

Brandschutz Frankfurt Fernbahntunnel und Tiefbahnhof – Punkte im Nachgang der Besprechung vom 24.01.2024

Inhalt

Brandschutz in den Tunneln.....	2
1. Was ist ein Rettungskonzept? EBA: Selbstrettung gewährleisten!	2
2. Handlungsbedarf im Tunnelbrandschutz	3
3. Internationaler Vergleich nicht hilfreich?	4
4. Brandfall maßgeblich	6
5. Brände im Tunnel selten?	7
6. Worst Case maßgeblich	7
7. Selbstrettungszeit < Verrauchungszeit	8
8. 15 Min. Selbstrettungszeit in Deutschland	9
9. Verrauchungszeit ist aber pro Objekt zu bestimmen	10
10. Rettungswege auf beiden Seiten der Tunnelröhre	11
11. Erhöhte Banketten.....	12
12. Fluchttürbreite.....	13
13. Räumzeitberechnung nach NFPA und vfdb sind akzeptierte Methoden	13
14. Einengungen der Rettungswege sind zu vermeiden.....	15
15. Möglichkeit: Kostenoptimierung einer sicheren Auslegung	16
Brandschutz im Tiefbahnhof.....	16
16. Personenzahl	16
Dokumente	17
Einzelnachweise.....	18

Dr. Christoph Engelhardt
Hüterweg 12c
85748 Garching
089 3207317

christoph.engelhardt
@wikireal.org

Garching, 06.02.2024

In der Besprechung vom 24.01.2024 wurden mehrere Aussagen des Unterzeichners speziell zum Tunnel-Brandschutz vom Vertreter des DB-Notfallmanagements kritisiert. Sie seien unzutreffend oder zu weitreichend formuliert (Punkte 1-14). Auch zum Tiefbahnhof waren Fragen aufgeworfen worden. Der Unterzeichner hatte zugesagt, die Belege für seine Aussagen zu liefern. Das geschieht mit dem vorliegenden Text. Sofern die Darstellungen als nicht hinreichend erscheinen, können jeweils weitere Belege geliefert werden.

► **Auf Basis dieser Belegsammlung wird der Vertreter des Notfallmanagements um Stellungnahme gebeten, sofern er sich einzelnen Punkten weiterhin nicht anschließen kann.** Er hat seine Interpretation der Brandschutz-Vorschriften als abgestimmt mit dem Eisenbahn-Bundesamt (EBA) angegeben. In Punkt (1) wird dargestellt, dass das EBA zumindest in seinem Forschungszentrum in Dresden in mehreren zentralen Aspekten offenbar klar die Interpretation des Unterzeichners stützt. Es stellt sich daher dringend die Frage, ob nicht eine Vertretung des EBA in diesen Prozess der Prämissenklärung eingebunden werden sollte. Denn immerhin soll im laufenden Jahr die grundsätzliche Auslegung des Projekts festgelegt werden.

Die wichtigste Voraussetzung für die Diskussion unseres gemeinsamen Anliegens eines regelgerechten und die Schutzziele erfüllenden Brandschutzes des Frankfurter Fernbahntunnels ist das gemeinsame Verständnis für die anzulegenden Maßstäbe. Dies soll mit diesem Text, der erbetenen Antwort darauf und ggf. weiterem Austausch zum Thema erreicht werden. Auf diese Weise könnte die nächste (für Mai ins Auge gefasste) Diskussion bestmöglich vorbereitet werden.

1. Was ist ein Rettungskonzept? EBA: Selbstrettung gewährleisten!

Der Vertreter des DB-Notfallmanagements vertrat die Interpretation, dass das Rettungskonzept im Wesentlichen aus dem Vorhandensein der zweiten Röhre als sicherem Bereich und dem Zugang dazu durch die Rettungsstollen bei Einhaltung der Dimensionierungsvorgaben (Querschlagabstand ≤ 500 m, Rettungswegbreite $> 1,20$ m) umgesetzt werde. Diese Interpretation sei abgestimmt mit dem EBA.

Der Unterzeichner hingegen verwies auf § 1.3 der maßgeblichen EBA-Tunnelrichtlinie (Abb. 1, Tunnel-Ril S. 9, siehe unten unter „Dokumente“). Er sieht in der geforderten „Gewährleistung“ der „Selbstrettung“ eine der stärksten Forderungen im Vergleich zu internationalen Richtlinien. Insbesondere steht hier die Aufforderung, die bauliche Gestaltung des Tunnels vor der Planfeststellung auf dieses Schutzziel hin auszulegen.

Und es ist das EBA, das in einer neueren Studie unmissverständlich klar macht, dass ausdrücklich bezogen auf Doppelröhrentunnel der Abstand der Querschläge sowie Rettungswegbreiten in Abhängigkeit von der Personenzahl angepasst werden müssen (Abb. 2 Folges., DZSF 2022 S. 26).

Es bestehen also in der Interpretation der Tunnelrichtlinie deutliche Diskrepanzen zwischen DB-Notfallmanagement und EBA. Diese müssen vor Festlegung der Kubatur der Tunnel im laufenden Jahr geklärt werden. Dazu wird angeregt, frühzeitig mit dem EBA Kontakt aufzunehmen und die Prämissen im Brandschutz zu klären, sehr gerne im Rahmen des mit dem 24.01.2024 begonnenen Austauschs, möglichst schon mit dem ins Auge gefassten nächsten Termin im Mai 2024.

Die zweite für Doppelröhrentunnel in Deutschland maßgebliche Richtlinie der EU, die „TSI SRT“ verlangt ebenfalls ein funktionierendes Rettungskonzept. Dies findet sich in Form von der mehr-

Für Tunnel ist ein Rettungskonzept aufzustellen, das die Selbst- und Fremdrettung gewährleistet.

Die nach dem Rettungskonzept notwendigen Maßnahmen sind bereits während der Planung mit den zuständigen Stellen abzustimmen.

Die Ausgestaltung des Rettungskonzepts hat unmittelbaren Einfluss auf die bauliche Gestaltung des Tunnelbauwerks. Deshalb müssen die Einzelheiten vor Einleitung des Planfeststellungsverfahrens festgelegt sein.

Tunnelrichtlinie des Eisenbahn-Bundesamts, Abschnitt 1.3, alle Ausgaben, hier vom 01.07.2008

Abb. 1 EBA Tunnelrichtlinie: Rettungskonzept muss „Selbstrettung“ „gewährleisten“ und vor der Planung für das Planfeststellungsverfahren festgelegt werden, da es die bauliche Gestaltung bestimmt (Tunnel-Ril).


fachen Forderung, dass die „Selbstrettung“ „ermöglicht“ werden muss und ein Notfallplan aufgestellt werden muss (TSI SRT Punkte 4.2.1.2.a und b, 4.2.1.5.1.a, 4.2.1.5.2.b(2): Selbstrettung ermöglichen, 4.4.2: Notfallplan). Das hier verwendete „Ermöglichen“ erscheint tendenziell schwächer als das „Gewährleisten“ aus der EBA-Tunnelrichtlinie. Es ist aber offenbar klar genug, dass bei der Mehrzahl der Tunnelprojekte unter Gültigkeit der TSI SRT bspw. die Querschlagabstände deutlich unter das Höchstmaß von 500 m abgesenkt werden. Und das obwohl in diesen Tunneln um Faktoren kleinere Personenzahlen zu evakuieren sind (Punkt 3).

2. Handlungsbedarf im Tunnelbrandschutz

Der Vertreter des DB-Notfallmanagements erweckte den Eindruck, dass bei Einhaltung der Mindestanforderungen der EBA-Tunnelrichtlinie kein Handlungsbedarf bestehe. Nehmen wir das Sicherheitsniveau bisher in Deutschland gebauter Doppelröhrentunnel als Maßstab, dann weicht die bisherige Planung für den Frankfurter Fernbahntunnel deutlich von den dortigen Parametern und damit dem dort erreichten Sicherheitsniveau ab (abgesehen von Stuttgart 21, das aber laut der Besprechung am 14.01.2024 in der Diskussion außen vor lassen gelassen werden soll¹).

Bisher ist noch nicht geklärt, welcher Tunnelquerschnitt für die eingleisigen Röhren im Fernbahntunnel vorgesehen ist. Er soll sich aber ggü. der Machbarkeitsstudie wahrscheinlich nicht ändern. Dort gab es zwei verschiedene Angaben über einen freien Querschnitt von 59 m² und 52,7 m² (HEP 2023 S. 19-21). Demgegenüber liegen bspw. die freien Querschnitte der Tunnel auf der Neubaustrecke (NBS) Karlsruhe-Basel (K-B) oder Erfurt-Leipzig/Halle (E-L/H) bei rund 62 m². Der Querschnitt in Frankfurt liefert zusammen mit der hohen Steigung von bis zu 25 ‰ eine grob geschätzte Verrauchungszeit von 8 bis 10 Minuten (s.u. Punkt 9). Damit ist im ungünstigen Fall

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt



01.2022
S. 26

DZSF-Studie

Untersuchung der Auswirkungen unterirdischer Verknüpfungsstellen auf Neubaustrecken am Beispiel des deutschen Brenner-Nordzulaufs

Generell muss es aber im Notfall an jeder beliebigen Stelle des Tunnels möglich sein, einen brennenden Zug zu verlassen und einen sicheren (d. h. vor Rauch, Gasen und extremer Hitze geschützten) Raum aufzusuchen.

Der Bau separater Tunnelröhren für jede Fahrtrichtung ermöglicht es, die jeweils nicht betroffene Röhre als sicheren Raum zu nutzen. Dazu müssen die beiden Hauptröhren in regelmäßigen Abständen über Querschläge miteinander verbunden werden. Der Abstand zwischen den Querschlägen und die Gestaltung der Rettungswege muss **so gestaltet** sein, dass **alle** betroffenen Personen die sicheren Bereiche auch bei starker Raumentwicklung und kurzzeitiger Einwirkung giftiger Gase und Dämpfe noch aus eigener Kraft erreichen können.

