



HBI Haerter Beratende Ingenieure

Stadtpassage Luzern - Machbarkeitsstudie Entrauchung

07.03.2023 / Grobe Auslegung der Lüftung und Entrauchungssimulationen

Inhalt

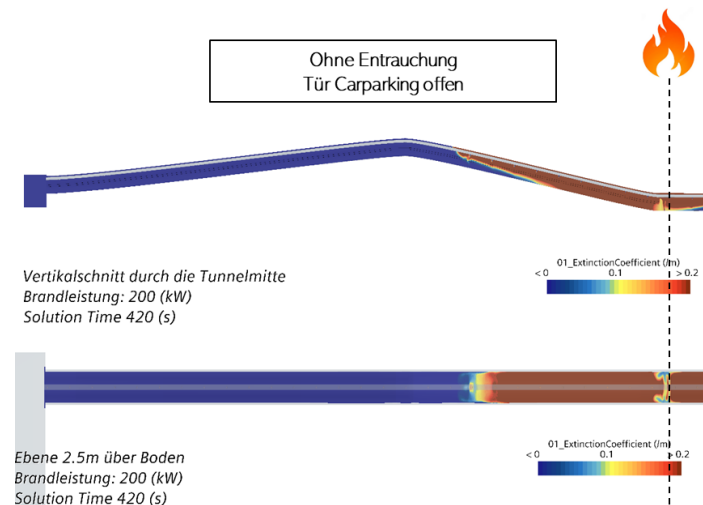
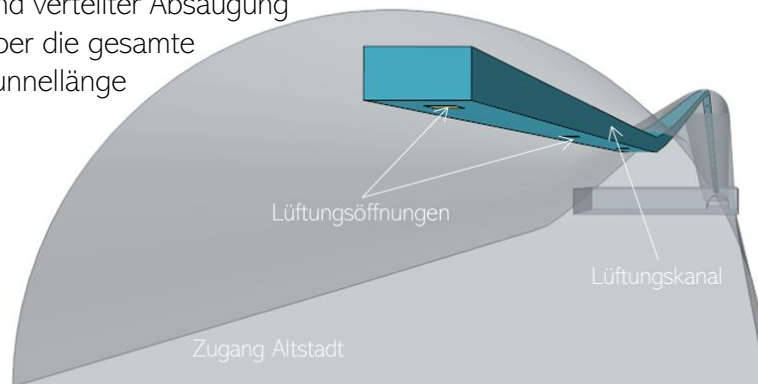
- Ausgangslage
- Situation Stadtpassage
- Brandszenarien, Schutzziele
- Grobauslegung Lüftungsanlage
- CFD-Simulationen
- Schlussfolgerungen

Ausgangslage

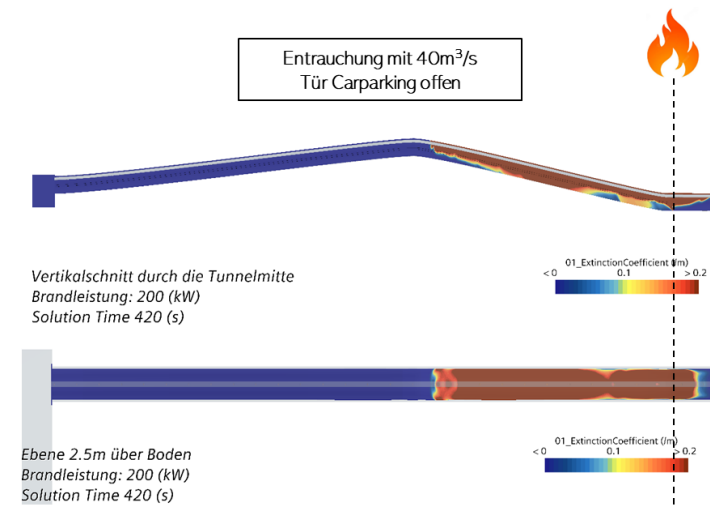
➤ Schlussfolgerungen aus Präsentation und Besprechung vom 08.02.2023:

- Das einfache Entrauchungskonzept mit verteilter Absaugung über die gesamte Tunnellänge zeigte eine sehr begrenzte Beeinflussung der Rauchausbreitung
- Gleichzeitig wurde festgestellt, dass eine sichere Flucht ggf. auch ohne Entrauchungsanlage möglich ist, da die Ausbreitung der Rauchfront langsamer ist, als die angenommene Fluchtgeschwindigkeit der Personen.
- Nach Diskussion mit dem verantwortlichen Brandschutzexperten wurde festgehalten, dass das Projekt ohne eine Entrauchungsanlage vermutlich nicht genehmigungsfähig wäre. Aus diesem Grund soll ein optimiertes und wirksameres Entrauchungskonzept erarbeitet werden (Gegenstand der vorliegenden Präsentation)
- Auszug aus der Präsentation vom 07.02.2023: Simcenter STAR-CCM+

Einfaches
Entrauchungskonzept mit
einem Entrauchungskanal
und verteilter Absaugung
über die gesamte
Tunnellänge

