

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 136 (2010)  
**Heft:** 18: Simulanten

**Artikel:** Rauchfreie Zone  
**Autor:** Wälchli, Severin / Yousaf, Rehan / Galli, Eugenio  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-109603>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

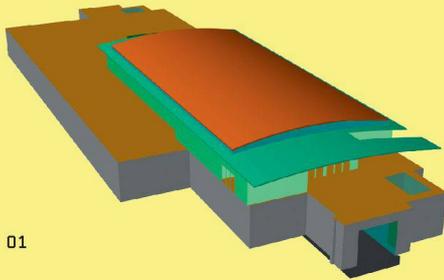
### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

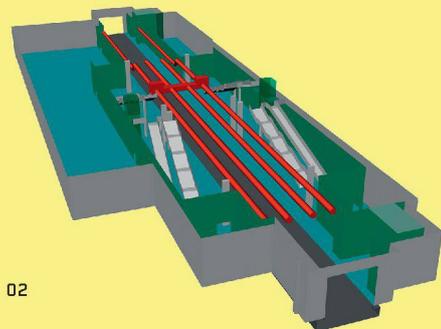
**Download PDF:** 15.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# RAUCHFREIE ZONE



01



02

01 Volumenmodell der Station Brugherio  
02 Perrongeschoss mit den vier Lüftungsrohren  
(Bilder: Pöyry Infra AG)

## MAILÄNDER U-BAHN

Die «Metropolitana di Milano» ist das U-Bahn-System der zweitgrössten italienischen Stadt. Im November 1964 eröffnet, bildet das von der ATM Milano betriebene, regelspurige Schienenverkehrsmittel mit drei Linien M1 (rote Linie), M2 (grüne Linie) und M3 (gelbe Linie) neben der «Linee S Mailland» das städtische Schnellverkehrsnetz. Charakteristisch für das Mailänder U-Bahn-Netz ist die linienabhängige Nutzung von Stromschiene oder Oberleitung.



Ziel der Entrauchung einer Metrostation ist, dass im Brandfall die Passagiere auf den Perrons und in den Zügen die Station sicher und schnell verlassen können. Die Entrauchungsanlage muss sicherstellen, dass die Fluchtwege weitgehend rauchfrei bleiben und keine Rauchschwaden die Perronebene über die Treppenaufgänge verlassen und in die oberen Geschosse gelangen. Das Design der Lüftungsrohre ist dabei entscheidend.

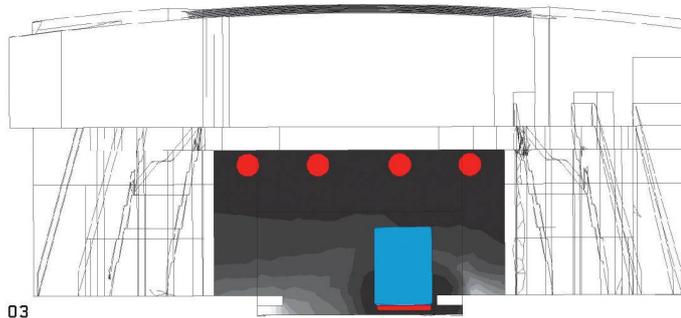
Die Firma Metropolitana Milanese SpA<sup>1</sup> plant im Rahmen des Ausbaus der Mailänder Metro die Verlängerung der Linie M2 in den Nordosten der Stadt. Neben architektonischen Kriterien müssen die unterirdischen Stationen auch höchsten Sicherheitsansprüchen genügen. Eines der möglichen Risiken ist ein Feuer in einem der einfahrenden Züge. Solche Szenarien sind mithilfe von realen Versuchen erst nach Bauabschluss und Installation der Sicherheitsanlagen auf ihre volle Funktionsfähigkeit überprüfbar. Zudem sind Brandversuche teuer und erfordern aufwendige Reinigungsarbeiten nach Abschluss der Tests. Ein negatives Versuchsergebnis hätte teure Optimierungsarbeiten zur Folge. Numerische Simulationen hingegen bieten eine effiziente Methode, in einer frühen Planungsphase die Effektivität von verschiedenen Entrauchungsvarianten kostengünstig zu vergleichen und zu optimieren. Die Rauchversuche können anschliessend gezielter und in reduziertem Umfang durchgeführt werden.