Abb. 2, EBA: Rettungsstollenabstand und Rettungswegbreite müssen auf die Personenzahl angepasst werden. Außerdem ist ein Halt an jeder Stelle (also insbesondere auch der worst case) abzudecken (DZSF 2022, Hervorhebungen durch den Unterzeichner).

die Verrauchung rund 2-mal schneller als die 15 Min. Evakuierungszielzeit, die die DB anstrebt (Punkt 8) (Abb. 3).

Und für die Rettungswege wurden abzüglich dem Platz für Einbauten (-0,3 m) an den engsten Stellen minimale Rettungswegbreiten von 1,2 m bis 1,4 m gefunden (HEP 2023 S. 21). Das sind nur rund 2/3 der üblichen Breite von durchschnittlich 2 m etwa in den Tunneln der NBS K-B, E-L/H oder Wendlingen-Ulm (W-U).² Damit liegt im engen Bereich auf dem Rettungsweg neben dem Zug rein geometrisch die Evakuierungszeit etwa bei dem 1,5-fachen des Üblichen.

Am gravierendsten ins Gewicht fällt allerdings die hohe Personenkapazität der Züge, die durch den Frankfurter Fernbahntunnel fahren sollen. In der Besprechung vom 24.01. wurden 400 m lange Doppelstockzüge angegeben. Hierfür werden vom Unterzeichner 3.681 zu evakuierende Personen im Folgenden angesetzt (Punkt 16). Dieser Wert liegt gut das Vierfache über den üblichen 909 Insassen eines ICE3.

3. Internationaler Vergleich nicht hilfreich?

Der Vertreter des Notfallmanagements zweifelte auch am Nutzen, sich internationale Vergleichsprojekte anzusehen. Zum einen findet man tatsächlich international viele Beispiele, in denen sich die Auslegung eines Tunnels an Vergleichsprojekten orientiert. Auch gilt zum anderen für die meisten europäischen Tunnel die TSI SRT. Wenn diese Tunnel ein sehr viel höheres Sicherheitsniveau erreichen, ohne dass nationale Richtlinien deutlich schärfere Vorgaben machen, stellt sich die Frage, ob die TSI SRT hierzulande richtig interpretiert wird.

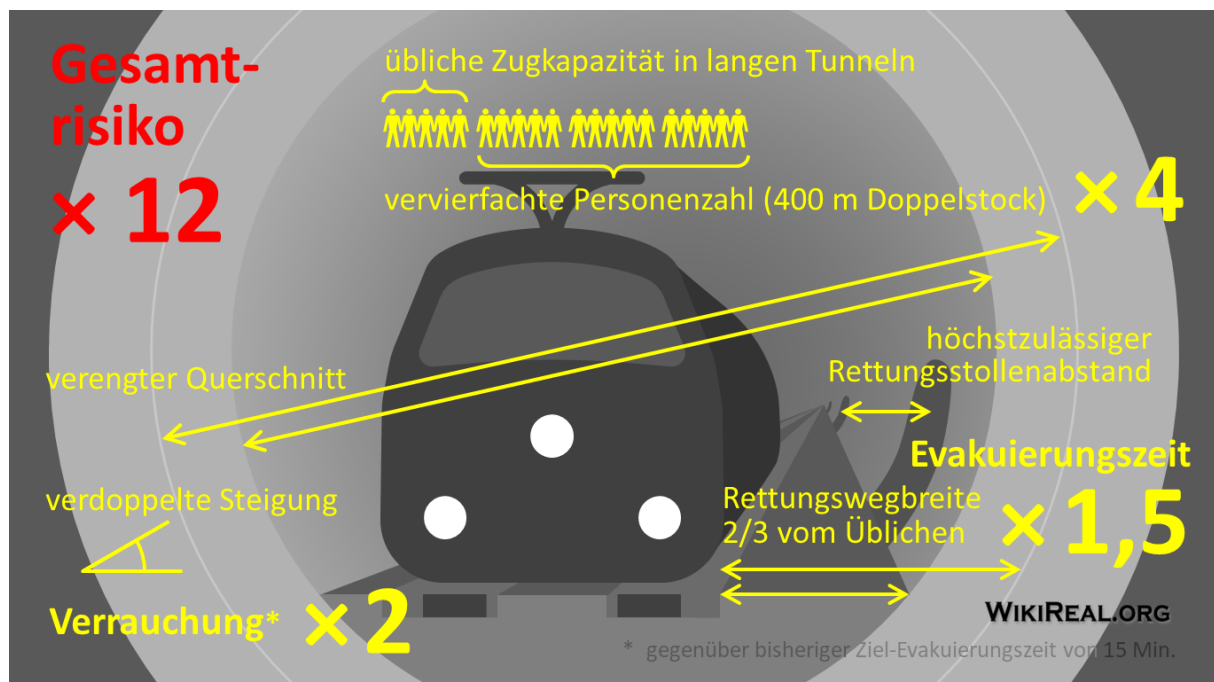


Abb. 3: Die 5 zentralen Parameter im Tunnel-Brandschutz und das rund 12-fache Risiko im Frankfurter Fernbahntunnel laut Machbarkeitsstudie. Die Fliehenden werden vom Rauch überholt (grobe schematische Abschätzung zur Verdeutlichung des Handlungsbedarfs).

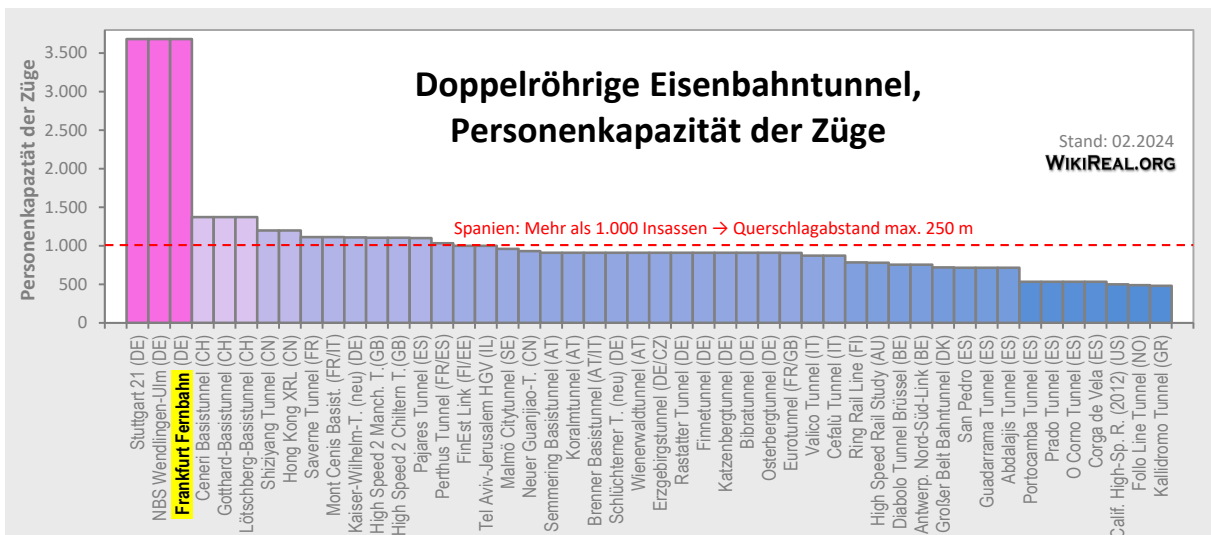


Abb. 4, Zugkapazitäten. Im Frankfurter Fernbahntunnel sind wie in Stuttgart so viele Reisende geplant (s. Punkt 16) wie nirgendwo sonst.² Dies müsste zu extremen Anstrengungen für die Evakuierung führen, wie in Spanien mit einem reduzierten Querschlagabstand bei vielen Insassen.

Allein schon der Vergleich der Personenzahlen (Abb. 4) macht deutlich, dass für den Frankfurter Fernbahntunnel besondere Anstrengungen für die Evakuierung nötig wären. Obwohl bei den internationalen Vergleichsprojekten viel weniger Personen zu evakuieren sind, werden dort kostspielige Anstrengungen unternommen, um das notwendige Sicherheitsniveau zu erreichen. Das wird deutlich an den Abständen der Querschläge oder Rettungsstollen, die in der Mehrzahl der Projekte deutlich unter den laut Richtlinie höchstzulässigen Wert von 500 m abgesenkt werden (Abb. 5) und in Spanien bei mehr als 1.000 Passagieren max. 250 m betragen dürfen.