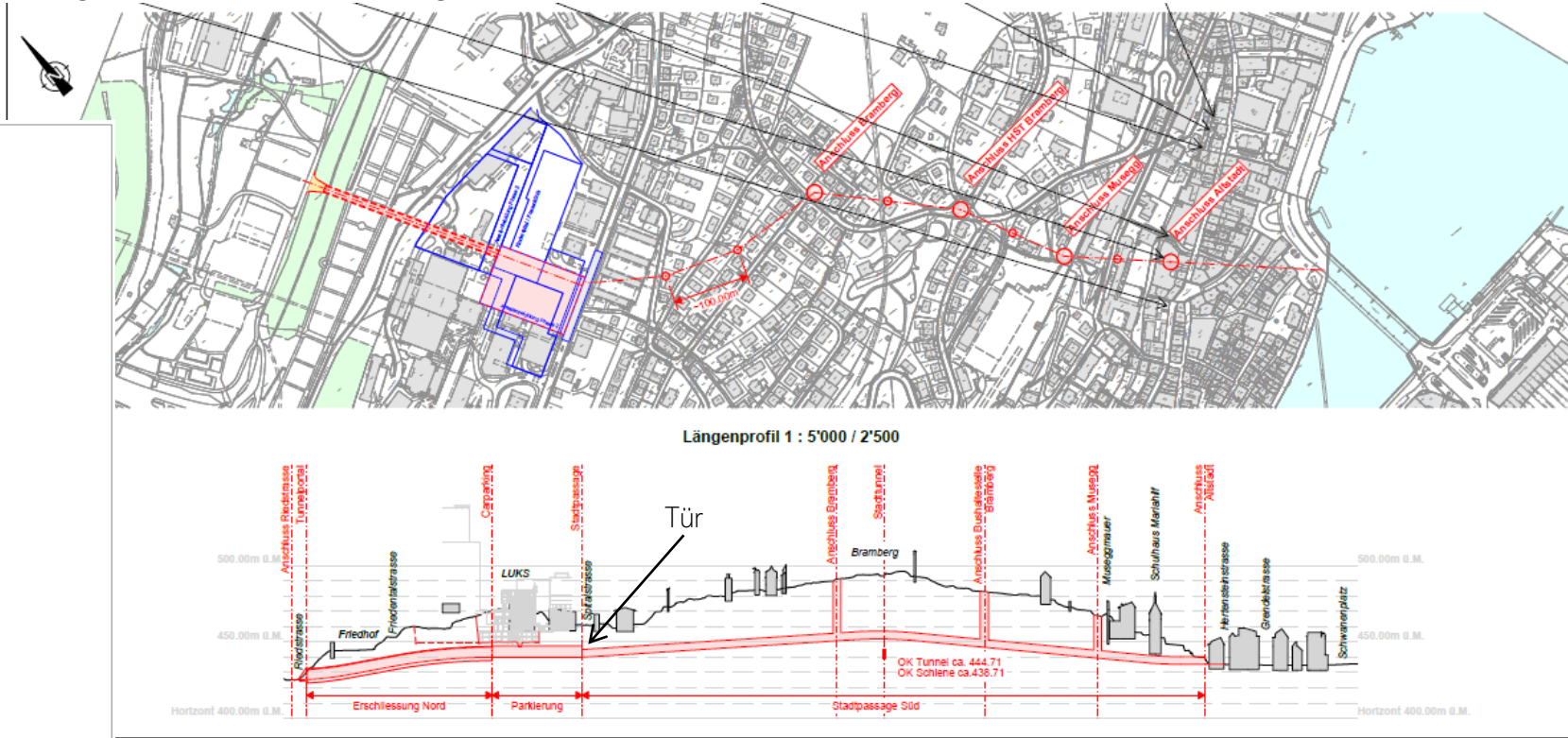
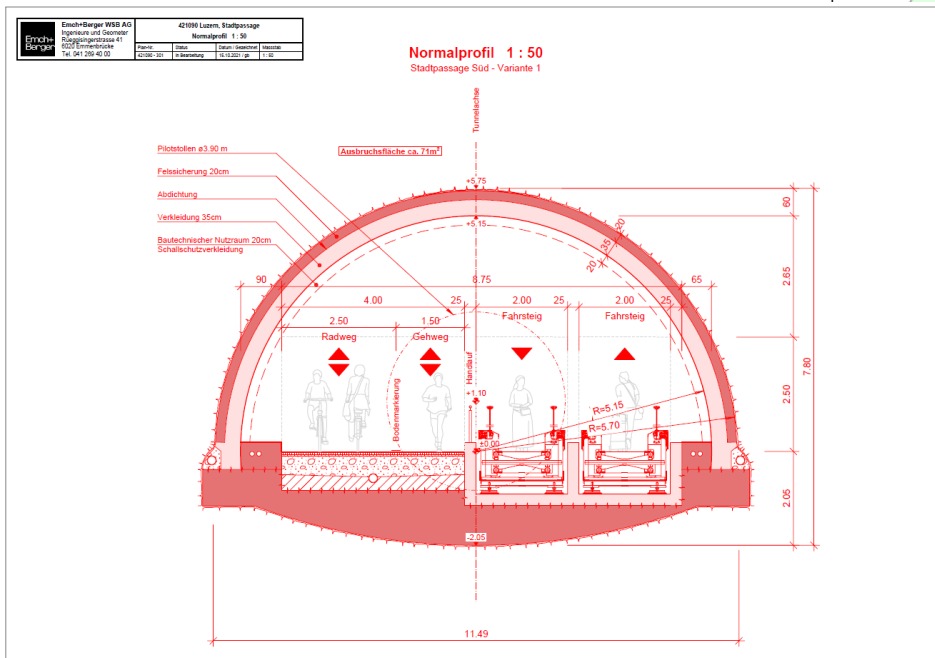


Simcenter STAR-CCM+



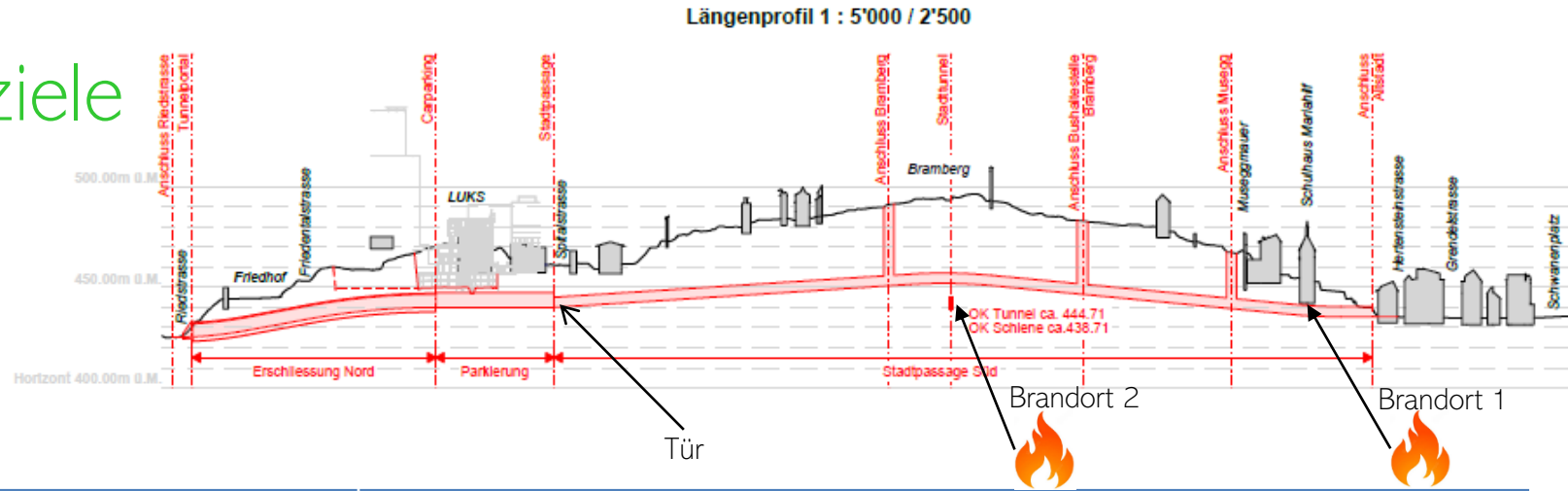
Situation Stadtpassage

- Gesamtlänge des Stollens: ca. 800m
- Normalprofil: Halbkreis mit Radius 5.15 m, Querschnittsfläche ca. 42 m²
- Maximale Steigung: ca. 5% Seite Ausgang Altstadt
- Annahme: Carparking und Stadtpassage durch eine Tür getrennt, aber während der Flucht offen.



