ein Bahnmitarbeiter ins Krankenhaus

11.12.2017 **Frankfurt-Flughafen Fernbahnhof:** Fehllarm durch technischen Defekt | Bahnhof wird geräumt

07.03.2019 **Frankfurt a.M.:** ICE Rauchentwicklung in Toilette | Zug geräumt und abgeschleppt | vier Verletzte im Krankenhaus

13.08.2019 **Frankfurt-Flughafen Fernbahnhof:** Rauchentwicklung an IC-Zug wegen heißgelaufener Bremse | Züge wurden umgeleitet | Feuerwehr-Einsatz

26.02.2021 **Frankfurt Süd:** Brand in ICE-Triebwagen wegen beschädigter Oberleitung, angeblich durch einen Vogel verursacht | Zug wurde geräumt, keine Verletzten | bei Eintreffen der Feuerwehr war Feuer bereits erloschen | Strecke gesperrt | erhebliche Behinderungen des S-Bahn-Verkehrs

---

<sup>1</sup> Für eine detailliertere deutschlandweite Darstellung siehe: [https://wikireal.info/wiki/Stuttgart\\_21/Trassierung/ICE-Br%c3%a4nde](https://wikireal.info/wiki/Stuttgart_21/Trassierung/ICE-Br%c3%a4nde)

## Anhang 2: Einsatzszenarien und Ablaufdiagramme

Nach jedem Brandalarm werden mehrere parallele Abläufe angestoßen. Dieses betrifft sowohl automatisierte **Funktionsabläufe** bei technischen Anlagen als auch organisatorisch-logistische Maßnahmen. Letztere beinhalten auch **Verfahrensschritte**, die ad-hoc-Entscheidungen erfordern. Dabei wird stets unterstellt, dass tatsächlich ein Brandfall vorliegt, auch wenn es sich dabei mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit um einen Fehlalarm handeln kann.

Eine offene Frage ist, inwieweit bei einem Feuealarm seitens des **Zugführers** entschieden werden kann, ob eine Weiterfahrt aus dem Tunnel heraus in den oberirdischen Teil der Bahnanlage oder ggf. in den Tiefbahnhof erfolgt. Dazu wäre eine Vor-Ort-Prüfung durch Zugbegleiter notwendig, um elektronische Anzeigen visuell abzugleichen und zu bewerten. Die per Telekommunikation einbezogene DB-Betriebsleitstelle kann hierbei nur unterstützende Hinweise an den Zugführer zur Relevanz des Ereignisses geben.

Für den Fall eines Nothalts im Tunnel muss eine realistische Zeitdauer der Evakuierungsmaßnahmen bis zur Rettung der Insassen (einschließlich mobilitätseingeschränkter Personen) in einen sicheren Bereich kalkuliert werden.

### Zeitlicher Engpass 1: Verlassen des Zuges

Alle Insassen müssten ihr Gepäck zurück lassen. Ein schneller Ausstieg aus dem Zug wäre nur dann möglich, wenn auf der Fluchtwegseite eine Höhenanpassung auf zumindest 76 cm oder besser auf 96 cm erfolgt, was mit Betonfertigteilen prinzipiell möglich ist. Ansonsten müsste der Ausstieg mit vorhandenen (!) Notleitern erfolgen. Zu berücksichtigen ist auch ein gewisser Anteil von mobilitätseingeschränkten Personen. Bei max. vier Zugbegleitern in einem voll besetzten ICE ist von deren Seite nur sehr begrenzt eine Hilfestellung beim Notausstieg möglich.



Foto oben: Rettungsübung im ICE-Tunnel. Ein Aussteigen in der Theorie. Das Vorhandensein einer Leiter ist hier wirklichkeitsfremd.



Foto oben: Ein Aussteigen im Ernstfall auf freier Strecke, was nur mit fremder Hilfe möglich ist. Fazit: Selbst für junge und kräftige Personen ist dieses erschwert und zeitraubend.

## Zeitlicher Engpass 2: **Verlassen des Rettungsweges neben dem Zug**

Ein noch größeres Problem ist das Verlassen des Rettungswegs neben dem Zug, im Zweifelsfall müssen alle 900 oder wenigstens 450 Insassen durch den 1,4 m (oder optimal 2 m) Engpass neben dem Zug flüchten. Sobald sich die Aussteiger aus mehreren Türen am Zugende vereinen, bestimmt der hierbei entstehende Stau die resultierende Räumzeit.

Notwendig wäre bei einem schweren Brandunfall, dass alle Insassen des Zuges rechtzeitig über den Fluchtweg zumindest eine Schleuse erreichen, die mit einer rauchdichten Tür versehen und zugleich leicht zu öffnen ist. Im Unterschied zum Regionalverkehr haben aber beim Fernverkehr ein Großteil der Personen auch schwere Gepäckstücke. Diese müssten konsequent zurück gelassen werden, um die Evakuierung nicht zu behindern. Das heißt: Ohne qualifiziertes, dafür geschultes und in ausreichender Anzahl vorhandenes Zugpersonal ist ein ansonsten schnelles und eigenständiges Verlassen der Fahrgäste in einen temporär sicheren Bereich praktisch unmöglich.

Für das **Eintreffen von Feuerwehrkräften** am Brandort müssen Zeiten bis zum Eintreffen am Tunnelportal sowie weitere Minuten bis zum Brandort (mit schwerem Atemschutzgeräte) kalkuliert werden.

Die nachfolgenden Einsatz-Ablauf-Diagramme zeigen auch, dass die Entrauchungsanlage aus einsatztaktischen Gründen erst im Rahmen der Löscharbeiten eingeschaltet wird, d.h. erst zu einem Zeitpunkt, an dem die Selbstrettung von Personen bereits (weitestgehend) erfolgt ist. Eine automatisch ausgelöste Entrauchung kann nämlich unter ungünstigen Umständen auch die Brandgase in die falsche Richtung treiben, d.h. auf den benötigten Flucht- und Rettungsweg.

Wenn eine Entrauchungsanlage vorhanden ist, steht diese in der Regel erst nach Anweisung des Feuerwehr-Einsatzleiters zur Verfügung und auch nur dann, wenn im Tunnel selbst Strahlventilatoren installiert sind. Muss eine geforderte Frischluftzufuhr hingegen von einem mehrere Kilometer entfernt liegenden Lüftungsbauwerk eingeblasen werden, vergeht eine unzulässige Zeitspanne. Allein die Hochlaufzeit der Lüfter beträgt ca. drei Minuten. Außerdem muss die im Tunnel stehende Luftmasse erst auf die Fördergeschwindigkeit beschleunigt werden, was eine weitere Zeitverzögerung von mehreren Minuten ergibt. Ein Abdrängen des Rauches in Richtung der Tunnel-Ausgänge kann also frühestens 6 bis 7 Minuten nach dem Zuschalten der Axial-Gebläse einsetzen. Dieses wäre selbst bei ferngesteuerter Einschaltung durch die DB-Betriebs-Leitzentrale im Frühstadium des Brandes zu spät, um noch Menschenleben retten zu können.

### *Automatische Brandmeldungen als Unsicherheitsfaktor*

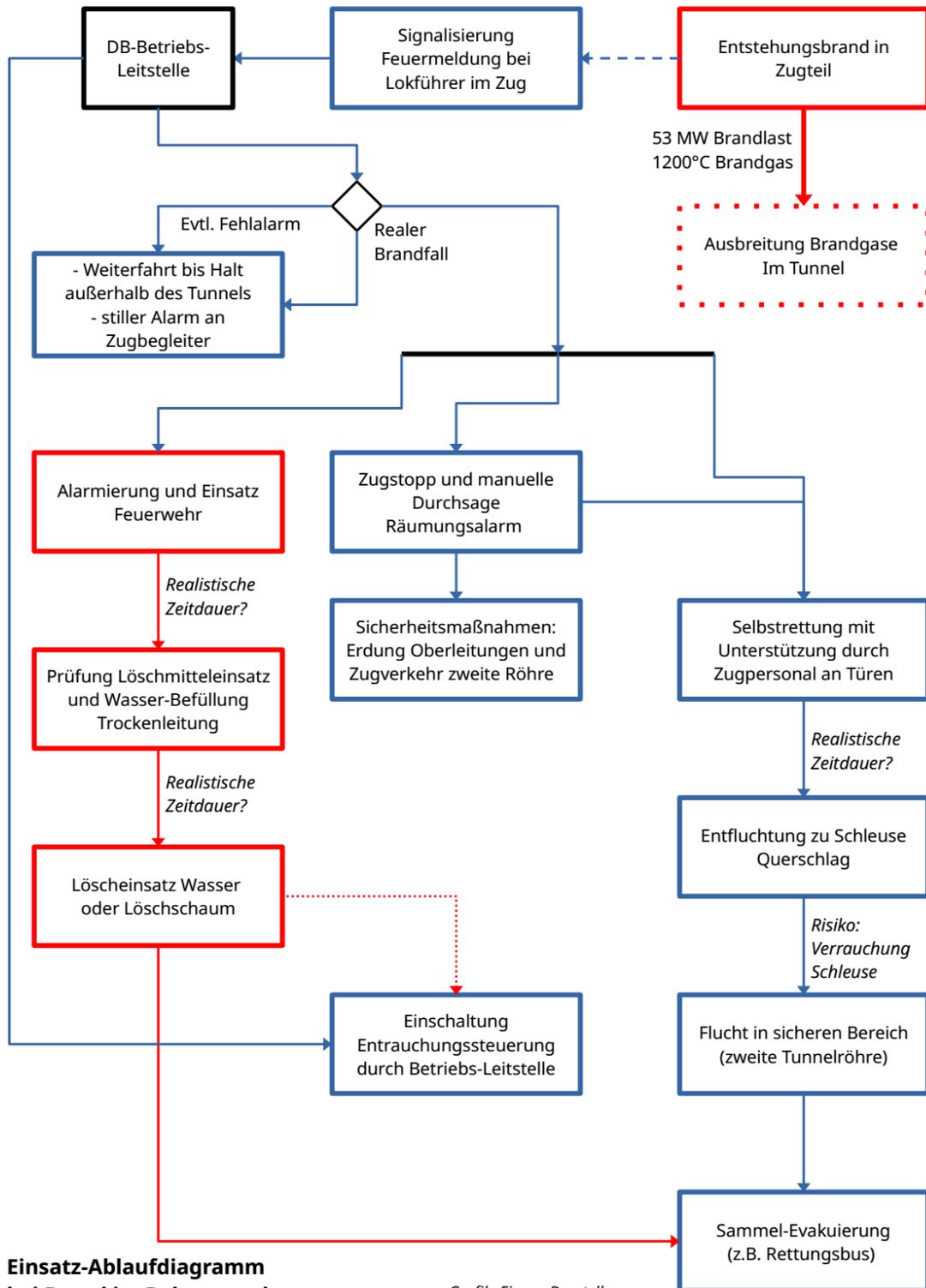
Die Auslösung eines im Tiefbahnhof installierten Rauchmelders, der auf die Brandmeldeanlage aufgeschaltet ist, führt prinzipiell zur automatischen Durchschaltung an die Feuerwehr. Erst durch die Einsatzkräfte der Feuerwehr vor Ort wird das Vorliegen eines Fehlalarmes verbindlich festgestellt und ein dadurch automatisch ausgelöster Räumungsalarm aufgehoben.

Bedenklich ist es jedoch, wenn – wie im Fall von Stuttgart 21 vorgesehen – eine Brandmeldung nicht automatisch zur Alarmierung der Feuerwehr führt, weil unterstellt wird, dass der Betreiber kleinere Brände selbst beherrschen kann.<sup>2</sup> Dieses ist nach unserer Auffassung nur vertretbar, wenn vor Ort eine qualifizierte Werkfeuerwehr vorhanden ist, die schnell beurteilen kann, ob tatsächlich ein Brandfall vorliegt und ob dieser ohne Alarmierung der städtischen Berufsfeuerwehr gelöscht werden kann.