Deutlich wird die Sonderstellung der bisherigen Planung für den Frankfurt Fernbahntunnel wie

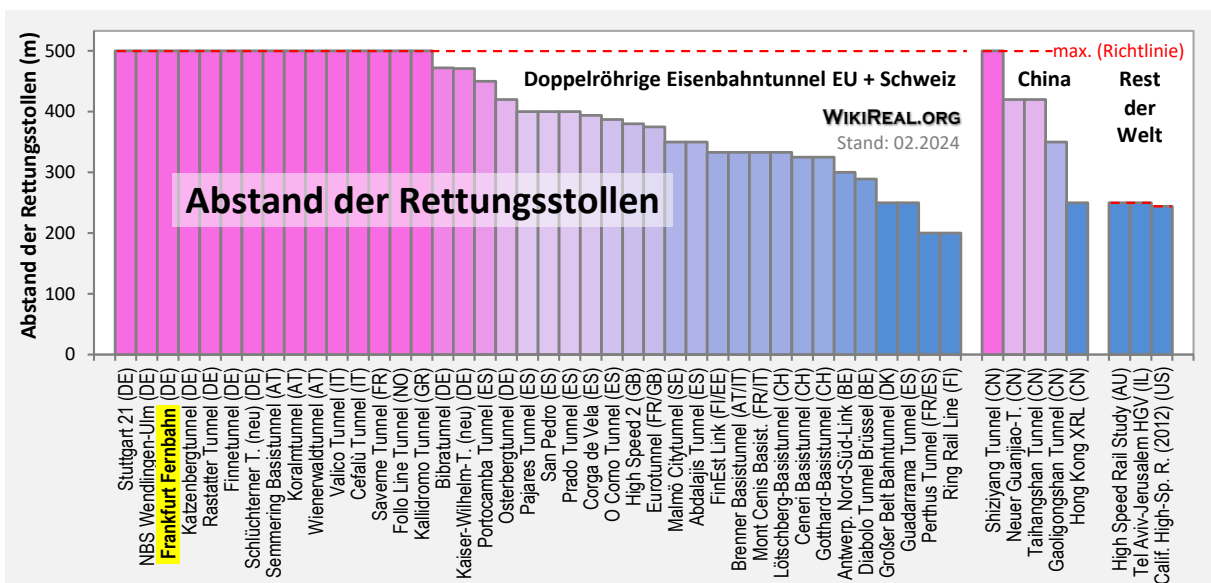


Abb. 5: Rettungsstollenabstände. Die große Mehrzahl der Doppelröhrentunnel, für die maximal 500 m Abstand gilt (EU, Schweiz, China) wurde zur Sicherheit mit deutlich kürzerem Querschlagabstand gebaut, teils mit nur 200 m.²

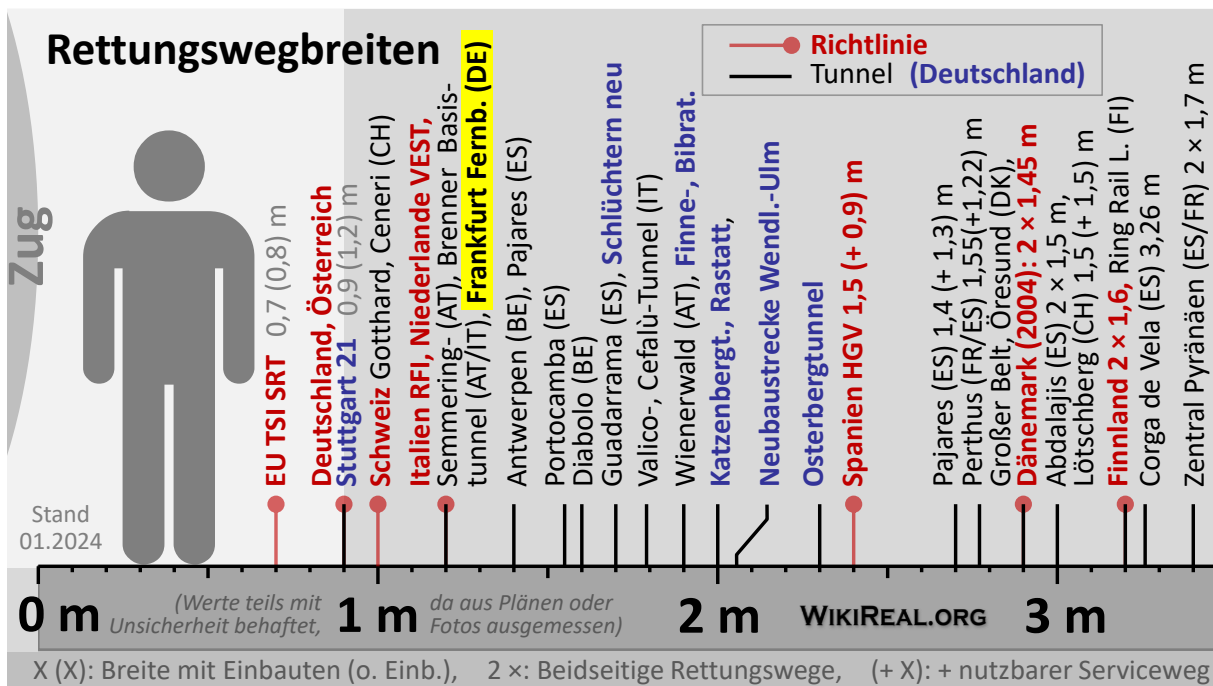


Abb. 6, Rettungswegbreiten. Die international tatsächlich realisierten Rettungswegbreiten liegen zumeist weit über den Planungen in Frankfurt oder in Stuttgart.²

auch für die S21-Tunnel im internationalen Vergleich der Rettungswegbreiten (Abb. 6). Es ist bemerkenswert, wie die internationalen Tunnelprojekte mit ihren Parametern in der Folge ein ähnliches Sicherheitsniveau erreichen (siehe Punkt 13, dort Abb. 13 S. 15).

4. Brandfall maßgeblich

Die anzuwendende europäische Richtlinie (TSI SRT Bl. 9 Punkt 2.2.1.a) folgt der Prämisse:

„Die Hauptgefahr in Tunneln sind Brände.“

Dieses gilt weiterhin, auch wenn neuere Fahrzeuge mit verringerter Brennbarkeit der Materialien gebaut werden und mit verbesserten (Weiter-)Fahreigenschaften unter Brandbedingungen.

Im Verfahren zum mangelhaften Brandschutz in den Stuttgart 21-Tunneln vor dem Verwaltungsgerichtshof BW (5 S 1693/21) führt der Anwalt der Bahn, Dr. Peter Schütz, in seinem Schriftsatz vom 13.11.2023 an, es sei unwahrscheinlich,³

„dass ein in Brand geratener Zug im Tunnel stehen bleibt. Gleichwohl trifft das Rettungskonzept der Beigeladenen [Deutsche Bahn], das von der Beklagten [EBA] geprüft und genehmigt wurde, auch hierfür ausreichende Vorsorge.“ „Wäre die Beigeladene der Meinung, es sei technisch ausgeschlossen, dass ein in Brand geratener Zug im Tunnel zum Stehen kommt, dann bedürfte es keiner Verbindungsbauwerke zur Nachbarröhre als einem sicheren Bereich.“

Er stellt also klar, dass Ausgangspunkt des Rettungskonzepts ein brennender Zug im Tunnel ist.

5. Brände im Tunnel selten?

Eine im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellte Statistik gibt an, dass 1 von 5 ersten unterirdischen Zugbränden in Deutschland nicht in der Haltestelle, sondern im Tunnel stattfand (BMVI 2010 S. 14 Bild 1).

Der Blick auf internationale Tunnelbrände, wie er auch in der EBA-Studie zur Begründung der nötigen Tunnelsicherheit (DZSF 2022 S. 24 f) getan wird, oder in der Studie zum Brandschutz bei Stuttgart 21 (HE 2018 Anlage 3 Bl. 162 ff), zeigt, dass Tunnelbrände nicht so selten sind.

In Frankfurt ist die Wahrscheinlichkeit für Tunnelbrände noch einmal erhöht. Für die Züge, die von der Schnellfahrstrecke Köln-Rhein/Main kommen, ist die Wahrscheinlichkeit für Brände an Aggregaten mit Nähe zu Antrieb/Bremsen um etwa den Faktor 2,5 erhöht, offenbar aufgrund der höheren Beanspruchung der Technik auf der Strecke mit den sehr steilen Steigungen.⁴

6. Worst Case maßgeblich

Das EBA macht absolut klar, dass jede Position eines Zuges im Tunnel abgedeckt werden muss, damit insbesondere auch der „worst case“ (DZSF 2022 S. 26, s.a. Abb. 2):

„Generell muss es aber im Notfall an jeder beliebigen Stelle des Tunnels möglich sein, einen brennenden Zug zu verlassen und einen sicheren (d. h. vor Rauch, Gasen und extremer Hitze geschützten) Raum aufzusuchen.“

Der typische worst case ist die Blockade eines Rettungsstollens durch Feuer oder Rauch (letzteres meist schon nach kurzer Zeit) an einem Zugende, der alle Fliehenden zum nächsten Stollen zwingt. Bei 500 m Rettungsstollenabstand führt das auch zu einer maximalen Fluchtweglänge von 500 m (Abb. 7). Hier ergeben sich aus der Räumzeitberechnung nach vfdb (Punkt 13) 41 Min. für die Evakuierung. Dieser worst case wurde bspw. auch bei der Planfeststellung des neuen Fehmarnbelttunnels angesetzt.⁵ Für den S21-Tiefbahnhof nahm der Bahn-Anwalt in Anspruch, auch den „worst case“ abzudecken.³ Gleichwohl wurde für S21 der „best case“ mit dem Zug mittig zwischen zwei Rettungsstollen angesetzt,⁶ entgegen den Brandschutz-Grundsätzen.

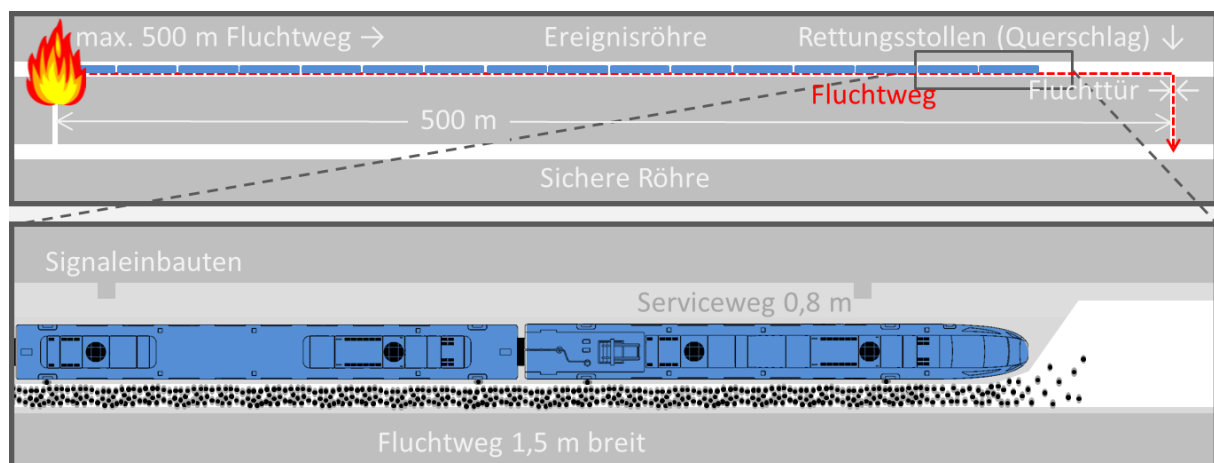


Abb. 7, Worst Case 1. Der klassische worst case ist die Blockade eines Rettungsstollens durch Feuer oder Rauch an einem Zugende, der alle Fliehenden zum nächsten Rettungsstollen zwingt. Frankfurter Fernbahntunnel: Bei 1,5 m Rettungsweg ergeben sich 41 Min. Räumzeit nach vfdb.

