

BRANDSCHUTZ IN TUNNELANLAGEN

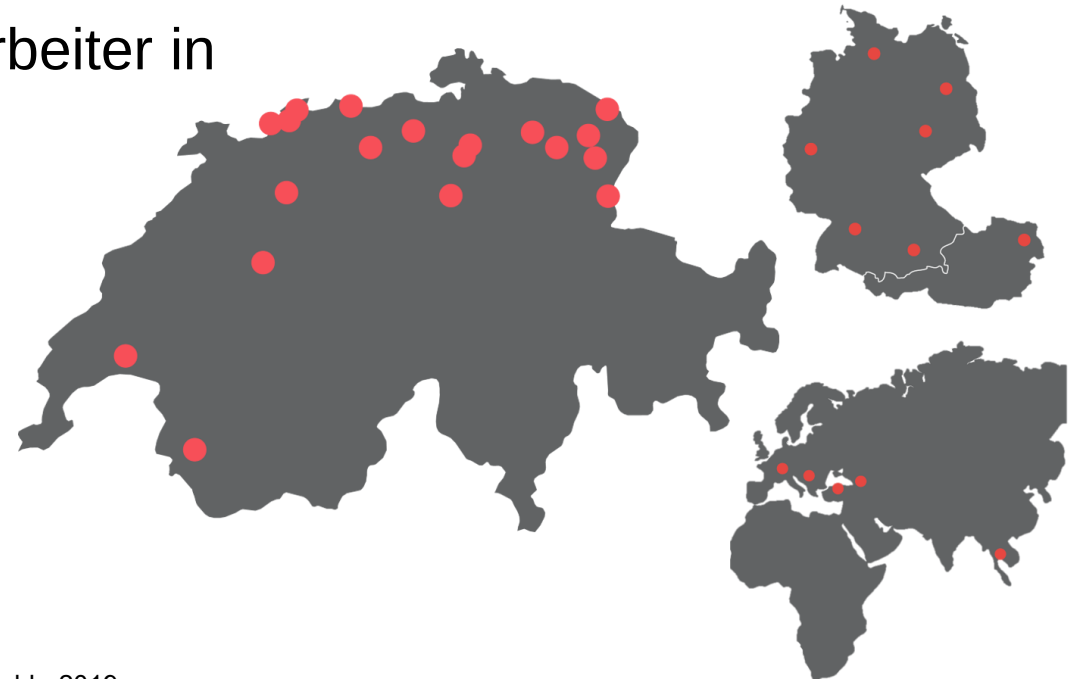
VERENA LANGNER

NIEDERLASSUNGSLEITERIN GRUNER GMBH, WIEN

15. November 2019

INFORMATIONEN GRUNER GMBH

- › Gruner GmbH Teil der Gruner Gruppe
- › Gruner Gruppe ca. 1000 Mitarbeiter weltweit
- › Geschäftsbereiche Hochbau, Infrastruktur, Energie
- › Geschäftsbereich Brandschutz über 100 Mitarbeiter in Schweiz, Deutschland und Österreich
- › Gruner GmbH seit über 10 Jahren in Wien
- › Schwerpunkte Brandschutz u. Tunnellüftung



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

INHALT

- › Allgemeines zum Brandschutz in Tunnelanlagen
- › Brandlüftung / Entrauchung
 - › Straßentunnel
 - › Eisenbahntunnel
 - › Unterirdische Stationen
 - › Schutzzielorientierter Ansatz
 - › Strömungsmessungen in Bestandsbahnhöfen
- › Baulicher Brandschutz
 - › Eisenbahntunnel
 - › Straßentunnel

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDSCHUTZ IN TUNNELANLAGEN

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019



BRANDSCHUTZ IN TUNNELANLAGEN

ALLGEMEINES

- › Unterschiedliche Regelwerke für Straßentunnel, Eisenbahntunnel, U-Bahnstationen, etc.
- › Besonderheiten gegenüber Hochbau:
 - › Bauliche Einschränkungen aufgrund tiefer Lage (z.B. hohe Kosten für Schächte, Flucht- und Rettungswege, etc.)
 - › Einschränkung durch städtische Überbauung (Fluchtwegführung, Entrauchungsanlagen)
 - › Fluchtrichtung in Richtung der Rauchausbreitung (Auftrieb)
 - › Hohe Personenzahlen
 - › Beeinflussung Rauchausbreitung durch Luftströmung im Tunnelsystem (Auf-/Abtrieb, Zugverkehr, Portaldruckdifferenzen, etc.)
 - › Hohe Brandlasten

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDLÜFTUNG / ENTRAUCHUNG

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019



BRANDLÜFTUNG IM STRASSENTUNNEL

ALLGEMEINES

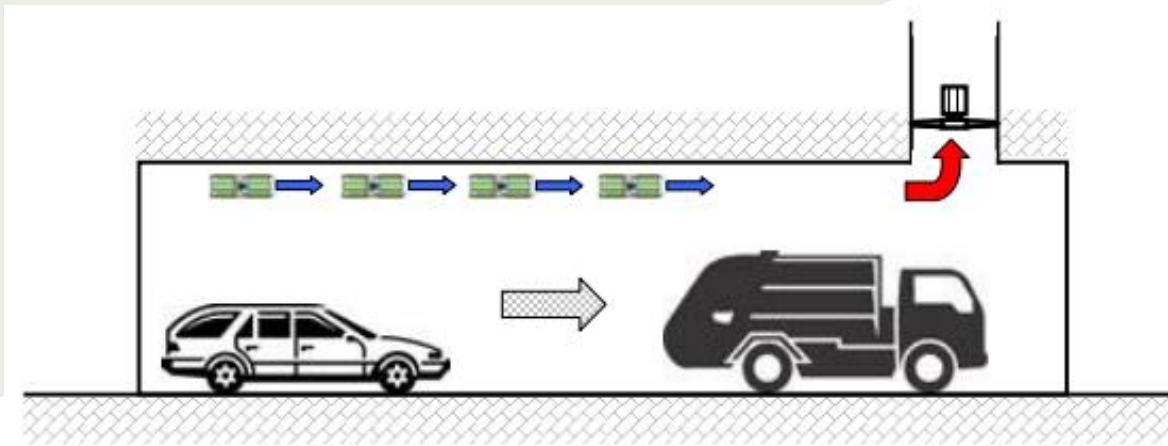
- › Vorgaben in Richtlinien (z.B. RABT, ASTRA, ASFINAG)
- › Einflussfaktoren für die Wahl des Lüftungssystems
 - › Tunnellänge
 - › Verkehrsregime (Richtungsverkehr / Gegenverkehr)
 - › Verkehrsaufkommen
 - › Stauhäufigkeit
 - › LKW-Anteil
- › Bemessungsbrände typisch 5 MW für PKW und 30 MW für LKW, bei erhöhter Gefahr für Brandüberschlag bei hohem LKW-Aufkommen auch höher
- › Nachweise mittels 1D-Simulationen
- › Wenige Personen in unmittelbarer Brandnähe betroffen
- › Personen über gesamten Tunnel verteilt