Brandszenarien, Schutzziele

- Brandort:
 - Ort 1: Nahe Ausgang Altstadt
 - Ort 2: Scheitelpunkt Passage
- Brandparameter:



Parameter	Wert	Bemerkung
Brandkurve	0 → 0.2 MW in 30 s, linearer anstieg, danach konstant	Typische, maximale Brandleistung für Gepäckstücke (z.B. gemäss «Carried Fire Load in Mass Transport Systems», SiST 2010:04)
Rauchanteil	0.12 kg/kg	Entspricht Maximalwert festes PU Material (SFPE Handbook Fire Protection Engineering)
Heizwert	17 MJ/kg	Typischer Wert für PU Material (SFPE Handbook Fire Protection Engineering)
Spezifischer Extinktionskoeffizient von Rauch	9'250m ² /kg	Typischer Wert für Mischbrand (Referenzwert aus anderen Projekten)

- Schutzziele gemäss Brandschutzrichtlinie (VKF 27-15), zur Orientierung:

*Rauchproduktionsrate: ca. 5m³/s
(gemäss NFPA92B)*

Planungsziel		Symbol	Einheit	Leistungskriterium (Soll-Wert)
Raucharmer Schicht	Höhe der raucharmer Schicht ab oberster für Personen zugänglichen Ebene	d	m	≥ 2.5
	Gastemperatur	T _{raucharm}	°C	≤ 50
	Extinktionskoeffizient	K	m ⁻¹	≤ 0.20
Gastemperatur Rauchsicht		T _{rauch}	°C	≤ 200

← Entspricht Sichtweite ca. 40 m

- Dauer für die Einhaltung der Schutzziele (gemäss separate Entfluchtungssimulationen):
 - Brandort 1: ca. 750 s
 - Brandort 2: ca. 550 s

Grobauslegung Lüftungsanlage

> Aufgaben der Lüftung:

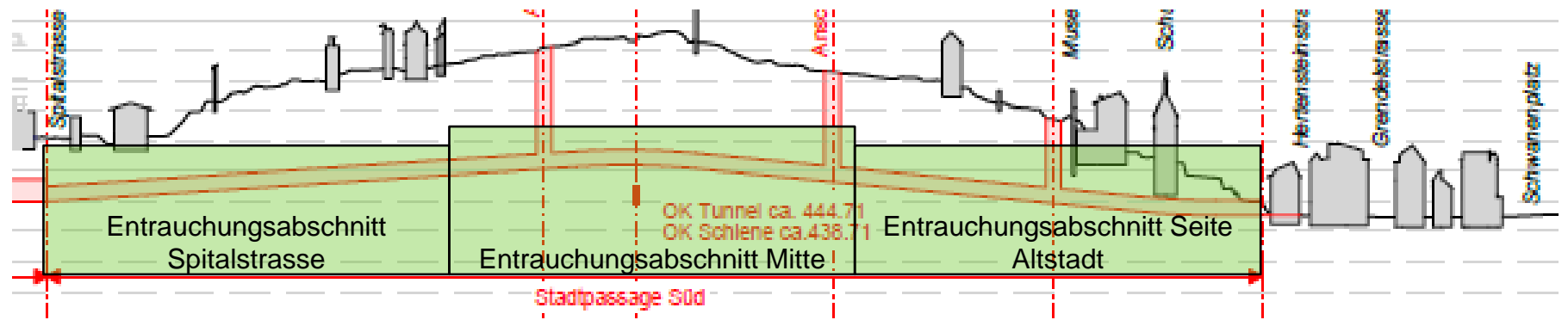
- > Zuluft im Normalbetrieb
- > Entrauchung im Brandfall

> Entrauchungskonzept :

- > Definition von Entrauchungsabschnitte entlang des Tunnels (gegenüber dem ersten Konzept vom 08.02.2023, brandnahe Absaugung)

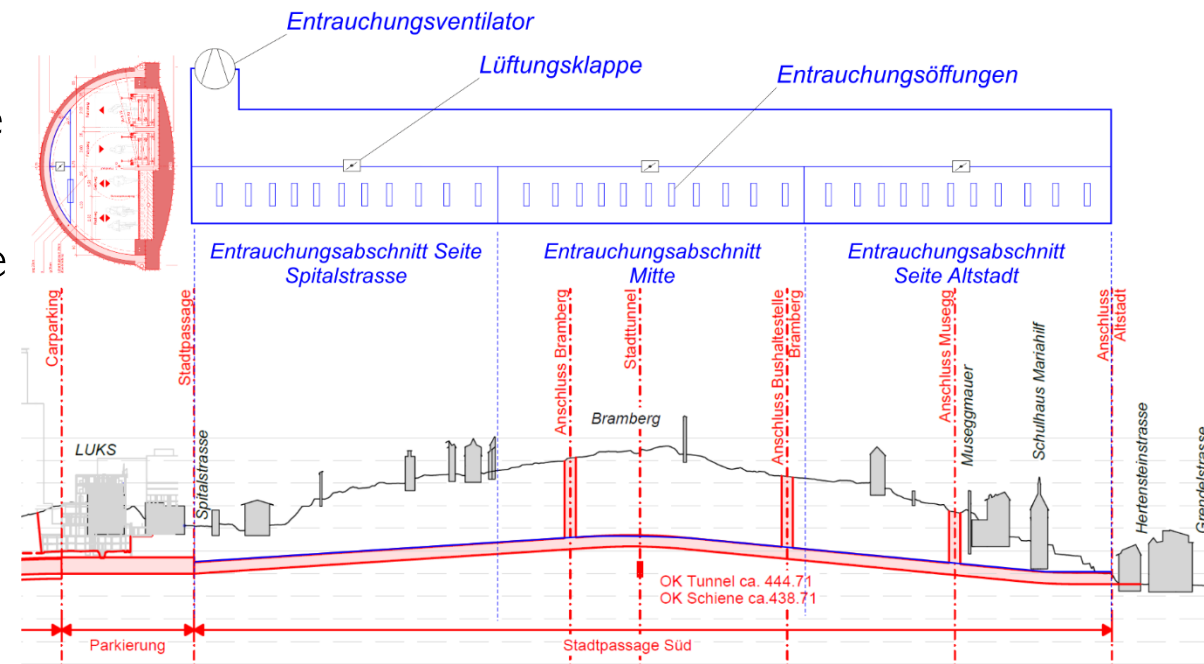
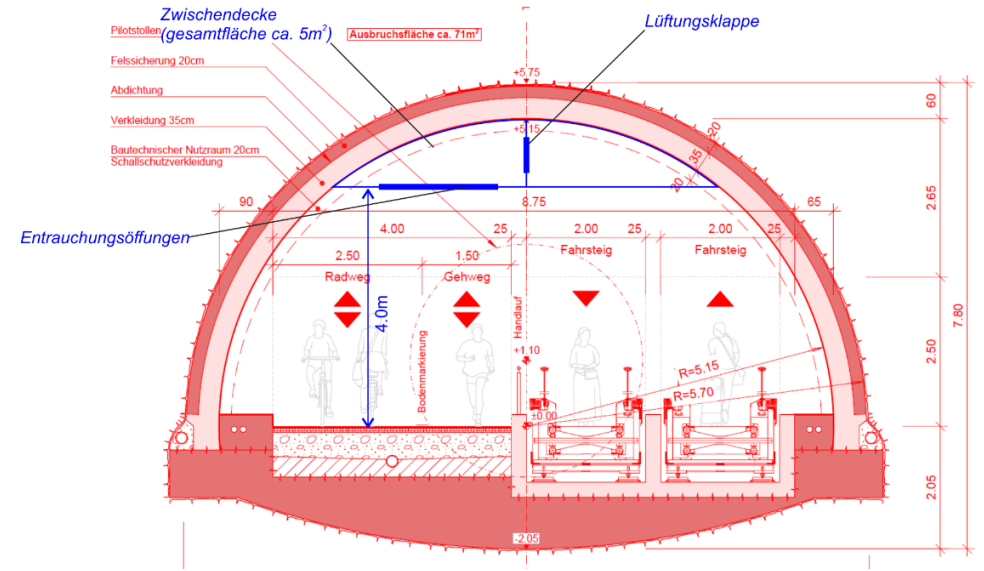
> 3 Entrauchungsabschnitte entlang des Tunnels (je 1/3 der Tunnellänge):