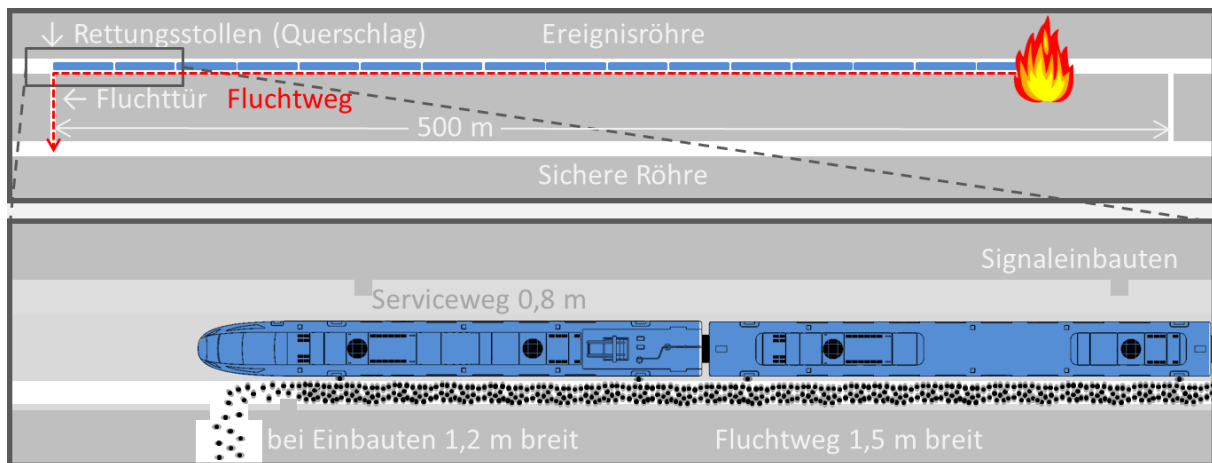


Abb. 8, Worst Case 2. Im Falle von 30 cm breiten Einbauten (neben dem Notausgang) stauen sich sämtliche Insassen an einem 1,2 m breiten Engpass. Für den Frankfurter Fernbahntunnel ergibt sich in diesem Fall eine Dauer der Evakuierung von 59 Minuten (vfdb, mod. Ausl.).

In Tunneln mit Einengungen auf dem Rettungsweg kommt ein zweiter worst case hinzu: Hier ist wiederum ein Zugende von Feuer oder Rauch blockiert und das andere Zugende kommt an einem Engpass zum Stehen. Dann sind alle Zuginsassen gezwungen, den schmalen Engpass zu passieren (Punkt 14). In diesem „Worst Case 2“ ergibt sich für das enge Maß der Rettungswege in Frankfurt mit 1,5 m Breite regulär und 1,2 m verengt eine Evakuierungszeit von 59 Min. (Abb. 8).

7. Selbstrettungszeit < Verrauchungszeit

In zentralen Publikationen zu unterirdischen Verkehrsanlagen und Tunneln wird die Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Rettungskonzept, dass die Evakuierungszeit unter der Verrauchungszeit liegen muss, betont. So auch in den „Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Personenverkehrsanlagen (uPva)“ (DB 2018 S. 3):

„In der Selbstrettungsphase ist es erforderlich, dass eine im Mittel ca. 2,50 m hohe raucharme Schicht über den Rettungswegen gehalten wird.“

„Auf der Bahnsteigebene sollen nur die Bedingungen der Selbstrettungsphase mind. eine Minute über das Ende der Evakuierung der Bahnsteigebene hinaus gehalten werden.“

Ähnlich und ausdrücklich auf Bahntunnel bezogen heißt es in dem Forschungsbericht von 2010 für das Bundesverkehrsministerium „Analyse und Risikobetrachtung von Brandereignissen in schienengebundenen ÖPNV-Tunnelanlagen“ gleich in der Einleitung (BMVI 2010 S. 8):

„Ein ausreichender Brandschutz ist z.B. gegeben, wenn die ermittelte Evakuierungszeit kürzer ist als die Verrauchungszeit.“

Dies findet sich gleichermaßen in zahlreichen weiteren wichtigen Arbeiten zum Thema.¹⁰ In internationalen Fachartikeln zum Thema werden hierzu häufig Formulierungen verwendet wie: „Balancing of time for self-rescue and for proper smoke control“,⁷ oder ähnlich.

„Nach kurzer Zeit, etwa 15 Minuten, ist der Tunnel von giftigem Brandrauch erfüllt, der die Sicht nimmt. Dazu entsteht Hitze von bis zu 1200 Grad Celsius.“

(1) 06.07.2003, FAZ, „Notfallübung. Rettung aus einem verrauchten Bahntunnel“ (unter Notfallmanager Klaus-Jürgen Bieger, Neuer Mainzer Tunnel, 103 m² freier Querschnitt)

(2) DB AG, Anwenderhandbuch „Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr“, 21.06.2010, S. 30
4.6 Selbstrettungsphase [...] lang. Sie kann kürzer oder auch länger als 15 Minuten nach Brandbeginn dauern. Jedoch kann als allgemeine Orientierung dienen, dass die **Selbstrettungsphase in der Regel 15 Minuten** nach Brandbeginn beendet ist [2]. Für die Dauer

“Personal protection” and “Object protection”. It is evident, that the protection of human lives has the utmost priority. Personal protection consists of “Self-rescue” during the first 15 minutes after an incident and “External rescue” normally starting 15 minutes after the beginning of an incident. This is equally valid for all types of transportation tunnels. [...] (3) Roland Leucker, „Underground Fire Safety in Germany“ (ISTSS 2020 S. 49-64), S. 49

• großer Querschnitt erleichtert Intervention (und verraucht langsamer)

• kleiner Querschnitt (verraucht schneller, weniger Platz für Intervention)

(4) DB Netze, Frankfurt Fernbahntunnel, „Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie“, 22.02.2021, 10-mal auf S. 103-111 (Hervorhebungen hinzugefügt)

Abb. 9, Zitate zu 15 Min. Verrauchungszeit in Deutschland. Die „in der Regel 15 Min.“ für die Selbstrettung (2) gelten in Deutschland für alle Verkehrstunnel (3). Engere Tunnel verrauchen schneller (4), so dass für die engen Tunnel in Frankfurt die 15 Min. Verrauchungszeit im großen Neuen Mainzer Tunnel (1) deutlich nach unten korrigiert werden müssten.

8. 15 Min. Selbstrettungszeit in Deutschland

Ausgangspunkt der pauschalen Annahme von 15 Min. Ziel-Evakuierungszeit in unterirdischen Bahnanlagen ist die DB-Anwenderrichtlinie von 2010, die „in der Regel 15 Min.“ als Zielzeit für die Evakuierung angibt (Abb. 9 Ziff. 2, DB 2010 S. 30). Die „Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Personenverkehrsanlagen (uPva)“ der DB Station & Service sprechen davon (DB 2018 S. 3, 4 Bild 1), dass die Selbstrettung „in der Regel“ nach 15 Minuten abgeschlossen ist. Das wird auch so im Lehrbuch angegeben.⁸ Die typischerweise 15 Minuten Selbstrettungszeit in Deutschland werden auch sonst immer wieder für U-Bahn-Systeme⁹ oder uPva¹⁰ genannt.

Roland Leucker, Geschäftsführer der STUVA und Gutachter für die Deutsche Bahn AG schrieb 2008 unmissverständlich (Abb. 9 Ziff. 3), dass die Zeit für Selbstrettung 15 Min. in Deutschland für „alle Typen von Verkehrstunneln“ gilt (Abb. 9 Ziff. 3).¹¹

Eine solche pauschale Annahme für die Verrauchungszeit ist international nicht üblich. Und auch in der Machbarkeitsstudie für den Fernbahntunnel Frankfurt wird vielfach wiederholt, dass die Verrauchung in engeren Tunnelquerschnitten schneller erfolgt als in größeren Querschnitten (Abb. 9 Ziff. 4, FBT 2021 S. 103-111). Demnach sind die 15 Min. Verrauchungszeit, die für die 103 m² freien Querschnitt im Neuen Mainzer Tunnel galten,¹² für die 52,7 m² oder 59 m² im Frankfurter Fernbahntunnel deutlich nach unten zu korrigieren.