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDLÜFTUNG IM STRASSENTUNNEL

BEISPIEL LÄNGSLÜFTUNG

- › Typisch für Richtungsverkehrstunnel ohne Verkehrsstockung / Stau
- › Einsatz von Strahlventilatoren
- › Rauch strömt in Fahrtrichtung aus Tunnel oder in Richtung Punktabsaugstelle
- › Kritische Geschwindigkeit → Verhinderung von Backlayering in Richtung Fahrzeuge vor der Ereignisstelle



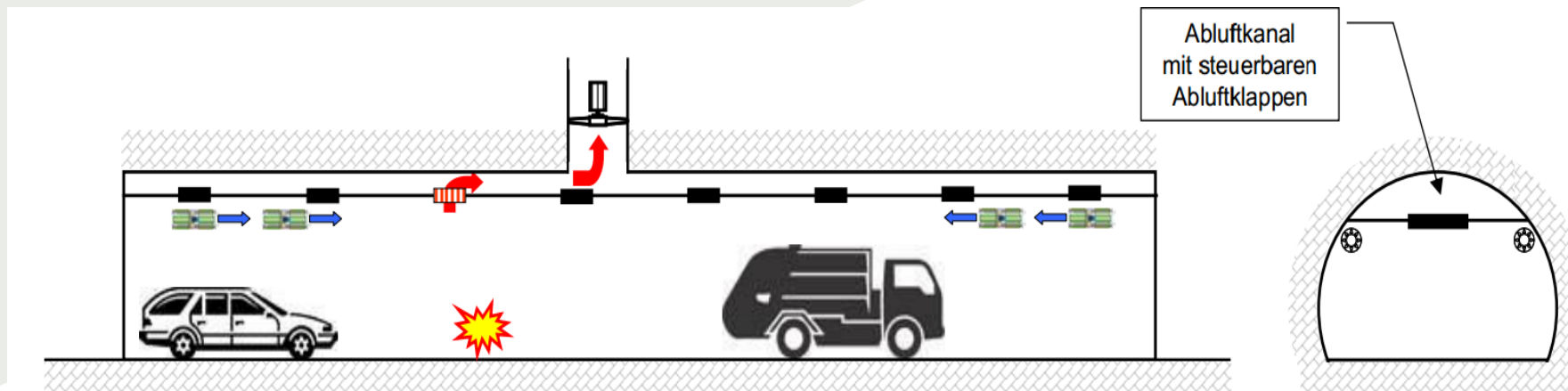
Quelle: TLü, Technisches Planungshandbuch, ASFINAG

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDLÜFTUNG IM STRASSENTUNNEL

BEISPIEL ABSAUGUNG ÜBER ZWISCHENDECKE

- › Typisch für längere Gegenverkehrstunnel
- › Absaugung im Brandnahbereich
- › Möglichst geringe Strömungsgeschwindigkeiten beidseitig in Richtung Brand (ca. 1.5 m/s), um Rauchschichtung im Tunnel nicht zu beeinträchtigen