- > Seite Spitalstrasse
- > Mitte
- > Seite Altstadt



Grobauslegung Lüftungsanlage

- Mögliche Umsetzung Entrauchungskonzept:
 - Zwischendecke auf 4 m Höhe (Gesamtfläche ca. 5 m²) mit 2 parallel verlaufenden Lüftungskanälen (Abluft- und Entrauchungskanal)
 - Entrauchungskanal mit drei gleich langen Entrauchungsabschnitten und gleichmässig verteilt angeordneten Entrauchungsöffnungen
 - Entrauchungsabschnitte jeweils über eine Luftklappe aktivierbar
 - Rauch aus dem Entrauchungsabschnitt wird über die offene Luftklappe in den Abluftkanal geführt
 - Entrauchungsventilator am Ende des Abluftkanals fördert die Rauchgase aus dem Abluftkanal ins Freie



Grobauslegung Lüftungsanlage

> Funktionen der Lüftung:

> Normalbetrieb:

- > Gleichmässige Zuführung der Frischluft über alle Entrauchungsöffnungen in das Stollensystem; alle Luftklappen zwischen Abluftkanal und Entrauchungsabschnitte geöffnet; Entrauchungsventilator reversierbar als Zuluftventilator
- > Zuluftmenge: 15'000 m³/h (ca. 4 m³/s), deckt den minimalen Luftbedarf für 1'000 Personen (15 m³/h pro Person gemäss SIA 382)

> Ereignisbetrieb:

- > Entrauchung des Stollens über die verteilten Entrauchungsöffnungen des jeweils aktivierten Entrauchungsabschnitts
- > Abluftmenge: 40 m³/s

CFD-Simulationen

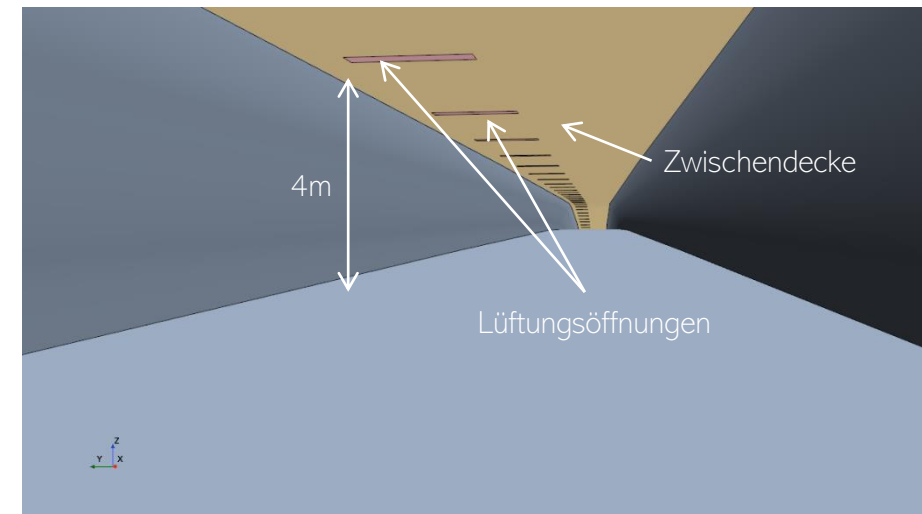
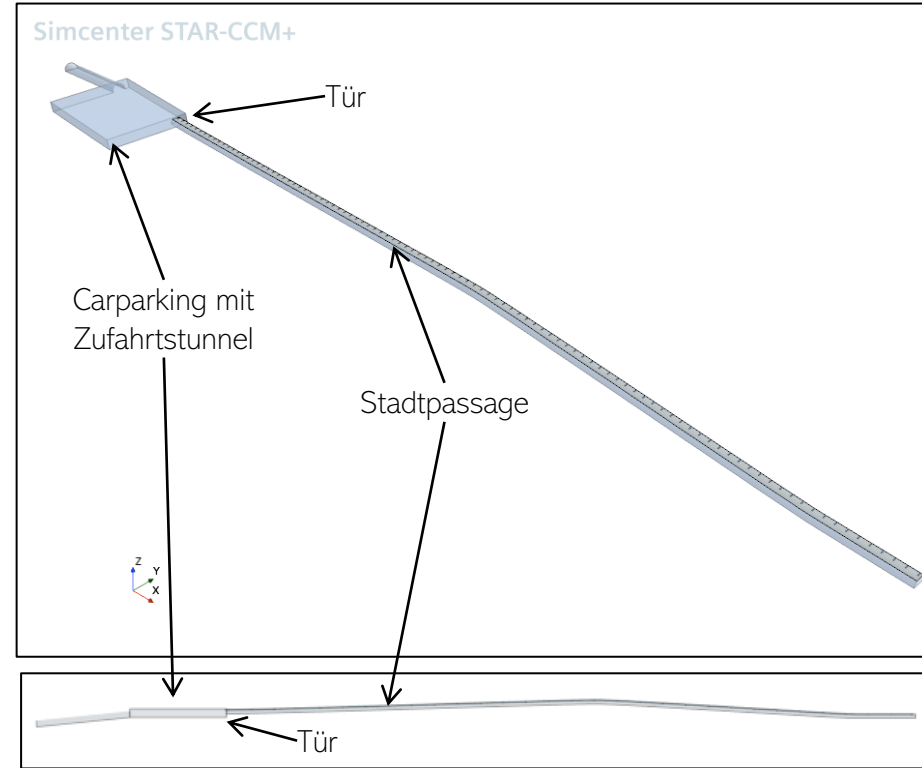
> Modell Geometrie:

- > Tunnel mit Querschnitt, Länge und Höhenprofil gemäss aktuellem Planungsstand (jedoch keine Krümmung in der Horizontalebene*)
- > Am nördlichen Ende: Volumen und Zufahrtstunnel zur Darstellung vom Carparking
- > Zwischendecke bis ca. 4 m über Boden, ausgestattet mit Entrauchungsöffnungen (2 m x 0.5 m, ca. alle 8 m angeordnet)