## STATIONSGEOMETRIE UND ROHRDESIGN

Die unterirdische Station Brugherio besteht aus einem Perrongeschoss mit zwei zentralen Gleisen und zwei aussen liegenden Perrons. Vier Aufgänge mit Rolltreppen führen ins Obergeschoss mit Kiosk und Ticketverkaufsstellen. Oberhalb der beiden Gleise im Perrongeschoss sind vier Lüftungsrohre (Abb. 2 in roter Farbe) vorgesehen, über welche im Brandfall Schadstoffe und Rauch abgesaugt werden. Für die Porosität der Rohre stehen zwei Varianten zur Diskussion: Variante A ist die kostengünstigere Lösung mit einer regelmässigen Lochgrössenverteilung über die gesamte Rohrlänge. Diese hat den lüftungstechnischen Nachteil, dass die Menge abgesaugter Luft nicht uniform über die gesamte Stationslänge verteilt ist. In der Nähe der Ventilatoren wird mehr Luft abgesaugt als am Ende der Lüftungsrohre. Dies kann für Brandorte, die weit entfernt sind von den Ventilatoren, negative Einflüsse haben, weil der Rauch direkt über dem Brandherd nur ungenügend abgesaugt wird und sich über den gesamten Perronbereich ausbreitet. Bei Variante B sind die Löcher in den Lüftungsrohren unterschiedlich gross oder deren Anordnung unterschiedlich dicht, damit entlang des gesamten Abluftsystems an jedem Ort die gleiche Luftmenge abgesaugt wird. So optimiert ist die Absaugleistung unabhängig vom Brandort gleichmässig stark, und die Ausbreitung des Rauches würde stark vermindert. Die Herstellungskosten solcher Lüftungsrohre sind wesentlich höher als für Variante A. Ob sich in diesem Fall die Zusatzkosten für massgeschneiderte Lüftungsrohre lohnen, zeigt eine Strömungssimulation.

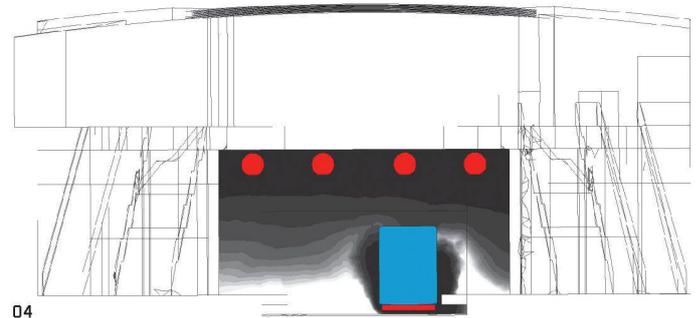
In den Simulationen beginnt der in der Station Brugherio angekommene Zug zu brennen. Brandherd ist ein Transformator unterhalb des Triebwagens an der Spitze des Zuges. Der Brandverlauf wird in den Simulationen durch eine Brandkurve<sup>2</sup> vorgegeben. Die Brandleistung steigt dabei schnell auf 10 MW an und erreicht nach 18 Minuten eine maximale Leistung von 15 MW. Es wird angenommen, dass eine Minute vergeht, bis das Feuer durch Passagiere oder das Zugpersonal entdeckt und der Feueralarm ausgelöst wird. Die Auslösung des Alarms startet automatisch auch die Ventilatoren der Entrauchungsanlage. Die Anlage saugt den entstehenden Rauch durch die Lüftungsrohre an der Decke des Perrongeschosses ab. Der durch die Absaugung entstehende Unterdruck zieht gleichzeitig Frischluft vom Obergeschoss nach unten ins Perrongeschoss und soll damit sicherstellen, dass die Fluchtwege