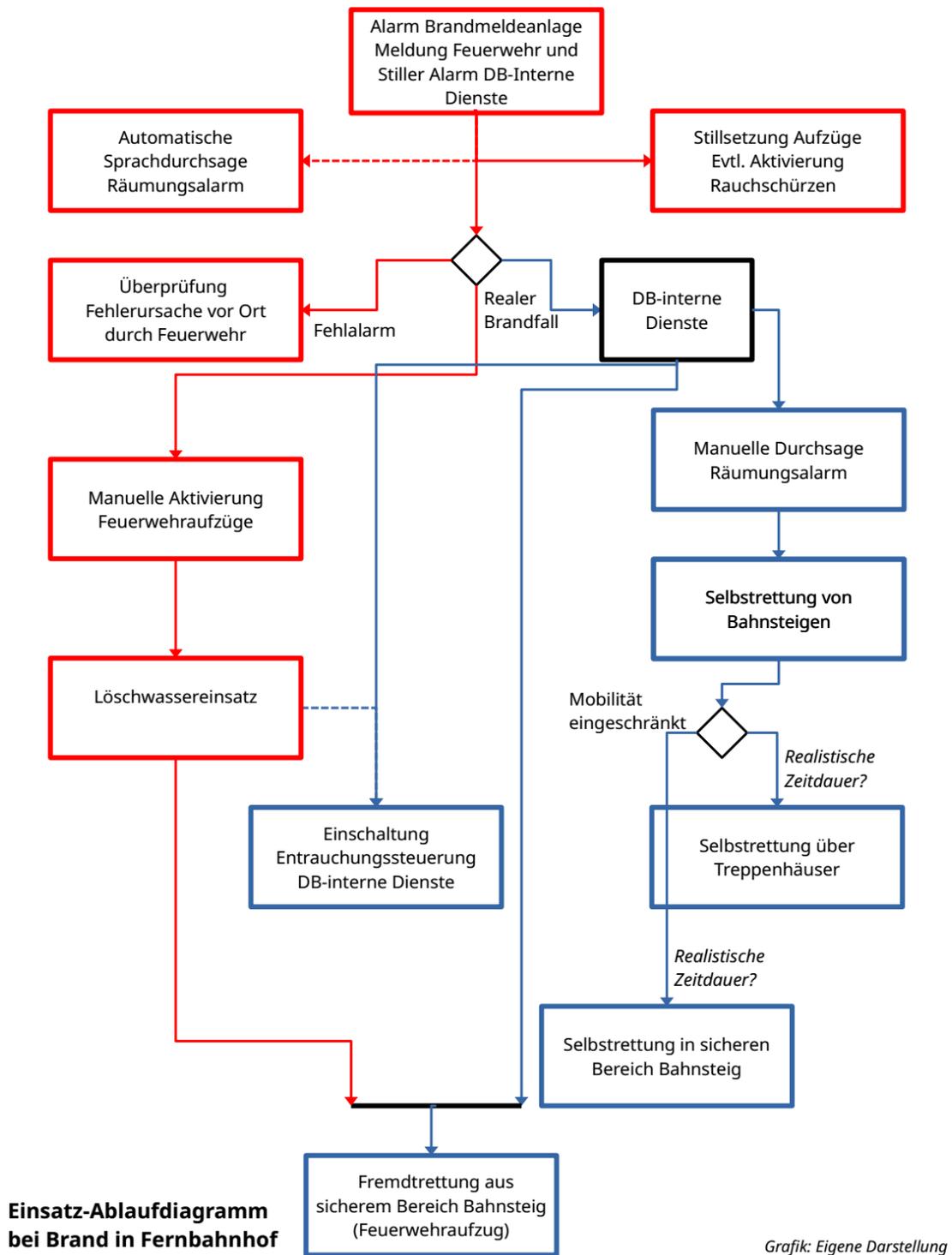
---

<sup>2</sup> <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.stuttgart-21-die-feuerwehr-kommt-erst-mal-nicht.c0d3a78d-bad3-4808-8057-dcc782190e31.html>

# Einsatzabläufe im Bahntunnel



# Einsatzabläufe im Tiefbahnhof



### Anhang 3: Anfragen an die DB Netz und die Stadt Frankfurt

Fragen zum Brandschutz und dem Rettungskonzept in der DB-Machbarkeitsstudie zum Fernbahntunnel und Tiefbahnhof Frankfurt a.M. die von Karl-Heinz Peil per Mail vom 12.4.2022 an die DB Netz gestellt und trotz wiederholter Nachfrage nicht beantwortet wurden.

1. Ist die im Abschnitt 5.8.1.1.1 angegebene Berechnung mit den dazu ausgewiesenen Parametern für Personenzahlen korrekt, da sich die Zulassungsregel 200% eigentlich nur auf Regionalzüge bezieht?
2. Wie groß wird der Anteil von mobilitätseingeschränkten Personen bei der o.g. Personenzahl-Bemessung veranschlagt und welche Konsequenzen ergeben sich damit baulicher Art im Tiefbahnhof?
3. Welche Entfluchtungszeit ist bei einer Tunnel-Evakuierung für einen voll besetzten ICE anvisiert?
4. Gibt es bei einem Feuerwehreinsatz im Tunnel eine kalkulierte Zeit, nach der über eine Befüllung der dort vorhandenen Trockenleitungen auch Löschwasser zur Verfügung steht?
5. Wieso wird in der Machbarkeitsstudie für alle Tunnelvarianten im Abschnitt 5.6 nur die Luftmengen über die Lüftungsbauwerke zugrunde gelegt, nicht aber die jeweils notwendige Luftmenge im (Brandfall-)Tunnel?
6. Gibt es eine kalkulierte Zeitdauer, nach der ab Auslösung einer Tunnel-Entrauchungssteuerung die vorgesehene bzw. notwendige Luftmenge am Brandherd verfügbar ist?
7. Inwieweit kann eine Selbstrettung aus dem Tunnel durch Zugpersonal an den Türen unterstützt werden? (5.4.1.:*"Die Evakuierung des Ereigniszuges erfolgt auf Anweisung und mit Unterstützung des geschulten Zugpersonals in einen sicheren Bereich (sichere Röhre, Nottreppenhäuser)"*).
8. Wie ist der Passus 5.4.2. zur Fremdrettung zu verstehen? (*"Die Fremdrettung erfolgt durch interne und externe Notfalldienste"*). Wer kommt wann und wie zum Einsatz?
9. Zu welchem Zeitpunkt sind Ausarbeitung und Vorlage eines Brandschutzkonzeptes vorgesehen? Sind evtl. getrennte Brandschutzkonzepte für Station und Tunnel vorgesehen?
10. Welche besonderen Gefahrenquellen im Tunnel würden zum Bestandteil von Feuerwehreinsatzplänen werden?

Antwort der DB Netz vom **8.2.2022** auf diverse Fragen von Karl-Heinz Peil zur Machbarkeitsstudie:

### **Frage 7: Abstimmung des Vorbeugenden Brandschutzes**

Ist mit der Branddirektion Frankfurt ein Beratungsgespräch zum Vorbeugenden Brandschutz erfolgt oder demnächst terminiert? Für welche Brandschutzfragen - die nicht erst in der Entwurfs- oder Ausführungsplanung relevant werden - wird seitens der Deutschen Bahn derzeit ein Abstimmungsbedarf gesehen?

*„Der Brandschutz ist auch in den frühen Leistungsphasen ein wichtiger Teil der Planungen und wird daher direkt ab dem Planungsbeginn mitgedacht und berücksichtigt. Im März beginnen die regelmäßigen Projektdurchsprachen mit der Stadt Frankfurt, in deren Rahmen sukzessive die verschiedenen Themen abgearbeitet werden.“*

### **Anfrage vom 3.11.2022 (Vorgang A 163/22) an den Magistrat der Stadt Frankfurt**

(Quelle: Parlis – PARLamentsInformationsSystem Stadt Frankfurt am Main)

Betreff: Brandschutzfragen beim geplanten Fernbahntunnel

In der Machbarkeitsstudie der DB Netz AG für den Fernbahntunnel wird der Brandschutz ausführlich behandelt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Wahl der Tunnelvariante im Wesentlichen auch von Brandschutzaspekten bestimmt wird. Gemäß einer Auskunft der DB Netz AG vom 8.2.2022 heißt es auf eine entsprechende Frage dazu: *"Der Brandschutz ist auch in den frühen Leistungsphasen ein wichtiger Teil der Planungen und wird daher direkt ab dem Planungsbeginn mitgedacht und berücksichtigt. Im März beginnen die regelmäßigen Projektdurchsprachen mit der Stadt Frankfurt, in deren Rahmen sukzessive die verschiedenen Themen abgearbeitet werden."*

Der Magistrat wird vor diesem Hintergrund gebeten, folgende Fragen zu beantworten:

1. Wie viele Gespräche wurden bisher seitens der Stadt Frankfurt bzw. der Branddirektion mit der DB Netz AG zum Fernbahntunnel geführt?
2. Welche Themen wurden seitens der DB Netz AG an die Stadt Frankfurt bzw. die Branddirektion herangetragen?
3. Welche Vorgaben sind bisher seitens der Stadt Frankfurt bzw. der Branddirektion an die DB Netz AG erfolgt?
4. Gibt es Hinweise bzw. Notizen der Stadt Frankfurt bzw. der Branddirektion mit Verweis auf Probleme für das Projekt?

Antragsteller: LINKE. - Antragstellende Person(en): Stadtv. Dr. Daniela Mehler-Würzbach

### **Bericht des Magistrats vom 13.01.2023, B 19**

Vorgang: A 163/22 LINKE.

Der Magistrat nimmt wie folgt Stellung: *„Bislang erfolgte keine Kontaktaufnahme der DB Netz AG mit der Branddirektion. Folglich haben keine Gespräche zu dem Projekt stattgefunden.“*

## Anhang 4: Ausbreitung von Brandgasen im Tunnel



Foto: ICE-Brand bei Montabaur auf freier Strecke

Legt man für die Auslegung der Brandschutzmaßnahmen die „DB-Bemessungsbrand für S-Bahnen und gemischten Reisezugverkehr“ von 53 MW<sup>3</sup> zugrunde, dann ergeben sich nachfolgende Betrachtungen und Berechnungen.

Dabei entstehen pro Sekunde 155 m<sup>3</sup> bzw. pro Minute 9.300 m<sup>3</sup> hochgiftige Rauch- und Brandgase<sup>4</sup>, die am Brandherd bis zu 2.000 °C betragen können. Durch thermischen Auftrieb steigen diese zunächst bis zur Tunneldecke auf. Da sie hier nicht weiter nach

oben ins Freie entweichen können, breiten sich diese sehr rasch im Tunnel nach beiden Seiten aus. Durch Abkühlung an den zunächst noch kalten Tunnelwänden wie auch durch Einmischen von kälterer Luft aus dem Tunnel sinken die Rauch- und Brandgase auch nach unten und füllen dabei den gesamten freien Tunnelquerschnitt mitsamt den Fluchtwegen. Damit erreichen sie die Fluchtenden, die dann darin bereits mit mehreren Atemzügen ersticken können. Im Nahbereich des Brandherdes bei höheren Temperaturen  $\geq 50$  °C droht zudem der Hitzetod.

Die Modellierung dieses Absenkprozesses ist Gegenstand aufwändiger Simulationen. In Anhang 6 wird anhand Studien zu vergleichbaren Tunneln abgeschätzt, dass im Fernbahntunnel eine Verrauchung in weniger als 10 Minuten ab Brandbeginn eintreten kann.

Selbst in dem theoretischen Fall einer sofortigen Zuschaltung eines Entrauchungslüfters könnte die eingeblasene Frischluft von dem mehrere Kilometer entfernt liegenden Lüftungsbauwerk den Brandort noch gar nicht erreichen, da allein die Hochlaufzeit der Lüfter mit ca. drei Minuten zu veranschlagen ist. Außerdem muss die im Tunnel stehende Luftmasse erst auf die Fördergeschwindigkeit beschleunigt werden, was eine weitere Zeitverzögerung von mehreren Minuten ergibt. Ein Abdrängen des Rauches in Richtung der Tunnel-Ausgänge kann also frühestens 6 bis 7 Minuten nach dem Zuschalten der Axial-Gebläse einsetzen – zu spät, um noch Menschenleben retten zu können.

### *Luftströmungen im Tunnel*

Weiterhin sind in der Machbarkeitsstudie auch die von den durchfahrenden Zügen verursachten Luftströmungen im Tunnel nicht berücksichtigt. Ein im Tunnel fahrender Zug schiebt wie ein Kolben die Luft mit seiner Fahrgeschwindigkeit vor sich her und zieht hinter sich eine Luftschleppe nach. Bei der hier maßgebenden Zug-Geschwindigkeit von 160 km/Std. sind das 44,4 m/s. Diese Luftgeschwindigkeit ebbt nach der Zugdurchfahrt zwar schnell ab; bei den häufigen Zugdurchfahrten in kurzen Zeitabständen stellt sich jedoch eine auf- und abschwellende Grundströmung der Luft im Tunnel in Fahrtrichtung ein, die bei etwa 10 m/s liegt. Diese ist selbstverständlich auch wirksam, wenn ein brennender Zug im Tunnel zum Halten kommt, anfänglich je nach Einfahrgeschwindigkeit und Abbremsvorgang auch mit deutlich höherer Luftgeschwindigkeit.

<sup>3</sup> In der DB-Studie werden 50 MW (statt 53 MW) zugrunde gelegt.

<sup>4</sup> Als Brandgase bezeichnet man solche, die durch den Brand entstandene Giftstoffe enthalten.

Diese Luftströmung im Tunnel wirkt sich entscheidend auf die Rauchausbreitung aus, indem die Rauchschwaden in Strömungsrichtung mitgezogen werden. In der Einfahrt-Röhre erfolgt dieses bis weit vor den Zug entgegen der Einblasrichtung der Frischluft. Damit wird den Flüchtenden zunächst der Fluchtweg in Richtung Tiefbahnhof versperrt. Weil die bereits benannte Grundströmung der Luft im Tunnel mit ca. 10 m/s deutlich größer ist als die Geschwindigkeit der ohnehin erst mit zeitlicher Verzögerung einsetzenden Frischluft-Zufuhr vom Lüftungsbauwerk mit ca. 4 m/s, wird es eine Weile dauern, bis sich die Strömung umkehrt und die tödliche Rauchwolke zurück am Zug entlang und dann weiter Richtung Tunnelausgang zieht. Damit aber sind die Fluchtwege in beide Richtungen unbenutzbar. Kaum jemand würde so die Rettungstollen lebend erreichen.