Quelle: TLü, Technisches Planungshandbuch, ASFINAG

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDLÜFTUNG IM EISENBAHNTUNNEL

ALLGEMEINES

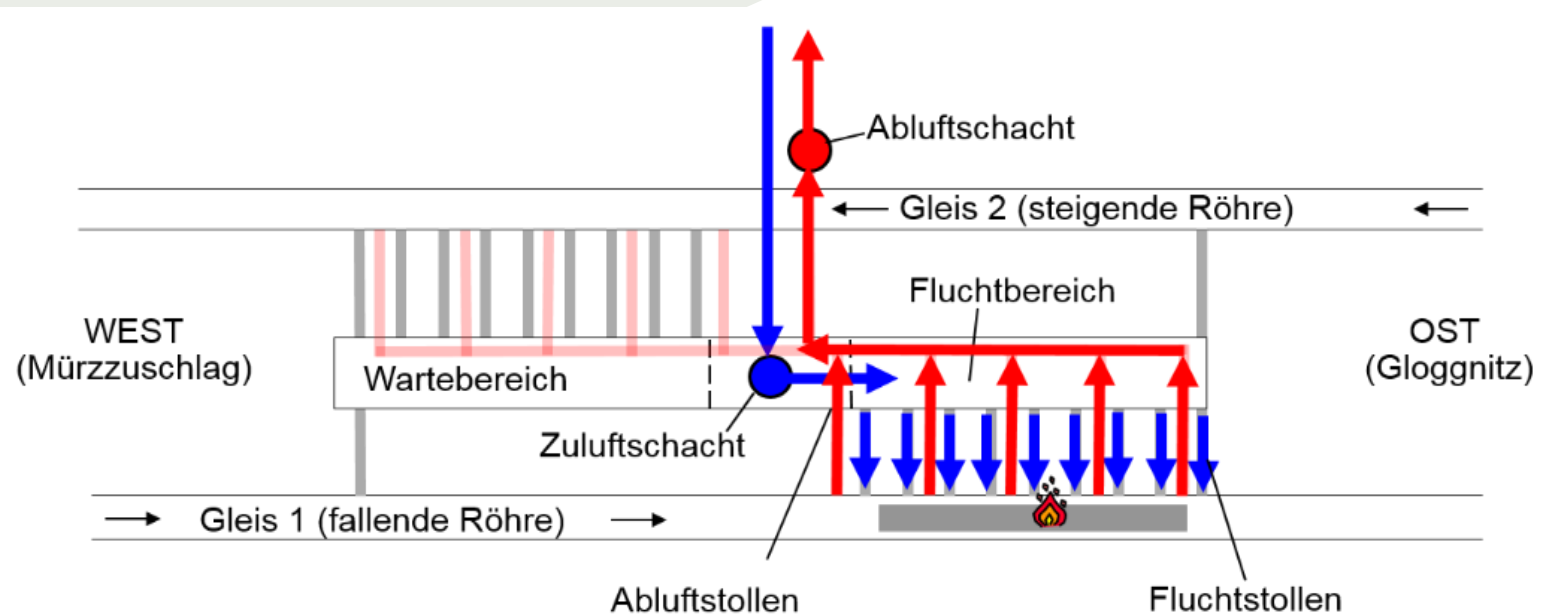
- › Im Normalbetrieb in der Regel nicht belüftet (zuginduzierte Strömung ausreichend)
- › Überdruckbelüftete Notausstiege
- › Querschläge bei zweiröhrigen Tunneln
- › Ereignisfalllüftung: Überdruck in Gegenröhre (sichere Röhre) gegenüber Ereignisröhre:
 - › Strahlventilatoren
 - › Absaugung aus Ereignisröhre über Lüftungszentrale
 - › Frischluftführung in Gegenröhre über Lüftungszentrale
- › Bemessungsbrände: typisch 10-50 MW für Personenzug
- › Güterzugbrände (ca. 200 MW) nicht für Dimensionierung der Lüftung herangezogen
- › Hohe Personenzahl bei Brandereignis (Fluchttüren längere Zeit geöffnet, Schleusenfunktion nicht aufrecht)

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BRANDLÜFTUNG IM EISENBAHNTUNNEL

BEISPIEL NOTHALTESTELLE SEMMERING BASISTUNNEL

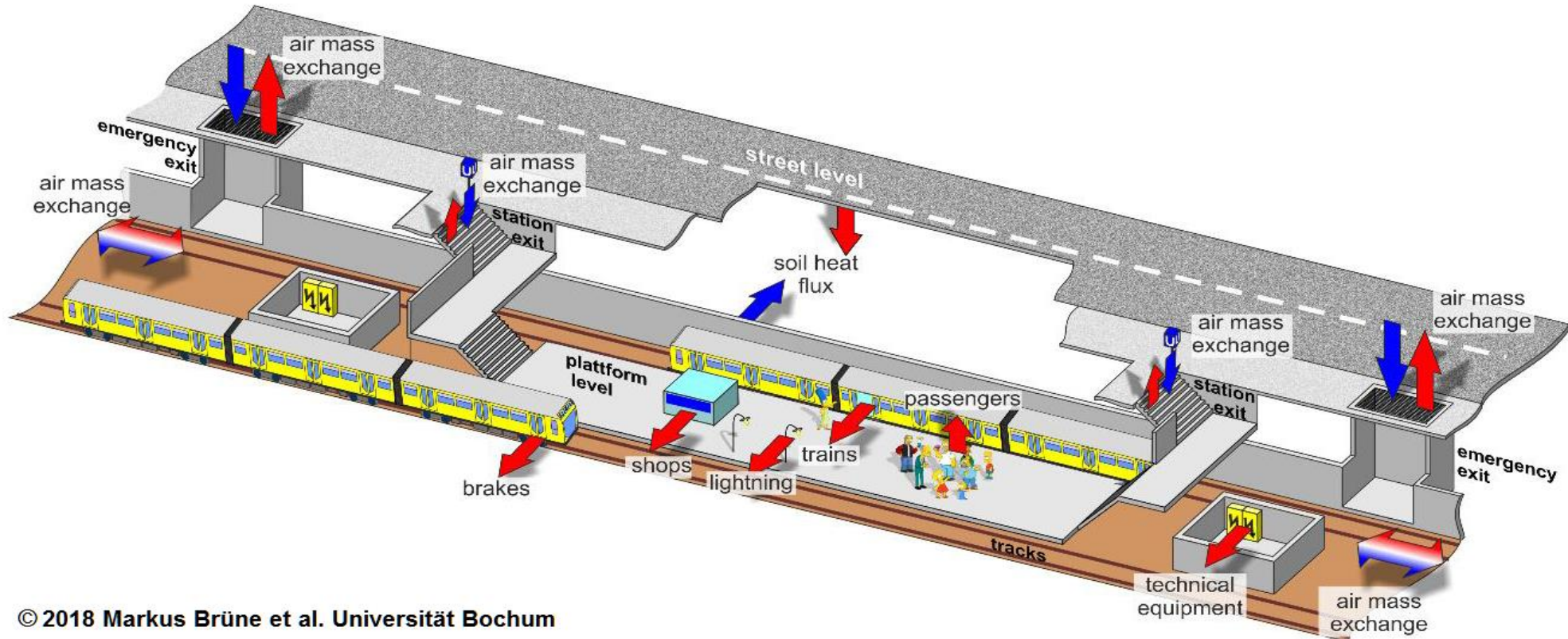
- › Nothaltestelle bei langen Eisenbahntunneln (> 20 km)
- › Deutlich bessere Bedingungen für Selbst- und Fremdrettung:
 - › geringerer Fluchtwegabstand
 - › spezielles Lüftungssystem
 - › sicherer Wartebereich, etc.