> Zeitstrahl:

Simulationszeit [s]	Was
0	Start Simulation mit Lüftung im Normalbetrieb (verteilte Zuluft mit 15'000m ³ /h)
60	Brandausbruch
90	Brand erreicht volle Leistung von 0.2MW, Branddetektion, Lüftung wechselt die Richtung (Zuluft zur Abluft bzw. Entrauchung)
120	Entrauchung erreicht volle Leistung Beginn Selbststrettung
970 bzw. 670	Ende Selbststrettung Brandort1 bzw. Brandort2
960	Ende der Simulation (15 min nach Brandausbruch)

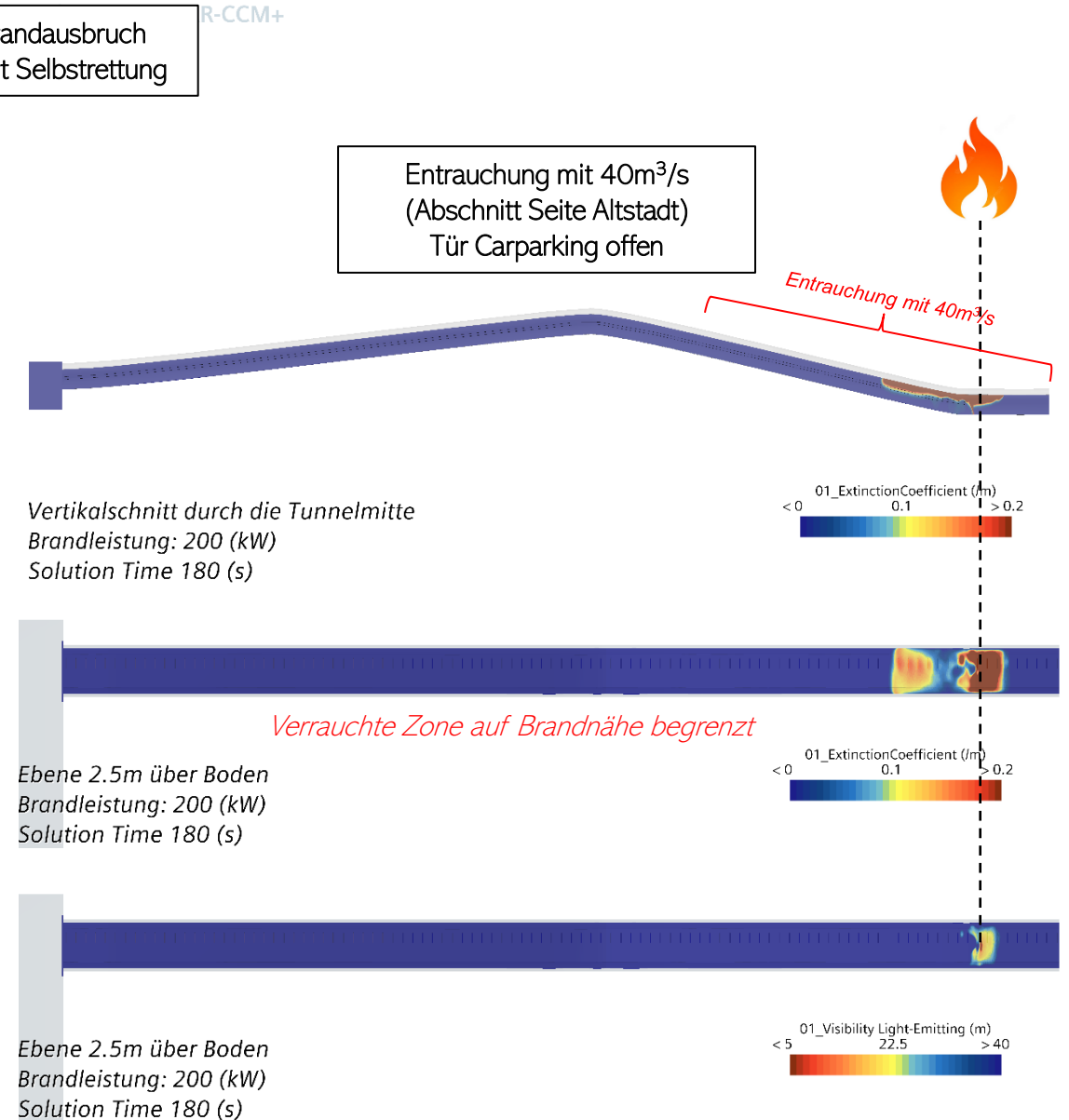
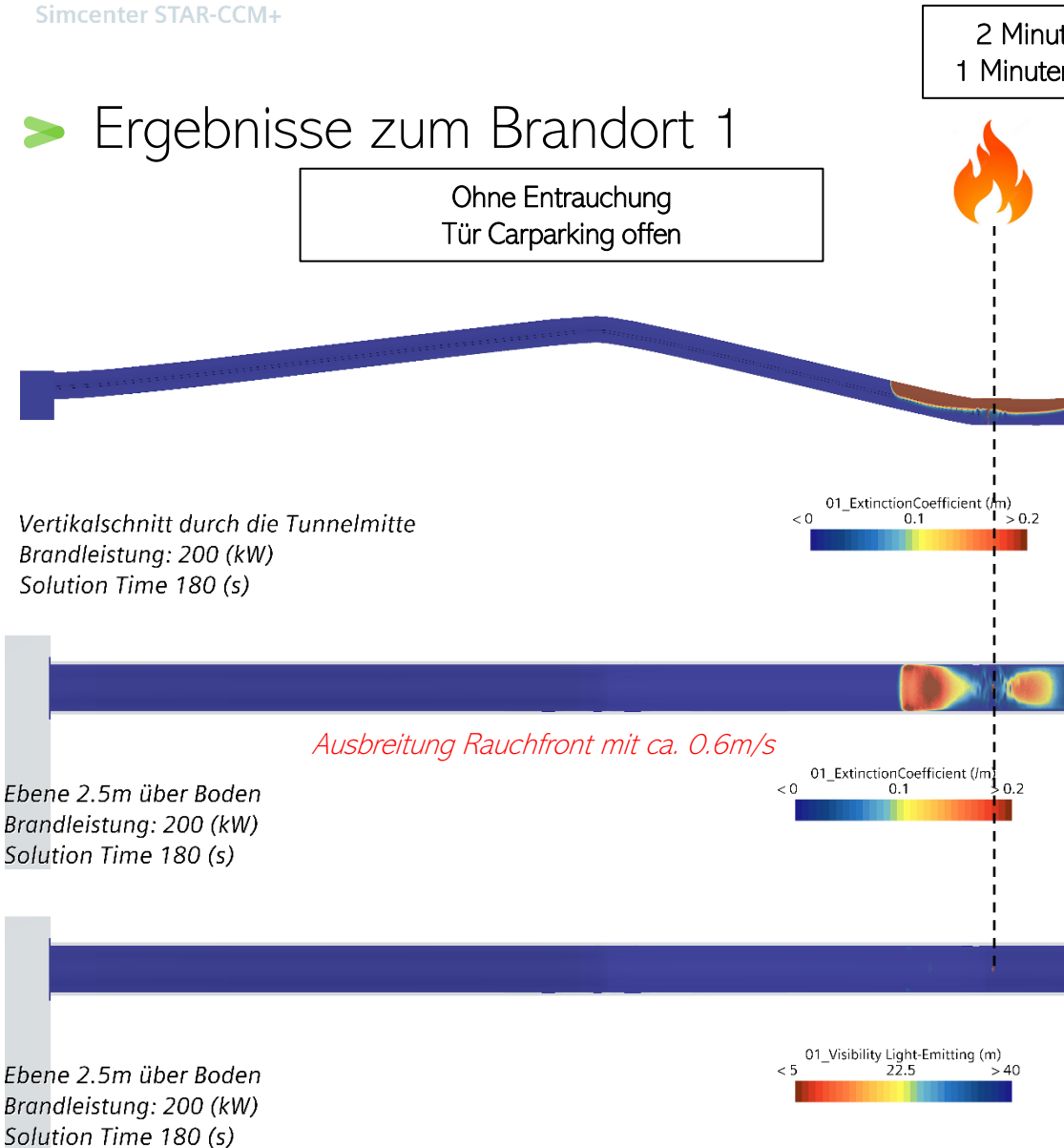
*zur Vereinfachung des Modells, ohne Auswirkung auf die Ergebnisse