## Variante A, regelmässige Perforation, nicht uniforme Saugleistung

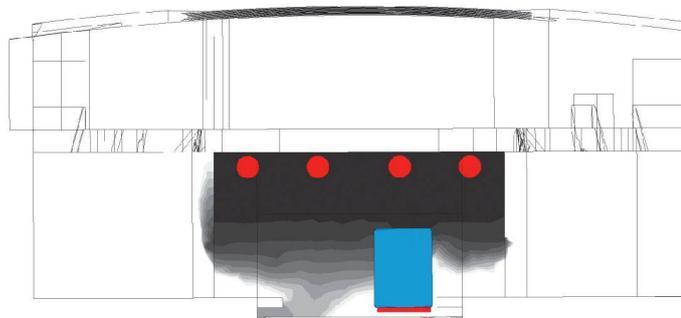


03

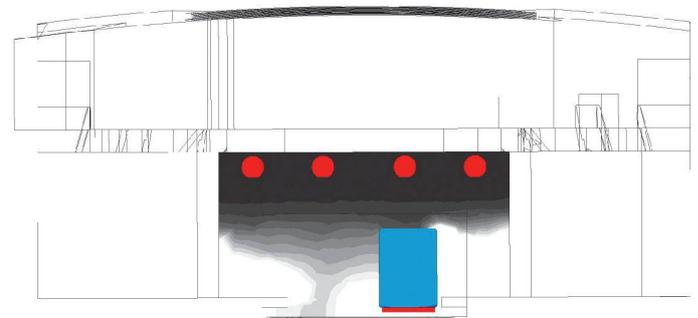
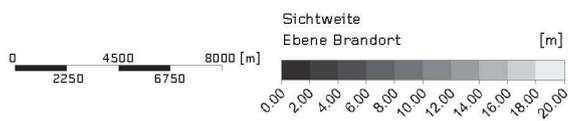
## Variante B, unregelmässige Perforation, uniforme Saugleistung



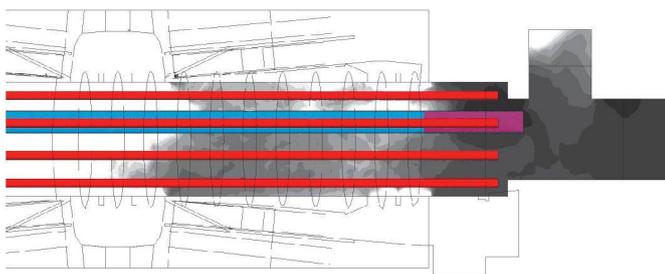
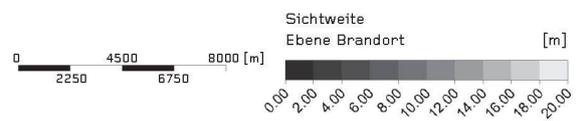
04



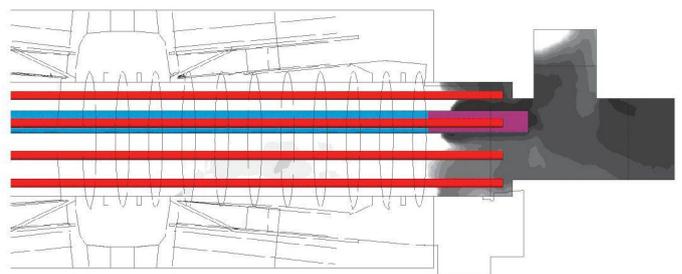
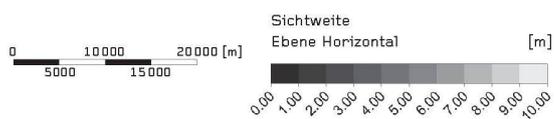
05