### Brand-Entstehung und -Entwicklung

Dem Rettungskonzept der DB-Studie (auf Basis des o.g. DB-Bemessungsbrandes) liegt die Annahme zugrunde, es handele sich um einen erst in der „Entstehung“ befindlichen Anfangs-Brand mit nur geringer Rauchfreisetzung, die die Selbstrettung der Zuginsassen nicht weiter beeinträchtigt. Begründet wird dies mit der kurzen Fahrzeit des Zuges im Tunnel, während der sich ein Brand noch nicht sehr weit entwickelt haben könne. Verwiesen wird darauf, dass ein in Brand geratener Zug nicht in den Tunnel einfahren darf. Als Brandbeginn wird somit erst die Einfahrt in den Tunnel zugrunde gelegt und daraus gefolgert, dass sich nach den wenigen Minuten Fahrzeit im Tunnel der Brand erst in der Entstehung befinde und die freigesetzte Brandlast sowie die Rauchfreisetzung noch sehr gering sind.

Diese Sichtweise in der DB-Studie ist jedoch grob fehlerhaft. Einem Sicherheitskonzept müssen stets die größtmöglichen Schadensauswirkungen („Worst Case“-Szenario) zugrunde gelegt werden. Demzufolge muss das Flucht- und Rettungs-Konzept auch einem voll entwickelten Bemessungsbrand genügen, was in der vorliegenden DB-Studie allerdings nicht der Fall ist. Als „Worst Case“-Szenario müsste ein ICE mit 250 km/h zum Stehen gebracht werden, wenn kurz vor der Einfahrt in den Tunnel ein Brand entdeckt und gemeldet wird.

Im Regelfall mit üblicher Bremsverzögerung von 0,5 m/s<sup>2</sup> ergibt sich aber bei **250 km/h** bzw. 69,5 m/s ein Anhalteweg von 4.820 m und eine Anhaltezeit von **139 s** (bzw. 2 min und 19 s).<sup>5</sup> Selbst mit einer **Schnellbremsung** mit hoher Bremsverzögerung von 0,8 m/s<sup>2</sup> ergibt sich ein **Anhalteweg** von 3.014 m und eine Anhaltezeit von **87 s** (bzw. 1 min und 27 s). Weiterhin setzt dies voraus, dass der Lokführer die Brandmeldung erhält und daraufhin den Bremsvorgang einleitet. Dazu muss sich ein Brand so weit entwickelt haben, dass er sicher als solcher erkannt wird. Folgende Zeiten ergeben sich:

Einzelvorgang	Zeitdauer	Anmerkung
Brandbeginn bis Brandmeldung	3 min	Nur als Mindestwert anzusehen!
Reaktionszeit Lokführer, Einleiten Bremsvorgang	0,5 min	
Anhaltezeit (nach Einfahrt in den Tunnel)	2 min	Mittelwert von o.g. Berechnung
Durchsage zum Verlassen des Zuges	1 min	
Freigeben der Türen, Reaktionszeit der Reisenden	1 min	
<b>Zu berücksichtigende Mindest-Brandzeit</b>	<b>7,5 min</b>	<b>bis Beginn der Evakuierung!</b>

<sup>5</sup> Zu den rechnerischen Grundlagen siehe z.B. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bremsverz%C3%B6gerung>

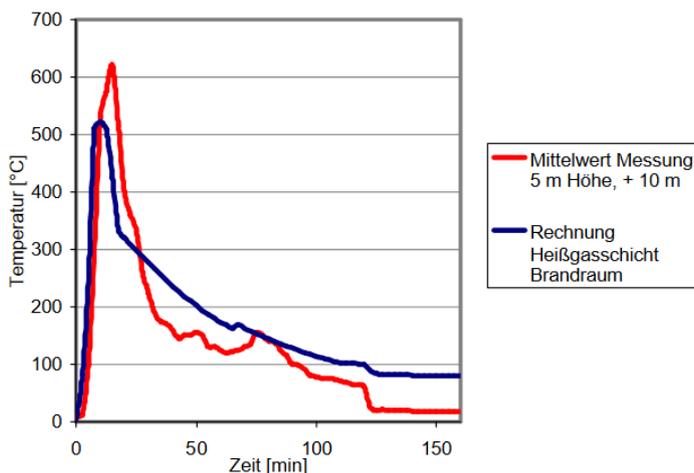
In der Tabelle wird im Unterschied zu 2 min Reaktions- und Orientierungszeit laut Richtlinie (vgl. [Anhang 6](#)) eine realistische Abschätzung für die Zeitabläufe während der Brandentwicklung angegeben. Folgerung: Ein Zug kann nur dann noch sicher vor dem Tunnel anhalten, wenn der Brand spätestens 3,5 Minuten vor Einfahrt in den Tunnel bemerkt und gemeldet ist. Kommt die Brandmeldung auch nur geringfügig später, ist ein Einfahren des Zuges in den Tunnel nicht mehr zu vermeiden!

Die Vorbrandzeit bis zum Beginn der Räumung aus dem Zug beträgt damit mindestens 8 Minuten. Damit ist jedoch bereits der Vollbrand erreicht; die Entfluchtung aus dem Zug in den Tunnel geschieht dann unter voller Freisetzung der Brandgase.

Der schnelle Anstieg der Wärme- und Rauchfreisetzung bei einem Brand entspricht der Erfahrung und wurde durch etliche Tunnelbrandversuche nachgewiesen. u.a. bei Tunnelbrandversuchen in Norwegen.

Auf diese im Forschungsbericht "*Brände in Verkehrstunneln - Bericht über Versuche im Maßstab 1:1*"<sup>6</sup> ausgewerteten Ergebnisse weist Dipl.-Ing. Thomas Kolb vom Büro Brandschutzconsult (vormals Schreiner & Leonhardt) in seiner „*Untersuchung von Stuttgarter Tunnel-Anlagen*“ hin.

Nachfolgendes Schaubild zeigt sehr deutlich die Temperaturspitze und damit den Vollbrand in weniger als 10 Minuten ab Brandbeginn.



Grafik: Vergleich Heißgastemperaturen Messung Versuch

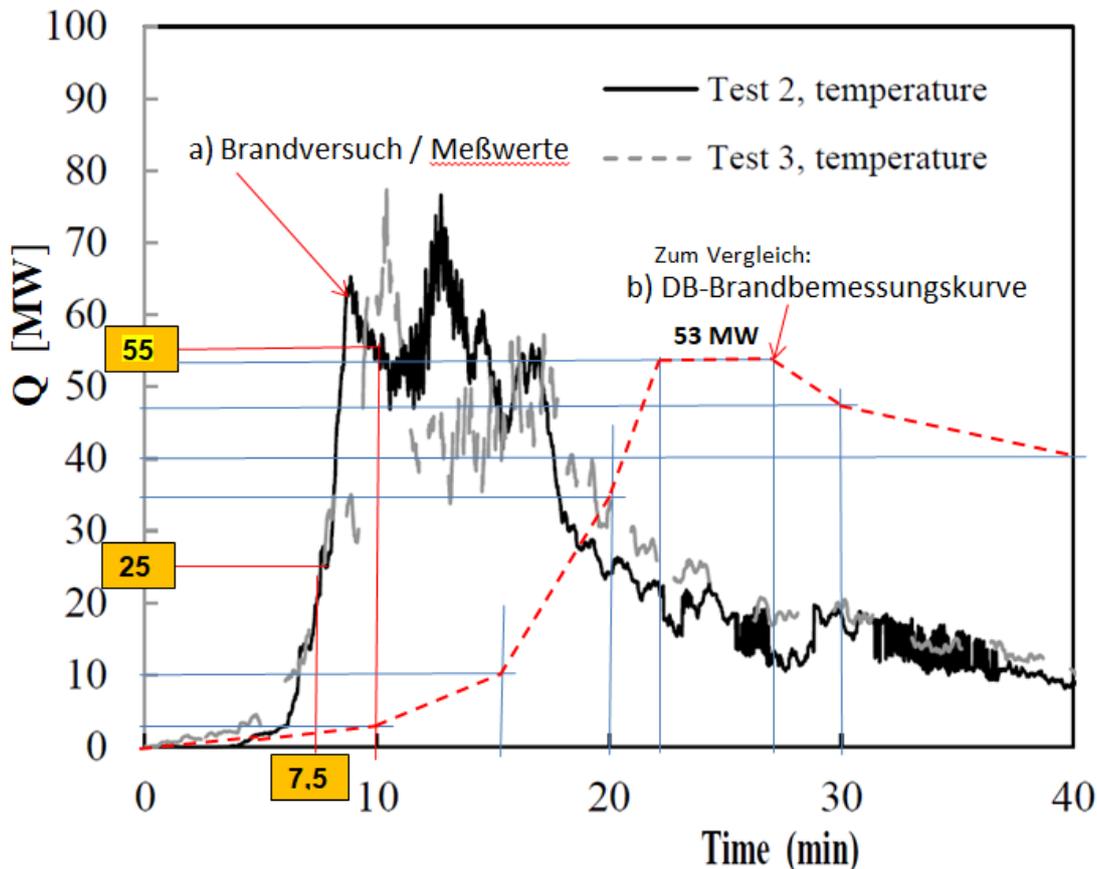
Dauer der einzelnen Brand-Abschnitte nach Kolb:

Phase	Von Minute	Bis Minute
Schwelbrand	0	2
Entwicklung zum Vollbrand	2	7
Voll entwickelter Brand	7	12
Abklingender Brand	12	110

<sup>6</sup> Quelle: Fosta-Bericht P 145.2 – Brände in Verkehrstunneln, Bericht über Versuche im Maßstab 1:1, Autoren: Dr.-Ing. Casale, Prof. Dr.-Ing. Haack, Dr.-Ing. Ingason, Civ.-Eng. Malhotra, Dr.-Ing. Richter (1998)

Zu vergleichbaren Ergebnissen sind auch andere Forscher gekommen, wie H. Ingason „*Design Fires in Tunnels*“ (2006).

Auch die 2012 von Lönnermark, Claesson u.a. am *Technical Research Institute of Sweden* als wissenschaftliche Arbeit durchgeführten Brandversuche mit einem Reisezugwagen als „*Full Scale Fire Tests with a Commuter Train in a Tunnel*“ haben einen schneller Anstieg der Wärmefreisetzung und das Durchzünden („flash over“) zum Vollbrand in nur 7 Minuten nach Brandbeginn festgestellt, wie die daraus entnommene nachstehende Grafik „Brandleistung im Zeitverlauf“ aufzeigt.



### 8.12. Comparison of estimated HRR based on maximum ceiling gas temperature

Brandleistung im Zeitverlauf a) Auszug aus SP Report 2012-05 „Full Scale Fire Test“  
 b) DB-Brandbemessungskurve 53 MW (eingefügt)

Zum Vergleich ist in der Grafik die Brandverlaufskurve für den „DB-Bemessungsbrand 53 MW“ als rot gestrichelter Kurvenzug „b“ übertragen. Diese Brandkurve der DB AG beruht nicht auf durchgeführten Brandversuchen, sondern ist willkürlich aus einzelnen Geraden-Abschnitten so zusammengesetzt mit einer stark verzögerten Brandentwicklung insbesondere beim Brandbeginn während der ersten 15 Minuten, was der einzuhaltenden Evakuierungszeit entspricht. Erst danach steigt die Brandkurve steiler an; der Vollbrand wird danach erst nach 23 Minuten erreicht, wo hingegen die durchgeführten Brandversuche bereits wieder im Abklingen waren. Tatsächlich aber muss mit einer 10-fach stärkeren Wärme- und Rauchfreisetzung während der Evakuierungszeit gerechnet werden. Diese DB-Bemessungsbrandkurve entspricht nicht den tatsächlichen Gegebenheiten eines schweren Zugbrandes und wird als untauglich zurückgewiesen.

## Anhang 5: Verrauchungsabschätzung entsprechend der Fachliteratur

Die EBA-Tunnelrichtlinie schreibt ein Rettungskonzept vor, das die „Selbstrettung gewährleistet“. D.h. die Selbstrettung muss abgeschlossen sein, bevor der Rauch die Fliehenden einholt. Die Verrauchung eines Tunnels ist aber ein komplexer Prozess (siehe auch [Anhang 6](#)), der die Strömung im Tunnel und die Abkühlung der Rauchgase an der Tunneldecke sowie die Durchmischung mit kühlerer Luft beinhaltet.

Im Haupttext des Gutachtens findet sich in Abschnitt 3.2 sowie in der vorausgehenden [Anhang 4](#) die Kritik an der von der DB angesetzten Zielzeit für die Evakuierung von 15 Minuten und die zugrundeliegenden Fehlannahmen. Dem werden hier zunächst Beispiele für Verrauchungszeiten aus der Fachliteratur für vergleichbare Tunnel gegenüber gestellt.

Tunnel	Querschn.	Brandleist.	Verrauch.	Bemerkung
Eisenbahntunnel (CZ) <sup>7</sup>	29 m <sup>2</sup>	20 MW	<b>5 Min.</b>	FDS-Simulation
Langer Bahntunnel (CN) <sup>8</sup>	-	-	<b>6 Min.</b>	FDS-Simulation
U-Bahn (CH) <sup>9</sup>	22 m <sup>2</sup>	-	<b>6 Min.</b>	FDS-Simulation
Istanbul Metro (TR) <sup>10</sup>	33 m <sup>2</sup>	20 MW	<b>6-7 Min.</b>	FDS-Simulation
Straßentunnel (JP) <sup>11</sup>	72 m <sup>2</sup>	30 MW	<b>8 Min.</b>	FDS-Simulation
Neuer Mainzer T. (DE) <sup>12</sup>	103 m <sup>2</sup>	25 MW?	<b>15 Min.</b>	Erfahr.wert, Doppelgl.