CFD-Simulationen

Simcenter STAR-CCM+

➤ Ergebnisse zum Brandort 1



CFD-Simulationen

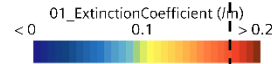
Simcenter STAR-CCM+

➤ Ergebnisse zum Brandort 1

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)

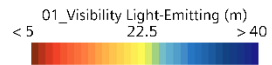


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.6m/s

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



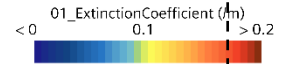
4 Minuten nach Brandausbruch
3 Minuten nach Start Selbstrettung

R-CCM+

Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Seite Altstadt)
Tür Carparking offen

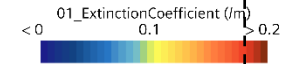


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



Verrauchte Zone auf Brandnähe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



CFD-Simulationen

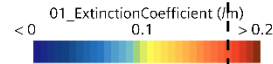
Simcenter STAR-CCM+

➤ Ergebnisse zum Brandort 1

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen

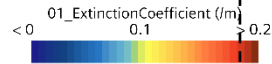


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)

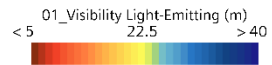


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.6m/s

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)

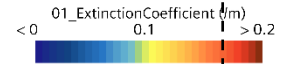


6 Minuten nach Brandausbruch
5 Minuten nach Start Selbstrettung

Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Seite Altstadt)
Tür Carparking offen

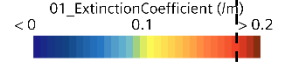


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Verrauchte Zone auf Brandnähe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



CFD-Simulationen

Simcenter STAR-CCM+

> Ergebnisse zum Brandort 1

8 Minuten nach Brandausbruch
7 Minuten nach Start Selbstrettung

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.6m/s

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Seite Altstadt)
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Verrauchte Zone auf Brandnähe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



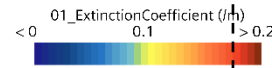
CFD-Simulationen

Simcenter STAR-CCM+

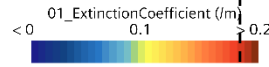
➤ Ergebnisse zum Brandort 1



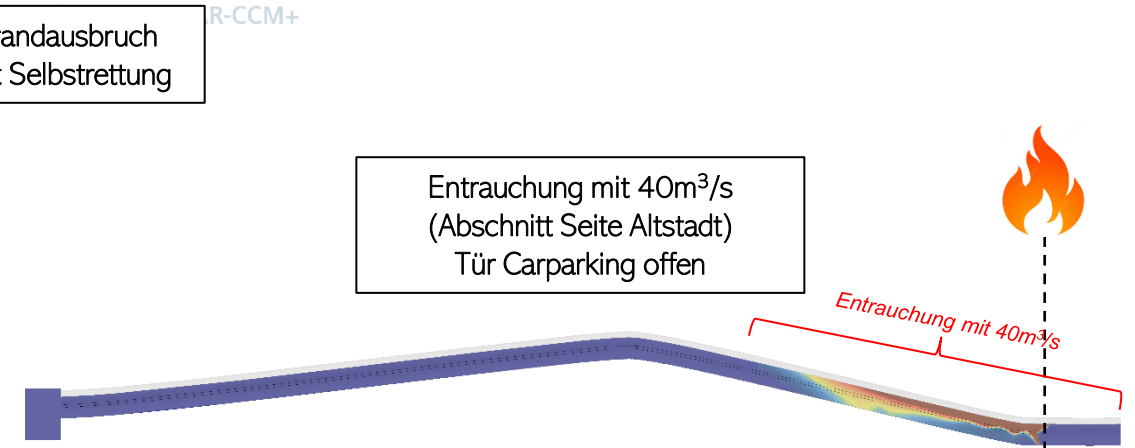
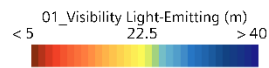
Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



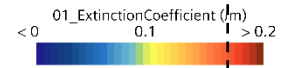
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



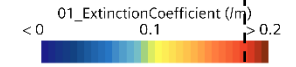
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



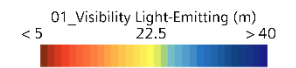
Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)

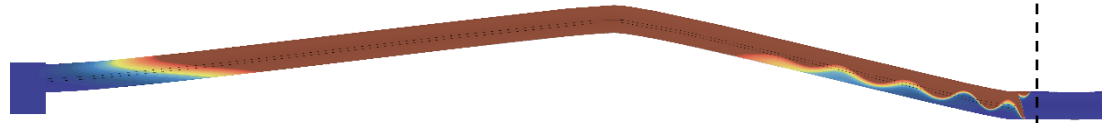


CFD-Simulationen

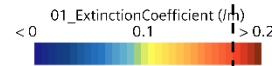
Simcenter STAR-CCM+

➤ Ergebnisse zum Brandort 1

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen

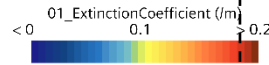


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)

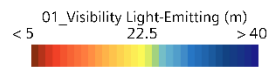


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.6m/s

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



15 Minuten nach Brandausbruch
14 Minuten nach Start Selbststrettung
Ca. Ende Selbststrettung Brandort 1

Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Seite Altstadt)
Tür Carparking offen