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

ENTRAUCHUNG UNTERIRDISCHER STATIONEN

KOMPLEXE STRÖMUNGSVERHÄLTNISSE



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

ENTRAUCHUNG UNTERIRDISCHER STATIONEN

ALLGEMEINES

- › Aufgrund komplexer Strömungsverhältnisse ist dreidimensionale Modellierung erforderlich.
- › Besonderheit im Vergleich zu Eisenbahntunneln:
 - › Dichte Fahrplantaktung
 - › Geringer Abstand zu Nachbar-Stationen
 - › Komplexe Tunnelsysteme (Kreuzung mehrerer U-Bahnlinien)
- › Für U-Bahnstationen gibt es keine Vorgaben für das Entrauchungssystem.
 - Nachweis der Erreichung der Schutzziele muss erbracht werden.

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

ENTRAUCHUNG UNTERIRDISCHER STATIONEN

NATÜRLICHE ENTRAUCHUNG VS. MASCHINELLE ENTRAUCHUNG

Art des Rauchabzugs	Vorteile	Nachteile
(1) natürlicher Rauchabzug	→ keine mechanischen Einrichtungen → keine Betriebskosten → geringst möglicher Wartungsaufwand	→ größere Schachtquerschnitte als bei (2) erforderlich, um Druckverluste klein zu halten → keine Regelungsmöglichkeiten des Rauchabzugs → Erst ab Mindesthöhe von 4 m ausgeprägter Kamineffekt
(2) mechanischer Rauchabzug	→ flexible Führung der Rauchabzugskanäle möglich → Regelungsmöglichkeit der Absaugung → kleinere Schachtquerschnitte als bei (1)	→ höherer Investitionsaufwand (Lüfter, Steuerung) → Betriebskosten und Wartungsaufwand → Gefahr des Ausfalls bei Brandeinwirkungen

Quelle: Brandschutz in Fahrzeugen und Tunneln des ÖPNV

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

ENTRAUCHUNG UNTERIRDISCHER STATIONEN

MASCHINELLE ENTRAUCHUNG, MÖGLICHE SYSTEME

- › Lokale Absaugung über Lüftungskanal
- › Absaugung an den Stationsenden
- › Strahlventilatoren im Tunnel → Verhinderung Verrauchung benachbarter Stationen!
- › Strahlventilatoren zur Unterstützung nachströmender Frischluft über die Treppenabgänge