**Tabelle mit Verrauchungszeiten in vergleichbaren Tunneln.** Zur Einordnung sind auch die freien Tunnelquerschnittsflächen und die Brandleistung angegeben.

Die Beispiele aus der Fachliteratur erlauben die Eingrenzung der realistisch zu erwartenden **Verrauchungszeit**. Teils weisen die dort betrachteten Tunnel einen kleineren Querschnitt auf, aber in einem Fall auch einen deutlich größeren Querschnitt. Vor allem aber wurde in allen Beispielen eine deutlich geringere Brandleistung angesetzt. Es ergeben sich in den am ehesten vergleichbaren Tunneln Verrauchungszeiten von 5 bis 8 Minuten.

Bestätigt werden diese Werte von Veröffentlichungen zu Zielzeiten für die **Evakuierung** von vergleichbaren Doppelröhrentunneln. Sie belegen einen vergleichbaren Zeithorizont.

- 7 Kamila Cábová, Tomáš Apeltauer, Petra Okřínová, František Wald, „Application of fire and evacuation models in evaluation of fire safety in railway tunnels“, 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 236, S. 6 Fig. 4: Schon nach 5 Min. Verrauchung bis auf ca. 2,20 m. Quelle: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/236/1/012080/pdf>
- 8 Liangliang Tao et al., „Experimental and numerical study on the smoke and velocity distribution in an extra-long railway tunnel fire“, Tunnelling and Underground Space Technology Vol. 117, 11.2021. Quelle (nur Abstract): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0886779821003254>
- 9 Dandan Wan, „Numerical Simulation Study of Effect of Tunnel Slope on Smoke Propagation“, J. Phys.: Conf. Ser. 2179, 2022, Fig. 7. Quelle: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2179/1/012023/pdf>
- 10 Mahir Ilter Bilge, Thesis „CFD Simulation of Train Fire in the Istanbul Metro Tunnel“, 07.2018, S. 47, 53: Brandleistung 20 MW, S. 54: Freier Querschnitt 33 m<sup>2</sup>, S. 73-75 Verrauchung nach 6 bis 8 Min., Quelle: <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12622402/index.pdf>
- 11 Kazuhiro Yamamoto, Yuusuke Sawaguchi, Shinnosuke Nishiki, „Simulation of Tunnel Fire for Evacuation Safety Assessment“, 26.03.2018, Fig. 4, 6. Quelle: <https://www.mdpi.com/2313-576X/4/2/12/pdf>
- 12 • 06.07.2003, FAZ, „Notfallübung. Rettung aus einem verrauchten Bahntunnel“, die hier angegebenen 15 Min. für die Verrauchung betreffen mutmaßlich den damaligen Bemessungsbrand mit 25 MW. Quelle: <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/region-und-hessen/notfalluebung-rettung-aus-einem-verrauchten-bahntunnel-1116737.html> • H. Quick, J. Michael, S. Meissner, U. Arslan, „Challenging urban tunnelling projects in soft soil conditions“, 2008 (pdf researchgate.net), Neuer Mainzer Tunnel (Doppelgl.): Fr. Querschn. 103 m<sup>2</sup> (ausgem.)

Tunnel	Quers.	Evak.ziel	Bemerkung
Groene Hart (NL) <sup>13</sup>	49 m <sup>2</sup>	<b>4 Min.</b>	Querschlag. 300→150 m: 8→4 Min.
Lötschberg Basist. (CH) <sup>14</sup>	52 m <sup>2</sup>	<b>4 Min.</b>	Evakuierungsstation
Gotthard Basist. (CH) <sup>15</sup>	41 m <sup>2</sup>	wenige Min.	„within minutes“ auch im Tunnel
Gotthard Basist. (CH) <sup>16</sup>	41 m <sup>2</sup>	<b>3-5 Min.</b>	Evakuierungsstation
Öresundtunnel (DK/SE) <sup>17</sup>	34 m <sup>2</sup>	<b>6 Min.</b>	Maximale Evakuierungszeit
Neuer Guanjjiao-T. (CN) <sup>18</sup>	42 m <sup>2</sup>	<b>7 Min.</b>	Sichere Evakuierung für Auslegung

**Table mit Zielzeiten für die Evakuierung** in verschiedenen Tunneln, mit der freien Querschnittsfläche im Tunnel zur Einordnung.

Im Groene Hart-Tunnel in den Niederlanden wurde der Abstand der Querschläge, also der Rettungstollen, von 300 m auf 150 m verkürzt, um die Evakuierungszeit von 8 Min. auf 4 Min. zu reduzieren.

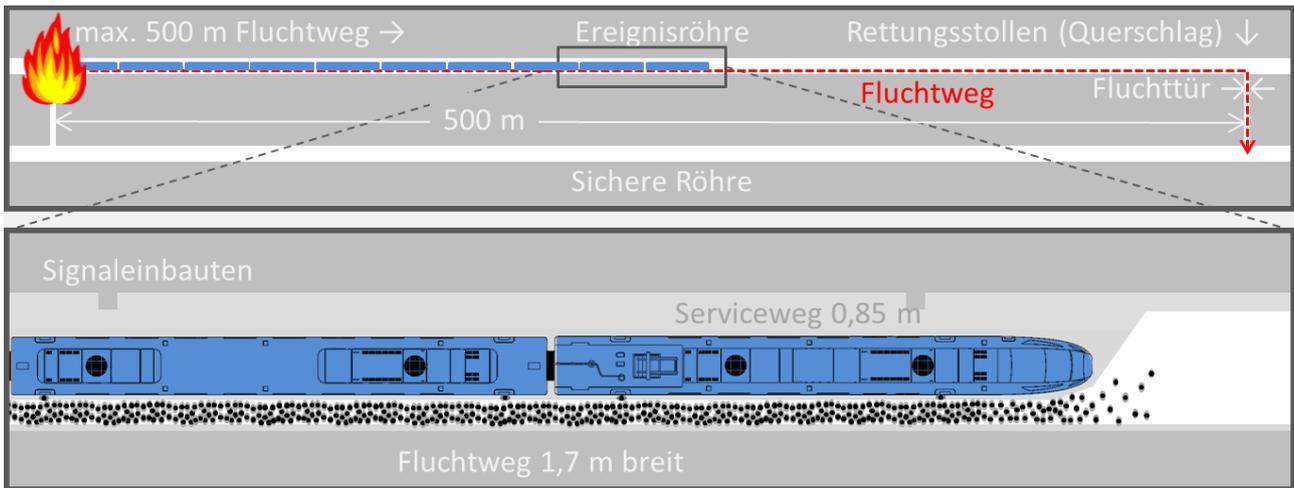
Im Vergleich mit diesen Referenzdaten erscheint es gerechtfertigt, für den Fernbahntunnel eine **Verrauchung in weniger als 10 Minuten** anzunehmen, so dass eine Evakuierung bis dahin abgeschlossen sein muss.

- 
- 13 P. Bockholts, "Beveiligingsconcept HSL-Zuid, Deel B: Boortunnel onder het Groene Hart", 20.07.2000, S. 26 / Bl. 27: Querschlagabstand von 300 m auf 150 m gesenkt, um die Evakuierungszeit von 8 Min. auf 4 Min. zu senken. Quelle: <https://www.cob.nl/wp-content/uploads/2018/01/JHO-428.V.03.D.pdf>
- 14 B. Crausaz, A. Weatherill, P. Gerber, „Safety aspects of railway tunnel: Example of the Lötschberg railway tunnel“, in: Y. Erdem, T. Solak (Hrsg.), „Underground Space Use: Analysis of the Past and Lessons for the Future“, 2005, S. 609 Fig. 8: 4 Min. für Evakuierung in Evakuierungsstation. Quelle: <https://books.google.de/books?id=gsjLBQAAQBAJ&pg=PA605>
- 15 H. Ehrbar, C. Tannò, H.-P. Vetsch, „Selection of the Optimum Tunnel System for Long Railway Tunnels with Regard to the Entire Lifecycle“, 2019, Bl. 2. Quelle: [https://www.heinzehrbartpartners.com/wp-content/uploads/2020/04/2019-UC\\_2019-panel-discussion-01-Ehrbar.pdf](https://www.heinzehrbartpartners.com/wp-content/uploads/2020/04/2019-UC_2019-panel-discussion-01-Ehrbar.pdf)
- 16 • Christoph Rudin, Peter Reinke, „Neue alpenquerende Bahntunnel in Europa. New Cross-Alpine Rail Tunnels in Europe“, Tunnel 3/2008, S. 14-28, S. 734 / Bl. 3: „Angestrebt wird eine Entfluchtung der Fahrgäste eines vollbesetzten Reisezugs aus dem gefährdeten Nothaltebereich innerhalb von 3 bis 5 Minuten.“ Quelle: <http://docplayer.org/47168966-Neue-alpenquerende-bahntunnel-in-europa-new-cross-alpine-rail-tunnels-in-europe-14-europa-europe-tunnel-3-2008-ch-rudin-dr-p.html> • Rehan Yousaf, Christoph Brander, Jens Badde, Martin Viertel, Erwin Eichelberger, „Proof of proper functionality of emergency ventilation system in emergency stations of GBT using fire tests and CFD simulations“ (ISTSS 2018 S. 439-454 / Bl. 440-455), S. 450 / Bl. 451: „required evacuation time“ „5 min.“. Quelle: <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1352759/FULLTEXT01.pdf>
- 17 Sund & Bælt, „Forbindelsen over Storebælt, To broer og en tunnel“, 2017, S. 23. Quelle: <http://publications.sundogbaelt.dk/Storeblt/forbindelsen-over-storebaelt-to-broer-og-en-tunnel/?Page=23>
- 18 Nian Zhang, Zhongsheng Tan, Minjie Jin, „Research on the Technology of Disaster Prevention and Rescue in High-altitude Super-long Railway Tunnel“, KSCE Journal of Civil Engineering 2015/19(3), S. 756-764, S. 763 / Bl. 8. Quelle: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-013-1248-2>

## Anhang 6: Räumzeit im Tunnel nach NFPA 130

In der DB-Studie wurde für die Räumzeitberechnungen im Tiefbahnhof der US-amerikanische Standard **NFPA 130** angesetzt.<sup>19</sup> Dieses **makroskopische Verfahren** für die Räumzeitberechnung ist auch der Standard in U-Bahn-Anlagen und wird nachfolgend für die Evakuierung des Fernbahntunnels angesetzt.

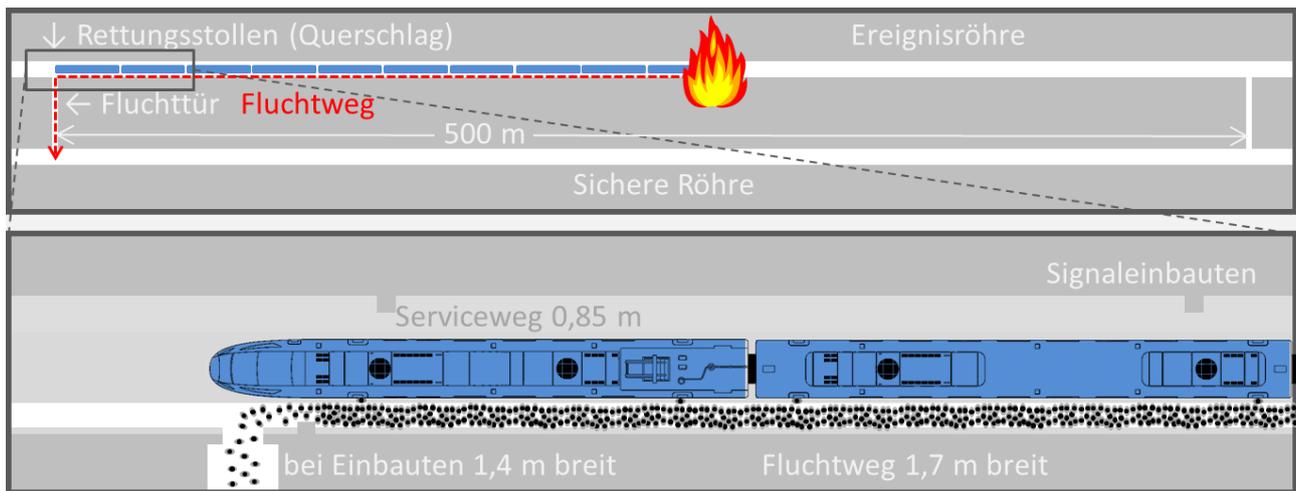
Die Evakuierung im Tunnel ist dann speziell für die maßgeblichen „Worst Case“-Szenarien einfach zu berechnen. Als ungünstigste Situation gilt auch gemäß der Fachliteratur, dass der Brand an einem Zugende einen Rettungsstollen blockiert:



**Klassischer "Worst Case 1":** Der Zug kommt mit dem brennenden Ende vor einem Rettungsstollen zu stehen, der durch das Feuer blockiert wird.

In diesem Fall müssen die Zuginsassen sämtlich durch den engen Korridor neben dem Zug strömen, dann ein Stück freien Wegs durch den Tunnel gehen und danach durch die Fluchttür. Nach Passieren des Rettungsstollens erreichen sie die sichere zweite Röhre.

<sup>19</sup> National Fire Protection Association, „NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems“, Edition 2020, Punkt 5.3.4, 5.3.5: Entfluchtungsgeschwindigkeiten und -flüsse. Quelle: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=130>



**"Worst Case 2":** Der Zug kommt vor dem Rettungstollen am Engpass des Rettungswegs zum stehen. Das Feuer ist am anderen Ende des Zugs. Sämtliche Insassen müssen dann den Engpass passieren, um zum Rettungstollen zu gelangen.