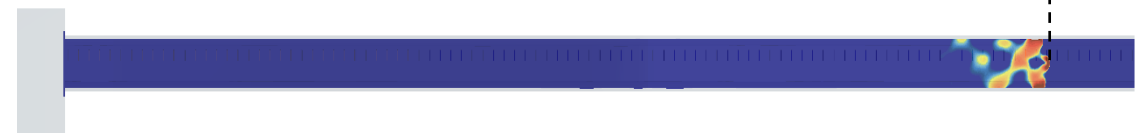
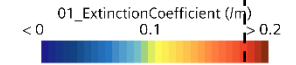


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)

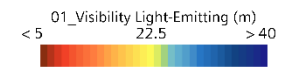


Verrauchte Zone auf Brandnähe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



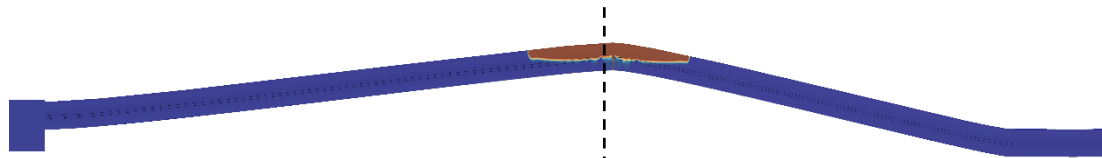
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



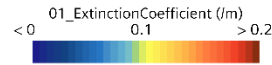
➤ Ergebnisse zum Brandort 2

2 Minuten nach Brandausbruch
1 Minuten nach Start Selbstrettung

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen

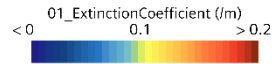


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)

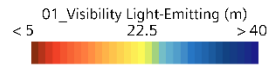


Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)

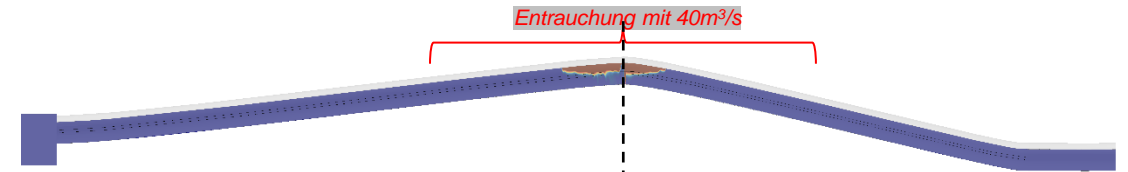
Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s



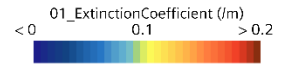
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen

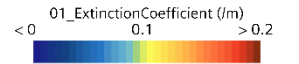


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)

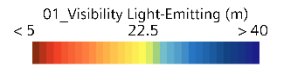


Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)

Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 180 (s)

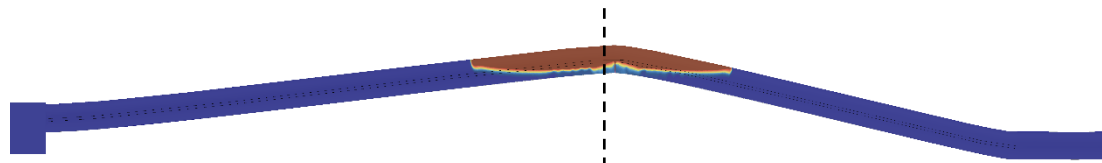


➤ Ergebnisse zum Brandort 2

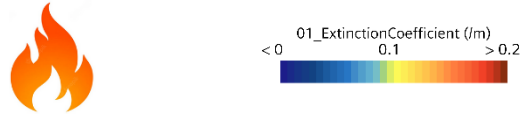
4 Minuten nach Brandausbruch
3 Minuten nach Start Selbstrettung

STAR-CCM+

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)

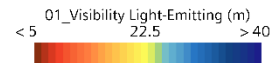


Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)

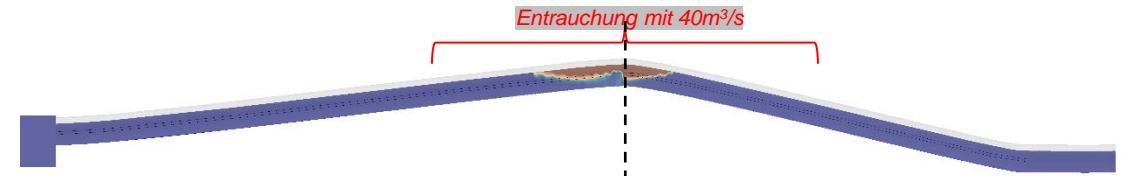
Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen

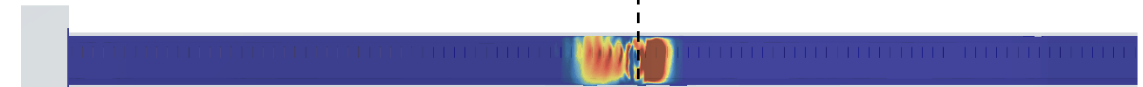


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)

Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 300 (s)

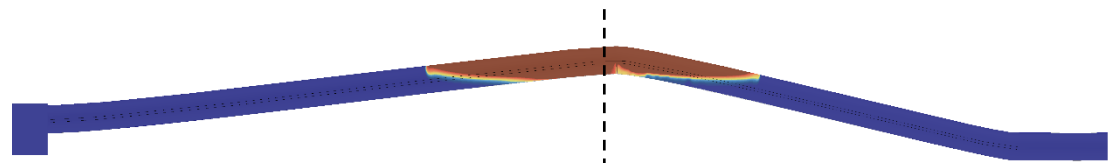


➤ Ergebnisse zum Brandort 2

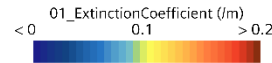
6 Minuten nach Brandausbruch
5 Minuten nach Start Selbstrettung

STAR-CCM+

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)

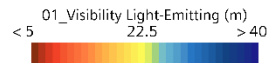


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s

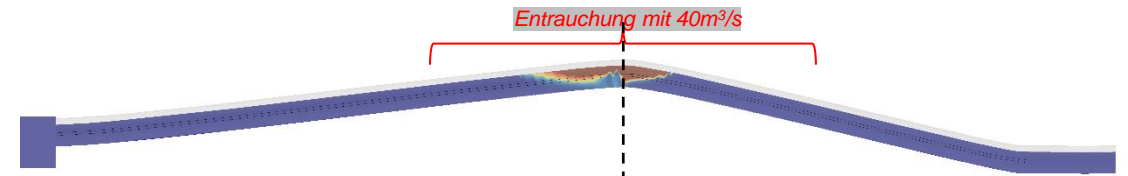
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 420 (s)