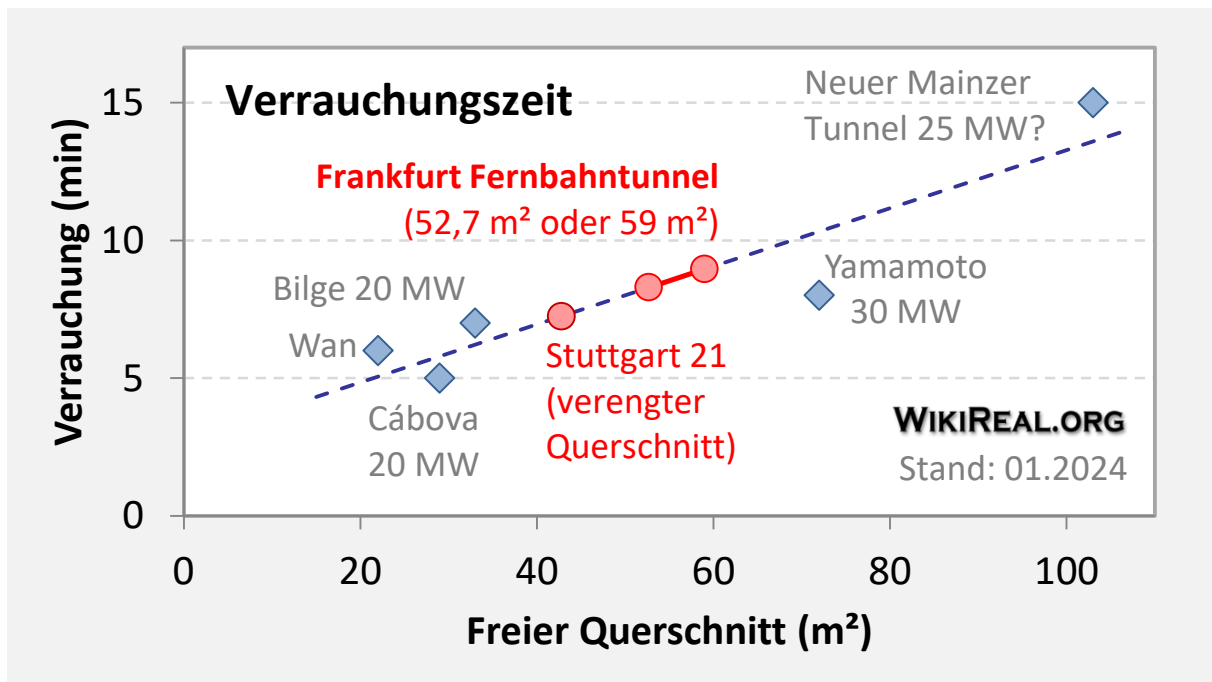


Abb. 10, Abnahme der Verrauchungszeit für engere Tunnelröhren. Aus den in der Fachliteratur veröffentlichten Verrauchungszeiten für verschiedene Tunnelquerschnitte lässt sich ein Erwartungswert für die Verrauchungszeit interpolieren. Für Frankfurt Fernbahntunnel: 8-10 Minuten.

9. Verrauchungszeit ist aber pro Objekt zu bestimmen

Es ist also nach eigener Aussage der DB nötig, die Verrauchungszeit individuell angepasst für den freien Querschnitt eines Tunnels zu bestimmen. Die bisher bekannten Literaturwerte¹³ für Verrauchungszeiten in Eisenbahntunneln erlauben eine lineare Regression zur Abschätzung der Verrauchungszeit in Abhängigkeit vom freien Querschnitt, die für den Frankfurt Fernbahntunnel 8 bis 10 Minuten Verrauchungszeit ergibt (Abb. 10, vgl. HEP 2023 S. A.12-13 / Bl. 40-41).

Allerdings entsprechen die Referenzwerte eher der alten Brandleistung von 25 MW. Für den aktuellen Bemessungsbrand von 53 MW und der damit mehr als verdoppelten Rauchleistung wird eine schnellere Verrauchung erwartet, aber nicht unbedingt um den Faktor 2. Letzteres ergibt sich aus der Erwartung, dass die höhere Wärmemenge im Rauch diesen erst verzögert abkühlen lassen könnte. Dass aber die Verrauchung sogar später eintritt als bei 25 MW ist wiederum nicht zu erwarten, das belegen die bisherigen Erfahrungen bei Erhöhung der Brandleistung.

Hinzu gerechnet werden muss auch noch die Beschleunigung der Verrauchung durch den sogenannten „Kamineffekt“ in den mit 25 ‰ sehr steilen Tunneln. Für Straßentunnel wurde ermittelt, dass eine Steigung von 25 ‰ eine Verkürzung des Querschlagabstands von 400 m auf 300 m also um etwa 25 % rechtfertigt.¹⁴ Für die Abschätzung zum Fernbahntunnel wird im Interesse einer vorsichtigen Abschätzung angenommen, dass dies von der angesetzten Bandbreite von 8-10 Minuten abgedeckt wird.



Abb. 11: ICE-Brand bei Montabaur am 12.10.2018. Vollbrand 7 Minuten nach dem auslösenden Kurzschluss und 4 Minuten nach Halt des Zuges. Die Flammen schlagen bis zum Waggondach.¹⁶

Genauer ließe sich die Verrauchungszeit mit einer eigenen Verrauchungssimulation bestimmen, wie es in den Planungsvorgaben für uPva verlangt wird (DB 2018 S. 4 Bild 1). Diese Forderung stellt klar, dass die Verrauchung für verschiedene Bauwerke individuell bestimmt werden muss.

In diesem Zusammenhang muss auch auf die Kritik an der von der DB seit 2010 neu definierten Brandkurve hingewiesen werden (HEP 2023 S. 20). Hier wird ein Vollbrand erst nach rund 15 Min. angenommen ggü. international üblichen etwa 5 Minuten. Diese verzögerte Brandkurve wird schon durch den ICE-Brand bei Montabaur von 2018 widerlegt mit einem Vollbrand nach rund 7 Minuten (Abb. 11). Eine verzögerte Brandentwicklung ist außerdem dann ohne Belang, wenn sich der Brand erst unbemerkt entwickelt oder ggf. erst der fortgeschrittene Brand dann auch den Zug zum Stehen gebracht hat wie etwa im Fall des Zugbrands bei Eilendorf.¹⁵

10. Rettungswege auf beiden Seiten der Tunnelröhre

Die Nutzung auch des Servicewegs „hinter“ dem Zug, also auf der den Zugängen zu den Rettungsstollen abgewandten Seite des Tunnels, beschleunigt die Evakuierung deutlich. Das wird auch in der Fachliteratur bestätigt.¹⁷ Im Fall des „Worst Case 1“ (Abb. 7) addiert sich dann der Personenfluss aus dem Querschnitt des Servicewegs zu dem des Rettungswegs hinzu.

Im „Worst Case 2“ (Abb. 8) kann die Stauung auf dem Haupt-Rettungsweg über den Serviceweg umgangen werden. Die Fliehenden wechseln anschließend zurück auf die Seite des Haupt-Rettungswegs durch den Zug oder durch das Gleisbett und können dann von der anderen Seite auf die Fluchttür zuströmen.

Insgesamt wird die Flucht der Fliehenden von dem Brandherd bzw. der Rauchquelle deutlich beschleunigt und die Evakuierungszeit stark verkürzt, vorausgesetzt die Fluchttüren bieten einen ausreichenden Querschnitt (Punkt 13). In einem Vortrag der Schweizer Tunnel-Gutachterfirma Gruner AG werden beidseitige Fluchtwege mit je 1,2 m als „üblich“ bezeichnet.¹⁸

Rettungswege auf beiden Seiten des Tunnels scheinen in zahlreichen internationalen Tunnelprojekten schon eingesetzt zu werden:² Fehmarnbelt (DE/DK), Abdalajis (ES), Pajares (ES), Perthus (ES/FR), Antwerpen Nord-Süd (BE), Diabolo (BE), Großer Belt (DK), Öresund (DK), Malmö City (SE), Ring Rail Line (FI), Divača-Koper (SI), Tel Aviv-Jerusalem (IL).

Einzelne Tunnelprojekte, die zuvor auch zu dieser Gruppe gezählt wurden, wie Gotthard, Ceneri und Lötschberg-Basistunnel in der Schweiz oder der Neue Guanajuato-Tunnel in China fielen bei einer näheren Überprüfung aus dieser Sammlung wieder hinaus.² Damit besteht auch bei den verbliebenen Projekten eine Unsicherheit, ob der Serviceweg tatsächlich als Rettungsweg genutzt werden soll. Falls nein, bliebe ein erhebliches Potenzial für eine schnellere Evakuierung ungenutzt.¹⁷

Im Frankfurter Fernbahntunnel würde sich durch Freigabe des Servicewegs für die Evakuierung (vgl. HEP 2023 S. 19, 21) im Fall der engen Röhre die „worst case“-Evakuierung von 41-59 Min. auf maximal 33 Min. verkürzen, vorausgesetzt auch die Fluchttürbreite würde auf 3 m erhöht werden (Punkt 13). Bei erhöhten Banketten wäre der Effekt noch größer (HEP 2023 S. 21).

Bei den hohen Personenzahlen in Frankfurt oder in Stuttgart ist ein schneller Ausstieg aller Fahrgäste auf den Rettungsweg gar nicht möglich, da sich dabei lebensgefährliche Personendichten ergeben würden. Es würden sich daher hier im Katastrophenfall die Fliehenden selbst den Serviceweg auch als Rettungsweg wählen und ggf. Fenster einschlagen, um den Zug auch auf dieser Seite verlassen zu können.

11. Erhöhte Banketten

Sowohl in der Fachtechnischen Bewertung (HEP 2023 S. 19, 21-22) wie auch in der Besprechung am 24.01. war dieser Punkt kurz angesprochen worden: Es gibt ein großes Potenzial für eine beschleunigte Selbstrettung durch eine Erhöhung der Banketten und daraus resultierend die Verbreiterung der Rettungswege und die deutliche Beschleunigung des Ausstiegs¹⁹.