Doppelröhren-Bahntunnel in Deutschland weisen eine Besonderheit auf. Der Rettungsweg kann durch Einbauten um bis zu 30 cm eingeengt werden. Die häufigste derartige Einengung ist in der Praxis der Einbau von Löschwasserhydranten und Notrufsäulen auf einer Seite des Rettungstollens, was tatsächlich 30 cm in Anspruch nimmt. Damit ergibt sich in Deutschland ein zweiter noch gefährlicherer „Worst Case 2“ (Abb. Folgeseite). Durch den Engpass geht hier in der Regel so viel mehr Zeit verloren, dass der entfallende freie Weg zum Querschlag das nicht mehr aufwiegt. Die Berechnung ist dann einfach. Es gibt im Wesentlichen **vier Phasen**:

1. Reaktionszeit und Ausstieg.
2. Herausströmen aus dem Korridor neben dem Zug.
3. Freier Weg durch den Tunnel (nicht bei „Worst Case 2“).
4. Durchströmen der Fluchttür in den Querschlag.

Im Prinzip gehört auch noch die Passage durch den Querschlag zur Evakuierungszeit dazu. Sie soll hier der Einfachheit halber weggelassen werden, in der Annahme, der letzte Fliehende schließt die Tür hinter sich und ist vor dem Rauch geschützt.

Für die **Reaktionszeit** werden gemäß dem DB-Anwenderhandbuch<sup>20</sup> 2 Min. Reaktionszeit angesetzt, d.h. je 1 Minute für Erkundungszeit durch den Lokführer und für die Alarmierungs- und Reaktionszeit.<sup>21</sup>

Hier wird dieser Zeitspanne noch die Zeit hinzu addiert, die für den Ausstieg der ersten Personen benötigt wird. Betrachtet werden die Türen, die dem freien Zugende am nächsten sind, und der Zeitbedarf von ihnen bis zum Zugende. Hierfür werden 0,4 Minuten abgeschätzt. Nach dieser Zeit bildet sich dann der Stau am Zugende aufgrund des engen Korridors, auf den die Personenströme der nächstgelegenen Türen zuströmen.

<sup>20</sup> Deutsche Bahn AG, Anwenderhandbuch „Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr“, 21.06.2010, S. 29: Zeit für Erkundung und Alarmierung je 1 Min., S. 30: Selbstrettungsphase nach 15 Min. beendet. Quelle (nicht mehr aufrufbar): [https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25\\_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf](https://www1.deutschebahn.com/resource/blob/1785660/eb3e9f5a9ea797bce7272dbc7450a4b7/25_Bemessungsbr%C3%A4nde-f%C3%BCr-S-Bahnen-data.pdf)

<sup>21</sup> Vgl. auch unseren eigenen, davon abweichenden Ansatz gemäß Tabelle in Anhang 4

Der entscheidende Erfahrungswert für die großen Zeitkontingente der Evakuierung ist der **spezifische Personenstrom** für das Durchströmen eines Korridors oder einer Tür, im Standard NFPA 130 hat er den Wert

$$F = 1,365 \text{ p/ms} .$$

Multipliziert mit der Breite **B** des Durchlasses ergibt sich der Durchfluss in Personen/Sekunde:

$$D = B \times F .$$

Für uns sind hier die Breiten des Rettungswegs  $B_{Rw}$ , des Engpasses auf dem Rettungsweg  $B_{Ep}$  und der Fluchttür  $B_{Ft}$  wichtig. Die Zeit für das Durchströmen eines Engpasses ergibt sich dann mit der Gesamtpersonenzahl  $N$  zu

$$T = N / D .$$

Die **freie Bewegung** durch den Tunnel über die Strecke  $S_{fr}$  wird nach NFPA 130 mit der Geschwindigkeit

$$v_{fr} = 1,02 \text{ m/s}$$

angenommen. In diesem Erfahrungswert sind die Schwierigkeiten der Flucht, die nötige Orientierung, die schlechte Beleuchtung, der Mix mit mobilitätseingeschränkten Personen etc. berücksichtigt. Die freie Strecke berechnet sich bei einem Abstand der Rettungsstollen von 500 m und einer Zuglänge von 262,8 m zu  $S_{fr} = 500 \text{ m} - 262,8 \text{ m} = 237,2 \text{ m}$ .

Damit ergeben sich für die Phasen der Evakuierung:

1.  $T_R = 2,4 \text{ Min.}$
2.  $T_{Zug} = N / (B_{Rw} \cdot F)$  oder  $T_{Zug} = N / (B_{Ep} \cdot F)$  (*Worst Case 2*)
3.  $T_{fr} = S_{fr} / v_{fr}$  oder  $T_{fr} = 0,0 \text{ Min.}$  (*Worst Case 2*)
4.  $T_{Ft} = N / (B_{Ft} \cdot F)$

In dem makroskopischen Berechnungsverfahren wird nun unterschieden, wo sich der Stau einstellt:

Ist  $T_{Zug} > T_{Ft}$ , dann ist der bestimmende Stau am Zugende, die Stauzeit ist  $T_{Zug}$ .

Ist  $T_{Ft} > T_{Zug}$ , dann ist der bestimmende Stau an der Fluchttür, die Stauzeit ist  $T_{Ft}$ .

Die Gesamt-Evakuierungszeit ist dann

$$T_G = T_R + T_{fr} + \max(T_{Zug}, T_{ft}) .$$

Sämtliche Szenarien werden mit der Personenzahl der neu angeschafften Regionalzüge gerechnet:

$$N = 2.615 \text{ p} .$$

Es ergibt sich die folgende Ergebnistabelle in Minuten ('). Von  $T_{Zug}$  und  $T_{Ft}$  wird jeweils nur das Maximum (hier unterstrichen) in die Summe übernommen.

Szenario	Rett.-weg	Tür-br.	Stoll.-Abst.	Reak. T <sub>R</sub>	Ausstr. T <sub>Zug</sub>	Frei T <sub>fr</sub>	Tür T <sub>Ft</sub>	Evak. zeit
Plan W. C. 1	1,7 m	2 m	500 m	<u>2,4'</u>	<u>18,8'</u>	<u>3,9'</u>	16,0'	<b>25,1'</b>
Plan W. C. 2	1,4 m	2 m	500 m	<u>2,4'</u>	<u>22,8'</u>	<u>0'</u>	16,0'	<b>25,2'</b>
S. 46 W. C.1	1,5 m	2 m	500 m	<u>2,4'</u>	<u>21,3'</u>	<u>3,9'</u>	16,0'	<b>27,6'</b>
S. 46 W. C. 2	1,2 m	2 m	500 m	<u>2,4'</u>	<u>26,6'</u>	<u>0'</u>	16,0'	<b>29,0'</b>
Pl.+Bk. W. C.1	2,5+2 m	2+2 m	250 m	<u>2,4'</u>	6,7'	<u>0'</u>	<u>7,6'</u>	<b>10,0'</b>

**Evakuierungszeiten im Fernbahntunnel nach NFPA 130 für fünf Szenarien** mit je 2.615 Insassen pro Zug und den Tunnelparametern laut Planzeichnung bzw. S. 46 der DB-Studie. Nur mit erhöhten Banketten, doppelten Fluchttüren und halbiertem Abstand der Rettungsstollen ist eine Evakuierung in 10 Minuten erreichbar.

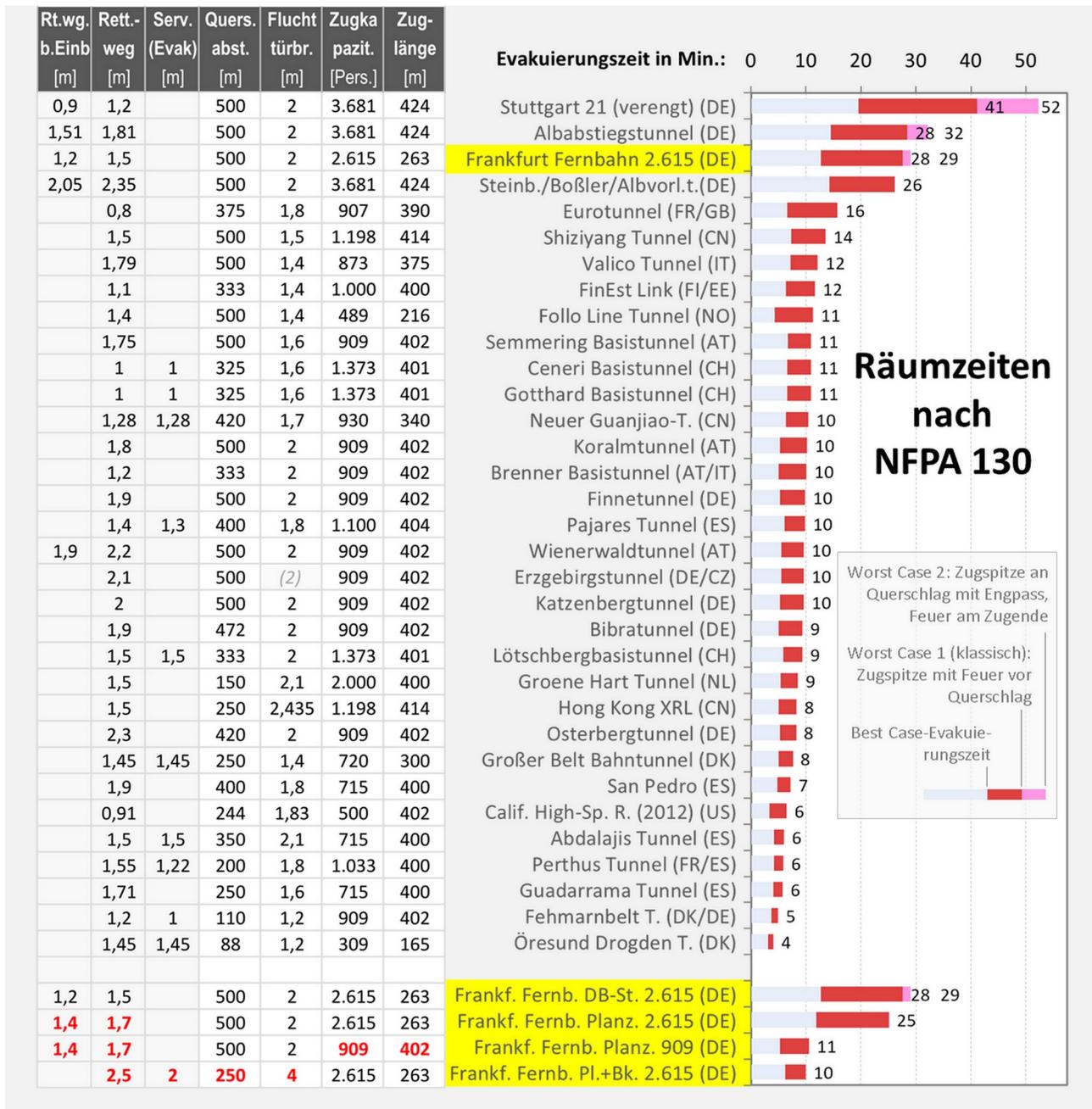
Im letzten Szenario der Tabelle ist der Rettungsstollenabstand schon kleiner als die Zuglänge von 262,8 m. Die Personenzahl ist dann reduziert auf den Anteil der Passagiere auf der Länge bis zum ersten Querschlag. In diesem Fall müssen nicht 2.615 Personen durch die Fluchttür, sondern nur 2.488 Personen. Die übrigen Personen von der anderen Seite des Querschlags nehmen, wenn der Strom durch die Fluchttür schon verstopft ist den Weg zum nächsten Querschlag. Die Fliehenden vom rückwärtigen Rettungsweg queren durch den Zug, um auch bei dem ersten erreichbaren Querschlag in Sicherheit zu gelangen.

Erst mit den umfassenden Maßnahmen, wie im Haupttext geschildert, wird bei der hohen Personenzahl der Züge eine akzeptable Räumzeit erzielt.

Zur Plausibilisierung dieser Methode wird sie auch auf die **internationalen Doppellöhren-Bahntunnel** angewandt, für die die nötigen Parameter inklusive der Breite der Fluchttüren bekannt sind (siehe nachfolgende Abbildung). Die Parameter mit ihren Quellen sind auf Wikireal.org dokumentiert.<sup>22</sup> Die in gleicher Weise nach NFPA 130 ermittelten Räumzeiten belegen, dass **10 Minuten** Evakuierungszeit gute internationale Praxis sind. Absolut ungewöhnlich sind die hohen Passagierzahlen in den langen Tunneln von Stuttgart 21, der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm und des Frankfurter Fernbahntunnels.

Unverständlich ist, dass dort trotzdem an Rettungswegbreite und Querschlagabstand nur Mindestanforderungen gestellt werden. Wie in Anhang 5 erwähnt, wurde beim Groene Hart-Tunnel der Querschlagabstand genau aus dem Grund auf nur 150 m reduziert, um eine rechtzeitige Evakuierung zu ermöglichen. Dieser Abstand korrespondiert mit rund 2.000 Insassen in den Zügen, die den Groene Hart-Tunnel befahren.