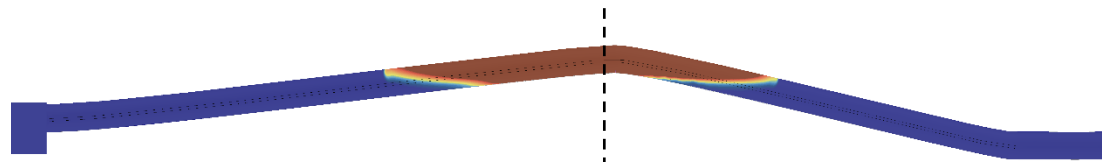


➤ Ergebnisse zum Brandort 2

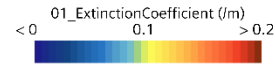
8 Minuten nach Brandausbruch
7 Minuten nach Start Selbstrettung

STAR-CCM+

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)

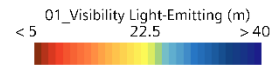


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s

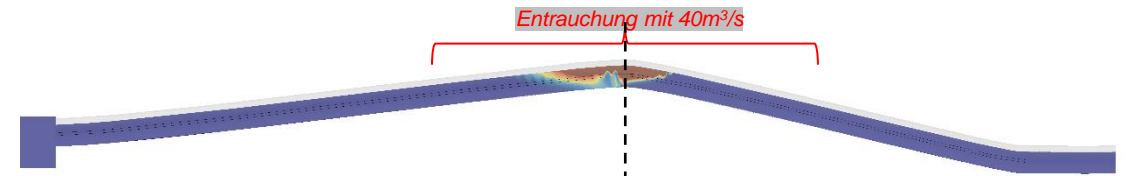
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen

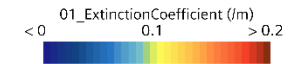


Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)

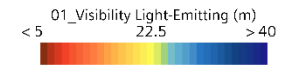


Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



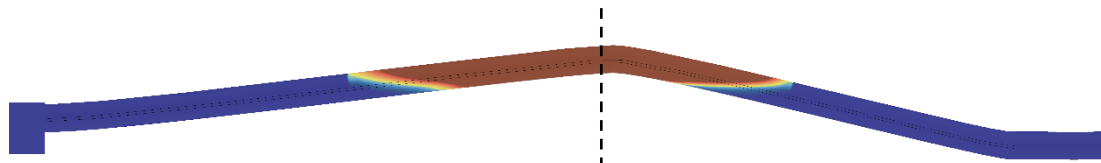
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 540 (s)



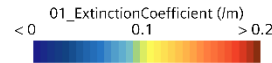
➤ Ergebnisse zum Brandort 2

10 Minuten nach Brandausbruch
9 Minuten nach Start Selbstrettung
Ca. Ende Selbstrettung Brandort 2

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)

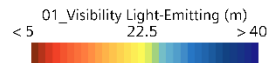


Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s

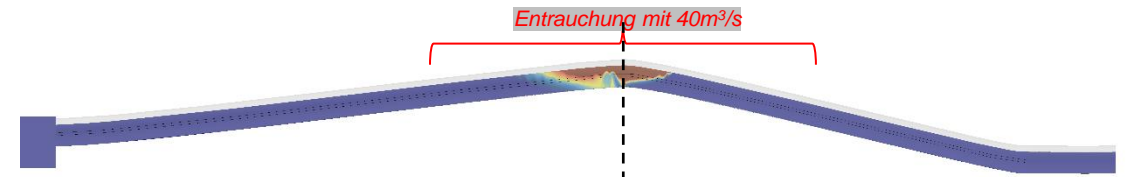
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



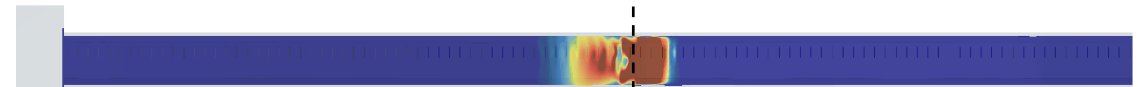
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



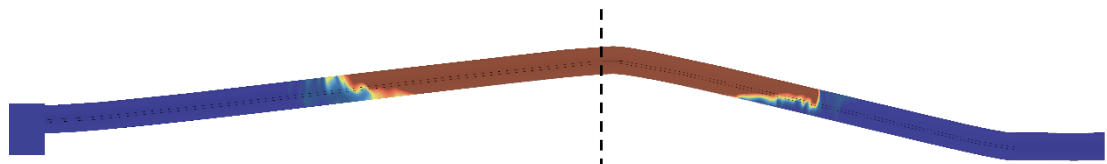
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 660 (s)



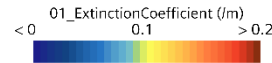
➤ Ergebnisse zum Brandort 2

15 Minuten nach Brandausbruch
14 Minuten nach Start Selbststrettung

Ohne Entrauchung
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Ausbreitung Rauchfront mit ca. 0.3m/s

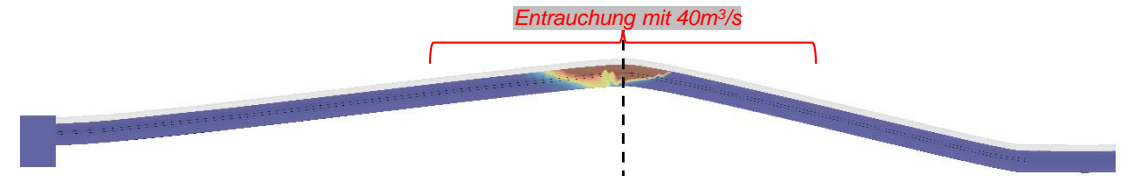
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



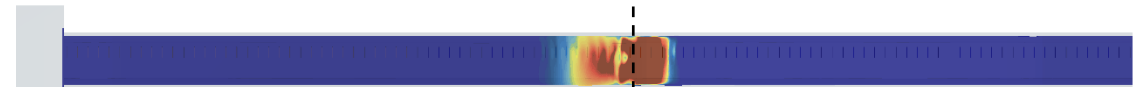
Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Entrauchung mit 40m³/s
(Abschnitt Mitte)
Tür Carparking offen



Vertikalschnitt durch die Tunnelmitte
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Verrauchte Zone auf Brandhöhe begrenzt

Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Ebene 2.5m über Boden
Brandleistung: 200 (kW)
Solution Time 960 (s)



Schlussfolgerungen

- Ohne Entrauchung kann die Selbstrettung nicht mit ausreichender Sicherheit gewährleistet werden (Ausbreitungsgeschwindigkeit der Rauchfront beim Brandort 1 ähnlich schnell wie die Fluchtgeschwindigkeit)
- Das optimierte Entrauchungskonzept zeigt eine ausreichende Wirkung zur Gewährleistung von günstige Bedingungen für die Selbstrettung der Personen sowie für die Intervention (Fremdrettung)
- Die Schutzziele können im gesamten Tunnel (ausser unmittelbarer in der Nähe des Brandes) eingehalten werden
- Wesentliche Merkmalen der vorgeschlagenen Entrauchungsanlage:
 - Entrauchungskanal in Zwischendecke 4m über Boden mit 3 Entrauchungsabschnitten (je 1/3 der Tunnellänge)
 - Absaugmenge von 40 m³/s im betroffenen Abschnitt