In der bisherigen Auswertung internationaler Vergleichstunnel war die Erhöhung der Banketten noch nicht systematisch erhoben worden.² Bisher bekannt sind aber schon zahlreiche Tunnel mit erhöhten Banketten: Brenner Basis (AT), Semmering Basis (AT), Koralm (AT), High-Speed 2 (GB), Gotthard Basis (CH), Ceneri (CH), Lötschberg Basis (CH), Saverne (FR), Perthus (FR/ES), Guadarrama (ES), Valico (IT), Othris (GR), Kallidromo (GR), Tel-Aviv-Jerusalem (IL), Hong-Kong XRL (CN), Songshan See (CN).

Demnach erscheinen erhöhte Banketten international als die Regel. Lediglich die deutschen Tunnel verfolgen die Strategie der durchgängigen Befahrbarkeit auf Ebene der Schienenoberkante. Anhand der Zeitverhältnisse im Fernbahntunnel von einer Verrauchung in 8-10 Minuten und einer typischen Eintreffzeit der Feuerwehr nach 15 Minuten (DB 2010 S. 32, DB 2018 S. 4 Bild 1) muss gefolgert werden: Sofern ohne erhöhte Banketten Selbstrettungszeiten deutlich über 8-10 Min. hingenommen werden, wird offenbar der Bequemlichkeit der Leichenbergung höhere Priorität eingeräumt als der erfolgreichen Selbstrettung. Dies könnte die Erklärung sein für die international bevorzugte Lösung mit erhöhten Banketten. Auch dort ist der Tunnel noch mit schwerem Gerät befahrbar und die Eintreffzeit der Feuerwehr für die Fremdrettung praktisch nicht verlängert. Als einzige Einschränkung können sich Fahrzeuge nicht gegenseitig passieren.

12. Fluchttürbreite

Bisher wurde ein weiterer wichtiger Parameter für die Selbstrettung im Tunnel noch nicht angesprochen. Er ist auch in Abb. 2 noch nicht angeführt. Die Breite der Fluchttüren kann in den Fällen hoher Personenkapazität in den Zügen schnell zum limitierenden Faktor werden, insbesondere in dem Fall, dass die Kapazität der Rettungswege durch Verbreiterung oder durch zusätzliche Nutzung des Servicewegs erhöht wurde. Somit ist die Breite der Fluchttüren in einer ganzheitlichen Betrachtung der Evakuierung zu integrieren.

Für die Evakuierung der hohen Personenzahl in den doppelstöckigen 400 m-Zügen im Frankfurter Fernbahntunnel müssen dringend breitere Rettungswege zur Verfügung gestellt werden. Daher muss angenommen werden, dass auch die Breite der Fluchttüren oder die Zahl der Türen pro Eingang zum Rettungsstollen erhöht werden (bei außerdem verkürzten Rettungsstollenabstand).

13. Räumzeitberechnung nach NFPA und vfdb sind akzeptierte Methoden

Während mikroskopischen Simulationen von Personenströmen mit hunderten Individuen arbeiten, rechnen makroskopische Methoden mit Erfahrungswerten für die Geschwindigkeiten und den Personenstrom durch Engpässe. Die makroskopische Räumzeitberechnung ist etabliert und akzeptiert. Für die Räumzeitberechnung zur Selbstrettung ist die Kapazitätsanalyse nach dem vfdb-Leitfaden (vfdb 2020 S. 339-342) etabliert. Sie wird insbesondere für Sonderbauten wie Tunnel empfohlen (vfdb 2020 S. 11, 14) und für Gebäude der „Eisenbahnen des Bundes“²⁰. Eingesetzt wurden die Parameter dieser Räumzeitberechnung bspw. in der Überprüfung des Brand-schutzes der Bahnhofsumbauten von Freilassing und Kaufering.²¹

In den USA findet die makroskopische Methode Anwendung nach der Richtlinie „NFPA 130“ mit nahezu gleich großen Erfahrungswerten (NFPA 130, Punkte 5.3.4, 5.3.5). Es heißt in der Fachliteratur, dass für U-Bahnen die „Kapazitätsanalyse nach NFPA 130 gebräuchlich und akzeptiert“ ist.⁹

Um methodische Detaildiskussionen zu vermeiden, wird eine stark vereinfachte Räumzeitberechnung nach diesem makroskopischen Verfahren angesetzt (HEP 2023 S. A.14-19 / Bl. 42-47, Abb. 12 Folgeseite). Da kleinere Zeitbestandteile fehlen, wird eine Untergrenze für die Räumzeit ermittelt. Dabei werden die drei Haupt-Phasen der Selbstrettung betrachtet:

1. Reaktionszeit und erster Ausstieg: Beginn der Selbstrettungsphase. Als Reaktionszeit werden gemäß DB-Anwenderhandbuch (nachfolgend Abschn. 4) 2 Min. angesetzt plus 0,4 Min. für die ersten Ausstiegsvorgänge.
2. Strömung durch den Engpass: Danach stellt sich ein Stau auf dem engen Rettungsweg bis zum Zugende ein, gekennzeichnet durch einen Personenstrom (spezifischer Fluss × Breite). Die anstehende Personenzahl bestimmt die Zeit, die für die Passage benötigt wird.
3. Freie Bewegung. Hinzu kommt für die Strecke des leeren Tunnels bis zum Rettungsstollen eine freie Bewegung mit einer mittleren Geschwindigkeit.

Sollte der Stau an der Fluchttür gravierender ausfallen, als der auf dem Rettungsweg am Zugende, dann macht dieser Stau den Zeitblock Nr. 2 aus.

Als Geschwindigkeit für die freie Bewegung wird sowohl nach NFPA als auch vfdb mit rund 1 m/s angenommen. Unterschiede gibt es im spezifischen Fluss durch einen Korridor. Die NFPA setzt 1,365 P/ms an, während nach vfdb in der maßgeblichen „moderaten Auslastung“ nur 1,1 P/ms angesetzt werden, für den schlechteren Durchsatz an plötzlichen Einengungen wie Einbauten oder Türen sogar nur 0,9 P/ms. Dass der NFPA 130 diese typischen Stauungen unberücksichtigt lässt, ist ein anerkannter Mangel dieses Standards.²² Eine neuere Untersuchung zeigt außerdem, dass das Verfahren nach NFPA 130 tendenziell zu günstige Evakuierungszeiten liefert.²³

Es werden daher in dieser Aktualisierung der Rechnung die maßgeblichen Parameter nach vfdb (moderate Auslastung) angesetzt. Dies ist im Gegensatz zur ersten Berechnung nach NFPA 130 (HEP 2023 S. A.14-19 / Bl. 42-47). Dies geschieht auch, nachdem DB-Vertreter sich wiederholt gegen die Anwendung des US-Standards ausgesprochen hatten.

Diese makroskopische Räumzeitberechnung lässt sich für alle Tunnelprojekte, für die die relevanten Parameter bekannt sind,² im „Worst Case 1“ und bei Einengungen des Rettungswegs auch für „Worst Case 2“ rechnen. Der jeweils schlechtere Wert wird als worst case-Evakuierungszeit angesetzt. Damit erhält man die maßgeblichen Räumzeiten oder Evakuierungszeiten im Vergleich (Abb. 13 Folgeseite).

Es muss demnach der Frankfurter Fernbahntunnel als zweitgefährlichster Doppelröhrentunnel weltweit nach den verengten Tunneln des Projekts Stuttgart 21 angesehen werden. Dazu führen die gleichermaßen höchste Insassenzahl und im Falle des Tunnelquerschnitts mit 52,7 m² freier Querschnittsfläche mit einer Mindest-Rettungswegbreite von 1,2 m einem noch engeren Rettungsweg als im Alabstiegstunnel der NBS W-U. In der Folge ist eine rechtzeitige Evakuierung nicht möglich und hunderte Todesopfer sind im Brandfall zu befürchten. Erschwerend kommt

Makroskopische Räumzeitberechnung

$$\text{Räumzeit } Z = A + P / (R \times F) + (S / v)$$

1. Reaktionszeit:
2 Min.

+ **erster Ausstieg:**
0,4 Min.

2. Strömung durch einen Engpass:

Personenzahl
(Rettungswegbreite bzw. Fluchttürbreite × spezifischer Fluss)

3. Freie Bewegung:

Strecke
Geschwindigkeit v

Abb. 12, Stark vereinfachte makroskopische Räumzeitberechnung. Da kleinere Zeitbestandteile fehlen, wird eine Untergrenze für die Räumzeit ermittelt. Für diese grundlegende und weithin akzeptierte Evakuierungsrechnung genügt Grundschulmathematik.

hinzu, dass die engen Tunnel mit der hohen Steigung so schnell verrauchen. Daher muss die Evakuierung nach 8-10 Minuten abgeschlossen sein. Die 15 Minuten Evakuierungszielzeit der DB sind viel zu lang angesetzt.

14. Einengungen der Rettungswege sind zu vermeiden

Engpässe in einem Fluchtweg haben eine besonders schädliche Wirkung. Sie führen zur Staubildung, die den Durchfluss durch den Querschnitt überproportional erhöht. Dies wird wie zuvor angegeben in der Räumzeitberechnung nach vfdb in einem reduzierten spezifischen Fluss berücksichtigt für Türen (und andere plötzliche Einengungen) im Unterschied zu Korridoren (vfdb 2020 S. 339-342).

Das EBA unterstreicht die Notwendigkeit, derartige Einengungen zu vermeiden, indem es bspw. bei der Planfeststellung zu S21 schrieb: Die Breite der Rettungswege müsse „hindernisfrei“ zur Verfügung stehen.²⁴ Gleichwohl wurden dann in sämtlichen Tunnel-Querschnittsplänen Einengungen durch „Einbauten“ um 30 cm geplant und genehmigt.

Bei den schon fertiggestellten Tunneln der NBS W-U lassen sich die Engpässe in den veröffentlichten Tunneldurchfahrten besichtigen. Sie bestehen ausgerechnet aus den Sicherheitseinrichtungen der Notrufsäulen und Hydranten. Diese befinden sich an der Seite des Zugangs zu den Rettungsstollen. Der Handlauf des Rettungswegs ragt hier um 30 cm in den Rettungsweg hinein.