<sup>22</sup> [https://wikireal.org/wiki/Stuttgart\\_21/Brandschutz\\_Tunnel](https://wikireal.org/wiki/Stuttgart_21/Brandschutz_Tunnel)



**Vergleich internationaler Doppelröhrentunnel in der Räumzeit nach NFPA 130.** Links Grundparameter: Rettungswegbreite verengt, normal, zweiter Rettungsweg, Querschlagabstand, Fluchttürbreite, Personenkapazität/Zug, Zuglänge (Fluchttürbreite Erzgebirgstunnel geschätzt). Rechts: Resultierende Räumzeit nach NFPA im „Best Case“ sowie im klassischen „Worst Case 1“ und dem „Worst Case 2“ im Falle eines Engpasses vor dem Rettungstollen. Unten Szenarien für den Fernbahntunnel Frankfurt.

Auch in der spanischen Richtlinie findet sich die Regel, dass, sobald die Kapazität des Zuges über 1.000 Personen liegt, die Querschläge maximal 250 m Abstand haben dürfen.<sup>23</sup> Beim Gotthard-Tunnel müssen alle Fahrgäste, die keinen Sitzplatz haben, vor dem Tunnel den Zug verlassen.<sup>24</sup>

23 Ministerio de Fomento, "Instrucción sobre seguridad en túneles", 20.06.2006, S. 21. Quelle:

[https://www.fomento.gob.es/recursos\\_mfom/instruccionseguridadtuneles.pdf](https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/instruccionseguridadtuneles.pdf)

24 05.05.2017, NZZ, „Die Freude am Gotthard ist getrübt“. Quelle: <https://www.nzz.ch/schweiz/100-tage-basistunnel-die-freude-am-gotthard-ist-getruebt-ld.1290045>

Als maßgebliche Parameter für den Fernbahntunnel wurden entsprechend der Angabe auf S. 46 der DB-Studie ein Innenradius von 4,40 m und ein freier Querschnitt von 52,7 m<sup>2</sup> angesetzt. Dieser Tunnel ist enger als der in der Planzeichnung „Regelquerschnitt 1-gleisiger Tunnel“ wiedergegebene Tunnel. Entsprechend wird ein engerer Rettungsweg mit 1,2 m bei Einbauten und 1,5 m Breite regulär abgeschätzt (in der Grafik oben zwischen den Tunneln der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm und identisch unten als erste Säule der Szenarien).

Es folgen zwei Szenarien mit den Parametern der Planzeichnung, einmal für die geplanten Regionalzüge und einmal für einen ICE3.

Die letzten Szenarien beinhalten ausgehend von den Parametern der Planzeichnung plus Erhöhung der Bankette eine Verbreiterung der Rettungswege und Schaffung eines weiten Rettungswegs, doppelten Fluchttüren pro Rettungsstollen-Eingang und halbiertem Querschlag. So sind auch mit 2.615 Insassen 10 Min. Evakuierungszeit erreichbar.

## Anhang 7: Klimabilanz des Bauprojektes Fernbahntunnel

Für die Erzeugung von klimaschädlichen Treibhausgasen (THG) - vereinfachend als CO<sub>2</sub>-Emissionen bezeichnet - gibt es Ansätze zur monetären Bewertung der hierdurch verursachten Umweltkosten. Diese belaufen sich nach dem rechnerischen Ansatz des Umweltbundesamtes (UBA) auf aktuell 237 Euro / t CO<sub>2</sub>.<sup>25</sup>

### *Ermittlung von THG-Emissionen aus Einzelberechnungen*

Im vorliegenden Fall wurde von uns eine Hochrechnung mit den aus der DB-Studie verfügbaren Daten und Parametern gemäß dem derzeitigen Stand der Technik vorgenommen. Diese aufwändige Vorgehensweise hat den Vorteil der sich daraus ergebenden Transparenz. Naturgemäß sind die Ausgangsdaten mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, erlauben aber in unserem zusätzlich verfügbaren Tabellenblatt (für LibreOffice Calc oder MS Excel) eine Nachprüfung und Korrektur von Ausgangsdaten. Damit kann leicht überprüft werden, inwieweit „falsche“ Ausgangsdaten tatsächlich ergebnisrelevant sind. Die Tabellenblätter sind ähnlich strukturiert wie die bei Bauvorhaben üblichen Leistungsverzeichnisse, d.h. untergliedert in Titel, Untertitel und Positionen. Die Ermittlung von THG-Emissionen (quasi wie Einzel- und Gesamtpreise eines Leistungsverzeichnisses) kann damit auch leicht auf evtl. vorhandene rechnerische Fehler überprüft werden.

Als Ergebnis unserer Hochrechnung ergibt sich für die gesamte Bauphase ein rechnerischer Wert von knapp **600.000 t CO<sub>2</sub>**. Dieses muss man als eine sehr konservative Abschätzung ansehen, da die zugrunde liegende Hochrechnung aufgrund der tabellarisch erfassten Einzelpositionen mit Sicherheit sehr unvollständig ist und nicht einkalkulierte bzw. unvorhergesehene Positionen erforderlich werden. Gemäß der o.a. Kalkulation des UBA entspricht dieses Umweltkosten in Höhe von 142 Mio. Euro. allein durch die Baumaßnahme.

Nachfolgend werden die tabellarisch erfassten Daten als Übersicht dargestellt.

### **Titel 1 Bau der unterirdischen Station**

Für diese Berechnung haben wir den Stationstyp „B“ (als eine Vorzugsvariante der DB-Studie) zugrunde gelegt, was aus Gründen von notwendigen rechnerischen Vereinfachungen erfolgt. Es handelt sich hierbei um eine offene Bauweise in Verbindung mit bergmännischer Bauweise der durchgeführten Tunnelstrecken. Die Eckdaten sind:

<b>Gesamtabmessungen</b>	<b>Meter</b>	<b>Betondicke</b>	<b>Meter</b>
Länge der Station (innen)	420	Sohlplatte	2,00 – 3,40
Breite der Station (außen)	38	Decken	1,60
Höhe der Station (innen)	21,10	Außenwände	2,00
Tiefe unter Gelände Haupthalle	32,50	Geschossdecken	0,80
Durchmesser Tunnelröhren	8,80	Stützen im Abstand von 17 m	1,50 x 1,50

Tabellenblatt 1: Titel 1.1. Unterirdisches Stationsgebäude und Titel 1.2 Bahnsteig-Tunnelröhren  
Teilsumme: **147.000 t CO<sub>2</sub>**

Einzelpositionen u.a.: Aushub der offenen Baugrube | Beton für Bauwerk, Abfang- und Sicherungsmaßnahmen vorhandener Gebäudestützen der Haupthalle | Estrich und Bodenbelag der Geschossde-

<sup>25</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen#klimakosten-von-treibhausgas-emissionen>

## Titel 2: Bau der Tunnelstrecken

Zugrunde liegt die in der DB-Studie genannte Vorzugsvariante mit zwei eingleisigen Röhren. Der Tunnelausbruch erfolgt mittels TVM (Tunnel-Vortriebsmaschine)

Tunnellängen	Meter	Einzeldaten zum Tunnel	Maße
Westtunnel	1.500	Innenradius	4,40 m
Osttunnel	2.600	lichter Querschnitt	52,7 m <sup>2</sup>
Abzweig Nord (Hanau)	1.900	Ausbruch-Querschnitt	81,7 m <sup>2</sup>
Abzweig Süd (Offenbach)	2.000	Betonverbrauch je Tunnelmeter	29,0 m <sup>3</sup>
<b>Gesamtlänge</b>	<b>2 x 8.000</b>		69,6 t

Anmerkung: Im „lichten Tunnel-Querschnitt“ ist die Auffüllung der Tunnelsohle mit Beton einschl. Stahlbewehrung zur Gleisbettung als „Feste Fahrbahn“ als Kreisabschnitt mit einer Höhe von ca. 2,0 m berücksichtigt.

<b>ZEMENT-ANTEIL</b> (C45/55 o. glw. Schwerbeton, hochfest)	$a_z$	kg/m <sup>3</sup>	<b>350</b>
<b>BEWEHRUNGSSTAHL-ANTEIL</b> je m <sup>3</sup> Beton	$a_{st}$	kg/m <sup>3</sup>	<b>170</b>
<b>CO<sub>2</sub>-FREISETZUNGSRATEN</b>			
<b>ZEMENT</b> Herstellung einschl. Rohstoffgewinnung		kg CO <sub>2</sub> /kg	<b>0,85</b>
<b>STAHL</b> Herstellung einschl. Rohstoffgewinnung		kg CO <sub>2</sub> /kg:	<b>1.4</b>

Tabellenblatt 2: Titel 2.1 Tunnelmeter bei TVM-Vortrieb | Titel 2.2 Zugehörige Bauwerke und Baustelleneinrichtung | Titel 2.3 Technische Ausrüstung und Ausstattung der Tunnel |  
Teilsumme **354.000 t CO<sub>2</sub>**

Einzelpositionen u.a.: Zulauftunnel und Tunnel-Ausbruch, Trogbauwerke, Beton, Aushub-Mengen, Querschläge (Rettungsstollen), Technik-Nischen, Bauzeit-Tunnellüftung und -Beleuchtung, Entrauchungsbauwerke, Vertikalschächte für Y-Abzweige, Spundwand Mainufer, Main-Kaimauer, Baustelleneinrichtung und Baustraßen, Bahnschienen, Feuerlöschleitungen, Stromleitungen

## Titel 3: Abfuhr Aushub, Anliefer- und Baustellenverkehr

Tabellenblatt 3: Teilsumme **34.000 t CO<sub>2</sub>**

Einzelpositionen u.a.: Tunnelschalen-Formteile (Tübbing) anliefern | Ausbruch / Aushub abfahren (Aushub-Mengen gemäß Massen aus Titel 1 und 2) | sonstiger Anliefer- und Baustellenverkehr, Baukräne u.a.

## *Größenordnung anhand Berechnungen aus anderen Projekten*

Für das Projekt Stuttgart 21 gibt eine detaillierte Untersuchung (Rößler, Gebhardt, Heydemann)<sup>26</sup>. Diese Untersuchung behandelt auch einen Nutzungszeitraum über 30 Jahre. Zu beachten ist, dass im Lebenszyklus von baulichen Anlagen der Infrastruktur nicht nur die entstehenden Kosten, sondern damit auch die THG-Emissionen zu 75% in der Nutzungsphase anfallen.

Detailliert untersucht wurde auch die Klimabilanz von Tunnelbauwerken z.B. in einem Gutachten für kontrovers diskutierte U-Bahn-Neubaustrecken in Berlin. Ermittelt wurden dabei 98.800 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Normkilometer U-Bahn.<sup>27</sup>

## *Sonstige umwelt- und klimaschädlichen Auswirkungen*

Rechnerisch nicht berücksichtigt bleiben einige Maßnahmen bzw. Konsequenzen, die nachfolgend nur exemplarisch aufgelistet werden können:

- Abriss und Wiederaufbau des Parkhauses in der Mannheimer Straße (für Baustelleneinrichtung erforderlich)
- Verlegung der Straßenbahn-Zufahrt zum Depot am Ende der Mannheimer Straße
- externe Kosten durch gesundheitsschädliche Belastung mit Feinstaub und Stickoxiden in der Bauphase
- Schädigung des städtischen Mikroklimas durch weitestgehende Zerstörung der Kaltluftentstehungszonen in Oberrad (Abzweig Süd)
- Probleme mit der Grundwasserhaltung angesichts der prekären Wasserversorgung der Stadt Frankfurt

---

<sup>26</sup> Quantifizierung der Treibhausgasemissionen des Projektes Stuttgart 21, von Karlheinz Rößler, Klaus Gebhard und Hans Heydemann - <http://www.kopfbahnhof-21.de/wp-content/uploads/Quantifizierung-der-Treibhausgasemissionen-des-Projekts-Stuttgart-21.pdf>

<sup>27</sup> Siehe: Der Tagesspiegel vom 2.12.2020: U-Bahn in Berlin als Klimakiller – Gutachter stellen katastrophale CO<sub>2</sub>-Bilanz für neue Tunnel auf