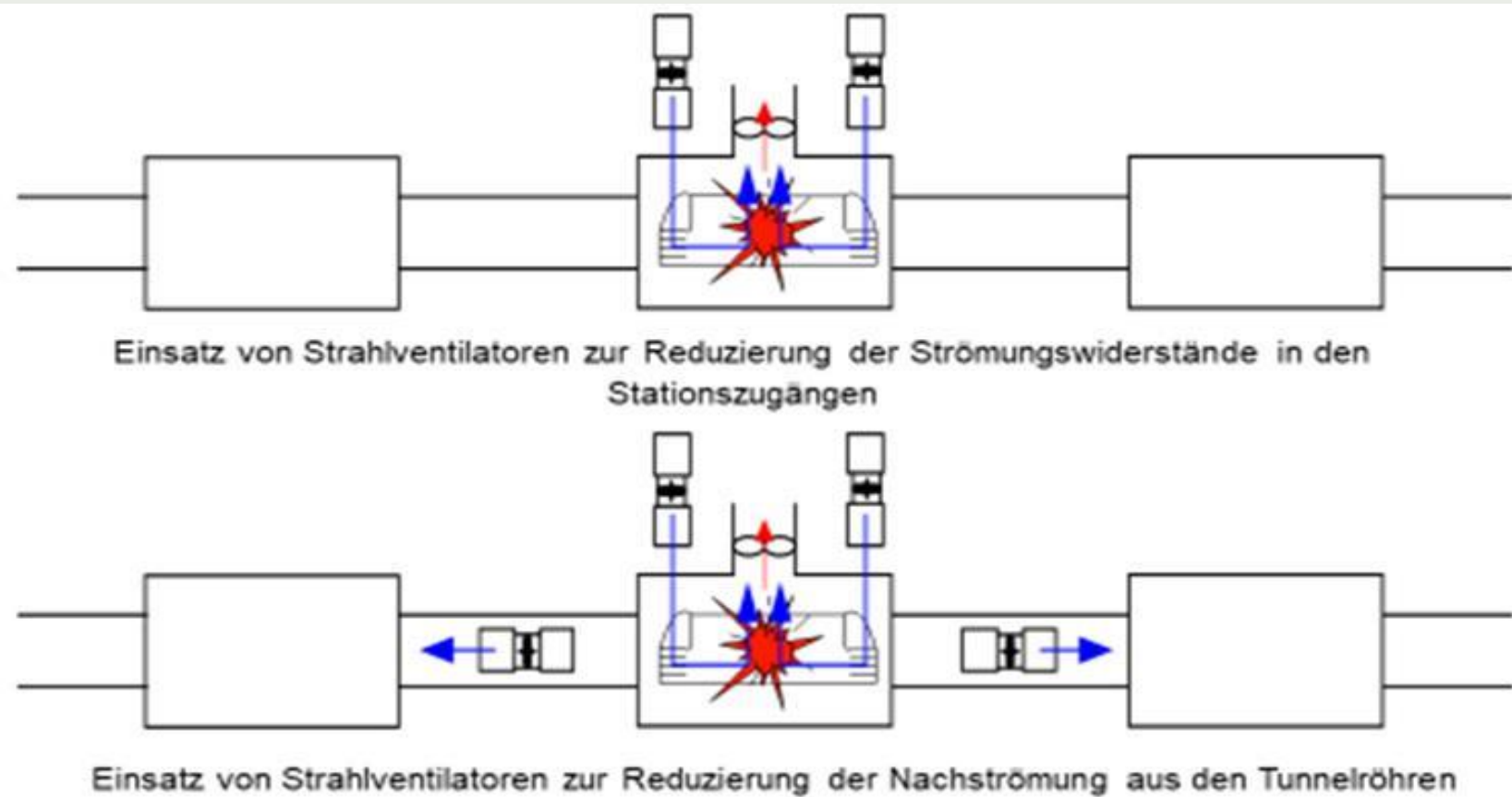


(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019



ENTRAUCHUNG UNTERIRDISCHER STATIONEN

BEISPIEL WIENER LINIEN



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

SCHUTZZIELORIENTIERTER ANSATZ

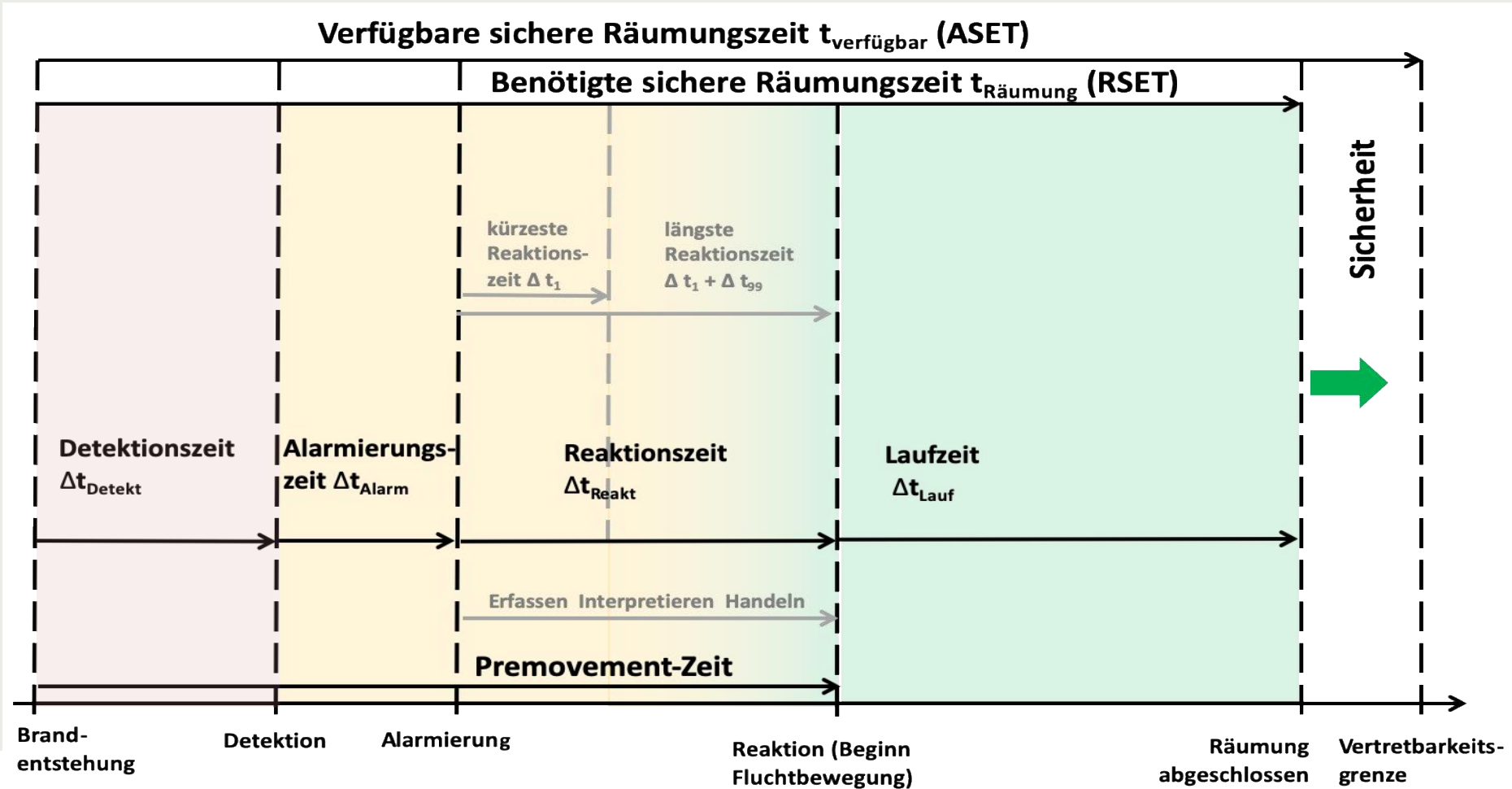
GRUNDSÄTZLICHES VORGEHEN

- › Festlegung Schutzziele:
 - › Personensicherheit,
 - › Interventionsschutz, etc.
- › Festlegung Planungsziele:
 - › z.B. Mindesthöhe raucharme Schicht für Evakuierung, etc.
- › Festlegung Leistungskriterium, z. B.:
 - › 2.5 m Höhe (geringere Höhe für Fremdrettung),
 - › Grenzwerte optische Dichte / Extinktionskoeffizient / Sichtweite in raucharmen Schicht
- › Festlegung Zeitraum:
 - › Selbstrettung z.B. 15 min, Fremdrettung bis 30 min,
 - › ODER Nachweis durch Evakuierungssimulation (ASET/RSET)