Im Falle des engeren Tunnelquerschnitts in Frankfurt mit 52,7 m² reduziert die Einengung von 1,5 m auf 1,2 m Rettungswegbreite den Querschnitt für den Personenstrom um 20 %. Aufgrund

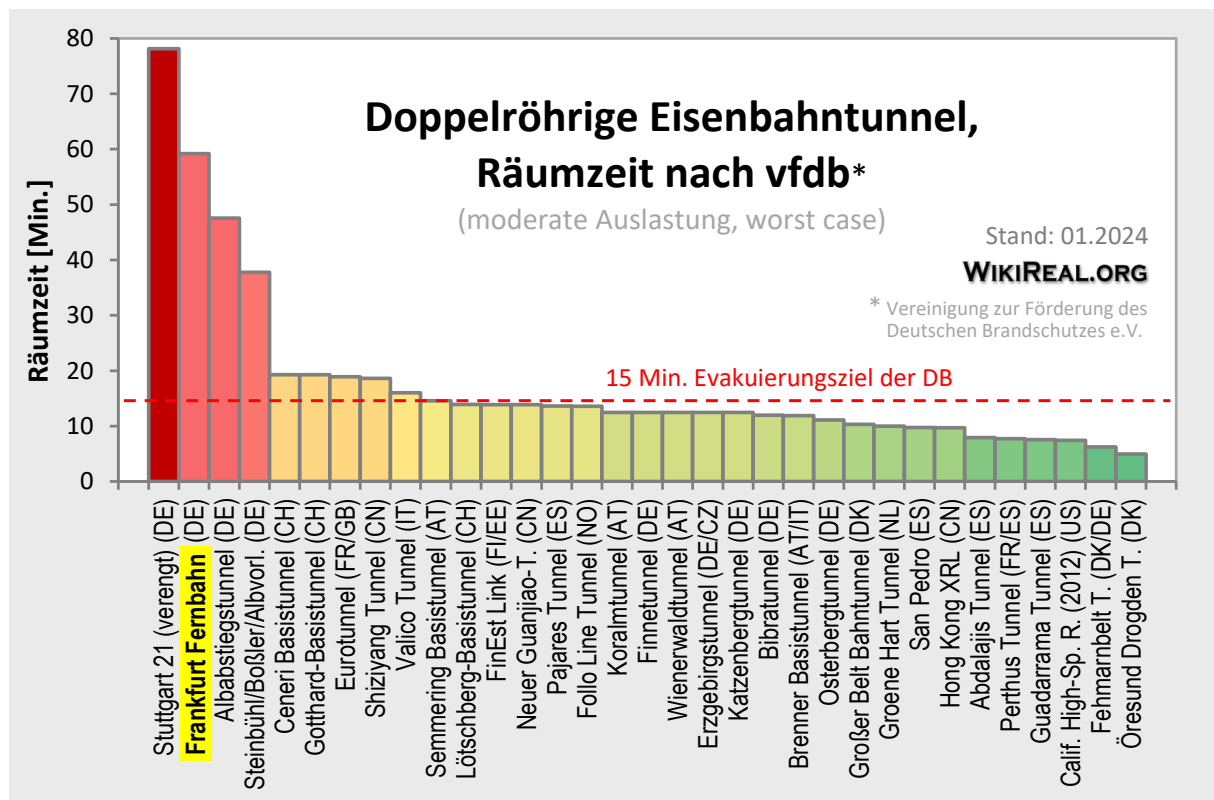


Abb. 13, Räumzeiten im Vergleich. Der Frankfurter Fernbahntunnel erscheint nach aktuellem Planungsstand in der Evakuierungszeit als zweitgefährlichster Doppelröhrentunnel weltweit.

der Stauwirkung verringert sich aber der spezifische Fluss von 1,1 P/ms auf 0,9 P/ms, also noch einmal um knapp 20 %. Die Effekte multiplizieren sich, so dass die Einengung den Durchsatz am Engpass auf 65 % also nur knapp 2/3 des hindernisfreien Wertes senkt. Das ist dramatisch, die Evakuierungszeit erhöht sich im worst case auf das 1,5-fache. Daher sind diese Einbauten unbedingt zu vermeiden, was auch international die Regel ist². Bei den engen Rettungswegbreiten (und extrem hohen Personenzahlen) in Frankfurt und Stuttgart sind die Einengungen der Rettungswege absolut fatal.

15. Möglichkeit: Kostenoptimierung einer sicheren Auslegung

Aus dem vorhandenen Evakuierungsmodell (wahlweise nach vfdb oder NFPA 130) ließe sich eine Kostenoptimierung der Tunnelauslegung berechnen. Unter Maßgabe einer hinreichenden Sicherheit im Brandschutz könnte dann eine Optimierungsrechnung durchgeführt werden mit den Kostenblöcken für zusätzliche Querschläge, die Erhöhung der Banketten (ggf. nicht aus massivem Beton, sondern aus Gitterrosten), zusätzliche bzw. breitere Fluchttüren und ggf. auch Varianten für den Tunnelquerschnitt. So ließe sich die kostengünstigste Realisierung des Brandschutzziels ermitteln. Wesentlicher Eingangsparameter wäre die zukünftig geplante Personenkapazität der Züge.

Brandschutz im Tiefbahnhof

16. Personenzahl

Aus der Machbarkeitsstudie und vor allem der Anschaffung neuer Züge für den Regionalverkehr war diesseits bisher von 2.615 zu evakuierenden Insassen ausgegangen worden (HEP 2023 S. 18). In der Besprechung vom 24.01. wurde dargestellt, dass 400 m lange Doppelstockzüge durch den Frankfurter Fernbahntunnel fahren sollen. Es war die Rede von Fernverkehrszügen nach Schweizer Vorbild. Es sollen allerdings auch Regionalverkehrszüge durch den Fernbahntunnel fahren. Im Vorgespräch wurde die Möglichkeit angesprochen, dass die für Frankfurt angeschafften Alstom Coradia Stream HC-Züge in 400 m Länge zum Einsatz kommen könnten. Das liefert dann eine Insassenzahl von 3.681 Personen wie bei Stuttgart 21.²⁵ Hiervon wird somit für den Frankfurter Fernbahntunnel vom Unterzeichner ausgegangen.

Wenn das Schweizer Vorbild angesprochen wird und die dortigen Personenzahlen (orientiert allein an der Zahl der Sitzplätze) zur Grundlage gemacht werden sollten, dann müsste auch ein Verbot der Nutzung von Stehplätzen, wie es etwa im Gotthard Basistunnel gilt,²⁶ für Frankfurt ausgesprochen werden. Andererseits sind die hohen Zugkapazitäten inklusive der Stehplätze im Stoß- und Veranstaltungsverkehr die Grundlage für die mit dem Deutschlandtakt geplante Verdopplung der Bahnfahrer. Es ist klar, dass nicht etwa für die Leistungsverdopplung Stehplätze angenommen werden können, für den Brandschutz aber nicht.

Als der vordringlich zu klärende Parameter erscheint daher die Insassenzahl. Es wäre gut, dieser Wert könnte vor dem nächsten Termin voraussichtlich im Mai 2024 definiert werden. Ohne dass

diese Zahl zu dem Zeitpunkt festgelegt wurde, erscheint es kaum realistisch, dass eine Entscheidung über die bevorzugte Tunnelvariante noch im laufenden Jahr getroffen werden könnte.



Garching, 06.02.2024, gez. Christoph Engelhardt

Dokumente

- BMVI 2010 Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: J. Schreyer et al., „Analyse und Risikobetrachtung von Brandereignissen in schienengebundenen ÖPNV-Tunnelanlagen“, 26.04.2010 (pdf [vdv.de](#))
- HE 2018 Hans Heydemann, Christoph Engelhardt, „Risiken und Auswirkungen eines Brandes bei Stuttgart 21 und Bewertung des aktuellen Brandschutzkonzepts der DB AG“, 2. überarbeitete Auflage, 11.2018 (pdf [wikireal.org](#))
- HEP 2023 Hans Heydemann, Christoph Engelhardt, Karl-Heinz Peil, „Fachtechnische Bewertung des Brandschutzes in der Machbarkeitsstudie der Deutschen Bahn zum Fernbahntunnel Frankfurt a.M.“, Herausgeber: Bündnis Verkehrswende Frankfurt, 20.04.2023 (pdf [archiv.umwelt-klima-rheinmain.net](#))
- DB 2010 Deutsche Bahn AG, Anwenderhandbuch „Bemessungsbrände für S-Bahnen und den Gemischten Reisezugverkehr“, 21.06.2010 (pdf [www1.deutschebahn.com](#), [docplayer.org](#))
- DB 2018 Deutsche Bahn AG, „Planungsvorgaben für die brandschutztechnische Ausstattung unterirdischer Personenverkehrsanlagen (uPva)“, 01.02.2018 (pdf [www1.deutschebahn.com](#))
- DZSF 2022 Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Untersuchung der Auswirkungen unterirdischer Verknüpfungsstellen auf Neubaustrecken am Beispiel des deutschen Brenner-Nordzulaufs“, 01.2022 (pdf [dzsf.bund.de](#))
- FBT 2021 DB Netze, Fernbahntunnel Frankfurt „Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie“, 22.02.2021 (pdf [fernbahntunnel-frankfurt.de](#))
- NFPA 130 National Fire Protection Association, „NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems“, Edition 2020 ([nfpa.org](#))
- TSI SRT TSI SRT (safety in railway tunnels), Verordnung (EU) Nr. 1303/2014 der Kommission vom 18.11.2014, gültig ab 01.01.2015, über die technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich der "Sicherheit in Eisenbahntunneln" im Eisenbahnsystem der Europäischen Union ([eur-lex.europa.eu](#), pdf deutsch [eur-lex.europa.eu](#)). *Bl. 9 Punkt 2.2.1.a): Hauptgefahr Brände, Bl. 14 Punkt 4.2.1.5.2.b.2 Querschläge mindestens alle 500 m*

Tunnel-Ril	Eisenbahn-Bundesamt, Richtlinie „Anforderungen des Brand- und Katastrophenschutzes an den Bau und den Betrieb von Eisenbahntunneln“, Stand: 1.07.2008, „Tunnelrichtlinie“ (eba.bund.de , pdf eba.bund.de)
vfdb 2020	Jochen Zehfuß (Hrsg.), „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, 4. überarbeitete und ergänzte Auflage, 03.2020 (pdf archive.org/vfdb.de)

Einzelnachweise

Sollten Links mit der Zeit veralten, hilft oft eine Suche unter web.archive.org.