VORGABE-WERTE						t CO2
Dichte:	Beton $\rho_B$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,4	Erdreich $\rho_E$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	1,8	Stahl $\rho_S$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	7,85
CO <sub>2</sub> -Kennzahl:	Dieseldkraftstoff kg CO <sub>2</sub> /kg	3,16	Stahl [kg CO <sub>2</sub> /kg]	1,4	El. Strom kg CO <sub>2</sub> /kWh	0,35
- Dieseldkraftstoff-Verbrauch	kg/m <sup>3</sup> Aushub	2,50	CO <sub>2</sub> -Kennzahl kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	7,90	Heizwt Ho [MJ/kg]	42,7 PS je kW 1,36
- Beton C80/95 / Zementanteil	[kg/m <sup>3</sup> ]	450	CO <sub>2</sub> -Kennzahl (t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	0,621	Zement [kg CO <sub>2</sub> /kg]	0,85
- Beton C35/45 / Zementanteil	[kg/m <sup>3</sup> ]	350	CO <sub>2</sub> -Kennzahl (t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	0,536	Stahl-Anteil [kg/m <sup>3</sup> ]	170
- Beton C25/30 / Zementanteil	[kg/m <sup>3</sup> ]	300	CO <sub>2</sub> -Kennzahl (t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	0,395	Stahl-Anteil [kg/m <sup>3</sup> ]	100
- Dieseldkraftstoff-Verbrauch	kg/Baggerstd.	27,0	Ramme [kg CO <sub>2</sub> /kWh]	0,666	Stapler Dieseldverb.kg/t	1,50
- TUNNEL-AUSBRUCH:	Vortrieb mit TVM / mitt. Vortriebsleistung:	8,0 m/d	TVM -Antriebsleistung [kW]	4,200		
- AUSBRUCH-DURCHMESSER	D <sub>A</sub> [m]: 10,2		QUERSCHNITT A <sub>A</sub> [m <sup>2</sup> ]	81,71	Energie-Aufwand MWh/m	12,6
- TUNNEL-SCHALE	Innen-Halbmesser [m]	4,40	Innen-r Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	60,82	äuß.Durchmesser [m]	10,00
-TÜBBING-Masse m <sup>3</sup> /m:	17,7 bzw. [t/m]	42,5	lichter Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	52,7		
<b>1 CO2-Freisetzung durch Bau des Fernbahn-Tunnelbahnhof als „unterirdische Station“:</b>						
<b>1.1 Unterirdisches Stationsgebäude TYP B</b>		Länge der Station (innen) [m]:	420	Tiefe unt. Gelände [m]:	32,5	
- Breite der Station (außen) [m]:	38,0	Gebäudestützen □ [m]	1,50	2 Stützreihen je	25 Stck.	
- Höhe der Station (innen) [m]:	21,1	Dicke Gebäude-Decke [m]	2,00	Breite Sohlplatte [m]	45,0	
- Dicke der Außenwände [m]:	2,00	Dicke Geschoßdecke [m]	0,80	Dicke Sohlplatte [m]	2,00	auf L [m]: 22,0
- Gleisbett-Absenkung in Sohlplatte	7,10 m x 0,70	Querschnitt [m <sup>2</sup> ]	5,0	verstärkter Bereich m	3,40	auf L [m]: 23,0
- Durchgang Bahnsteigröhre [m <sup>2</sup> ]	6,00	Durchgänge je Seite Stck.	10	Tunnel-Tor Breite [m]	11,0	Höhe [m]: 6,00
- Treppenauge Stk. je Decke	4	Breite [m]:	7,00	Länge [m]:	6,00	
<b>a) Offene Baugrube</b> mit Berücksichtigung von 1,50 m Arbeitsraum; Aushub mit Bagger						
Aushub-Menge L*B*T:	427 m x 41,0 m x 32,5 m =	568.978 m <sup>3</sup> =	1.024.160 t x	7,90 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	=	4.496
- Baugruben-Verbau:	Rammpfähle setzen u. Ziehen:	1440 St. x 60 kWh/St. x	0,67 kg CO <sub>2</sub> /kWh	=		58
- Arbeitsraum verfüllen:	2 x [ 427 m + 41,0 m ] x 1,50 m x 32,5 m =	45.630 m <sup>3</sup> x	7,90 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	=		361
- Wiederherstellen Gleisbett + Gleisanlagen	oberhalb der Baugrube; im einzelnen noch nicht festgelegt; Annahme:					1.000
<b>b) Beton für Bauwerk:</b> 5 Jahre Bauzeit (angenommen) <span style="float:right">Betonmenge</span>						
- Gebäude- Sohlplatte:	424 m x ( 45,0 m - 22,0 m ) x 2,00 m +	23,0 m x 3,40 m - 4,97 m <sup>2</sup>				50.554 m <sup>3</sup>
- Fundament-Unterstützungen:	Gründungsstatik liegt noch nicht vor; deshalb Mengen-Ansatz angenommen					5.000 m <sup>3</sup>
- Außenwände:	2 x [ ( 420,0 m + 38,0 m ) x 21,10 m -	60,0 m <sup>2</sup> - 66,0 m ] x 2,00 m =				38.151 m <sup>3</sup>
- Gebäudedecke:	[ 424,0 m x 38,0 m - 2 x 7,00 m x	6,00 m ] x 2,00 m				32.056 m <sup>3</sup>
- Geschoßdecke:	2 x [ 420,0 m x 38,00 m - 4,00 m ) -	4 x 7,00 m x 6,00 m ] x 0,80 m =				22.579 m <sup>3</sup>
- Gebäudestützen:	2 Reihen je 25 Stck. 2,25 m <sup>2</sup> x ( 21,1 m -	0,80 m x 2 ]				2.194 m <sup>3</sup>
- Abfang- u. Sicherungsmaßnahmen vorh.	Gebäudestützen Bahnhofs-Halle /	Mengen-Ansatz angenommen				## m <sup>3</sup>
- Zulage ~ 5 % für Treppenblöcke, Aufzugs-,	Technikschächte u.a.m.					7.527 m <sup>3</sup>
- CO <sub>2</sub> -Freisetzung Bauwerk Tunnelstation:		Summe Beton-Bedarf:	158.060 m <sup>3</sup>			84.641
<b>c) Estrich + Bodenbelag Geschoßdecken:</b> [ 903,8 m <sup>3</sup> + 1.147 m <sup>3</sup> + 1.147 m <sup>3</sup> ] x 300 kg/m <sup>3</sup> x 0,85 [kg CO <sub>2</sub> /kg] = 815						
- Ebene E0:	420 m x ( 34,0 m - 7,10 m ) - 50 St. x	2,25 m <sup>2</sup> = 11.298 m <sup>2</sup> x 0,08 m =	903,8 m <sup>3</sup>			
- E1 + E2 je:	420 m x 34,0 m - 168 m <sup>2</sup> - 50 St. x	2,25 m <sup>2</sup> = 14.336 m <sup>2</sup> x 0,08 m =	1.147 m <sup>3</sup>			
<b>d) Bauzeitliche Beleuchtung:</b> 10 W/m <sup>2</sup> x 44.631 m <sup>2</sup> x 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO <sub>2</sub> /kWh = 6.842						
<b>e) Baugruben-Entwässerung</b> 4 Pumpen je 2,5 kW x 0,25 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO <sub>2</sub> /kWh = 38						
<b>f) Technische Ausrüstung:</b> 18 Rolltreppen, 4 Aufzüge, Beleuchtungsanlagen, Elektro-Installation, WC-Anlagen, Luftkanäle u.a.m. 100						
<b>Summe CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Bau der Station:</b>						<b>98.351</b>
<b>1.2 Bahnsteig-Tunnel [TYP B]; Tunnel-Øi [m]:</b> 8,80 Ges.-Länge 2 x 820 m + 4 x Zufahrt je 200 m = 2.440 m						
<b>a) CO<sub>2</sub>-Freisetzung Bau Stations-Tunnelröhren,</b>		Tunnel-Ausbruch:	2440 m x 12,6 MWh/m x	0,35 kg CO <sub>2</sub> /kWh =		10.760
mit TVM aufgefahren; Ausbruch-Raum:		199.379 m <sup>3</sup> ; Ausbruch-Masse:	358.883 t			
- TUNNEL-SCHALE / Halbmesser: 4,40 m; Länge:	2.440 m x 17,72 m <sup>3</sup> /m x [ 0,62 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =					26.826
- TUNNEL-SOHLLE / Breite ~7,0 m ~ 2,0 m hoch;	2.440 m x 8,121 m <sup>3</sup> /m x [ 0,40 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =					7.827
- VERFÜLLUNG äußerer Ringspalt / Fließbeton:	2.440 m x 3,173 m <sup>3</sup> /m x [ 0,26 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =					1.974
- BAHNSTEIG im Tunnel: 2,00 m breit x 0,80 m hoch; Gesamt-Länge	840 m x 1,60 m <sup>3</sup> /m x [ 0,395 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =					531
<b>b) Durchgänge zur Station 2 x 10 St., B x H x L:</b> 3,20 m x 3,60 m x 2,65 m; Wanddicke: 0,40 m;						
- AUSBRUCH-QUERSCHNITT: [m <sup>3</sup> ]	16,0 Ausbruch-Raum: 42,4 m <sup>3</sup> ; Gesamt-Ausbruch	848 m <sup>3</sup> = 1.651 t				7
- INNEN-QUERSCHNITT: 11,5 m <sup>2</sup> ; Beton-Menge/m:	4,48 m <sup>3</sup> /m; Gesamt-Betonmenge	179,2 m <sup>3</sup> = 430 t				111
<b>c) Estrich + Bodenbelag Tunnel-Bahnsteige 2 x; Höhe: 8 cm</b>						
2 x [ 420 m x 2,50 m + 10 St. x	3,20 m x 4,65 m ] x 0,08 m x 0,255 t/m <sup>3</sup> =					49
<b>d) Bauzeitliche Beleuchtung:</b> 10 W/m <sup>2</sup> x 2.398 m <sup>2</sup> x 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO <sub>2</sub> /kWh = 368						
<b>Summe CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Bau der Bahnsteig-Tunnelröhren:</b>						<b>48.453</b>
<b>Ges.Summe CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Bau der Fernbahn-Tunnel-Station:</b>						<b>146.805</b>

VORGABE-WERTE: s. BLATT 01

t CO<sub>2</sub>

**2. CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Bau der Tunnelstrecken**

Zugrunde liegt die „Vorzugsvariante“ gem. „Machbarkeitsstudie“ der DB Netze AG v. 21.1.2021 mit eingleisigen  
 Zwei-Röhren-Tunnel mit 4,40 m Innenradius; Tunnelausbruch mittels TVM (Tunnel-Vortriebs-Maschine);  
 lichter (Innen-)Durchmesser: 8,80 m, lichter Querschnitt 52,7 m<sup>2</sup>, Ausbruch-Querschnitt 81,7 m<sup>2</sup>,  
 Beton-Verbrauch je Tunnel-Meter: 29,0 m<sup>3</sup>/m Tunnel. => 69,6 t/m je Tunnelmeter.

TUNNEL-BAUWERKE: 2-Röhren-Tunnel, eingleisig			
- Westtunnel:	Länge l <sub>T</sub> [m]:	1.500	- Anzahl Querstollen: 2
- Osttunnel:	Länge l <sub>T</sub> [m]:	2.600	- Anzahl Querstollen: 5
- Abzweig n. Hanau:	Länge l <sub>T</sub> [m]:	1.900	- Anzahl Querstollen: 3
- Abzweig n. Offenbach:	Länge l <sub>T</sub> [m]:	2.000	- Anzahl Querstollen: 3
- TUNNEL-Gesamtlänge	Länge l <sub>T</sub> [m]:	<b>8.000</b>	<b>Gesamtzahl Querstollen 13</b>
- Gesamtlänge Tunnelröhren:	l <sub>T</sub> [m]	<b>16.000</b>	

**2.1 TUNNEL-STRECKEN;** Tunnel-Ø [m]: 8,80 **Ges.-Länge** 2 x 8.000 m = **16.000** m; Bauzeit Jahre: 5

**a) CO<sub>2</sub>-Freisetzung Bau der Tunnelröhren,** Tunnel-Ausbruch: 16000 m x 12,6 MWh/m x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **70.560**  
 mit TVM aufgefahren; **Ausbruch-Raum: 1.307.405 m<sup>3</sup>; Ausbruch-Masse: 2.353.329 t**

- TUNNEL-SCHALE / Halbmesser: 4,40 m; Länge:	16.000 m x 17,7 m <sup>3</sup> /m x [ 0,62 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =	<b>175.910</b>
- TUNNEL-SOHLLE / Breite ~7,0 m ~ 2,0 m hoch;	16.000 m x 8,1 m <sup>3</sup> /m x [ 0,40 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =	<b>51.326</b>
- VERFÜLLUNG äußerer Ringspalt / Fließbeton:	16.000 m x 3,2 m <sup>3</sup> /m x [ 0,26 t CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> ] =	<b>12.946</b>

**b) Querschläge (Rettungsstollen)** alle 500 m zwischen den Tunnelröhren; B x H = 3,20 m x 3,60 m; je 20 m lang;  
 - Ausbruch-Querschnitt: 20,7 m<sup>2</sup>; Innen-Querschnitt: 9,17 m<sup>2</sup>; Betonmenge Querschlag: 231,2 m<sup>3</sup>  
 bergmännisch aufgefahren; **Ausbruch-Raum: 5.390 m<sup>3</sup>; Ausbruch-Masse: 9.702 t** **43**

- INNEN-QUERSCHNITT: 9,17 m<sup>2</sup>; Beton-Menge/m: 11,6 m<sup>3</sup>/m; Gesamt-Betonmenge **3.006 m<sup>3</sup> = 7.213 t** **1.865**

**c) Technik-Nischen,** B x H x L = 4,25 x 3,60 x 4 m, 2 Stck. bei jedem 2. Querschlag = 10 Stk. Je 4,0 m lang;

- Ausbruch-Querschnitt: 28,3 m<sup>2</sup>; Innen-Querschnitt: 12,9 m<sup>2</sup>; Betonmenge je Te-Nische: 61,5 m<sup>3</sup>  
 bergmännisch aufgefahren; **Ausbruch-Raum: 1.131 m<sup>3</sup>; Ausbruch-Masse: 2.035 t** **9**

- INNEN-QUERSCHNITT: 12,90 m<sup>2</sup>; Beton-Menge/m: 15,4 m<sup>3</sup>/m; Gesamt-Betonmenge **615 m<sup>3</sup> = 1.476 t** **381**

- Technische Ausrüstung je Nische 500 kg Stahl x 10 Stk. x 1,4 kg CO<sub>2</sub>/kg Stahl = **7**