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

SCHUTZZIELORIENTIERTER ANSATZ

ASET/RSET BETRACHTUNG

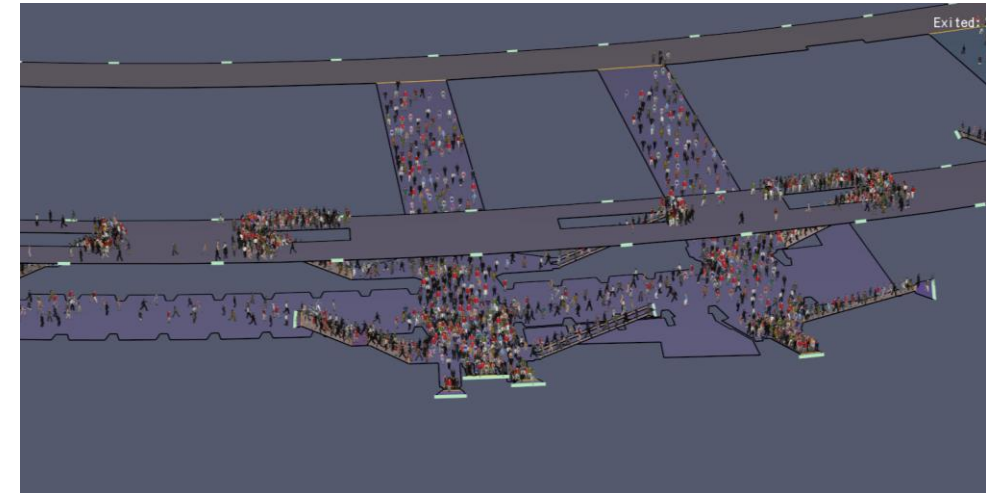
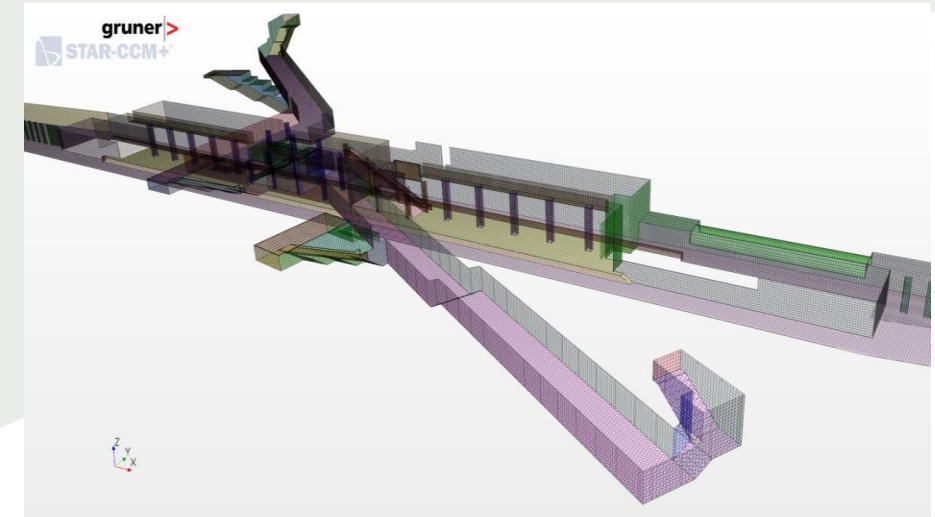


(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

SCHUTZZIELORIENTIERTER ANSATZ

ASET/RSET BETRACHTUNG

- › ASET: Available Self Egress Time: Zeitdauer, in der eine sichere Flucht aus dem Brandbereich möglich ist
 - › Computergestützte Brandsimulationen, z.B. FDS, STARCCM+
 - › Handrechenverfahren existieren, in der Regel für die meisten Fragestellungen aber nicht mehr dem Stand der Technik
 - › Einflussfaktoren: Bemessungsbrand, Geometrie, meteorologische Randbedingungen, etc.
- › RSET: Required Self Egress Time: Zeitraum, der für die Flucht der Personen aus dem Bauwerk benötigt wird
 - › Handrechenverfahren, z. B. nach Predtetschenski & Milinski
 - › Evakuierungssimulationen, z.B. Pathfinder, ASERI, etc.
 - › Einflussfaktoren: Personenanzahl, Fluchtwegbreiten, Premovement-Zeiten etc.



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

SCHUTZZIELORIENTIERTER ANSATZ

MASSNAHMEN

- › Falls $A_{SET} < R_{SET}$, sind geeignete Maßnahmen zu prüfen
- › Mögliche Maßnahmen:
 - › Verbreiterung Fluchtwege / Treppenaufgänge
 - › Löschsysteme in Zügen
 - › Rauchschürzen (fix oder mobil)
 - › Einhausungen der Treppenaufgänge mit Brandschutzverglasung
 - › schnellere Detektion
 - › Schaffung von Lüftungsöffnungen nach Außen
 - › Umnutzung bestehender Schächte für Lüftung
 - › maschinelle Entrauchung (lokale oder entfernte Rauchabsaugung)
 - › Überdruckbelüftung in Aufgängen
 - › Einsatz von Strahlventilatoren in angrenzenden Tunnelstücken

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

STRÖMUNGSMESSUNGEN IN BESTANDSBAHNHÖFEN

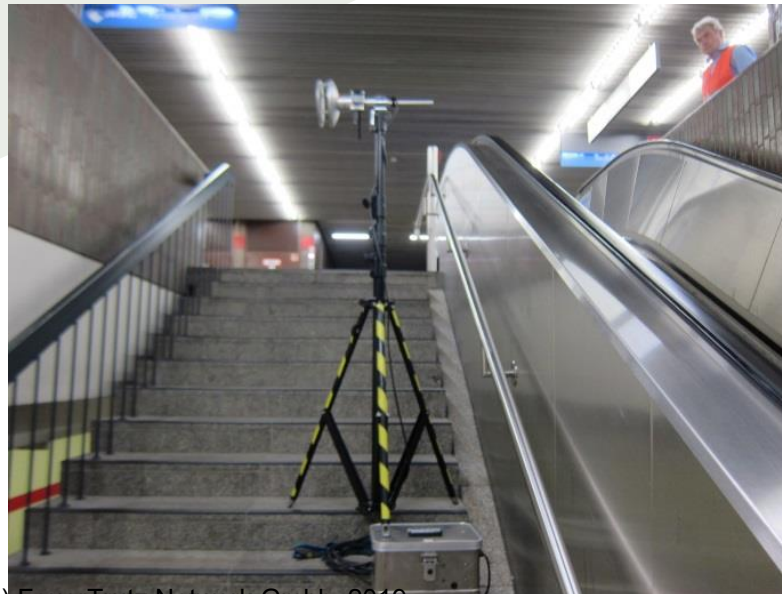
ALLGEMEINES

Wozu Strömungsmessungen?