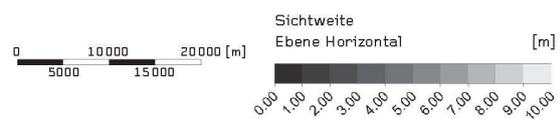
06



07



08



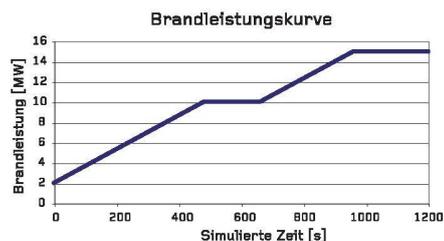
03 Querschnitt durch Brandherd beim Triebwagen, Absaugung Variante A, Rohre mit gleichbleibender Porosität (Bilder: Pöyry Infra AG)  
 04 Querschnitt durch Brandherd beim Triebwagen, Absaugung Variante B, Rohre mit angepasster Porosität

05 Querschnitt durch Treppenaufgang, Absaugung Variante A, Rohre mit gleichbleibender Porosität  
 06 Querschnitt durch Treppenaufgang, Absaugung Variante B, Rohre mit angepasster Porosität

07 Horizontalschnitt auf 1.80m Höhe über dem Perronboden, Absaugung Variante A, Rohre mit gleichbleibender Porosität  
 08 Horizontalschnitt auf 1.80m Höhe über dem Perronboden, Absaugung Variante B, Rohre mit angepasster Porosität

### Anmerkungen

1 Metropolitana Milanese SpA (MM) ist eine von der Gemeinde Mailand kontrollierte Aktiengesellschaft und wurde 1955 als Ingenieurbüro gegründet, um die Linien der Metro von Mailand zu projektieren und zu realisieren. MM hat sich seither zu einem führenden Ingenieurbüro für die Planung und Realisierung von Metros und städtischen Schienenverkehrsmitteln (Tram, leichte Eisenbahnen) in Italien und im Ausland für bau- und bahntechnische Aspekte entwickelt und beschäftigt gegen 700 Mitarbeiter. Drei Metrolinien (75 km) mit 88 unterirdischen Stationen wurden bis heute in Mailand realisiert. In der Planungsphase befinden sich gegenwärtig die Vervollständigung der Linie 3 nach Norden mit vier neuen Stationen, die Verlängerung sämtlicher drei Metrolinien sowie der Bau von drei neuen Linien: Linie 4 (14.1 km mit 26 Stationen), Linie 5 (ca. 13 km mit 19 Stationen) und Linie 6 (ca. 6.8 km).



2 Die Brandkurve ist eine Angabe der Brandleistung (emittierte Wärme in MW) in Bezug auf die Branddauer. Diese wird meist anhand der brennenden Flüssigkeiten (Öl, Benzin etc.) sowie deren Mengen und Abbrandreihenfolgen bestimmt. In den vorliegenden Simulationen steigt die Brandleistung von 2 MW kurz nach Brandausbruch (Zeit = 0 s) innerhalb von 8 min auf 10 MW an, bleibt für 3 min konstant und steigt anschließend auf den Maximalwert von 15 MW.

### PLANUNG

#### Bauherrschaft, Architektur, Ingenieurwesen

Metropolitana Milanese SpA, I-Mailand

#### Fachplaner Ventilation / Sicherheit

Metropolitana Milanese SpA, I-Mailand

Fachunterstützung: Pöyry Infra AG, Zürich

weitgehend frei von Rauch bleiben. Für eine möglichst realitätsnahe Modellierung des Systems wird die während der simulierten Zeit durch die angrenzenden Tunnelbereiche in die Station ein- oder ausströmende Luft als Randbedingung vorgegeben. Zur Bestimmung dieser Luftströmungen wurde das komplette Tunnelsystem vorgängig mit einer speziellen eindimensionalen Tunnelsoftware (IDA Tunnel, Equa Simulation AB, Schweden) simuliert. Die dreidimensionalen Simulationen werden mit ANSYS CFX (ANSYS Inc.) durchgeführt. Die gesamte Metrostation Brugherio wurde als Volumenmodell gezeichnet und mit ca. drei Millionen Gitterzellen vernetzt. Der Brandherd ist als Quelle modelliert, die Wärme und Emissionen (Rauch, CO, CO<sub>2</sub>) freisetzt und Sauerstoff konsumiert. Simuliert werden auch die Wärmestrahlung sowie die Sichtweite. Eine erfolgreiche Flucht aus dem Gefahrenbereich ist nur möglich, wenn die Sichtweiten mindestens 10 m betragen. Wird anhand der Simulationen festgestellt, dass Rauch die Sichtweiten zu stark einschränkt oder gar in die Treppenaufgänge eindringen kann, so gelten die Lüftungsziele als nicht erfüllt, und die Entrauchungsanlage muss optimiert werden.