**d) Trogbauwerke Ost (2x) u. West,** im Tagebau erstellt, Länge je: 300 m; Breite 16,0 m, je 12,0 m tief; Anzahl 3

- Trogsohle; Dicke 1,20 m; Beton-Menge:	300 m x 17,8 m x 1,20 m = 6.408 m <sup>3</sup> Beton	
- Trog-Stirnwand 0,60 m dick;	[ 17,2 m x 12,0 m - 106 m <sup>2</sup> ] x 0,60 m = 60 m <sup>3</sup> Beton	
- Trog-Seitenwand 0,60 m dick 2 x 300 m x [ 12,0 m + 0,40 m ] : 2 x 0,60 m =	2.232 m <sup>3</sup> Beton	
- Gesamt-Betonmenge:	3 x [ 6.408 m <sup>3</sup> + 60,5 m <sup>3</sup> + 2.232 m <sup>3</sup> ] = <b>26.101 m<sup>3</sup> = 62.643 t Beton</b>	<b>13.977</b>

- Aushub-Menge: 3 x 370 m x [ 16,0 m + 2 x ( 0,30 m + 1,50 m ) ] x 13,2 m : 2 = m<sup>3</sup> **143.590** **258.461 t**

Bagger-Leistung: 30 m<sup>3</sup>/h; Anzahl Bagger-Stunden: 4.786 Diesel-Verbrauch: **129,2 t x 3,161 kg CO<sub>2</sub>/kg** **408**

- Baugruben-Verbau: Setzen + Ziehen der Ramppfähle Stk.: 600 St. x 60 kWh/St. x 0,67 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **24**

- Arbeitsraum verfüllen: 2 x [ 300 m x ( 1,50 m + 0,30 m ) x 12,0 m : 2 ] = 6.480 m<sup>3</sup> x 7,90 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = **51**

**d) Baueitliche Tunnellüftung:** 2 Lüfter je 15 kW x 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **460**

**e) Baueit-Tunnelbeleuchtung:** 5 10 W/m x 16.300 m x 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **2.499**

**f) Baugruben-Entwässerung:** 3 x 4 Pumpen je 2,5 kW x 0,25 5 a x 8.760 h/a x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **38**

**Summe CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch Bau der Tunnelstrecken: 330.505**

**2.2 ZUSÄTZLICHE BAUWERKE + BAUSTELLEN-EINRICHTUNG** (soweit derzeit absehbar, ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

**a) 2 Entrauchungsbauwerke,** Bauwerk z.Zt. noch nicht festgelegt; angesetzte Größe wie bei S21 je L x B x H = 26 x 22,5 x 7,5 m,

Betonmenge 2 x 2 2.500 m<sup>3</sup> x [ 0,35 t/m<sup>3</sup> x 0,85 t CO<sub>2</sub>/t + 0,17 t/m<sup>3</sup> x 1,4 t CO<sub>2</sub>/t ] x 2 = **2.678**

Aushub im Tagebau mit Bagger: 2 x 10.000 m<sup>3</sup> x 7,90 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = **158**

- Techn. Ausrüstung: je 2 Großgebläse je 20 t + Stellkleppen, Schalldämpfer + Luftkanäle 2 t + 3 Trfos je 1t + Leistungs- und u. Steuerkabel + El.-Schaltanlagen 1t sowie Treppen, Geländer u.a.m., zus. je: **46 t x 2 x 1,2 [kg CO<sub>2</sub>/kg = 110**

**b) 3 Löschwasser-Behälter 100 m<sup>3</sup>,** jeweils an Tunnel-Ausfahrt, Betonmenge je 60 m<sup>3</sup> x 0,536 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = **96**

Aushub im Tagebau mit Bagger: 3 x 510 m<sup>3</sup> x 7,90 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = **12**

**c) 3 Rettungsplätze** je 1.500 m<sup>2</sup> mit Zufahrten: Planier- u. Belags-Arbeiten, angenommene CO<sub>2</sub>-Freisetzung: je 10 t CO<sub>2</sub> = **30**

**d) 3 Vertikalschächte für Abzweig- (Y-)Bauwerke** je 45,0 m Innen-Ø, 58,0 m tief, Wanddicke 0,80 m; Bauzeit: 4 Jahre  
 Betonmenge 3 x π/4 x [ ( 45,00 m + 2 x 0,80 m )<sup>2</sup> - 45,0<sup>2</sup> m<sup>2</sup> ] x 58,0 m = **20.029 m<sup>3</sup> = 48.069 t Beton** **10.725**

Aushub im Tagebau mit Bagger: 3 x π/4 x [ ( 45,0 m + 2 x 0,8 m )<sup>2</sup> x 58,0 m = **296.764 m<sup>3</sup> = 534.175 t Aushub** **2.345**

Baugruben-Entwässerung: 3 x 2,5 kW x 0,3 x 8.760 h/a x 4,0 a x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **28**

Spundwand Mainufer; Länge: 300 m x 25,0 m x 10 mm x 7,85 t/m<sup>3</sup> = **589 t Stahl x 1,40 kg CO<sub>2</sub>/kg = 824**

Setzen und Ziehen der Spundwände: 300 m x 150 kWh/m x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **16**

Baugruben-Verbau: Setzen + Ziehen der Ramppfähle: 600 Stk. x 50 kWh x 0,67 kg CO<sub>2</sub>/kWh = **20**

Gelände-Abtragung: 300 m x 25,0 m x 5,00 m = **37.500 m<sup>3</sup> = 67.500 t Aushub** **296**

**e) Main-Kaimauer** auf 300 m Länge teilw. abtragen + erneuern:  
 - Teilabbruch auf: 300 m x 9,00 m x 0,60 m = **1.620 m<sup>3</sup> x 50 kWh/m<sup>3</sup> x 0,35 kg CO<sub>2</sub>/kWh = 28**  
 - Wiederherstellen: 1.620 m<sup>3</sup> x 0,536 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> = **868**

VORGABE-WERTE: s. BLATT 01	t CO2
<b>f) Baustellen-Einrichtung und Baustraßen</b>	
- Aushub und Planieren mit Bagger: $5.000 \text{ m}^3 \times 7,90 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 =$	40
- Betonmenge $\sim 1.000 \text{ m}^3 \times 0,395 \text{ t CO}_2/\text{m}^3 =$	395
- Beleuchtung Baustellen + Baubaracken: $50 \text{ kW} \times 2.000 \text{ h/a} \times 8 \text{ a} \times 0,35 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} =$	280
<b>Summe CO2-Freisetzung Zusatz-Bauwerke + Baustellen-Einrichtung:</b>	<b>18.949</b>
<b>2.3 TECHNISCHE AUSRÜSTUNG / AUSSTATTUNG TUNNEL</b>	
<b>a) Bahnschienen:</b> je lfdm $49,43 \text{ kg/m} + \text{Befestigungsmittel } 2,6 \text{ kg/m}$ (Auflageplatte, Bolzen, Spannfedern), zus. Schiene; $52,0 \text{ kg/m}$	
- Schienen-Längen: im Tunnel $2 \times 2 \times 8.000 \text{ m} = 32.000 \text{ m}$ ; Tiefbahnhof: $2 \times 4 \times 800 \text{ m} + 4 \times 100 \text{ m} = 6.800 \text{ m}$ ; 3 Ausfahrtröge	
je 2-gleisig, mit Anschluß an Bestand: $3 \times 2 \times 2 \times 500 \text{ m} = 6.000 \text{ m}$ ; zus.: $44.800 \text{ m} \times 52,0 \text{ kg/m} \times 1,4 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	3.261
<b>b) Feuerlöschleitung DN 100:</b> $12,1 \text{ kg/m} \times 2 \times (8.000 \text{ m} + 820 \text{ m}) = 213,4 \text{ t} \times 1,4 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	299
<b>c) Bahnstrom-Versorgungskabel 15 kV/16 Hz;</b> je lfdm = $10,0 \text{ kg/m} + 20,0 \%$ für Befestigungen + Kabelrinnen	
Gesamt-Länge: $2 \times 8.000 \text{ m} + 20 \%$ = $19.200 \text{ m} \times 12,0 \text{ kg/m} = 230 \text{ t} \times 1,2 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	276
<b>d) Oberleitungen</b> einschl. Befestigungen / Abspannungen: je lfdm: $6,0 \text{ kg/m}$	
Gesamt-Gewicht: $6,0 \text{ kg/m} \times 2 \times [(8.000 \text{ m} + 2 \times 420 \text{ m} + 2 \times 200 \text{ m}) + 3 \times 500 \text{ m}] = 128,9 \text{ t} \times 1,4 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	180
<b>e) Sonstige Elektro-Installationen:</b> Signalkabel, Tunnel- Beleuchtung, Notruf, Brandmelder usw.	50
<b>Summe CO2-Freisetzung durch Technische Ausrüstung / Ausstattung:</b>	<b>4.067</b>
<b>Zusammenstellung Abschn. II: - 2.1 Bau der Tunnelstrecken:</b>	<b>330.505</b>
- 2.2 Bauwerke und Baustellen-Einrichtung:	18.949
- 2.3 Technische Ausrüstung / Ausstattung:	4.067
<b>Ges.Summe CO2-Freisetzung durch Bau der Tunnel-Strecken:</b>	<b>353.522</b>
<b>3. CO2-Freisetzung durch Aushub-Abfuhr, Anliefer- und Baustellen-Verkehr</b>	
<b>a) Tübbinge anliefern</b> ab Werk Oberpfalz $\sim 250 \text{ km}$ ; Sattelschlepper $30 \text{ t}$ , mittlere Fahrtdauer: $4,0 \text{ Std.}$ ;	
Motorleistung: $400 \text{ PS}$ ; Wirkungsgrad $40 \%$ ; mittl. Belastung Lastfahrt: $40 \%$ ; Leerfahrt $15 \%$	
Diesel-Kraftstoff-Verbrauch bei Vollast: $62,0 \text{ kg/h}$ ; bei mittlerer Lastfahrt: $24,8 \text{ kg/h}$ ; b. Leerfahrt: $9,30 \text{ kg/h}$	
<b>Masse der Tübbinge:</b> $42,5 \text{ t/m} \times 18.440 \text{ m} = 784.154 \text{ t}$ ; Anzahl der Fahrten: <b>26.138</b> jeweils Hin- und Rückfahrt	
<b>Diesel-Kraftstoff-Ges.Verbrauch:</b> $3.565 \text{ t} \times 3,16 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	11.268
Tübbinge auf-/abladen u. TVM beschicken mit Gabelstapler $784.154 \text{ t} \times 1,50 \text{ kg/t} \times 3,16 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	3.718
<b>b) Aushub / Ausbruch abfahren</b> auf Bauschutt-Deponie mit $25 \text{ t-LKW}$ , mitlere Fahrtdauer: $1,0 \text{ Std.}$ ;	
Motorleistung: $350 \text{ PS}$ ; Wirkungsgrad $40 \%$ ; mittl. Belastung Lastfahrt: $40 \%$ ; Leerfahrt $15 \%$	
Diesel-Kraftstoff-Verbrauch bei Vollast: $54,2 \text{ kg/h}$ ; bei mittlerer Lastfahrt: $21,7 \text{ kg/h}$ ; b. Leerfahrt: $8,14 \text{ kg/h}$	
<b>Aushub-Mengen:</b>	
1.1 Baugrube Stationsgebäude: $1.024.160 \text{ t}$	
1.2a Bahnsteig-Tunnel: $358.883 \text{ t}$	
1.2b Durchgänge zur Station: $1.651 \text{ t}$	
2.1a Tunnelstrecken: $2.353.329 \text{ t}$	
2.1b Querschläge (13 Stk.): $9.702 \text{ t}$	
2.1c Technik-Nischen (12 Stk.): $2.035 \text{ t}$	
2.1d Trogbauwerke (3 Stk.): $258.461 \text{ t}$	
2.2a Entrauchungsbauwerke (2 Stk.): $36.000 \text{ t}$	
2.2b Löschwasser-Behälter (3 Stk.): $2.754 \text{ t}$	
2.2d Schächte Y-Bauwerk (3 Stk.): $534.175 \text{ t}$	
- Gelände-Abtragung: $67.500 \text{ t}$	
2.2e Teilabbruch Kaimauer: $1.620 \text{ t}$	
<b>Summe Aushub- u. Abbruchmengen:</b> <b>4.650.270 t</b>	
ergibt <b>186.011 LKW-Fahrten</b> $\times 54,2 \text{ kg/h Diesel} \times 1,0 \text{ Std.} \times 0,55 \times 3,16 \text{ kg CO}_2/\text{kg} =$	17.542
<b>c) Sonstiger Anliefer- und Baustellen-Verkehr, Baukräne u.a.m.,</b> hierfür angesetzt:	1.000
<b>Summe CO2-Freisetzung durch An- und Abtransporte, Baustellen-Verkehr:</b>	<b>33.528</b>
<b>GESAMT-ZUSAMMENSTELLUNG CO2-FREISETZUNG:</b>	
<b>Abschn 1.0 Bau der Fernbahn-Tunnelstation:</b>	<b>146.805</b>
<b>Abschn. 2.0 Bau der Tunnelstrecken:</b>	<b>353.522</b>
<b>Abschn. 3.0 Abfuhr, Anliefer- u. Baustellen-Verkehr:</b>	<b>33.528</b>
<b>Zuschlag Umlegen von Kabeln, Abwasser- u. Versorgungsleitungen u.a.m. 10 %</b>	<b>53.385</b>
<b>zur Aufrundung:</b>	<b>12.760</b>
<b>GESAMT- CO2-FREISETZUNG durch Bau des Fernbahn-Tunnelbahnhof Frankfurt</b>	<b>600.000</b>