- ¹ In Einzelfragen von grundsätzlicher Bedeutung werden nachfolgend Aspekte von Stuttgart 21 zitiert, aber bspw. vermeintliche Fehler in der dortigen Planfeststellung sollen hier nicht erörtert werden.
- ² wikireal.org/wiki/Stuttgart_21/Brandschutz_Tunnel#Tabelle
- ³ 13.11.2023, RA Dr. Peter Schütz, Schriftsatz an VGH BW im Verfahren 5 S 1693/21. S. 2 unten: Brand im Tunnel, S. 7: „worst case“
- ⁴ wikireal.org/wiki/Stuttgart_21/Trassierung/ICE-Brände
- ⁵ Ramboll-Arup-TEC JV, „Feste Fehmarnbeltquerung – Tunnelplanung Anlage 29 Anhang 3 – Sicherheit im Eisenbahntunnel, Risikoanalyse von Notfallszenarien, Abschlussbericht“, 16.07.2014 (pdf archive.org/planfeststellung.bob-sh.de), S. 15 „worst case“ Brand vor Querschlag
- ⁶ Gruner AG, „Sicherheits- und Rettungskonzept Tunnelspinne Stuttgart“, 10.08.2016, S. 19 aus der DB-Einreichung zu PFA 1.1 18. PÄ.
- ⁷ Z. Bsp.: M. Ferrazzini, A. Busslinger, P. Reinke, „Smoke ventilation concepts of CEVA – an underground rail link with 4 stations“, 2011 (pdf hbi.ch), Bl. 4 Punkt 3.2
- ⁸ Hartmut Freystein, Martin Muncke, Peter Schollmeier, „Handbuch, Entwerfen von Bahnanlagen: Regelwerke, Planfeststellung, Bau, Betrieb, Instandhaltung“, 2015. S. 410: 15 Min. Selbstrettungsphase, S. 520: „Grundsätzlich ist bereits bei der Planung für Tunnel ein Rettungskonzept aufzustellen, das die Selbst- und Fremderrettung berücksichtigt.“
- ⁹ Christina Schäfer, Laura Künzer, Robert Zinke, „Integration und Modellierung von menschlichen Faktoren für die Evakuierung von U-Bahn-Systemen“, 2013 (pdf subs.emis.de, dl.gi.de). S. 1624 / Bl. 6: „Im Kontext von U-Bahnbetreibern ist die Kapazitätsanalyse nach NFPA 130 gebräuchlich und akzeptiert.“ S. 1630 / Bl. 12: Selbstrettung nicht länger als 15 Min.
- ¹⁰ Harald S. Müller et al. (Hrsg.), „Betonbauwerke im Untergrund – Infrastruktur für die Zukunft“, 2008 (publikationen.bibliothek.kit.edu, pdf publikationen.bibliothek.kit.edu) S. 14 / Bl. 24: „Die Dauer der Selbstrettungsphase darf 15 Minuten nicht überschreiten. Die Dauer der Selbstrettungsphase muss größer sein als der Zeitpunkt bis die Haltestelle verraucht ist.“
- ¹¹ Roland Leucker, „Underground Fire Safety in Germany“, in: Anders Lönnermark, Haukur Ingason, „Proceedings from the Ninth International Symposium on Tunnel Safety and Security“, München, 11.-13.03.2020 (pdf ri.diva-portal.org), S. 49-64, Zitat S. 49
- ¹² 06.07.2003, faz.net, „Notfallübung. Rettung aus einem verrauchten Bahntunnel“
- ¹³ • Dandan Wan, „Numerical Simulation Study of Effect of Tunnel Slope on Smoke Propagation“, J. Phys.: Conf. Ser. 2179, 2022 (pdf iopscience.iop.org). • Mahir Ilter Bilge, Thesis „CFD Simulation of Train Fire in the Istanbul Metro Tunnel“, 07.2018 (pdf etd.lib.metu.edu.tr), S. 47, 53: Brandleist. 20 MW, S. 54: Freier Querschnitt 33 m², S. 73-75 Verrauchung nach 6 bis 8 Min. • 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 (pdf iopscience.iop.org), S. 6 Fig. 4, schon nach 5 Min. Verrauchung bis auf ca. 2,20 m. • Kazuhiro Yamamoto, Y. Sawaguchi, S. Nishiki, „Simulation of Tunnel Fire for Evacuation Safety Assessment“, 26.03.2018 (pdf mdpi.com). • Neuer Mainzer Tunnel¹²
- ¹⁴ F. Zumsteg, U. Steinemann, M. Berner, „Ventilation and Distance of Emergency Exits in Steep Bi-Directional Tunnels“, 6th International Conference "Tunnel Safety and Ventilation", Graz, 2012 (pdf lampx.tugraz.at), S. 279 / Bl. 7 Abb. 3
- ¹⁵ 25.06.2012, 10:30 Uhr, Untersuchungsbericht der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle, „Fahrzeugbrand Eilendorf“ (pdf archive.org/eisenbahn-unfalluntersuchung.de)
- ¹⁶ • Kreisverwaltung Neuwied, „Brand eines ICE, Dierdorf 12.10.2018“, 11.10.2019 (nicht online verfügbar), Ausschnitt von Folie 11: Foto von 6:28 Uhr.
• 30.03.2020, Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU), „Ereignis vom 12.10.2018, Willroth - Montabaur, Fahrzeugbrand“ (pdf eisenbahn-unfalluntersuchung.de), S. 19 / Bl. 28 ff, mehrfaches Wiedereinschalten der Oberleitung war erfolglos, eine aktiv angetriebene Fahrt etwa zum Verlassen eines steilen Tunnels war nicht mehr möglich. 6:21:33 Uhr: Auslösender Kurzschluss kurz vor Einfahrt in die 2,4 km lange Kombination Ammerich-/Fernbahntunnel am Ende des Steigungs- und Tunnelmarathons durch den Westerwald mit zuvor Tunneln auf 4,5 km

von 14 km Strecke, 6:24:09 Uhr Halt nach 10 km ausrollender Fahrt ohne Strom aus der Oberleitung.

- ¹⁷ Li Yu, Tao Deng, Ming-nian Wang, Qi Li, Shuo-shuo Xu, "Passengers' evacuation from a fire train in railway tunnel", *International Journal of Rail Transportation* 7(8), S. 1-14, 11.2018 (pdf [researchgate.net](#))
- ¹⁸ Bernd Hagenah, Gruner AG, "Safety, ventilation and climate in long rail tunnels", *International Seminar Long Tunnels*, 17.-19.10.2012, Santiago, Chile (pdf http://www.acct.cl/presentaciones/Session_X_3_Hagenah_f.pdf), S. 7
- ¹⁹ Federal Railroad Administration, „Passenger Train Emergency Systems: Review of Egress Variables and Egress Simulation Models“, 05.2013 (pdf [ro-sap.ntl.bts.gov](http://www.ntsb.gov)), Bl. 18
- ²⁰ BMI, „Brandschutzleitfaden für Gebäude des Bundes“, 06.2019 (pdf <https://www.fib-bund.de/Inhalt/Leitfaden/Brandschutz/brandschutzleitfaden-fuer-gebaeude-des-bundes.pdf>), S. 57, 74: Anwendung. vfdB-Verfahren, S. 75 Verw. „moderate Ausl.“
- ²¹ • Freilassing, 2017 (pdf [freilassing.de](#)), Bl. 196-208.
• Kaufering 2021 (pdf [archive.org/bauprojekte.deutschebahn.com](#)), Bl. 98-102.
- ²² NFPA, „Technical Committee on Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems AGENDA NFPA 130 Second Draft Meeting“, 02.-04.19.2018, Orlando, Florida (pdf [nfpa.org](#)), S. 109
- ²³ Thunderhead Engineering Consultants, Inc., „Comparing NFPA 130, SFPE, and Pathfinder“, 2021 ([support.thunderheadeng.com](#)), Abschnitt „4. Summary“
- ²⁴ Planfeststellungsbeschluss „Projekt Stuttgart 21, Planfeststellungsabschnitt PFA 1.2 (Fildertunnel)“, 19.08.2005 (pdf [bahnprojekt-stuttgart-uhl.de](#)), S. 303
- ²⁵ DieFraktion, WikiReal, Aktionsbündnis gg. S21, Pressemitteilung „Verdopplung der Fahrgastzahlen mit zukünftigen Zügen überfordert den Brandschutz in den Tunneln“, 06.12.2022 (pdf [kopfbahnhof-21.de](#))
- ²⁶ • 06.10.2019, [reisereporter.de](#), "Zu voll für Gotthard-Tunnel: Bahn schmeißt Passagiere raus".
• 05.10.2019, [20min.ch](#), "Zug fährt erst weiter, wenn 40 Passagiere aussteigen".
• 07.06.2017, [20min.ch](#), "Gotthard-Basistunnel. SBB wirft 700 Passagiere aus überfüllten Zügen"