- › Ermittlung Randbedingungen für 3D-CFD Simulationen
- › Validierung Simulationsmodell
- › Verstehen des Systems (Einfluss Tunnel, Lüftungsschächte, Aufgänge, etc.)
- › Ermittlung klimatisch bedingte Grundströmung (Tag/Nacht-Abhängigkeit, etc.)

Was wird gemessen:

- › Strömungsgeschwindigkeit Tunnel / Treppenaufgängen
- › Klima in und außerhalb Station



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019



STRÖMUNGSMESSUNGEN IN BESTANDSBAHNHÖFEN

EINGESETZTE MESSGERÄTE

- › 2D Ultraschallanemometer (USA)
 - › Messbereich von 0 bis 60 m/s mit einer Genauigkeit von mindestens 0.1 m/s
- › Thermistor-basierter Klimalogger
 - › Messgenauigkeit von ± 0.4 Kelvin und ± 0.1 % rH.
- › Hitzdrahtanemometer für Mehrpunktmessungen
- › Klimamessung mit Datenlogger außerhalb der Station
 - › Temperatur, Feuchte, Druck



Ultraschallanemometer 2D Compact



Datenlogger für die Klimamessungen im Freien

(c) FeuerTrutz Netz GmbH 2019



Temperatur- und Feuchtemessungsgerät

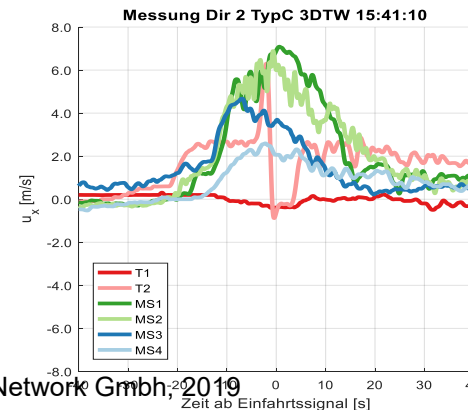
STRÖMUNGSMESSUNGEN IN BESTANDSBAHNHÖFEN

ERFAHRUNGEN

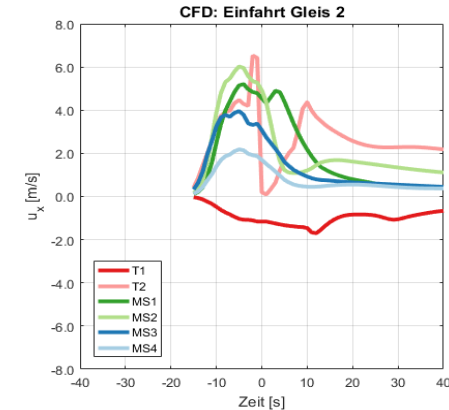
- › Abhängig vom Wetter (Starker Wind, Temperaturschwankungen)
- › Personenflüsse beeinflussen Messergebnisse und tragen zu Streuung bei
- › Befestigung Messgeräte bei Rolltreppen
- › Ausreichend Personal zur Überwachung der Geräte

Vorgehen Validierung Simulationsmodell:

- › Nachrechnung Ruheströmung
- › Nachrechnung Zugfahrt bei Bedarf
- › Angemessene Anzahl Simulationen
- › Mögliche Stellschrauben am Modell
- › Ermittlung relevante Szenarien (Sommerfall/Winterfall)



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019



BAULICHER BRANDSCHUTZ



BAULICHER BRANDSCHUTZ

ALLGEMEINES

- › Inhalt der folgenden Folien beschränkt auf einzelne Aspekte zu Temperaturbeanspruchung und Abplatzungen
- › Der Feuerwiderstand von Tunneln oder unterirdischen Anlagen muss die Tragfähigkeit für den Zeitraum aufrecht erhalten, der für
 - › die Selbstrettung und Evakuierung der Reisenden, des Zugpersonals und der Haltestellen,
 - › das Eingreifen der Notfalldienste (Fremdrettungsmaßnahmen),
 - › ggf. (bei Tragwerken im Innenstadtbereich, unter Wasser) die Evakuierung benachbarter und überdeckter Bauwerke erforderlich ist.



Bildquelle: Wikipedia
(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BAULICHER BRANDSCHUTZ

BRANDLAST UND TEMPERATURBEANSPRUCHUNG

- › Aufgrund der besonderen Brandlasten
 - › PKW, LKW inkl. Ladung bei Straßentunneln
 - › Waggon, Züge (Rollmaterial) bei Eisenbahntunneln
- › und den besonderen Ventilationsverhältnissen
- › treten Temperaturen deutlich über der im Hochbau zugrunde gelegten Einheits-Temperaturzeitkurve auf.
- › Temperaturzeitkurven für die Bemessung der primären Tragstruktur basierend auf Großversuchen abgeleitet (Runehamar, EUREKA)



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BAULICHER BRANDSCHUTZ

BRANDLAST UND TEMPERATURBEANSPRUCHUNG

	Brandleistung MW								
	PIARC		RABT	CETU	NFPA	Brandtests			Erwartung*
				(F)	502	Eureka	Rune-hamar	Memorial geschätzt	
	1997	1999	1994	1996/97	1998	real	Ingason Bericht		
Pkw	5			2,5	5	1,5 - 2			
Pkw (gr)				5					
Van (Plastik)		2,5 - 8				5-6	2,5 - 9		3 - 10
1-2 Pkw			6 - 10						
2-3 Pkw				8					
Van		15		15					
1 Bus (öffentlich)		20			29 - 34	29 - 34			36
Bus/Lkw ohne Gefahrgut	20		20 - 30	20	20			20	
HGV				30		100 - 130	128		150 - 400
Benzintanker	100	100	50 - 100	200	100		20 - 100		120 - 300
Benzinlache 400 l								50	
Benzinlache 800 l								100	
Mischladung 2900 kg						15 - 17			
versch. HGV							71 - 223		
Waggon						12 - 47			3 - 100