### VARIANTENSTUDIUM

Die beiden Lüftungsvarianten A und B wurden mithilfe von CFD-Simulationen analysiert und verglichen. Spezielle Beachtung gilt den Treppenaufgängen. Das Eindringen von Rauch in diese Fluchtwegabschnitte muss während der simulierten Zeit von 20 Minuten verhindert werden. Die Rauchausbreitung im Perronbereich wird auf einer Ebene 1.80 m oberhalb des Perrons analysiert. Bleibt diese Zone rauchfrei, ist eine Flucht der Passagiere möglich. Die Simulationen zeigen, dass unabhängig von der verwendeten Entrauchungsvariante der Querschnitt im Bereich des Brandortes schon nach wenigen Minuten komplett mit Rauch gefüllt ist. Doch bereits wenige Meter entfernt zeigen sich die Vorteile der uniformen Rauchabsaugung (Variante B). Die Lüftungsrohre mit gleichbleibender Porosität (Variante A) saugen im Bereich des dem Brandort nächsten Treppenaufgangs zu wenig Rauch ab, weil die Saugleistung in diesem Rohrbereich zu schwach ist. Der Stationsquerschnitt füllt sich langsam von oben her mit Rauch, die rauchfreie Schicht nach unten wird kleiner. Der durch die Rauchabsaugung erzeugte Unterdruck an dieser Stelle ist zu schwach. Zu wenig Frischluft wird durch den Treppenaufgang in den Perronbereich angesaugt. Die heissen Brandgase und der Rauch strömen bereits acht Minuten nach Brandausbruch in den Treppenaufgang. Eine Verrauchung des Obergeschosses und damit des vermeintlich sicheren Fluchtortes der Passagiere kann für diese Variante nicht ausgeschlossen werden. Mit der Optimierung der Lüftungsrohre (Variante B) kann diese Gefahr deutlich reduziert werden. Grosse Unterschiede zwischen den beiden Lüftungsrohrvarianten sind auch in der Ausbreitung des Rauches im Perronbereich erkennbar. Für die uniforme Absaugung (Variante B) wird der Grossteil des entstehenden Rauches direkt im Bereich des Brandortes abgesaugt. Der kritische Bereich unterhalb von 1.80 m über dem Perron bleibt für lange Zeit frei von Rauch und Abgasen. Mit Lüftungsrohren mit gleichbleibender Porosität (Variante A) wird ein Teil des emittierten Rauches entlang des Perrons bis zu den Ventilatoren gesaugt. Die Sichtweiten im Passagierbereich liegen bereits wenige Minuten nach Brandausbruch unterhalb des kritischen Wertes von 10 m. Eine erfolgreiche Flucht der Passagiere wird nicht gewährleistet und das Lüftungsziel somit nicht erreicht. Die Kombination von 1-dimensionalen und detaillierten 3-dimensionalen Simulationen haben für die Entrauchung der Metrostation Brugherio aufgezeigt, dass die Zusatzkosten der Lüftungsvariante B unerlässlich sind, um einen sicheren Betrieb der Metro zu gewährleisten. Die numerischen Untersuchungen leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Passagiersicherheit. Durch eine frühzeitige und im Vergleich mit Brandversuchen kostengünstige Studie des Ventilationssystems kann eine solche Anlage schnell und unkompliziert untersucht und optimiert werden.

Severin Wälchli, Pöyry Infra AG, Zürich, severin.waelchli@poyry.com

Rehan Yousaf, Pöyry Infra AG, Zürich, rehan.yousaf@poyry.com

Eugenio Galli, Metropolitana Milanese SpA, Mailand, e.galli@metropolitanamilanese.it