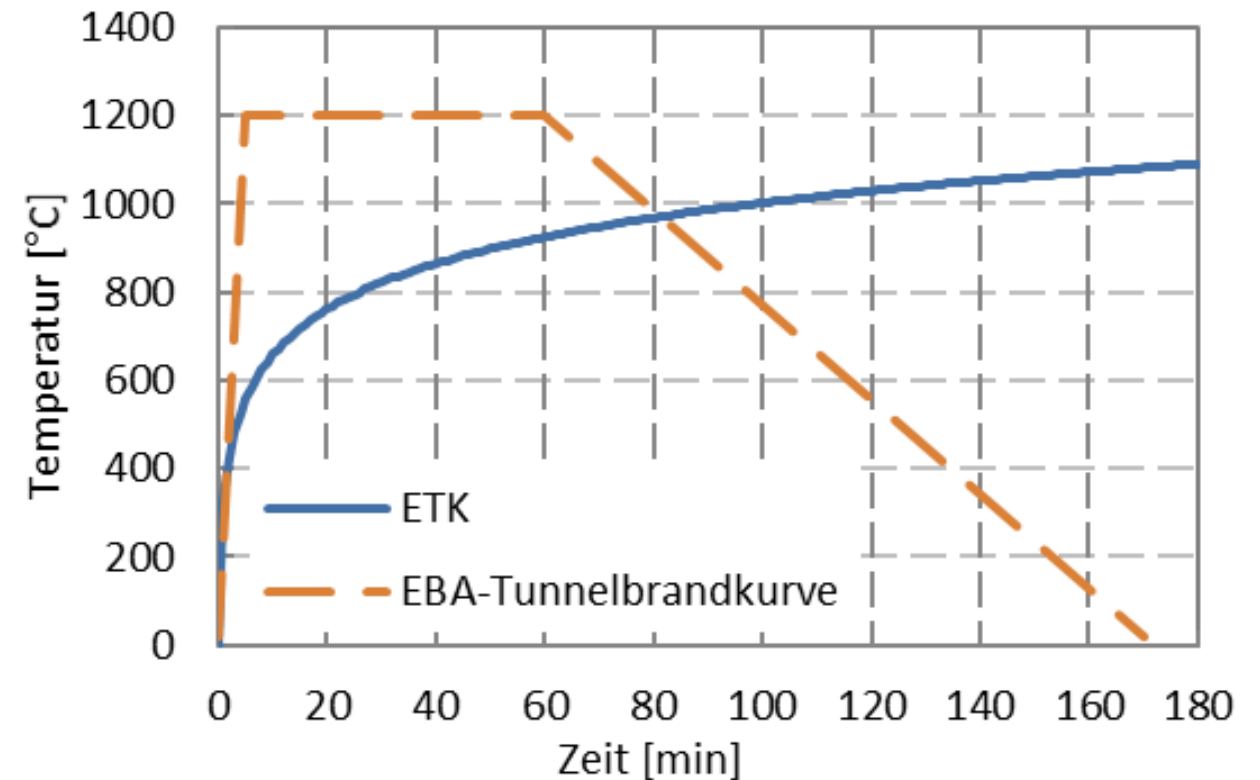
Bildquelle: Forschungsbericht Nr. 158, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (Quelle Haack 2001)

BAULICHER BRANDSCHUTZ

BRANDLAST UND TEMPERATURBEANSPRUCHUNG IN EISENBAHTUNNELN

Beispiel Eisenbahntunnel

- › Hohe Brandlasten, z.B. brennende Eisenbahnwaggons
- › EUREKA Brandversuche → EBA-Tunnelbrandkurve
- › Höhere Temperaturen als Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)
- › Höhere Aufheizrate als ETK
- › Höhere Anforderungen an Konstruktion / Feuerwiderstand
- › Übliche Lösung bei der Bemessung → Gewährleistung eines hinreichenden Achsabstands der Bewehrung



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BAULICHER BRANDSCHUTZ

ABPLATZUNGEN

- › Risiko von Betonabplatzungen bei Tunnelbränden
 - › Hohe Temperaturen, Aufheizraten sowie komplexe, gekoppelte Phänomene im Beton sind der Grund
 - › Im Hochbau treten Abplatzungen an Stahlbetonbauteilen nur lokal begrenzt auf (bei Normalbeton)
- › Durch "freilegen" der Bewehrung besteht ein Risiko von vorzeitigem Tragwerksversagen
- › Wirksame Maßnahmen gegen Abplatzungen z.B. in den Eurocodes (EN 1991-1-2) angegeben.



Gothard-Tunnelbrand
Quelle: Polizei Tirol, 11.11.2019

BAULICHER BRANDSCHUTZ

BETONABPLATZUNGEN

Normalbeton mit PP-Fasern
Wirksame Betonmischung



Normalbeton mit PP-Fasern
Weniger wirksame Betonmischung



(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

BAULICHER BRANDSCHUTZ

STRAßENTUNNEL

- › Für Straßentunnel und Eisenbahntunnel existieren jeweils Tunnelbrandkurven für die Auslegung des Tragwerks
 - › Diese ist in den *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten Teil 5, Tunnelbauten* (ZTV-ING) der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beschrieben
 - › Vergleichbar mit der EUREKA-Tunnelbrandkurve, jedoch Abfall der Temperaturen nach 30 Minuten
- › Weitere Maßnahmen, Anforderungen und Randbedingungen sind dort bzw. für Eisenbahntunnel in der TSI SRT und den entsprechenden EBA-Richtlinien aufgeführt.

(c) FeuerTrutz Network GmbH, 2019

VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT

HABEN SIE FRAGEN?

GRUNER GMBH, WIEN

WWW.GRUNER-BRANDSCHUTZ.AT